

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Blumenau
Departamento de Engenharia de
Controle e Automação e Computação



Franciele de Oliveira Costa

Mapeamento Cientométrico e Sistemático das Barreiras para a
Difusão dos Veículos Elétricos

Blumenau
2020

Franciele de Oliveira Costa

Mapeamento Cientométrico e Sistemático das Barreiras para a Difusão dos Veículos Elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Engenheira de Controle e Automação.
Orientador: Prof.^a Dra. Caroline Rodrigues Vaz

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Blumenau
Departamento de Engenharia de
Controle e Automação e Computação

Blumenau
2020

Franciele de Oliveira Costa

Mapeamento Cientométrico e Sistemático das Barreiras para a Difusão dos Veículos Elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação.

Comissão Examinadora



Documento assinado digitalmente
Caroline Rodrigues Vaz
Data: 13/08/2020 14:55:24-0300
CPF: 055.381.109-66

Prof.^a Dra. Caroline Rodrigues Vaz
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador



Documento assinado digitalmente
Janaina Gonçalves Guimarães
Data: 13/08/2020 15:06:43-0300
CPF: 523.475.831-15

Prof.^a Dra. Janaina Gonçalves Guimarães
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Tiago Davi Curi Busarello
Data: 13/08/2020 17:10:44-0300
CPF: 319.950.098-65

Prof. Dr. Tiago Davi Curi Busarello
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 20 de julho de 2020

Dedico este trabalho a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram para a concretização desta etapa, em especial, à minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui.

Aos meus pais, Wallace e Eliete, por todo o amor, incentivo e dedicação sem limites ao longo dos anos, além de todas as idas à Blumenau durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu irmão Felipe, por ter despertado em mim o gosto pela área das engenharias, e sempre ser um exemplo para mim.

À minha irmã Francine, por sempre estar presente em minha vida e compartilhar comigo todos os momentos durante a realização deste trabalho. E pela honra de podermos dividir essa trajetória acadêmica juntas.

À minha orientadora Caroline Rodrigues Vaz, por toda a paciência, dedicação e incentivos. E por ter elaborado um projeto que pudesse ser realizado em segurança em meio a uma pandemia.

Ao professor Maurício Uriona Maldonado pelas contribuições durante a execução deste trabalho.

Aos professores da Banca Examinadora por terem aceitado o convite para assistir ao trabalho, e pelo tempo dedicado.

Por fim, agradeço a todos os professores e colegas da UFSC Campus Blumenau que de alguma maneira contribuíram com a minha formação.

"Podemos nos surpreender com as jornadas que encaramos e quem nos acompanha. As vezes são as jornadas mais difíceis que revelam quem somos, do que somos capazes e quem amamos."

(Alpha)

Resumo

Veículos elétricos foram inventados antes mesmo dos veículos com motor a combustão interna. Passaram por uma época em que predominavam, entretanto foram por muitos anos deixados em segundo plano. O desenvolvimento dos veículos a combustão interna e os incentivos de todo o sistema de produção de combustível e das indústrias automobilísticas colocaram o veículo elétrico como uma segunda opção dentre os consumidores. As crescentes preocupações relacionadas ao aumento dos gases do efeito estufa deram uma segunda chance para que o desenvolvimento dos veículos elétricos ganhasse destaque. Porém, diversas são as barreiras enfrentadas para a ampla difusão desse tipo de veículo pelo mercado automobilístico. Considerando essa questão, esse trabalho teve como objetivo identificar quais são as barreiras para a difusão dos veículos elétricos. Para isso, fez-se uso do método SYSMAP, composto por quatro fases: Construção de uma Coleção de Documentos, Filtragem, Análise Cientométrica, Análise Sistêmica, possibilitando a categorização das barreiras e identificação das Oportunidades e Lacunas de Pesquisas. Para isso, foram utilizadas duas bases de dados: *Web of Science* e *Scopus*, no mês de março de 2020. Como destaques da Análise Cientométrica, estavam autores como Sovacool e Egbue, países como Estados Unidos e Alemanha, *journal Energy Policy* e Universidade de Tsinghua (China). A análise sistêmica identificou seis grandes grupos de barreiras para a difusão dos veículos elétricos: sociais, tecnológicas, econômicas, políticas, ambientais e outras. As oportunidades e lacunas de pesquisa identificadas nesse trabalho foram o estabelecimento de padrões, o desenvolvimento e fabricação de produtos compatíveis e a utilização dos veículos elétricos aliados à fontes de energia renováveis.

Palavras-Chave: 1. Veículos Elétricos. 2. Carros Elétricos. 3. Mobilidade Elétrica. 4. Baterias. 5. Barreiras.

Abstract

Electric vehicles were invented even before internal combustion engine vehicles. They went through a time when they prevailed, but were left in the background for many years. The development of internal combustion vehicles and the incentives of the entire fuel production system and the automotive industries placed the electric vehicle as a second option among consumers. Growing concerns related to the increase of greenhouse gases gave a second chance for the development of electric vehicles to gain prominence. However, there are several barriers to the wide spread of this type of vehicle in the automotive market. Considering this issue, this work aimed to identify what are the barriers to the diffusion of electric vehicles. To do so, the SYSMAP method was used, consisting of four phases: Construction of a Collection of Documents, Filtration, Scientific Analysis, Systemic Analysis, enabling the categorization of barriers and identification of Research Opportunities and Gaps. For this, two databases were used: Web of Science and Scopus, in March 2020. As highlights of the Scientific Analysis, were authors such as Sovacool and Egbue, countries such as the United States and Germany, journal Energy Policy and Tsinghua University (China). The systemic analysis identified six major groups of barriers to the spread of electric vehicles: social, technological, economic, political, environmental and others. The opportunities and research gaps identified in this work were the establishment of standards, the development and manufacture of compatible products and the use of electric vehicles allied to renewable energy sources.

Keywords: 1. Electric Vehicles. 2. Electric Cars. 3. Electric Mobility. 4. Batteries. 5. Barriers.

Lista de figuras

Figura 1 – Triciclo Elétrico de Gustave Trouvé[1].	20
Figura 2 – Camille Jenatzy e seu veículo elétrico[2].	21
Figura 3 – Ford Modelo T [3]	21
Figura 4 – Gurgel Itaipu [4]	23
Figura 5 – Mercedes-Benz NECAR 3 1997 - (FCEV) [5]	25
Figura 6 – Modelo Híbrido Toyota Prius 1997 - (HEV) [6]	25
Figura 7 – Modelo Chevy Volt 2010 - (PHEV) [7]	26
Figura 8 – Modelo Nissan Leaf 2010 - (BEV) [8]	26
Figura 9 – Principais componentes de um HEV[9].	27
Figura 10 – Principais componentes de um PHEV[10].	28
Figura 11 – Principais componentes de um BEV[11].	29
Figura 12 – Principais componentes de um FCEV[12].	30
Figura 13 – Conjunto de módulos de uma bateria de lítio-ion de um VE[13].	31
Figura 14 – Modelo do método SYSMAP[14].	34
Figura 15 – Exemplo de busca realizada na base de dados <i>Web of Science</i>	35
Figura 16 – Exemplo de resultado de busca realizada na base de dados <i>Web of Science</i>	35
Figura 17 – Exemplo de busca realizada na base de dados <i>Scopus</i>	36
Figura 18 – Exemplo de resultado de busca realizada na base de dados <i>Scopus</i>	36
Figura 19 – Fases do método SYSMAP conforme esta pesquisa.	39
Figura 20 – Janela do <i>software EndNote</i>	40
Figura 21 – Janela do <i>software VOSviewer</i>	41
Figura 22 – Janela do <i>software CitNetExplorer</i>	42
Figura 23 – Janela do <i>software RStudio</i>	43
Figura 24 – Produção científica anual.	46
Figura 25 – <i>Journals</i> mais frequentes.	47
Figura 26 – Rede de cocitação de <i>journals</i>	48
Figura 27 – Relação de colaboração entre instituições.	50
Figura 28 – Autores mais produtivos.	51
Figura 29 – Relação de colaboração entre autores.	52
Figura 30 – Rede de cocitação entre autores.	53
Figura 31 – Número de documentos publicados por país.	54
Figura 32 – Colaboração entre países.	55
Figura 33 – Mapa de colaboração entre países.	56
Figura 34 – Rede de cocitação de referências.	59
Figura 35 – <i>TreeMap</i> para as palavras-chave mais frequentes.	60

Figura 36 – Temas de tendência.	61
Figura 37 – Rede de co-ocorrência das palavras-chave.	62
Figura 38 – Historiograma.	63
Figura 39 – Mapa temático.	66
Figura 40 – Mapa da estrutura conceitual.	69
Figura 41 – Dendrograma.	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais dados encontrados na pesquisa.	44
Tabela 2 – Tipo de documento e frequência.	45
Tabela 3 – Número de documentos por ano.	45
Tabela 4 – Instituições mais frequentes.	50
Tabela 5 – Referências mais citadas.	57
Tabela 6 – Palavras-chave mais frequentes.	59
Tabela 7 – Temas de tendência.	60

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABDI	<i>Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial</i>
ABVE	<i>Associação Brasileira do Veículo Elétrico</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
DSO	<i>Distribution System Operator</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
EVSE	<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>
FCEV	<i>Fuel-Cell Electric Vehicle</i>
FGV	<i>Fundação Getúlio Vargas</i>
GEE	<i>Gases de Efeito Estufa</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IVA	<i>Imposto sobre Veículos Automotores</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
MCA	<i>Multiple Correspondence Analysis</i>
MCP	<i>Multiple Country Publications</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OPEP	<i>Organização dos Países Exportadores de Petróleo</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
PEVs	<i>Plug-in Electric Vehicles</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PPP	<i>Parceria Público-Privada</i>
SCP	<i>Single Country Publicatioins</i>
SYSMAP	<i>Scientometric and sYStematic yielding MApping Process</i>
UFSC	<i>Universidade Federal de Santa Catarina</i>
USA	<i>United States of America</i>
V2G	<i>Vehicle-to-Grid</i>
VEs	<i>Veículos Elétricos</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização e Problemática da Pesquisa	14
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Justificativa	16
1.4	Estrutura da Pesquisa	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Veículos Elétricos	19
2.1.1	Origem e História	19
2.1.2	Classificação dos Veículos Elétricos	27
2.1.2.1	Veículo Elétrico Híbrido (HEV)	27
2.1.2.2	Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-in</i> (PHEV)	28
2.1.2.3	Veículo Elétrico a Bateria (BEV)	28
2.1.2.4	Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV)	29
2.2	Sistemas de Armazenamento de Energia dos Veículos Elétricos e suas Características	30
2.2.1	Baterias	30
2.2.2	Células de Combustível	32
3	METODOLOGIA	33
3.1	Classificação da Pesquisa	33
3.2	Revisão de Literatura Estruturada – SYSMAP	33
3.3	Análise e Tabulação dos Dados	40
3.3.1	<i>EndNote</i>	40
3.3.2	<i>VOSviewer</i>	40
3.3.3	<i>CitNetExplorer</i>	41
3.3.4	<i>RStudio</i>	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Descrição dos Dados Iniciais da Pesquisa	44
4.2	Análise Cientométrica	46
4.3	Análise Sistêmica	70
4.3.1	Barreiras para a Difusão dos Veículos Elétricos e suas Baterias	71
4.3.1.1	Barreiras Sociais	71

4.3.1.2	Barreiras Tecnológicas / Técnicas	75
4.3.1.3	Barreiras Econômicas	78
4.3.1.4	Barreiras Políticas	80
4.3.1.5	Barreiras Ambientais	81
4.3.1.6	Outras Barreiras	82
4.4	Oportunidades e Lacunas de Pesquisas	84
4.4.1	Oportunidades e Lacunas de Pesquisas para a Área de Engenharia de Controle e Automação	86
5	CONCLUSÕES	88
5.1	Considerações Finais	88
5.2	Recomendações Futuras	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
A	ANEXO A - ARTIGOS DA ANÁLISE SISTÊMICA	101

1 Introdução

Neste capítulo é realizada uma contextualização do tema abordado neste trabalho, além de expor a problemática de pesquisa. Também são apresentados o objetivo geral e os específicos, assim como a justificativa e a estrutura da pesquisa.

1.1 Contextualização e Problemática da Pesquisa

A humanidade sempre buscou maneiras de percorrer grandes distâncias com maior rapidez e praticidade. E essa mobilidade foi se transformando com o passar do tempo, conforme as descobertas humanas foram surgindo. Primeiramente as pessoas desenvolveram a carroça de tração animal. Séculos mais tarde, a tecnologia das máquinas a vapor foi transferida para os veículos. E depois, com a descoberta das baterias, principalmente de chumbo-ácido, surgiram os veículos elétricos (VEs). Entretanto, com o avanço tecnológico e descobertas de grandes reservas de petróleo, a venda dos veículos movidos pelo motor a combustão interna foi impulsionada, tornando esse tipo de veículo a principal escolha dos consumidores.

Esse favoritismo se consolidou de vez com a adoção do fordismo e novas técnicas de produção em massa voltadas para carros a combustão interna, que baratearam muito os custos de produção desse tipo de veículo. Os novos modelos eram capazes de percorrer longas distâncias sem precisar reabastecer e além disso, a gasolina não ocupava tanto volume quanto as baterias de chumbo-ácido utilizadas na época. Assim, todos aqueles outros meios de locomoção citados anteriormente perderam espaço.

A facilidade de locomoção e a sensação de liberdade oferecida pelos novos meios de transporte fez com que fosse crescente o número de interessados pela tecnologia. A rápida mobilidade conquistada com os automóveis foi crucial para o desenvolvimento econômico das cidades. Porém, o elevado número de veículos fez com que as mesmas acabassem ficando congestionadas e novas preocupações surgissem. Um alerta surgiu em relação as emissões de gases do efeito estufa (GEE) liberados pela enorme concentração de veículos nos centros urbanos.

Com a crescente preocupação com os danos causados pelo aumento dos GEE, em 1995 vários países iniciaram uma série de negociações para encontrar soluções globais com objetivo de conter os avanços das mudanças climáticas. Em 1997 foi adotado o *Protocolo de Quioto*, que criou diretrizes e metas que deveriam ser cumpridas por diversos países relacionadas a redução de emissões de gases do efeito estufa. Mais tarde, em 2015, o *Acordo de Paris* foi criado e assinado por 195 países para ampliar o combate às mudanças climáticas, e também intensificar ações e investimentos essenciais para um futuro mais

sustentável e com baixo carbono (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020)[15].

Desde então, diversos países estão implementando medidas para que sejam reduzidas as emissões de carbono e fomentando indústrias mais eficientes para um futuro mais verde. Em um anúncio realizado em 2017, a Noruega foi o primeiro país do mundo a promover a proibição de venda de veículos movidos a gasolina ou diesel após 2025. Outros países como Irlanda, Holanda e Eslovênia seguiram o mesmo caminho e proibiram a venda de veículos dependentes de combustíveis fósseis após 2030. Na Escócia, o prazo final estabelecido foi em 2032, enquanto França e Reino Unido optaram por 2040. Dentre os países emergentes, a Índia escolheu 2030 como prazo para banir a venda desse tipo de veículo, e a China anunciou uma meta de 20% de veículos elétricos em sua frota em 2025 (FGV ENERGIA, 2019)[16].

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) - sigla do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, apontou que em 2018 o setor de transporte em nível mundial foi responsável por 25% das emissões dos gases causadores do efeito estufa[17]. Uma resposta para esse futuro mais sustentável, com baixo teor de carbono pode estar na difusão dos veículos elétricos. Em 2019, o *World Resources Institute* (WRI) apontou 10 soluções necessárias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e dentre as sugestões estavam: mudar para veículos elétricos, investir em energia limpa e eficiência energética[18].

Veículos elétricos são eficientes, tendo seus motores uma eficiência energética, ou seja, uma capacidade de gerar trabalho, que pode chegar a 80% (FGV ENERGIA, 2017)[19], valor muito superior a um motor a combustão interna que varia entre 12 a 30% (*UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY*, 2017)[20]. Além disso, esse tipo de veículo não produz tantos malefícios tanto para a saúde, quanto para o meio ambiente, pois quase não emite poluentes atmosféricos e ruídos sonoros, além de reduzir a dependência por combustíveis fósseis. Os Veículos elétricos ainda podem fornecer a carga de suas baterias como recurso energético distribuído para as redes elétricas (FGV ENERGIA, 2017)[19].

Mesmo com a baixa procura pelos veículos elétricos, vários fatores fizeram com que fosse continuado seu estudo e desenvolvimento. Dentre esses fatores está a baixa ou nenhuma emissão de CO₂, um dos gases causadores do efeito estufa, maior oferta das chamadas fontes de energia verde, surgimento de novos materiais relacionados às baterias, ganhando destaque as baterias de íon-lítio, que são capazes de proporcionar maior autonomia para os veículos elétricos. Com isso, vários governos passaram a incentivar a substituição dos veículos tradicionais pelos veículos elétricos.

De acordo com a IEA (*International Energy Agency*), no ano de 2018 o número total de carros elétricos de passageiros superou a marca de 5 milhões de unidades em todo o mundo. Já em 2019, as vendas cresceram ainda mais, superando a marca de 2,3 milhões de unidades de VEs. Porém apesar dos avanços significativos no número de vendas de VEs, esses representaram apenas 2,6% das vendas globais de carros em 2019, e compõem

apenas 1% de toda a frota mundial de veículos (IEA, 2020)[21].

Apesar das condições favoráveis para a adoção dos VEs, existem muitas dúvidas relacionadas ao tema que impedem a sua ampla difusão, o que pode ser observada pela sua baixa representatividade no número total de veículos no mundo.

Considerando o contexto acima, a realização deste trabalho visa responder a seguinte questão: **"Quais são as barreiras para a difusão dos veículos elétricos"**.

1.2 Objetivos

Neste tópico são expostos o objetivo geral e também os específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as barreiras para a difusão dos veículos elétricos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Levantar as bases de dados e palavras-chave para veículos elétricos;
- b. Realizar o processo de filtragem e enquadramentos dos trabalhos científicos;
- c. Desenvolver a análise cientométrica de citação e cocitação dos trabalhos científicos;
- d. Analisar o conteúdo dos trabalhos científicos;
- e. Construir as oportunidades de pesquisas para veículos elétricos.

1.3 Justificativa

As discussões sobre a transição para os veículos elétricos estão avançadas mundialmente. No Brasil, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), tem discutido com o setor automobilístico a introdução da mobilidade elétrica em larga escala. Há um grupo formado pelo governo, montadoras e setores de autopeças para formação de um consenso sobre o tema. Entre as discussões estão o Programa Rota 2030, que deve estabelecer quais são as diretrizes para o setor nos próximos anos (ABDI, 2017)[22]. O Programa Rota 2030 foi elaborado levando em consideração as profundas transformações que sinalizam o mercado automotivo mundial, transformações essas que podem ser nos próprios veículos, ou na sua forma de utilização ou produção. Um dos focos do programa é o incentivo à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), considerando questões de sustentabilidade ambiental e cidadania (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2018)[23].

Uma transição para os veículos elétricos possibilita novos modelos de negócios, modernização da mobilidade urbana e do setor industrial automotivo, além de impactar o setor energético e ambiental, tornando-se o "carro do futuro"(FGV ENERGIA, 2017)[19].

O Brasil conta com duas eletrovias, uma que liga as duas maiores cidades do país (São Paulo e Rio de Janeiro), e outra que conecta dois extremos do estado do Paraná (Porto de Paranaguá e as Cataratas do Iguaçu). Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), a primeira eletrovia interestadual do Brasil possui cerca de 430 km de distância e seis postos de carregamento, localizados na Rodovia Presidente Dutra (BR-116), entre São Paulo e Rio de Janeiro (ABVE, 2018)[24]. Já a eletrovia paranaense foi inaugurada em 2018, e é a maior eletrovia do país, com abrangência de 740 km e um total de doze eletropostos (ABB, 2019)[25].

Entretanto, conforme a ABVE (2020)[26], o Brasil possui uma frota de 16 mil unidades de veículos elétricos e híbridos, o que representa um número muito pequeno em relação à frota brasileira de automóveis. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2018, a frota de veículos brasileira era composta por cerca de 54 milhões de automóveis (IBGE, 2018)[27].

Além disso, uma pesquisa feita pelo *International Energy Agency* (IEA), com base em dados de vendas de automóveis registradas entre janeiro e abril de 2020, fez uma previsão de que a pandemia causada pela Covid-19 deverá afetar o mercado global de automóveis de passageiros, projetando uma redução de 15% nas vendas. A mesma pesquisa indica que a venda de carros elétricos e veículos comerciais leves permanecerá no mesmo nível de 2019. Além disso, prevê que a venda de veículos elétricos deverá representar 3% das vendas globais de automóveis em 2020, o que ainda é um número baixo (IEA, 2020)[21]. Entretanto, planos de recuperação econômica e industrial pós-pandemia colocam como prioridade os investimentos em fabricação e comercialização de veículos elétricos na França e também, mais investimentos em tecnologias sustentáveis e menos dependência de combustíveis fósseis na Espanha e Alemanha (CONEXÃO PLANETA, 2020)[28].

Apesar de estarem ganhando mais destaque nos últimos anos, os VEs ainda representam pouco da totalidade de veículos em nível mundial. Por isso, a discussão sobre a inserção dos veículos elétricos e seus impactos nos setores ambiental, energético e automotivo torna-se relevante na atualidade. Assim, uma análise cientométrica pode revelar o que está sendo estudado sobre o tema, quais são os autores, países, instituições e as publicações mais relevantes, e ainda através de uma análise de conteúdo revelar quais são as principais barreiras que dificultam a transição para uma mobilidade elétrica. Dessa maneira, o trabalho pode ser revelador para diversos setores, desde as indústrias automobilísticas, engenheiros e projetistas, governos e geradores de políticas, setor energético, ambientalistas e os futuros adotantes dessa nova tecnologia.

1.4 Estrutura da Pesquisa

A estrutura deste trabalho foi segmentada em cinco capítulos. O primeiro deles apresenta as principais características do trabalho desenvolvido, como Introdução, Contextualização do Tema, Objetivos Gerais e Específicos, assim como Justificativa e Estrutura da Pesquisa.

O segundo capítulo é composto pela Revisão de Literatura, e a mesma contém uma descrição do cenário atual em relação aos carros elétricos, desde a origem, diferenças de modelos, características, entre outros. Além disso, também são descritos os diferentes tipos de baterias de carros elétricos e suas principais características.

No terceiro capítulo é descrita a Metodologia de Pesquisa deste trabalho, sendo mostrado o método utilizado e como a pesquisa é caracterizada, além de definir a forma de coleta dos dados, a sua tabulação, e interpretação.

O quarto capítulo apresenta os Resultados e Discussões, expondo os dados iniciais encontrados nas pesquisas realizadas nas bases de dados, a pesquisa bibliográfica documental e análise de conteúdo realizadas, assim como as lacunas de pesquisas identificadas.

Por fim, no quinto capítulo são expostas as Considerações Finais e também Recomendações Futuras.

2 Revisão de Literatura

A Revisão de Literatura tem como objetivo expor os estudos já realizados relacionados a veículos elétricos e suas baterias. Assim, são abordados temas como a origem dos veículos elétricos, os diferentes modelos existentes, suas características, dentre outras informações já publicadas. Também são abordadas as baterias utilizadas nos veículos elétricos e suas principais características.

2.1 Veículos Elétricos

2.1.1 Origem e História

A história dos veículos elétricos está fortemente relacionada com o desenvolvimento das baterias elétricas. Ainda em 1800 descobriu-se que era possível armazenar energia elétrica quimicamente, através de demonstrações do italiano Alessandro Volta. Em 1821 foi a vez de Michael Faraday demonstrar os princípios do motor (ou gerador) elétrico, utilizando a pilha química desenvolvida pelo italiano Volta entre seus componentes. Faraday também foi responsável por demonstrar os princípios da indução eletromagnética. Para isso, utilizou da relação entre corrente elétrica e magnetismo, estabelecendo o que seria a base para os motores e geradores elétricos, que são fundamentais para o funcionamento dos veículos elétricos. (HOYER, 2008)[29].

Os primeiros veículos elétricos apareceram em meados dos anos 1830, nos Estados Unidos, Reino Unido e Países Baixos, ainda que de forma experimental. Os anos seguintes também foram importantes para o desenvolvimento extensivo da eletroquímica. Segundo Barreto (1986)[30], Robert Davison Aberdeen construiu em 1837 uma carruagem elétrica que era movida por uma bateria rústica formada por ferro-zinco, e impulsionada por um motor elétrico.

No ano de 1859, Gaston Planté demonstrou a primeira célula de bateria de chumbo-ácido (BARAN; LEGEY, 2011)[31]. Mais tarde, essas células serviram como base para a criação da bateria de chumbo-ácido, que era utilizada como fonte de energia para os veículos elétricos da época, como o triciclo elétrico de Gustave Trouvé (apresentado na Figura 1), demonstrado na França, em 1881 (HOYER 2008)[29]. Ainda segundo o autor, na década de 1880 foram testados outros triciclos elétricos com baterias de chumbo nos Estados Unidos e Reino Unido. Essa bateria ainda é utilizada nos carros com motor a combustão interna na atualidade.

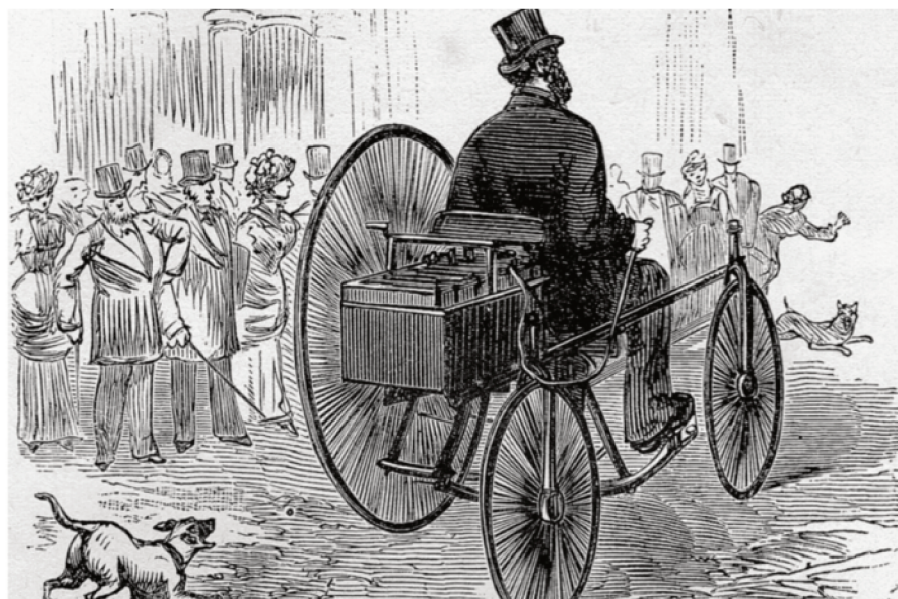


Figura 1 – Triciclo Elétrico de Gustave Trouvé[1].

Em 1885, o alemão Benz demonstrou o primeiro veículo com motor a combustão interna. Porém, o potencial dos veículos elétricos ainda era enxergado, por exemplo, por Thomas Edison. Em 1901, Edison desenvolveu a bateria níquel-ferro, que tinha capacidade de armazenamento em torno de 40% mais elevada que as baterias de chumbo. Em compensação, seu custo de produção também era muito mais elevado (BARAN; LEGEY, 2011)[31]. Neste período também surgiram duas novas opções de baterias com tecnologias mais avançadas, a bateria de níquel-zinco e a bateria de zinco-ar (HOYER, 2008)[29].

Segundo Baran e Legey (2011)[31], entre 1890 e 1900, outras duas tecnologias relacionadas aos veículos foram elaboradas além das baterias. Uma delas foi a frenagem regenerativa, que é um equipamento que transforma a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante uma frenagem. E a outra tecnologia foi o sistema híbrido, utilizando gasolina e eletricidade. Ainda segundo os autores, na virada do século XIX, havia a concorrência de três formas de propulsão entre os automóveis: carro a vapor, carro elétrico e a gasolina[31].

De acordo com Barreto (1986)[30], os carros elétricos eram muito limpos, pois não envolviam qualquer tipo de combustão, estando livre de fuligem e de graxa, além de serem menos barulhentos que os carros a gasolina e menos quentes e fumacentos que os veículos a vapor. Ainda segundo o autor, os veículos elétricos também quebraram recordes de velocidade média da época alcançando valores próximos à 105 km/h por Camille Jenatzy e seu veículo elétrico chamado "*La Jamais Contente*" em 1899. Na Figura 2 é possível observar Jenatzy e seu veículo elétrico.



Figura 2 – Camille Jenatton e seu veículo elétrico[2].

Segundo Baran e Legey (2011)[31], na cidade de Nova York (EUA), no ano de 1903 havia aproximadamente quatro mil automóveis registrados na cidade, sendo esta frota composta por: 53% de automóveis a vapor, 27% a gasolina e 20% tração elétrica. Porém, com a virada do século iniciou-se o declínio dos veículos elétricos com a descoberta de petróleo no Texas (EUA) e o desenvolvimento de técnicas para realizar a destilação de derivados de petróleo de uma maneira mais barata. Isso fez com que a indústria automobilística da época voltasse seus investimentos para o desenvolvimento tecnológico de veículos com motores a combustão interna. Assim, os veículos a gasolina (e mais tarde a diesel) conseguiram atingir níveis de desempenho mais elevados que os VEs da época, desde maior velocidade e aceleração, até menor peso (BARRETO, 1986)[30].

Em 1908, Henry Ford começou a produzir o seu primeiro veículo *Modelo T*. Esse modelo foi o primeiro carro a ser produzido em massa, o que tornou os carros movidos a gasolina amplamente disponíveis e mais acessíveis (MATULKA, 2014)[32]. O modelo da *Ford* é apresentado na Figura 3.

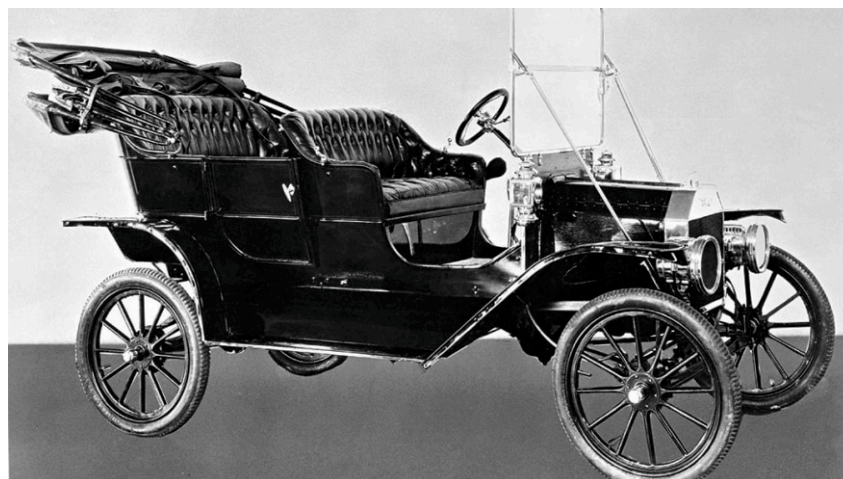


Figura 3 – Ford Modelo T [3] .

Além disso, em 1912, a invenção da partida elétrica fez com que não fosse mais necessário utilizar uma manivela para acionar o motor dos veículos a combustão interna, e a sua introdução nas linhas de montagem fez com que aumentasse ainda mais a venda desse tipo de veículo. (BARAN; LEGEY, 2011)[31].

Na década de 1920, os Estados Unidos possuíam sistemas de estradas melhores entre as cidades, o que fazia com que os americanos quisessem sair e explorar rotas maiores, necessitando maior alcance de seus veículos (CHAN, 2013)[33]. Com isso, estações de abastecimento de gasolina começaram a surgir em todo o território norte americano, inclusive em áreas rurais, onde era possível encontrar combustível por um preço baixo. Por outro lado, não se tinha acesso a eletricidade nessas regiões fora das cidades, o que contribuiu com o quase desaparecimento dos VEs até 1935 (MATULKA, 2014)[32].

Na década de 1940, a descoberta dos abundantes campos petrolíferos no Oriente Médio fez com que caísse ainda mais o preço internacional do petróleo, fortalecendo a indústria automobilística, que focava ainda mais na produção em massa de veículos a combustão interna. Esses foram alguns dos fatores que causaram o declínio dos VEs, mas os principais, segundo Barreto (1986)[30], foram a sua pequena autonomia (entre 50 e 100 km na época), velocidade reduzida (em média, 50 a 100 km/h), a demora na recarga das baterias (que era cerca de 8 horas), além da falta de infraestrutura para atender ao usuário.

Nos quase 30 anos seguintes os veículos elétricos ficaram em segundo plano, tendo poucos avanços tecnológicos. A demanda por veículos movidos a combustível alternativo era muito baixa, devido à concorrência dos combustíveis fósseis (gasolina barata e abundante), além da melhora contínua e avanços tecnológicos do motor a combustão interna (MATULKA, 2014)[32]. Na década de 1960, a *Ford Motor Company* e a *General Motors* chegaram a desenvolver protótipos de VEs. Isso ocorreu quando a opinião pública passou a se preocupar com os problemas ambientais causados pelas emissões dos automóveis da época, pois não havia tecnologias nos carros para conter as suas emissões. Entretanto, esses modelos elétricos não foram produzidos em larga escala (BARAN; LEGEY, 2011)[31].

Conforme Barreto (1986)[30], os VEs começaram a sair do estágio de hibernação no início da década de 1970, em decorrência do agravamento da poluição ambiental nos grandes centros urbanos. Segundo o autor, a crise do petróleo nessa mesma década, fez com que os VEs fossem considerados também uma alternativa energética, principalmente nos países que continham muita geração hidroelétrica ou termoelétrica a carvão. Entretanto, era preciso aprimorar os VEs para que fossem novamente competitivos com os veículos a combustão interna. Mesmo sendo uma década propícia para o desenvolvimento dos VEs, os protótipos desenvolvidos na época não chegaram a ser produzidos em massa nas linhas de produção, pois não eram considerados capazes de competir com os veículos a combustão daquele período (BARAN; LEGEY, 2011)[31]. Os veículos elétricos da década de 1970 ainda eram equipados com baterias de chumbo-ácido, que são como as baterias

tradicionais utilizadas para dar partida nos automóveis a combustão (NOCE, 2009)[34].

Segundo Matulka (2014)[32], em 1971 a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) ajudou a elevar o perfil dos VEs ao produzir o astromóvel *Lunar*, que se tornou o primeiro veículo tripulado a ser dirigido na Lua. Para Noce (2009)[34], exceto por esse caso da NASA, entre outros poucos exemplos, os VEs tiveram pouca repercussão, e a tração elétrica ficou quase que restrita aos meios de transporte coletivo (ônibus, bondes e trens), além do setor industrial (empilhadeiras e máquinas utilizadas em minas). Ainda segundo Noce (2009)[34], em 1974, no Brasil, Gurgel desenvolveu o primeiro veículo elétrico da América Latina, o modelo *Itaipu*, que tinha uma autonomia de 60 km. O modelo brasileiro pode ser observado na Figura 4 a seguir.



Figura 4 – Gurgel Itaipu [4] .

Os esforços para continuar o desenvolvimento e produção de VEs com maior autonomia foram até a metade da década de 1980, quando foi superada a crise do petróleo, o que fez com que seu preço caísse no mercado internacional. Além disso, nessa época também aconteceram avanços na área de eletrônica (desenvolvimento da injeção eletrônica) que permitiram um aumento na eficiência dos motores a combustão e redução nas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Ainda nessa época, o Brasil iniciou o programa do governo "Proálcool", o que inviabilizou ainda mais a produção e incentivo aos VEs no país (NOCE, 2009)[25].

Na década de 1990 surgiram novas medidas associadas às preocupações com o clima. O estado da Califórnia (EUA) implementou as suas primeiras normas regulatórias relacionadas à emissão zero de GEE, passando a exigir que os fabricantes de automóveis vendessem veículos elétricos dentro de seu território (SOVACOOOL; HIRSH, 2009)[35]. Em 1992, a conferência *Rio-92* sobre o meio ambiente do planeta discutiu pela primeira vez o aquecimento global, e o uso extensivo de energia fóssil, além de salientar a necessidade de uma transição para fontes renováveis de energia. No evento, 179 países assinaram a

Agenda-21, ressaltando a importância para a construção de uma sociedade sustentável. Ainda em 1992, a União Europeia estabeleceu uma nova política de transportes através de uma estratégia para a mobilidade sustentável (BARAN; LEGEY, 2011)[31].

Ainda nessa década, o CARB (*California Air Resources Board*) órgão do governo da Califórnia, responsável pelo monitoramento da qualidade do ar no estado, estabeleceu cotas de vendas de VEs com emissão zero que deveriam ser atingidas em determinados prazos. Para o ano de 1998, a cota era de 2%, enquanto em 2001 o valor da cota de vendas era de 5%, e por fim, em 2003 a meta seria de 10%. Os estados de Nova York e Massachusetts foram pelo mesmo caminho e adotaram medidas parecidas com essas praticadas na Califórnia. O governo chegou a estabelecer bônus em dinheiro para cada veículo elétrico de emissão zero vendido. Isso motivou grandes empresas como a *General Motors* e a *Honda* a começarem a desenvolver VEs que seriam competitivos no mercado (BARAN; LEGEY, 2011)[31].

Várias empresas foram contrárias às novas determinações do CARB, e algumas montadoras de veículos alegavam que os VEs seriam muito caros para que os consumidores pudessem adquirir, e além disso, que o chumbo presente nas baterias seria prejudicial ao meio ambiente, assim como a gasolina. As companhias de petróleo também foram contrárias as novas determinações e promoveram financeiramente políticos contrários aos VEs, o que resultou na postergação no cronograma de vendas do CARB em 1996 (SOVACOO; Hirsh, 2009; BARAN; LEGEY, 2011)[36][31].

Em 1997, a *Mercedes-Benz* lançou o modelo *Necar 3* (apresentado na Figura 5), um VE movido a célula de combustível que normalmente utiliza hidrogênio para produzir corrente elétrica (SILVEIRA, 2020)[37]. Porém, o VE que teve maior aceitação na época foi o *Toyota Prius* lançado no Japão no mesmo ano, e que se tornou o primeiro veículo elétrico híbrido (HEV) produzido em larga escala da história. Na Figura 6 é possível observar como era o modelo híbrido *Toyota Prius*. Nos anos 2000, o modelo foi lançado mundialmente utilizando uma bateria de níquel-hidreto metálico, e foi bastante aceito pelo mercado. A crescente preocupação ambiental e as altas no preço da gasolina auxiliaram o modelo a se tornar o híbrido mais comercializado no mundo inteiro (MATULKA, 2014)[32]. Segundo Baran e Legey (2011)[31], ainda em 1997, a *Audi* lançou o modelo híbrido *DUO*, que foi o primeiro híbrido europeu. Entretanto o HEV da *Audi* não teve uma boa aceitação do público, que estava interessado no mercado de produtos a diesel desenvolvidos na época. E em 2003, foi a vez da empresa *Honda* lançar o modelo *Civic* híbrido, e no ano seguinte, foi lançado o modelo *Escape* pela *Ford*.



Figura 5 – Mercedes-Benz NECAR 3 1997 - (FCEV) [5] .



Figura 6 – Modelo Híbrido Toyota Prius 1997 - (HEV) [6] .

Em 2006, ocorreu outro evento que segundo Matulka (2014)[32] ajudou a remodelar os VEs. Tal anúncio foi que a *Tesla Motors*, uma empresa do Vale do Silício, iniciaria a produção de carros elétricos esportivos de luxo que seriam capazes de percorrer mais de 200 milhas com apenas uma carga. Com ajuda do Departamento de Programas de Empréstimos, que faz parte do Departamento de Energia dos EUA, a *Tesla* conseguiu montar uma fábrica na Califórnia. Em pouco tempo a empresa ganhou amplo reconhecimento por seus VEs. Um dos diferenciais da *Tesla*, em relação a outras empresas do setor, é que a sua cadeia de fornecimento tem um alto grau de integração vertical, o que inclui a fabricação de suas próprias baterias e componentes, além da propriedade e operação de seus próprios carregadores (LONG et al., 2019)[38].

O sucesso da empresa *Tesla* incentivou outras grandes montadoras a acelerar o projeto de seus futuros VEs. Em 2010, a *General Motors* lançou no mercado o modelo *Chevy Volt*, que foi o primeiro veículo elétrico híbrido *plug-in* (PHEV) disponível no mercado.

Esse tipo de veículo tem um motor a gasolina que pode ser utilizado quando a bateria se esgota, ampliando seu alcance quando necessário. O modelo também foi lançado com outra novidade no mercado: as baterias de íons de Lítio. No mesmo ano ainda foi lançado o *Nissan Leaf*, um veículo elétrico a bateria (BEV), sendo movido apenas por um motor elétrico (MATULKA, 2014)[32]. Os modelos lançados pela *General Motors* e pela *Nissan* são apresentados respectivamente na Figura 7 e na Figura 8.



Figura 7 – Modelo Chevy Volt 2010 - (PHEV) [7] .



Figura 8 – Modelo Nissan Leaf 2010 - (BEV) [8] .

Segundo Matulka (2014)[32], nos anos seguintes outras montadoras lançaram outros modelos de VEs no mercado, porém os consumidores enfrentavam uma das primeiras barreiras para a adoção desse tipo de veículo: onde carregar seus veículos. Nos Estados Unidos, incentivos governamentais possibilitaram a construção de uma infraestrutura nacional de recarga, espalhada por locais estratégicos, ao mesmo tempo que o governo incentivava a instalação de carregadores residenciais, comerciais e redes elétricas inteligentes. Novos estudos sobre as baterias, principalmente pelo Departamento de Energia do Escritório de Tecnologias Veiculares dos EUA ajudaram a melhorar o desempenho

das novas baterias dos VEs, sendo esses estudos fundamentais para a redução dos custos desses veículos, tornando-os mais acessíveis (MATULKA, 2014)[32].

2.1.2 Classificação dos Veículos Elétricos

Neste item é apresentada a classificação dos principais modelos de veículos elétricos e suas características.

2.1.2.1 Veículo Elétrico Híbrido (HEV)

Veículos elétricos híbridos ou HEVs (do inglês *hybrid electric vehicle*) são compostos por dois motores, um motor de combustão interna e um motor elétrico (EGBUE; LONG, 2012)[39]. As baterias que acionam o motor elétrico, são recarregadas pelo próprio veículo através da frenagem regenerativa (ANTUNES, 2018)[40] e pelo motor de combustão interna (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2020)[9]. A frenagem regenerativa converte a energia cinética do veículo em energia elétrica, que é armazenada na bateria do veículo e utilizada novamente quando solicitada. A energia é recuperada não somente quando o motorista aciona o freio, mas também ocorre quando retira o pé do acelerador com o veículo em movimento (NUNES JUNIOR, 2014)[41]. Na Figura 9 são indicados os principais componentes desse tipo de veículo.

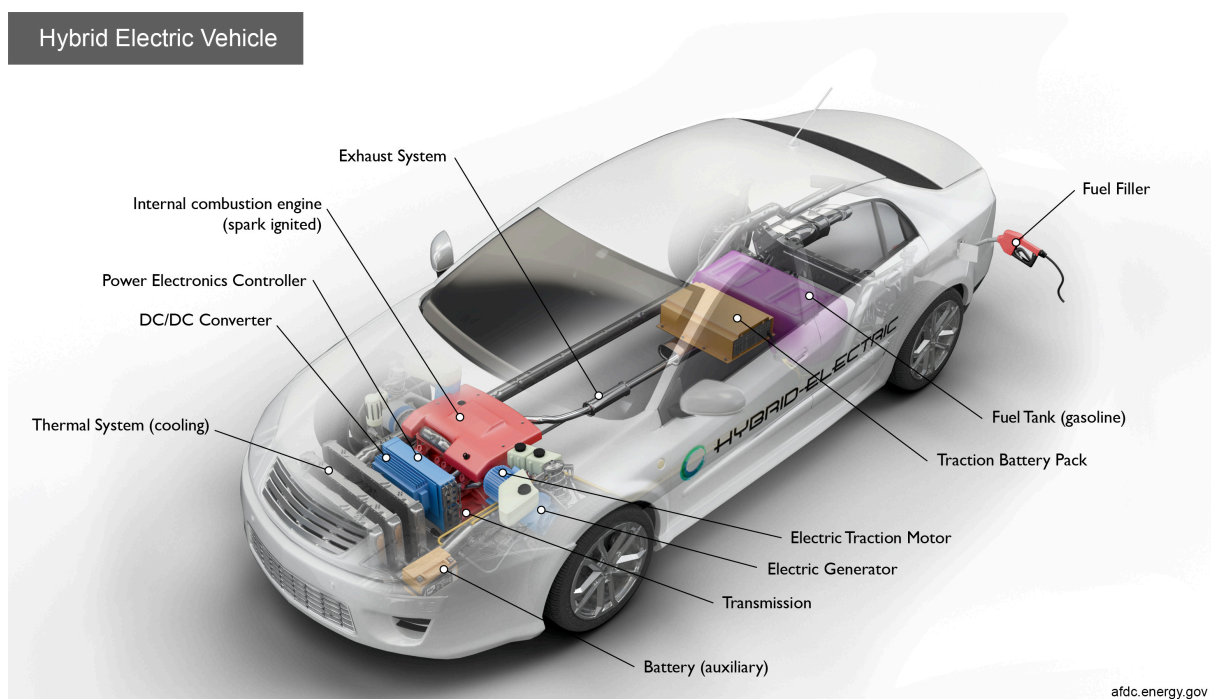


Figura 9 – Principais componentes de um HEV[9].

2.1.2.2 Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in* (PHEV)

Veículos elétricos híbridos *plug-in* ou PHEVs (do inglês *plug-in hybrid electric vehicle*) também são compostos por dois motores, um motor de combustão interna e um motor elétrico. Esse tipo de veículo possui baterias elétricas mais poderosas que podem ser carregadas em tomadas comuns ou em postos de carregamento. Entre os benefícios dos PHEVs estão melhor economia de combustível, menor custo de operação e menos emissões que os HEVs e os veículos convencionais. Além disso, esse tipo de veículo oferece flexibilidade de fonte de combustível (EGBUE; LONG, 2012)[39]. Na Figura 10 são indicados os principais componentes de um PHEV.

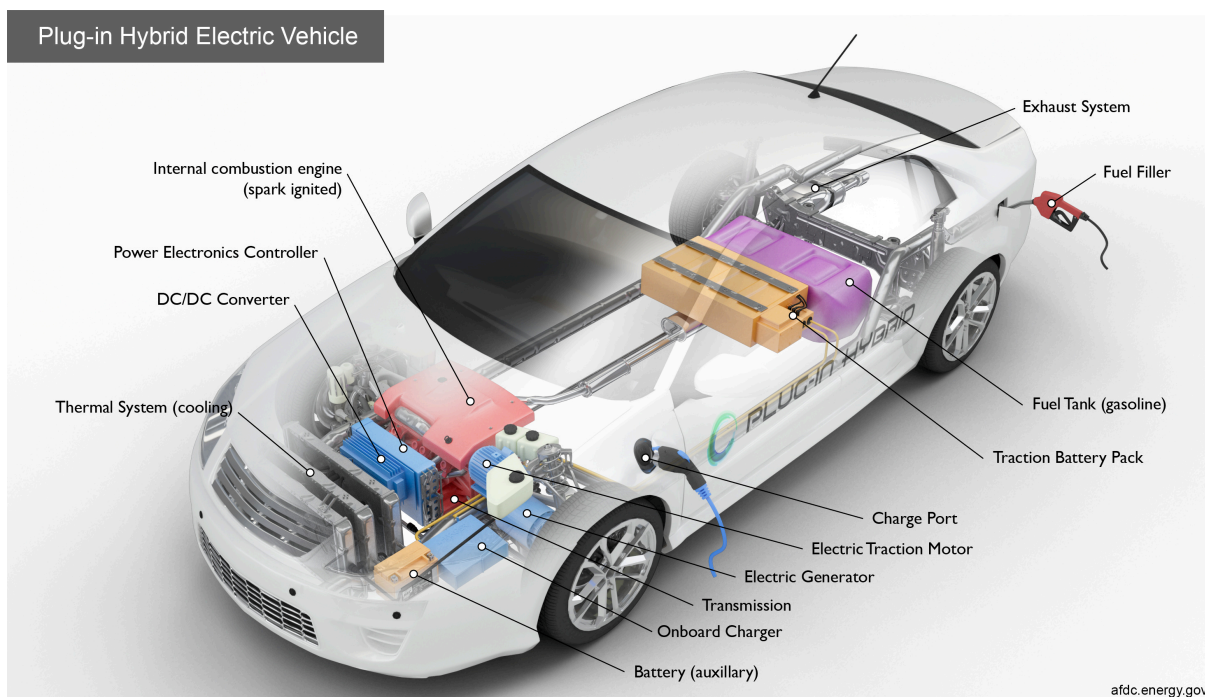


Figura 10 – Principais componentes de um PHEV[10].

Além disso, um dos diferenciais do PHEV é a sua capacidade de operar em *smart grids* (redes inteligentes). Esse tipo de rede permite controlar as entradas e saídas de forma dinâmica e eficiente, pois possui capacidade bidirecional de fluxo energético (DEGANI, 2020)[42]. Essa tecnologia permite que os VEs atuem como *buffers* da rede de distribuição, carregando suas baterias quando a demanda energética for baixa e descarregando a sua energia na rede nos horários de pico energético (BARAN; LEGEY, 2011)[31].

2.1.2.3 Veículo Elétrico a Bateria (BEV)

Os veículos elétricos a bateria ou BEVs (do inglês *battery electric vehicle*) derivam energia motriz exclusivamente de baterias elétricas a bordo. Essas baterias podem ser carregadas com um plugue através de uma tomada elétrica. Esse tipo de veículo não aceita combustíveis líquidos e não gera emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, além

de ser mais barato de operar que HEVs semelhantes e veículos convencionais (EGBUE; LONG, 2012)[39]. Os BEVs também podem ser conectados às *smarts grids*. Na Figura 11 são indicados os principais componentes de um BEV. É possível observar que o tanque de combustível não está mais presente nesse tipo de veículo, assim como o motor a combustão.

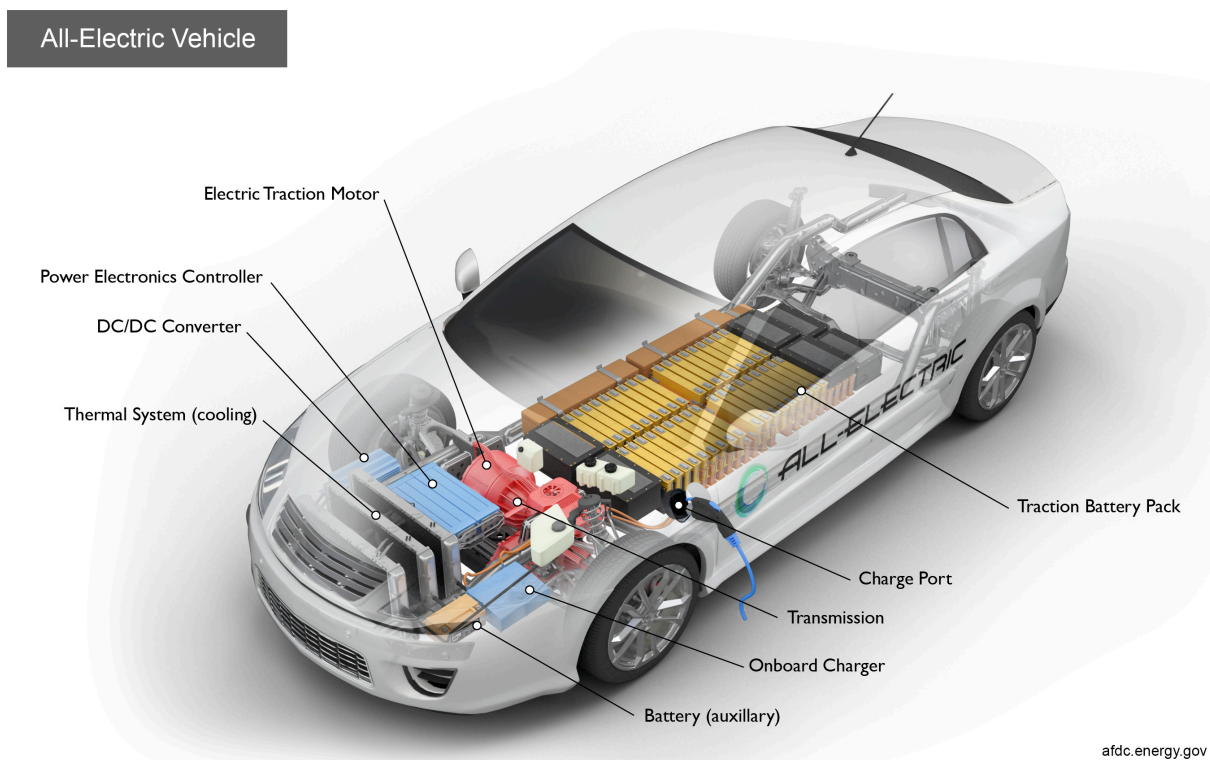


Figura 11 – Principais componentes de um BEV[11].

2.1.2.4 Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV)

Os veículos elétricos a célula de combustível FCEVs (do inglês *fuel-cell electric vehicle*) produzem, normalmente a partir de gás hidrogênio, a energia elétrica requerida a bordo. Isso é possível ser feito através de uma célula de combustível (WANITSCHKE; HOFFMANN, 2019)[43].

O princípio básico de funcionamento de uma célula a combustível é através da combinação de hidrogênio e oxigênio para a produção de uma corrente elétrica. Essa corrente é responsável por acionar o motor, tendo como produtos residuais água e calor (RENZI; CRAWFORD, 2000)[44].

Como a produção de eletricidade é através de uma reação química, a célula de combustível tem um princípio de funcionamento semelhante ao de uma bateria. Porém, diferente das baterias que tem seus reagentes químicos esgotados ao longo de sua vida útil, a célula de combustível não se esgota ou requer recarga, e continua a produzir eletricidade enquanto seus combustíveis (hidrogênio e oxigênio) forem fornecidos (RENZI; CRAWFORD, 2000)[44]. Na Figura 12 são indicados os principais componentes de um

FCEV. É possível observar que para esse tipo de veículo são necessários tanques para o armazenamento do hidrogênio.

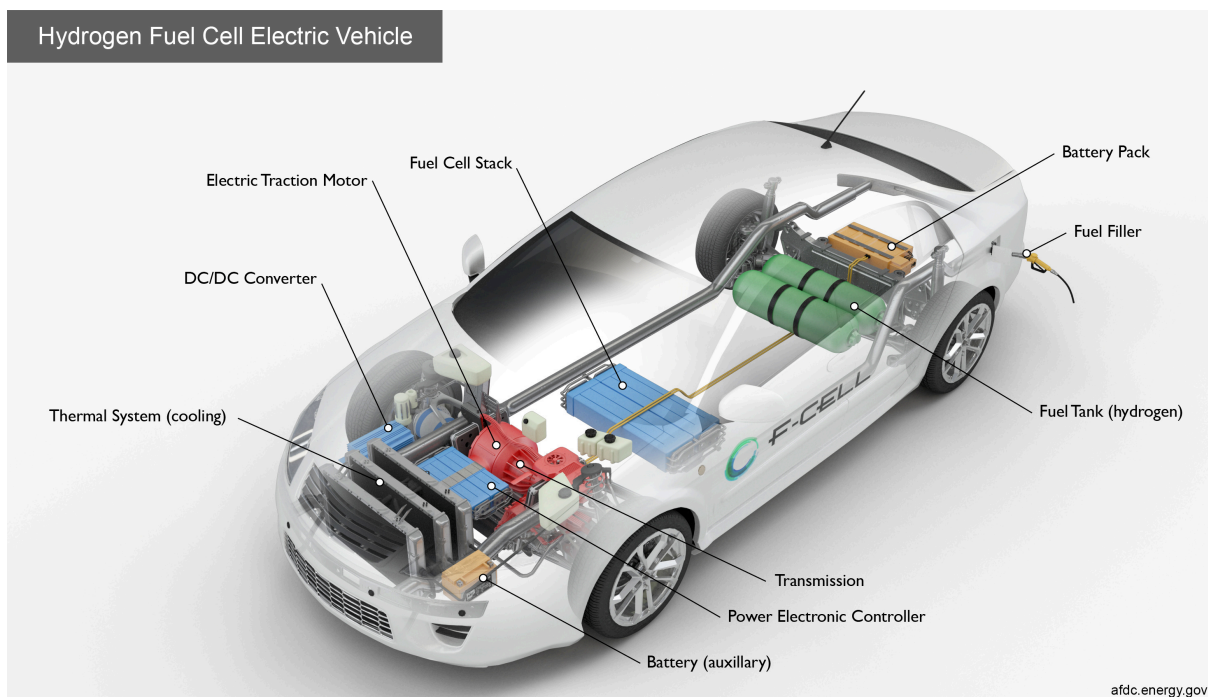


Figura 12 – Principais componentes de um FCEV[12].

2.2 Sistemas de Armazenamento de Energia dos Veículos Elétricos e suas Características

Segundo Freitas (2012)[45], existem diversos sistemas de armazenamento de energia, os quais variam conforme o tipo de motorização utilizada.

2.2.1 Baterias

Uma bateria pode ser definida como um dispositivo composto por uma ou várias células unitárias responsáveis por converter energia química em energia elétrica (e vice-versa). Existem dois grandes grupos de baterias: as primárias (que são não recarregáveis) e as secundárias (ou recarregáveis), sendo apenas o segundo grupo recomendado para aplicações em VEs (FREITAS, 2012)[45].

Diversos materiais são utilizados na composição de baterias para veículos elétricos. Segundo Freitas (2012)[45] as principais baterias para essa aplicação são: baterias de Chumbo-ácido, NiMH (Níquel-Hidreto Metálico), Li-ion (íons de Lítio) e LiFePO₄ (Lítio-Fosfato de Ferro).

Além disso, as baterias dos veículos elétricos podem ser caracterizadas por diversos fatores, como sua densidade, potência, eficiência, ciclo de vida e velocidade de carga. Conforme Iberdrola (2019)[46]:

- A **densidade de energia** de uma bateria representa a quantidade de energia que a mesma consegue armazenar em relação ao seu peso. Quanto maior for a sua densidade, maior é a sua capacidade de armazenamento, o que aumenta a autonomia do veículo. A densidade de energia de uma bateria é expressa por Wh/kg (Watts-hora por quilograma);
- A **densidade de potência** é expressa em W/kg (Watts por quilograma), e refere-se à potência que pode ser proporcionada por cada quilo de peso da bateria;
- A **eficiência** é medida pelo rendimento da bateria, que é a porcentagem de energia que a mesma é capaz de prover em relação a energia injetada no processo de carga;
- O **ciclo de vida** representa o número de vezes que uma bateria é capaz de ser carregada antes que tenha que ser substituída, conforme sua perda de capacidade. Quanto maior o número de ciclos de vida, mais duradoura é a bateria;
- Já a **velocidade de carga**, é o tempo que a bateria demora para ser carregada.

As baterias de Li-ion têm uma elevada densidade de energia e potência, e por isso são consideradas como uma fonte de energia vital para os veículos elétricos (PERNER; VETTER, 2015)[47].

A Figura 13 apresenta um conjunto de módulos que formam as baterias de lítio-ion, as mais utilizadas em veículos elétricos.



Figura 13 – Conjunto de módulos de uma bateria de lítio-ion de um VE[13].

2.2.2 Células de Combustível

Uma célula de combustível tem um funcionamento similar ao de uma bateria (SILVEIRA, 2020)[37]. De acordo com Freitas (2012)[45], para fornecer energia, uma célula de combustível precisa ser alimentada com combustível (que normalmente é hidrogênio) e oxigênio. O hidrogênio fica armazenado em um depósito pressurizado e o oxigênio é retirado do ar ambiente. A reação química desses elementos produz corrente elétrica através de um processo eletroquímico, liberando calor e água como subprodutos. De acordo com Fereguetti (2019)[48], os veículos elétricos movidos a célula a combustível hidrogênio são abastecidos de uma maneira semelhante ao combustível convencional.

Os conceitos e as temáticas apresentados anteriormente são utilizados como base para o entendimento da análise realizada nos capítulos seguintes. Entretanto, os procedimentos metodológicos da pesquisa são expostos a seguir.

3 Metodologia

A fim de atribuir maior credibilidade a esta pesquisa e também atingir os objetivos propostos é necessário que seja definida a metodologia de pesquisa a ser aplicada. Com isso, pretende-se demonstrar os métodos utilizados de tal maneira que o trabalho seja facilmente compreendido não somente pelo pesquisador, assim como o leitor. Neste capítulo são abordadas questões relacionadas à definição da metodologia científica aplicada, além de como a pesquisa é classificada, a ferramenta utilizada para a coleta dos dados e a organização dos mesmos.

3.1 Classificação da Pesquisa

Esta pesquisa do ponto de vista da natureza está classificada como básica, pois tem como objetivo gerar conhecimentos novos e úteis que auxiliam o avanço da ciência. Em relação aos procedimentos técnicos, é enquadrada como um estudo bibliográfico e documental, pois trata-se de dados e verificações provenientes de trabalhos já realizados sobre o assunto (GIL, 2002)[49].

A abordagem do problema a ser tratado é qualitativa, e utilizada para a compreensão das barreiras dos veículos elétricos. Por fim, do ponto de vista relacionado aos seus objetivos, esta pesquisa é classificada como exploratória e descritiva, em razão de proporcionar maior familiaridade com o problema com intenção de torná-lo explícito. Para isso, é utilizada a correlação das características de determinado fenômeno entre as variáveis, com objetivo de conhecer com a maior precisão possível, a frequência com que um fenômeno ocorre e suas relações e conexões (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005)[49][50].

Quanto ao método científico empregado, faz-se uso do raciocínio dedutivo. O raciocínio parte dos princípios reconhecidos como verdadeiros e não discutíveis, o que possibilita chegar à conclusão de maneira tão somente formal, devido a sua lógica (GIL, 2002)[49].

3.2 Revisão de Literatura Estruturada – SYSMAP

A revisão de literatura é considerada de extrema importância para o desenvolvimento e compreensão do estado da arte de um tema em estudo (VAZ; URIONA-MALDONADO, 2017)[14]. Para a realização deste trabalho, foi utilizado o método SYSMAP (*Scientometric and sYStematic yielding MApping Process*), cujo objetivo é apresentar de uma maneira estruturada os principais processos para a realização de uma revisão de literatura, através da combinação da análise cientométrica e análise de conteúdo. O método SYSMAP é composto por quatro fases, conforme apresentado na Figura 14.



Figura 14 – Modelo do método SYSMAP[14].

As fases do SYSMAP podem ser divididas em construção, filtragem, cientometria e sistemática. As mesmas são descritas respectivamente a seguir.

I) Fase de construção: baseia-se na definição das palavras-chave, em que é preciso obter uma busca eficiente para o estudo em questão, e a escolha das bases de pesquisa para a coleção a ser analisada;

II) Fase de filtragem: identificam-se os artigos duplicados e também se organizam os artigos pelos títulos e resumos;

III) Fase de cientometria (ou bibliometria): realiza-se o mapeamento dos principais autores, assim como periódicos e palavras-chave, entre outros dados relevantes sobre o tema a ser analisado.

IV) Fase sistemática (ou de conteúdo): constrói-se as lacunas de pesquisa do tema abordado, após a leitura integral dos artigos.

Neste trabalho, a primeira fase, que é a construção da coleção de documentos, desenvolveu-se a partir das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. A primeira base foi escolhida por poder alcançar todos os periódicos indexados com um alto valor de impacto calculado no *Journal Citation Reports* (JCR). Já a segunda base foi selecionada por ser o maior banco de dados de literatura revisada por pares (MORIOKA; CARVALHO, 2016)[51].

Para realizar a pesquisa, utilizou-se a combinação das palavras chaves: ((“*Electric*

vehicle” OR “*Electric car*” OR “*Electric mobility*”) AND (“*Barrier*” OR “*Obstacle*” OR “*Blocking*”). Esta pesquisa foi realizada até o mês de março de 2020, e não houve restrição temporal inicial nas bases de dados. Nas Figuras 15 e 16 apresentam-se exemplos destas etapas da pesquisa para a base de dados *Web of Science* e nas Figuras 17 e 18 para *Scopus*.

The screenshot shows the Web of Science search page. At the top, there are navigation links for various databases and user options. The main search area contains the query: ("Electric vehicle" OR "Electric car" OR "Electric vehicle") AND ("barrier" OR "Obstacle" OR "Blocking"). The search is set to the "Web of Science Core Collection" database. Below the search bar, there are options for "Tempo estipulado" (Time specified) set to "Todos os anos (1945 - 2020)". There are also checkboxes for "MAIS CONFIGURAÇÕES" (More configurations) including citation indexes like SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, and ESCI. A "Pesquisa" (Search) button is visible on the right.

Figura 15 – Exemplo de busca realizada na base de dados *Web of Science*.

The screenshot shows the search results page for the same query. It displays 348 results. The first four results are listed:

- EV driver characteristics: Evidence from Hawaii** by Wee, Sheryln; Coffman, Makena; Allen, Scott. TRANSPORT POLICY. Volume: 87. Pages: 33-40. Published: MAR 2020.
- A review of micro and mild hybrid systems** by Cardoso, Daniel S.; Fael, Paulo O.; Espirito-Santo, Antonio. Conference: 6th International Conference on Energy and Environment Research (ICEER) - Energy and Environment - Challenges Towards Circular Economy Location: Univ Aveiro, Aveiro, PORTUGAL Date: JUL 22-25, 2019. Sponsor(s): Polytechn Porto, Inst Super Engrn Porto; SCIEI; CESAM; CIETI; LEPABE Res Labs; Climate, Energies & Sustainabil Journals. ENERGY REPORTS. Volume: 6. Supplement: 1. Pages: 385-390. Published: FEB 2020.
- Public charging infrastructure for plug-in electric vehicles: What is it worth?** by Greene, David L.; Kontou, Eleftheria; Borlaug, Brennan; et al. TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT. Volume: 78. Article Number: UNSP 102182. Published: JAN 2020.
- Clean energy and transport pathways for islands: A stakeholder analysis using Q method** by Kougias, Ioannis; Nikitas, Alexandros; Thiel, Christian; et al.

 The page includes a "Refine Results" sidebar on the left with filters for "Open Access (62)" and "Publication Years" (2020 (4), 2019 (65), 2018 (56)). There are also buttons for "Export to Other File Formats" and "Add to Marked List".

Figura 16 – Exemplo de resultado de busca realizada na base de dados *Web of Science*.

The screenshot shows the Scopus search interface. At the top, there is a navigation bar with the Scopus logo, search options (Search, Sources, Lists, SciVal), and user options (Create account, Sign in). The main heading is "Document search". Below this, there are tabs for "Documents", "Authors", "Affiliations", and "Advanced". The search query is displayed as: `((("Electric vehicle" OR "Electric car" OR "Electric vehicle") AND ("barriers" OR "Obstacles" OR "Blockings"))) AND DOCTYPE(ar) AND (EXCLUDE(SUBJAREA, "ENGI") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "MATE") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "CHEM") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "COMP") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "MATH") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "PHYS") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "CENG") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "BIOC") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "EART") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI")))`. There are also filters for "Limit", "Date range (inclusive)" (set to "All years" to "Present"), "Document type" (set to "Article"), and "Access type" (set to "All"). A "Search" button is at the bottom right.

Figura 17 – Exemplo de busca realizada na base de dados *Scopus*.

The screenshot shows the Scopus search results page for 128 document results. The search query is repeated at the top. Below the query, there are options to "Edit", "Save", "Set alert", and "Set feed". The results are displayed in a table with columns: Document title, Authors, Year, Source, and Cited by. The first result is: "Inter-niche competition on ice? Socio-technical drivers, benefits and barriers of the electric vehicle transition in Iceland" by Lin, X., Sovacool, B.K., published in 2020 in "Environmental Innovation and Societal Transitions", pp. 1-20, with 0 citations. The second result is: "Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges" by Deng, J., Bao, C., Denlinger, A., Miller, T., published in 2020 in "Joule", pp. 511-515, with 0 citations. There is a "Refine results" sidebar on the left with filters for "Access type" (Open Access: 30, Other: 98) and "Year" (2020: 10, 2019: 30, 2018: 19).

Figura 18 – Exemplo de resultado de busca realizada na base de dados *Scopus*.

Para a construção da coleção de documentos a serem analisados, que corresponde a Fase 1 do método SYSMAP, foi utilizada a combinação de palavras-chave nas duas bases de dados escolhidas para a realização da pesquisa. Como resultado, foram encontrados 348 documentos na base de dados *Web of Science* e 128 documentos na base *Scopus*, totalizando 476 documentos, que formaram a amostra I.

Para a Fase 2, que corresponde a filtragem dos documentos, foi utilizado o *software EndNote*. Primeiramente foram retirados os resultados duplicados, restando apenas 437 documentos. Esses 437 documentos foram utilizados para a realização da Fase 3 (análise cientométrica) do método SYSMAP. Em seguida, continuando com o processo de filtra-

gem, foram retirados os resultados que não estavam disponíveis nas bases de dados para o acesso da Universidade Federal de Santa Catarina, restando apenas 235 documentos. Por fim, foi realizada uma nova filtragem desses 235 documentos, a partir da leitura de seus títulos e resumos, sendo selecionados conforme seu alinhamento com o tema (documentos técnicos ou que não apresentavam informações sobre as barreiras e obstáculos de veículos elétricos foram descartados). No total foram selecionados 44 artigos como alinhados ao tema deste trabalho, sendo utilizados posteriormente na Fase 4 (análise de conteúdo ou sistêmica). Esses filtros têm a função de eliminar artigos indesejáveis e melhorar o processo de pesquisa, de modo a não dedicar tempo desnecessário à leitura integral de artigos que não agregam valor ao objetivo do estudo.

Quando se trabalha com um número de documentos grande, acima de 500, pode-se usar *softwares* complementares para essas análises para auxiliar no processo, com o *NVivo* que trabalha com o conceito de projeto. Que as fontes de informação do projeto, assim como os dados gerados durante o processo de análise e, como categorias de informações, são armazenadas em um banco de dados (LAGE, 2011)[52]. E o *software Atlas.ti* que consiste em uma ferramenta para a análise de dados qualitativos que pode facilitar o gerenciamento e a interpretação desses dados (WALTER; BACH, 2015)[53]. Porém, para este trabalho não foram utilizados esses *softwares* para análises de conteúdo devido o número de documentos ter sido pequeno.

A terceira fase (Fase 3), que compreende a análise cientométrica ou bibliométrica, foi realizada com o auxílio dos *softwares RStudio, VOSviewer e CitNetExplorer*. Esses *softwares* foram utilizados para o levantamento e análise de dados como principais autores, números de produções por ano, principais países que desenvolveram pesquisas relacionadas ao tema, entre outros.

Posteriormente, na Fase 4 (análise sistêmica), procedeu-se a leitura na íntegra do conteúdo dos 44 artigos selecionados como alinhados ao tema (ainda na Fase 2). Os trabalhos foram analisados conforme ênfase do presente estudo. Dos 44 artigos, 2 foram descartados, pois apesar de parecerem estar alinhados ao tema pelos seus títulos e resumos, não se enquadravam com essa pesquisa. Desta forma, restaram apenas 42 artigos para a análise sistêmica (amostra II). Para facilitar a organização dessa etapa e também facilitar a visualização e leitura dos documentos conforme foram organizados, optou-se pelo uso do software *EndNote*. Em seguida, os trabalhos selecionados foram categorizados a partir da leitura integral dos 42 artigos, realizando-se um agrupamento das barreiras e obstáculos encontrados para os veículos elétricos. Sendo assim, a categorização resultou em:

- Quais os conceitos e definições sobre o assunto usado pelos autores?
- Quais os tipos de metodologias usado pelos autores?
- Quais as regiões/países/setores dos autores?

- Quais as barreiras e obstáculos identificadas pelos autores?
- Quais as recomendações de trabalhos futuros pelos autores?

Para maior entendimento dessas fases, a Figura 19 mostra todo o procedimento descrito acima.

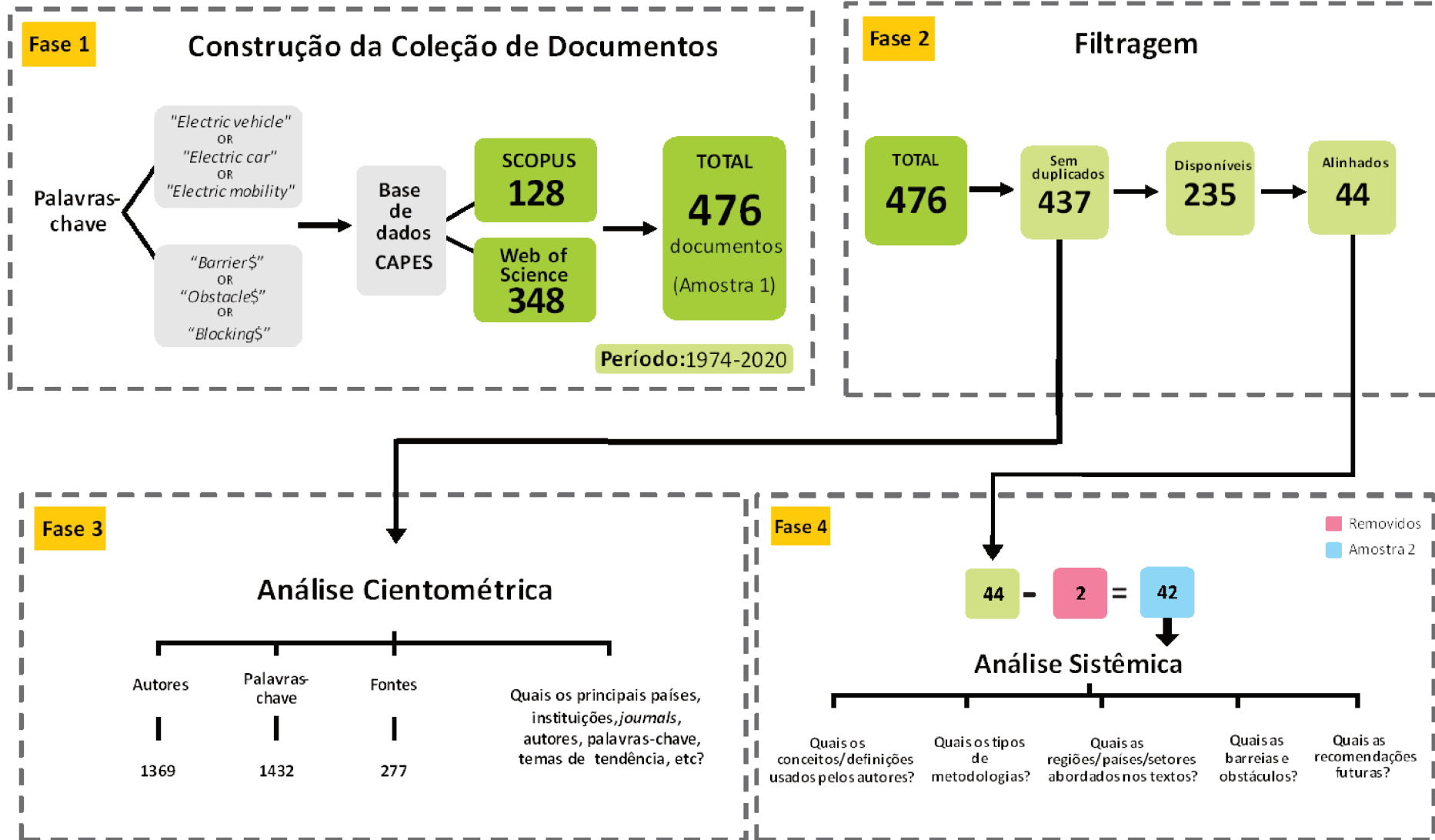


Figura 19 – Fases do método SYSMAP conforme esta pesquisa.

3.3 Análise e Tabulação dos Dados

Para a realização deste trabalho, utilizou-se os *softwares* *EndNote*, *VOSviewer*, *CitNetExplorer* e *RStudio* para executar a análise e tabulação dos dados. Estes *softwares* são descritos a seguir.

3.3.1 *EndNote*

É um *software* gestor de referências bibliográficas, produzido pela *Thomson Scientific*, e trabalha integrado para a *Web of Science*. O mesmo facilita o trabalho de pesquisa e escrita de trabalhos científicos, além de permitir reunir referências bibliográficas a partir de bases de dados *on-line*, importando os metadados e agrupando-os de diversas formas (HERBERT, 2002)[54].

O programa *Endnote* foi utilizado neste trabalho para gerenciar as referências, além de importar os metadados das duas bases de dados, *Web of Science* e *Scopus*. Na Figura 20 é possível observar como é a janela do *software Endnote x9*.

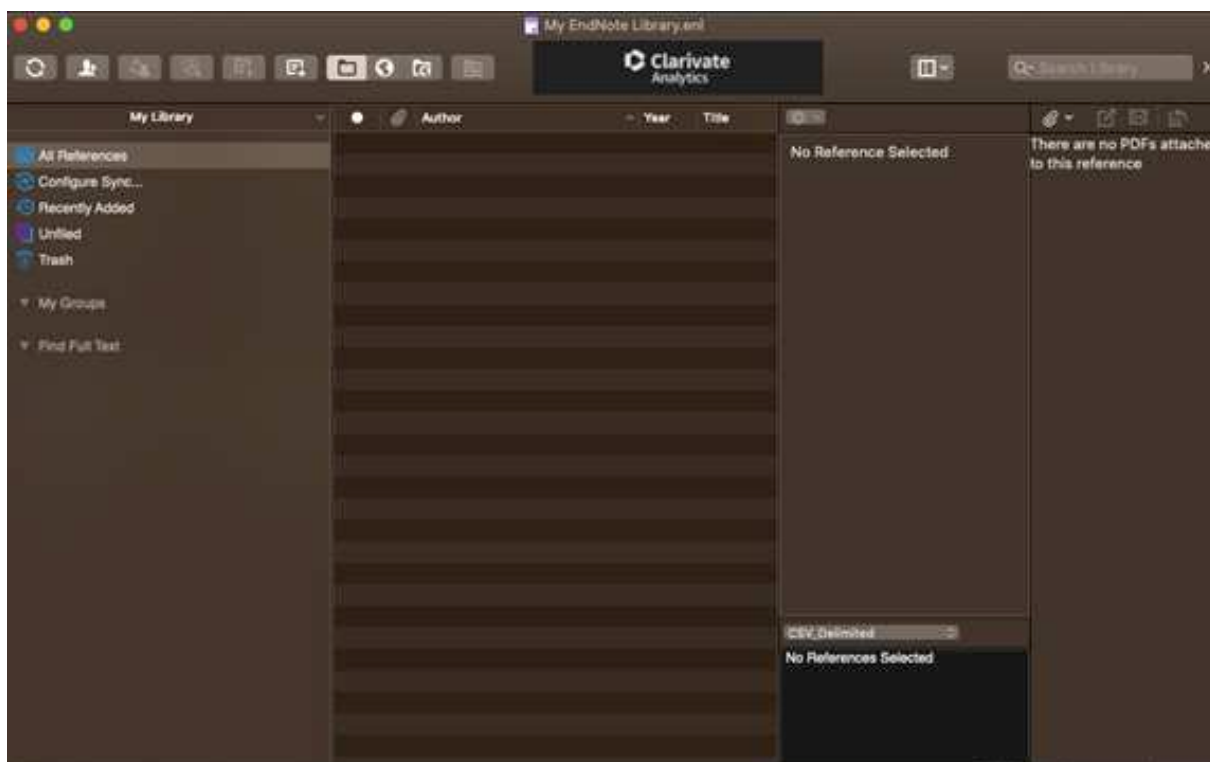


Figura 20 – Janela do *software EndNote*.

3.3.2 *VOSviewer*

É utilizado para construir redes bibliométricas através de dados baixados de bases de dados bibliográficas, como a *Web of Science* e *Scopus*. Este *software* oferece ao usuário a

escolha entre o uso de métodos de contagem total e fracionária (VAN ECK & WALTMAN, 2010)[55].

O *software* foi utilizado para realizar as análises de redes de cocitação de autores, assim como instituições, países e co-ocorrência das palavras-chave. Na Figura 21 é possível observar uma janela com o *software VOSviewer*.

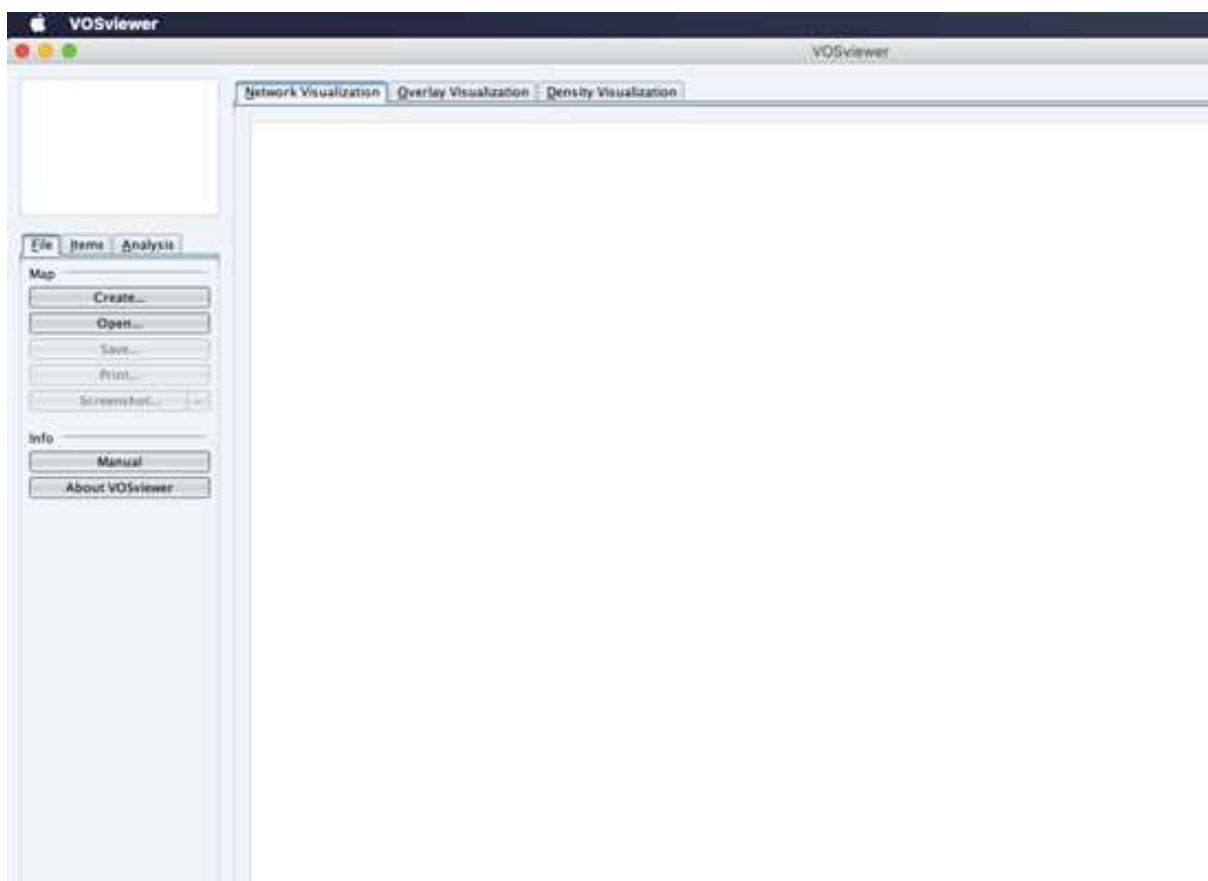


Figura 21 – Janela do *software VOSviewer*.

3.3.3 *CitNetExplorer*

O *CitNetExplorer* é um software que permite realizar análises e visualizações de redes de citações de publicações científicas. Esta ferramenta pode ser utilizada para estudar o desenvolvimento de um campo de pesquisa, delinear a literatura sobre um tópico de pesquisa, ou então, apoiar a revisão da literatura. É possível importar redes de citação diretamente do banco de dados do *Web of Science* (VAN ECK & WALTMAN, 2014)[56].

A utilização do *software* se deu para a realização de análise de historiograma dos autores. Na Figura 22 é possível observar um exemplo de uma janela do *software CitNetExplorer* usado para a realização do trabalho.

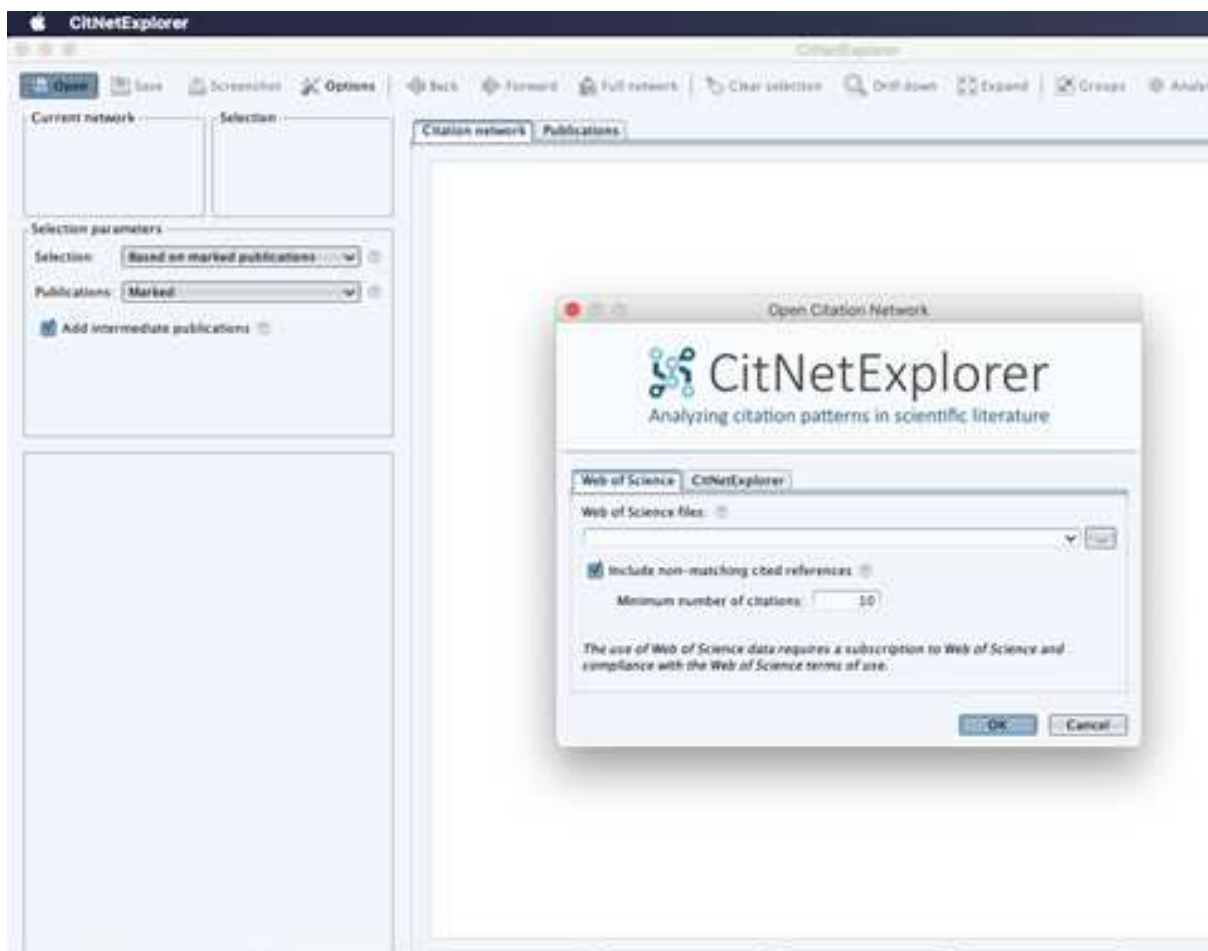


Figura 22 – Janela do *software CitNetExplorer*.

3.3.4 *RStudio*

O *software RStudio*, foi desenvolvido para finalidades estatísticas, sendo também R uma linguagem de programação, similar a linguagem S. Por ser um *software* gratuito e compatível com diversos sistemas operacionais, é muito utilizado para realização de análise de dados e exige dos usuários a lógica de programação (SASSI et al., 2012)[57].

Este *software* foi utilizado para realizar a análise de tendência de palavras, análise de cocitação, assim como análise de colaborações, análise de co-ocorrências, análise hisoriorráfica, contagens dos dados, análise de correspondência múltipla ou *Multiple Correspondence Analysis* (MCA), dendrograma e mapa temático.

Uma janela com o *software* pode ser observada na Figura 23.

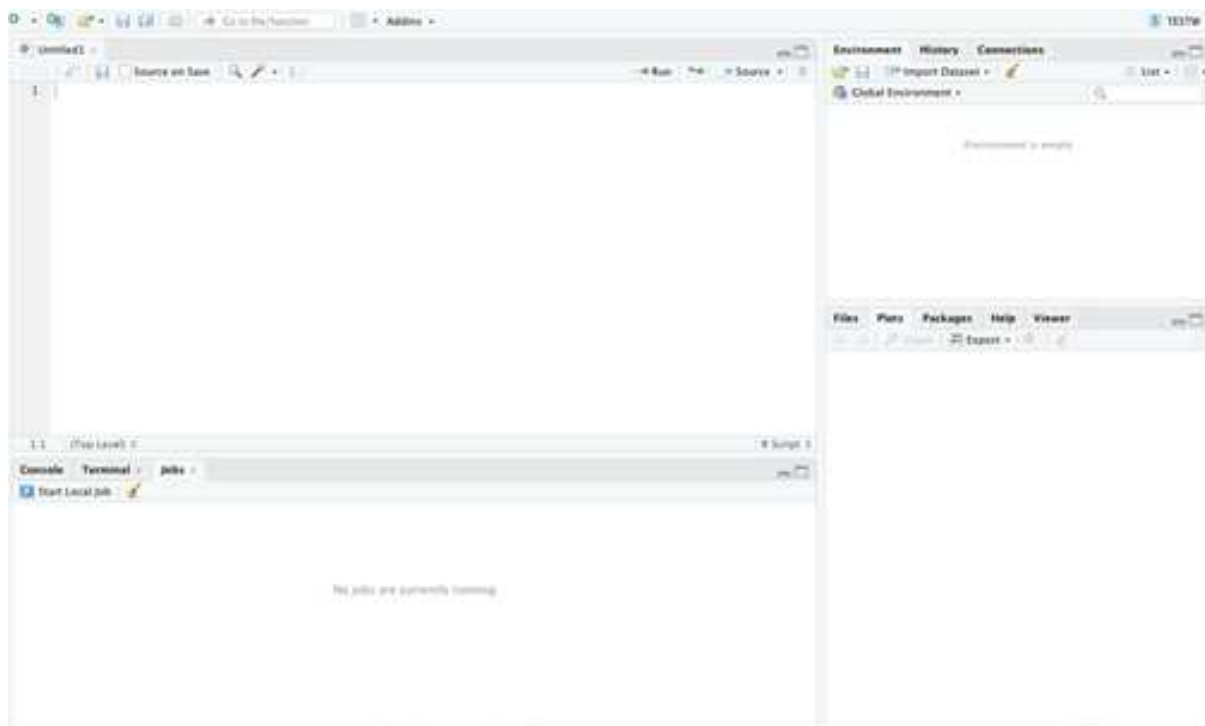


Figura 23 – Janela do *software RStudio*.

4 Resultados e Discussões

O capítulo 4 foi dividido em quatro etapas: Descrição dos Dados Iniciais da Pesquisa (item 4.1), Análise Cientométrica (item 4.2), Análise Sistêmica (item 4.3), e Oportunidades e Lacunas de Pesquisas (item 4.4). Na primeira seção são mostrados e descritos os principais dados dos 476 documentos encontrados a partir das buscas iniciais realizadas nas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*). Na segunda etapa são expostos, os dados quantitativos dos artigos detectados nas buscas, com base nos 437 documentos que não eram duplicados. Já na terceira etapa, de Análise Sistêmica, é analisado o conteúdo contido nos 44 artigos selecionados após a filtragem. Enquanto a última etapa trata das oportunidades e lacunas de pesquisas que podem ser realizadas futuramente, com base neste trabalho. Cada uma dessas etapas é analisada a seguir.

4.1 Descrição dos Dados Iniciais da Pesquisa

A busca na base de dados *Web of Science* resultou em 348 documentos, e na *Scopus*, 128 documentos. Portanto, o total de documentos encontrados nessas pesquisas foi 476. A descrição dos dados encontrados e suas respectivas quantidades podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais dados encontrados na pesquisa.

Descrição dos dados	Resultados
Documentos	476
Fontes (Revistas, Livros, etc.)	277
Palavras-chave Plus (ID)	1432
Palavras-chave do autor (DE)	1281
Período	1974–2020
Média de citações por documento	16,64
Autores	1369
Aparições de autores	1667
Autores de documentos com autoria única	28
Autores de documentos com autoria múltipla	1341
Documentos de autoria única	31
Documentos por autor	0,348
Autores por documento	2,88
Coautores por documento	3,5
Índice de colaboração	3,01

Os resultados também foram organizados de acordo com o tipo de documento, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Tipo de documento e frequência.

Tipo de documento	Frequência
Artigo	285
Artigo publicado antes da impressão	1
Artigo, anais de eventos	6
Anais	166
Revisão	18

A quantidade de publicações de documentos em cada um dos anos pode ser observada na Tabela 3. Sendo 2019 o ano com o maior número de publicações (94 documentos). Vale ressaltar que no ano de 2020 foram considerados apenas os meses até as datas das realizações das pesquisas (no mês de março).

Tabela 3 – Número de documentos por ano.

Ano	Documentos
1974	1
1995	2
1996	1
1997	1
1998	3
1999	3
2000	1
2002	1
2003	2
2005	1
2006	1
2007	1
2008	3
2009	11
2010	11
2011	10
2012	19
2013	26
2014	37
2015	41
2016	59
2017	57
2018	75
2019	94
2020	15

A Figura 24 apresenta o número de documentos publicados em cada ano, sendo o primeiro, um artigo de 1974. Já os mais recentes foram publicados no ano de 2020. É

notável o número crescente de publicações relacionadas as palavras-chave, principalmente a partir de 2011.

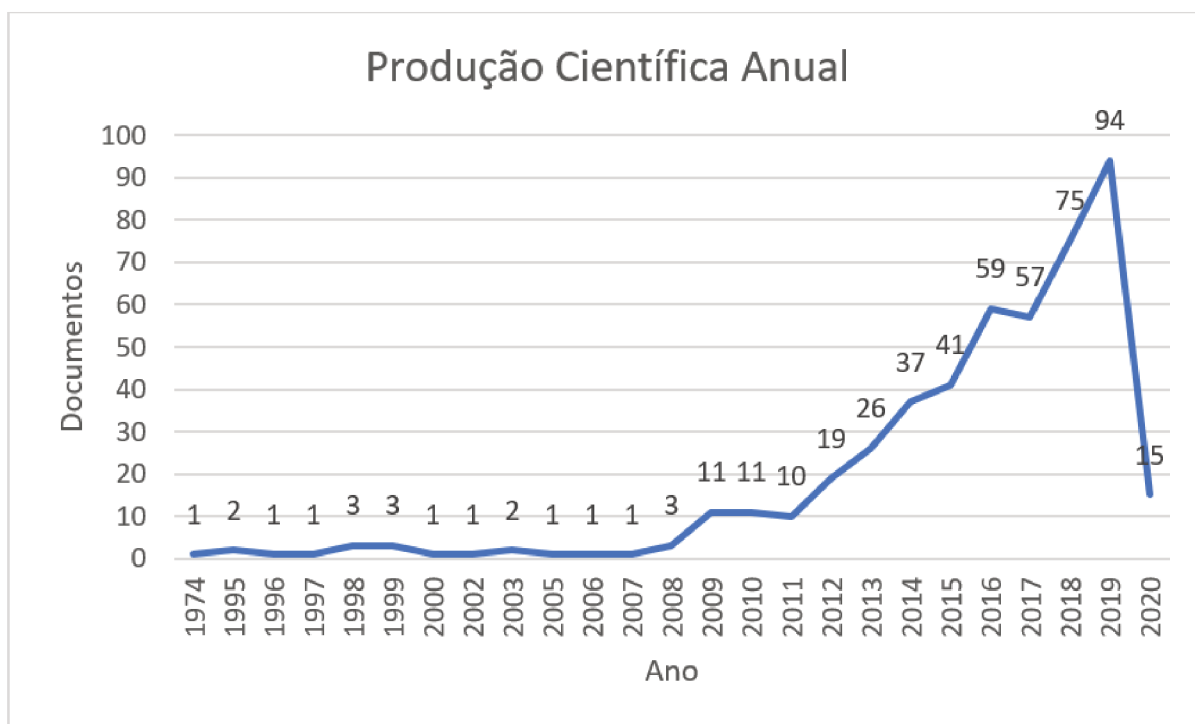


Figura 24 – Produção científica anual.

O primeiro artigo, *The case for electric and fuel cell powered vehicles* (O caso dos veículos elétricos e a célula a combustível), foi desenvolvido em 1974 por John O'M Bockris[58]. Este artigo trata sobre danos ambientais causados pelos carros com motor a combustão e sugere como alternativa que os carros tenham outras fontes de energia. Segundo o autor as novas fontes de energia podem ser eletroquímicas. O mesmo ainda sugere que os carros sejam híbridos, utilizando as duas fontes de energia, e ainda destaca que as principais dificuldades do desenvolvimento de carros elétricos são políticas.

4.2 Análise Cientométrica

Na terceira fase (Fase 3) do método SYSMAP é realizada a análise cientométrica. É importante ressaltar que antes de iniciar a análise cientométrica, os documentos passaram por um processo de filtragem (Fase 2), para a remoção dos documentos duplicados. Isso evitou que a análise quantitativa dos dados utilizasse informações repetidas. Portanto, dos 476 documentos encontrados nas buscas das bases de dados, apenas 437 foram utilizados na análise cientométrica. Os resultados dessa análise são apresentados a seguir.

Na Figura 25 são indicados as revistas (*journals*) mais frequentes. A *Energy Policy* obteve 35 artigos como resultado, sendo a mais frequente entre os dados analisados. Em

seguida a *Transportation Research Part D-Transport and Environment* com 20 artigos, e *Transport Policy* com 15 artigos.

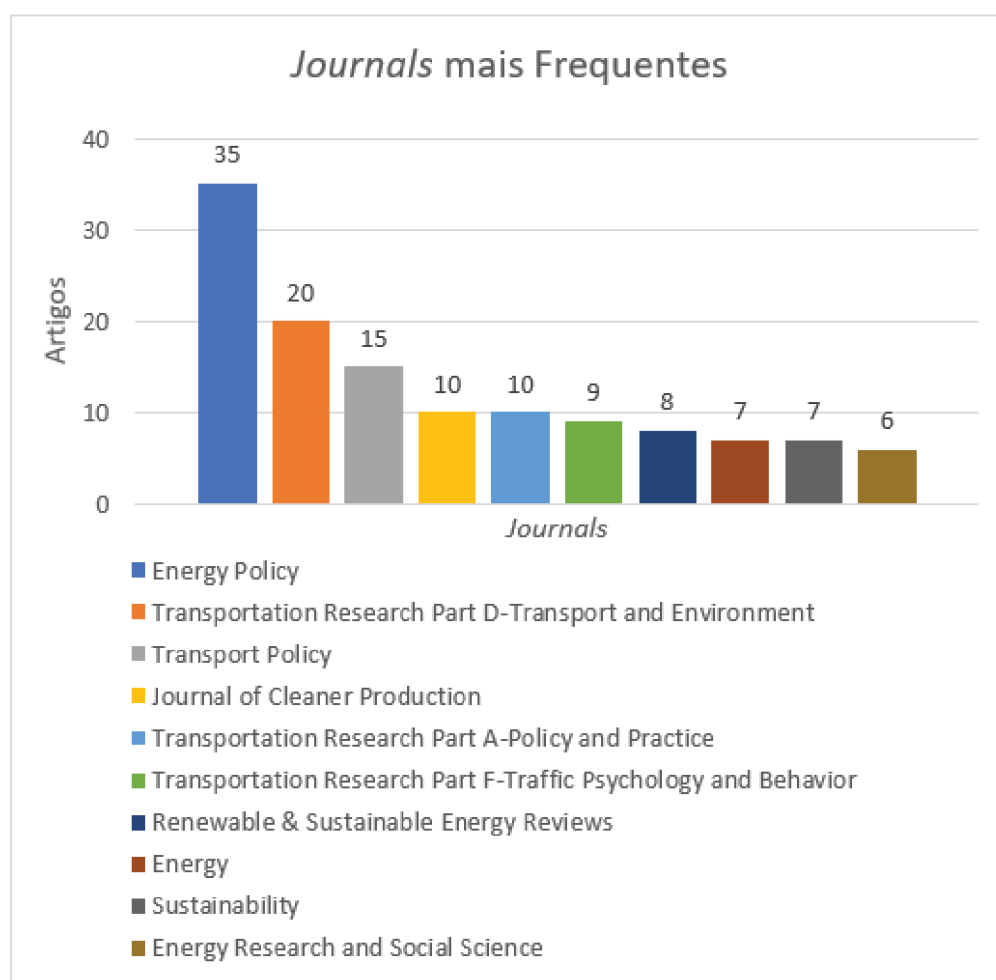


Figura 25 – *Journals* mais frequentes.

A primeira, *Energy Policy*, é uma revista internacional que aborda as implicações políticas do fornecimento e uso de energia, além de seus aspectos econômicos, sociais, de planejamento e ambientais. Seus interesses incluem regulamentação energética e ambiental, segurança do fornecimento de energia, qualidade e eficiência dos serviços de energia, eficácia de abordagens baseadas no mercado, assim como intervenções governamentais, inovação e difusão tecnológica.

Em seguida, a *Transportation Research Part D - Transport and Environment*, trata de artigos originais de pesquisa e revisão sobre temas relacionados aos impactos ambientais do transporte, respostas políticas a esses impactos e suas implicações para o *design*, planejamento e gerenciamento de sistemas de transporte. Além disso, também abrange todos os aspectos da interação entre transporte e meio ambiente, desde impactos localizados a globais. A revista também busca considerar todos os impactos incluindo impactos no comportamento das viagens, qualidade do ar, ecossistemas, clima global,

saúde pública, uso da terra, desenvolvimento econômico e qualidade de vida.

Já a *Transport Policy*, é uma revista internacional que tem como objetivo melhorar a qualidade da análise de políticas e estratégias de transporte, projetar e compartilhar práticas inovadoras de políticas, além de gerenciamento e aplicativos, e assim preencher a lacuna entre teoria e prática no transporte. Diversas são as preocupações de política e estratégia relacionadas ao transporte, desde segurança, eficiência, desenvolvimento econômico, infraestrutura, meio ambiente, energia, uso da terra e acesso.

Na Figura 26 é apresentada a rede de cocitação de *journals*, ou seja, quando os *journals* são citados de forma conjunta.

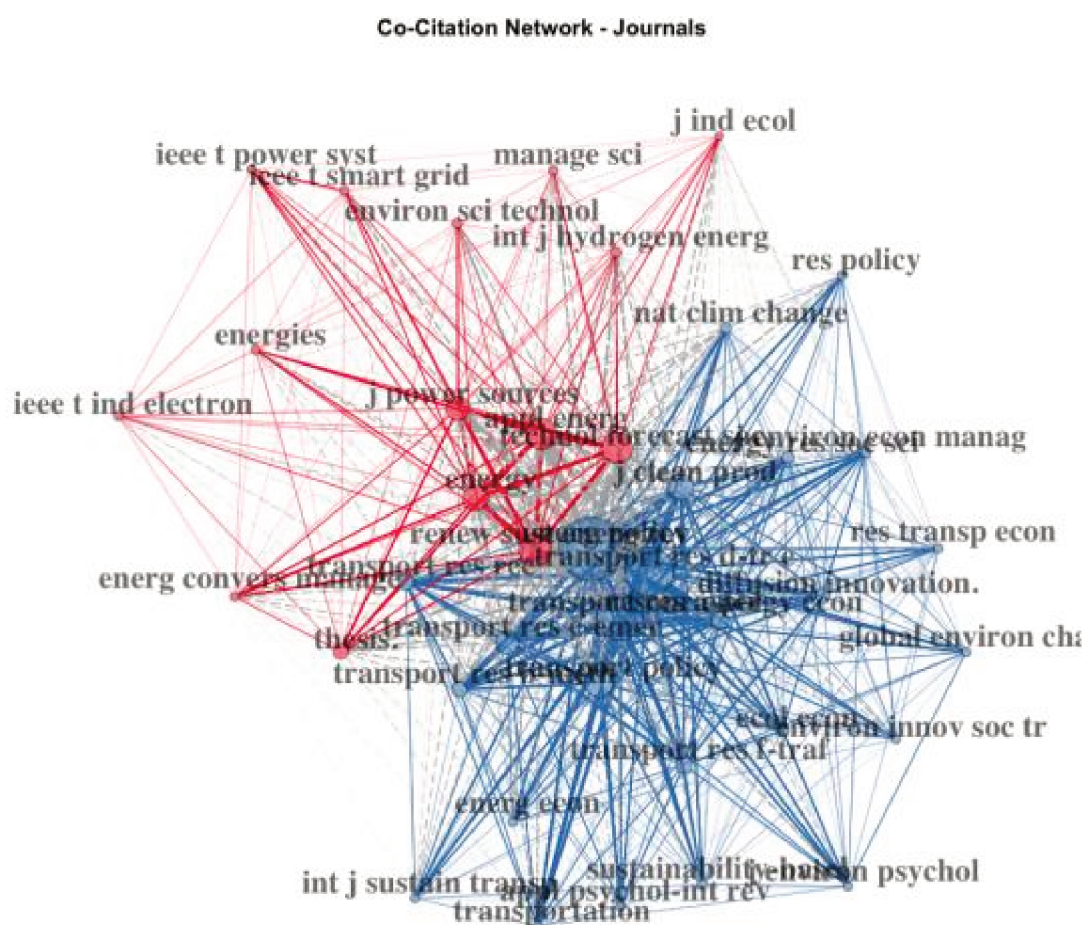


Figura 26 – Rede de cocitação de *journals*.

Observa-se que tem dois *clusters* representados pelas cores azul e vermelho, que representam duas redes de *journals* que tratam de temas diferentes (transporte e sustentabilidade). Quanto maior o número de citações, maior é o tamanho do círculo apresentado na rede. As ligações em cinza são as relações entre *clusters* diferentes, ou seja, uma ligação na cor cinza é realizada quando um *journal* de um *cluster* é citado por um *journal* de outro *cluster*. Portanto, as ligações em cinza conectam os dois grandes temas desses *clusters* (transporte e sustentabilidade).

O tema de transporte pertence ao *cluster* azul, dando destaque para temas relacionados a esse setor. Exemplos de *journals* desse *cluster* são: *Transport Policy*, *Transportation*, *Transport Research Part D-Transport Environment*, *Research in Transportation Economics*, entre outras.

A revista *Transport Policy*, como mencionado anteriormente, cobre todo o setor de transporte, urbano, aéreo, marítimo, entre outros. Além disso, são discutidas questões de política e estratégias de transporte, incluindo segurança, eficiência, infraestrutura e desenvolvimento econômico. A revista faz uma ligação entre a teoria e a prática em transportes. *Transportation* tem como temas principais: política, planejamento, pesquisa e prática, principalmente de transporte terrestre e comportamento em viagens, com foco em inovação. *Transport Research Part D-Transport Environment* publica artigos relacionados aos impactos ambientais do transporte, desde o planejamento e gerenciamento dos sistemas de transporte até as respostas políticas a esses impactos. *Research in Transportation Economics* é uma revista que aborda tópicos econômicos dos transportes, além das políticas regulatórias governamentais e outras questões de interesse dos planejadores desse setor da indústria.

Já o *cluster* vermelho é voltado principalmente para sustentabilidade, com *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Energy*, *Journal of Power Sources*, entre outros.

A revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* aborda temáticas de energia e sustentabilidade, voltada para pesquisadores, setor privado e governantes. A revista compartilha problemas e ideias inovadoras para a realização da transição para um futuro com baixo carbono. A *Energy* é uma revista que abrange principalmente pesquisas relacionadas à engenharia mecânica e ciências térmicas, com foco em análise, modelagem e previsão energética, além de sistemas integrados de energia. Também aborda questões relacionadas às energias renováveis e armazenamento de energias. Já *Journal of Power Sources* aborda pesquisas relacionadas as tecnologias e aplicações das fontes de energia. Aplicações essas como veículos elétricos, armazenamento de energia renovável e eletrônica portátil.

As instituições mais frequentes são apresentadas na Tabela 4. De acordo com esta tabela, é possível observar que a instituição com o maior número de arquivos, é a *Tsinghua University*, localizada na China, com 15 artigos publicados. Seguida pela *Aarhus University* (Dinamarca) com 13 artigos. E respectivamente com 12, 11 e 8 artigos: *University of Sussex* (Reino Unido), *Carnegie Mellon University* (Estados Unidos) e *University of Michigan* (Estados Unidos).

Tabela 4 – Instituições mais frequentes.

Instituição	Artigos
<i>Tsinghua Univ</i>	15
<i>Aarhus University</i>	13
<i>University of Sussex</i>	12
<i>Carnegie Mellon Univ</i>	11
<i>Univ Michigan</i>	8
<i>Tech Univ Chemnitz</i>	7
<i>Univ Calif Davis</i>	6

Na Figura 27 é possível observar a relação de colaboração entre instituições. Pode-se verificar que existem 11 *clusters*. As circunferências maiores representam um maior número de colaborações, ou seja, existem mais relações de trabalhos e pesquisas entre as instituições. O maior *cluster*, representado pela cor lilás (no lado direito da figura), é composto por duas universidades, a **Universidade de Sussex** (*University of Sussex*), localizada no Reino Unido e **Universidade Aarhus** (*Aarhus University*), localizada na Dinamarca, ou seja, é um *cluster* formado por universidades de uma mesma região.

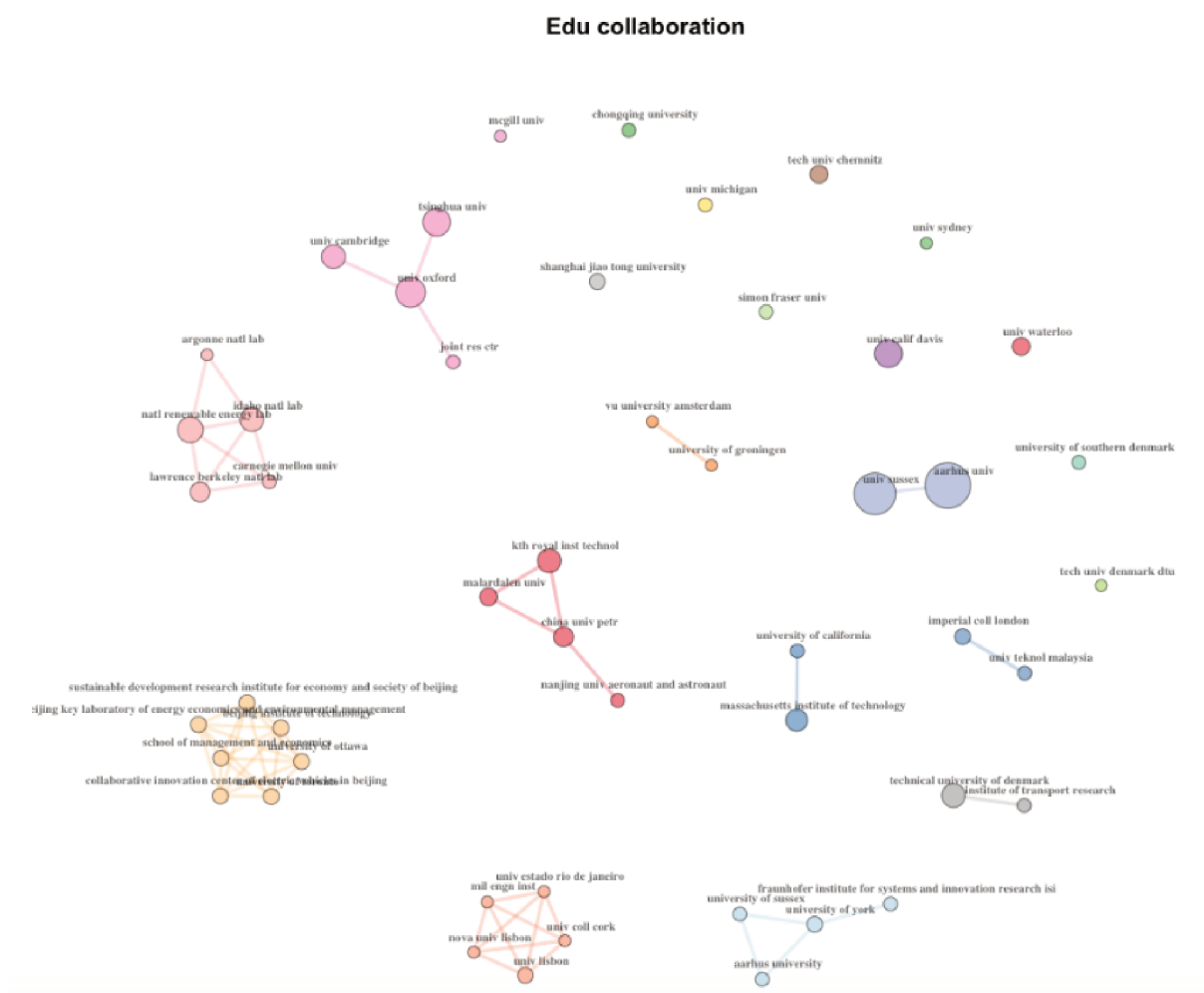


Figura 27 – Relação de colaboração entre instituições.

Outro *cluster* representativo e que segue esta linha de relação mais regional é o de cor salmão (localizado à esquerda da Figura 27), que é formado por diferentes laboratórios de pesquisa como **Laboratório Nacional de Energia Renovável** (*National Renewable Energy Laboratory*) e o **Laboratório Nacional de Idaho** (*Idaho National Laboratory*). Estes dois laboratórios estão situados em diferentes estados americanos, mas ambos pertencem ao Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Outro *cluster* representativo, é o de cor rosa (também localizado no lado esquerdo da figura), é formado pela **Universidade de Oxford** (*University of Oxford*) localizada na Inglaterra e pela **Universidade de Tsinghua** (*Tsinghua University*), China. Isso indica que existem colaborações de pesquisas relacionadas a um mesmo tema entre instituições localizadas em regiões diferentes.

Na Figura 28, é possível observar dentre as publicações relacionadas a veículos elétricos, quais os autores foram mais frequentes nos resultados das buscas, ou seja, os autores mais produtivos. Com 9 documentos, **Benjamin K. Sovacool** foi o autor mais frequente, seguido por **T. Franke**, **J. F. Krems**, cada um com 7 documentos, e **L. Noel**, com 6 publicações.

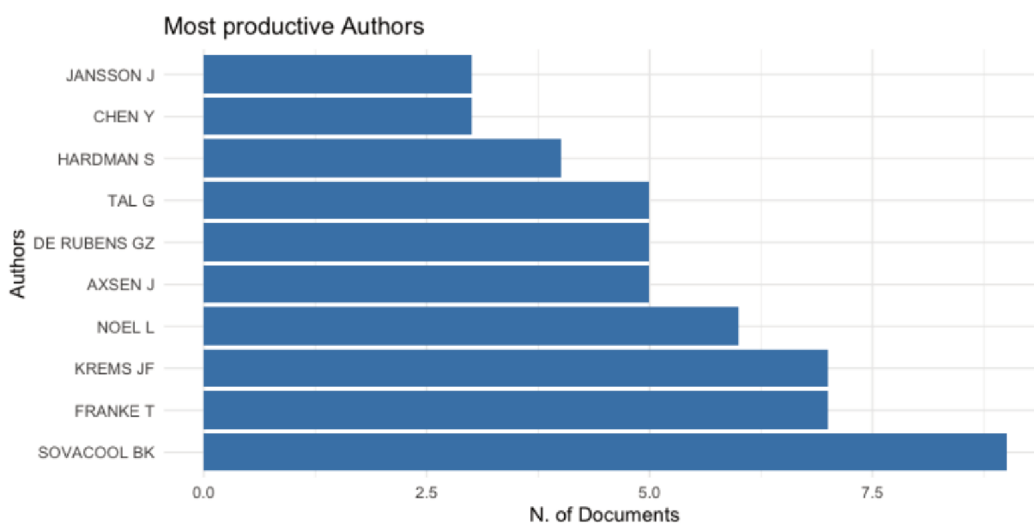


Figura 28 – Autores mais produtivos.

A Figura 29 indica a relação de colaboração existente entre diversos autores. A análise da figura indica que há 7 *clusters*. O *cluster* de cor cinza (localizado a esquerda da Figura 29) é formado por conexões entre **Benjamin K. Sovacool**, o autor com maior número de publicações, e **L. Noel**, que aparece em quarto lugar no número de publicações relacionadas ao tema, conforme o gráfico da Figura 28.

O *cluster* de cor roxa também apresenta colaboração entre autores com elevados números de publicações, sendo estes, **T. Franke** e **J. F. Krems**, ambos com 7 publicações de acordo com o gráfico da Figura 28.

Já o *cluster* de cor laranja apresenta autores com menos publicações que os anteriores, porém com bastante colaborações entre si.

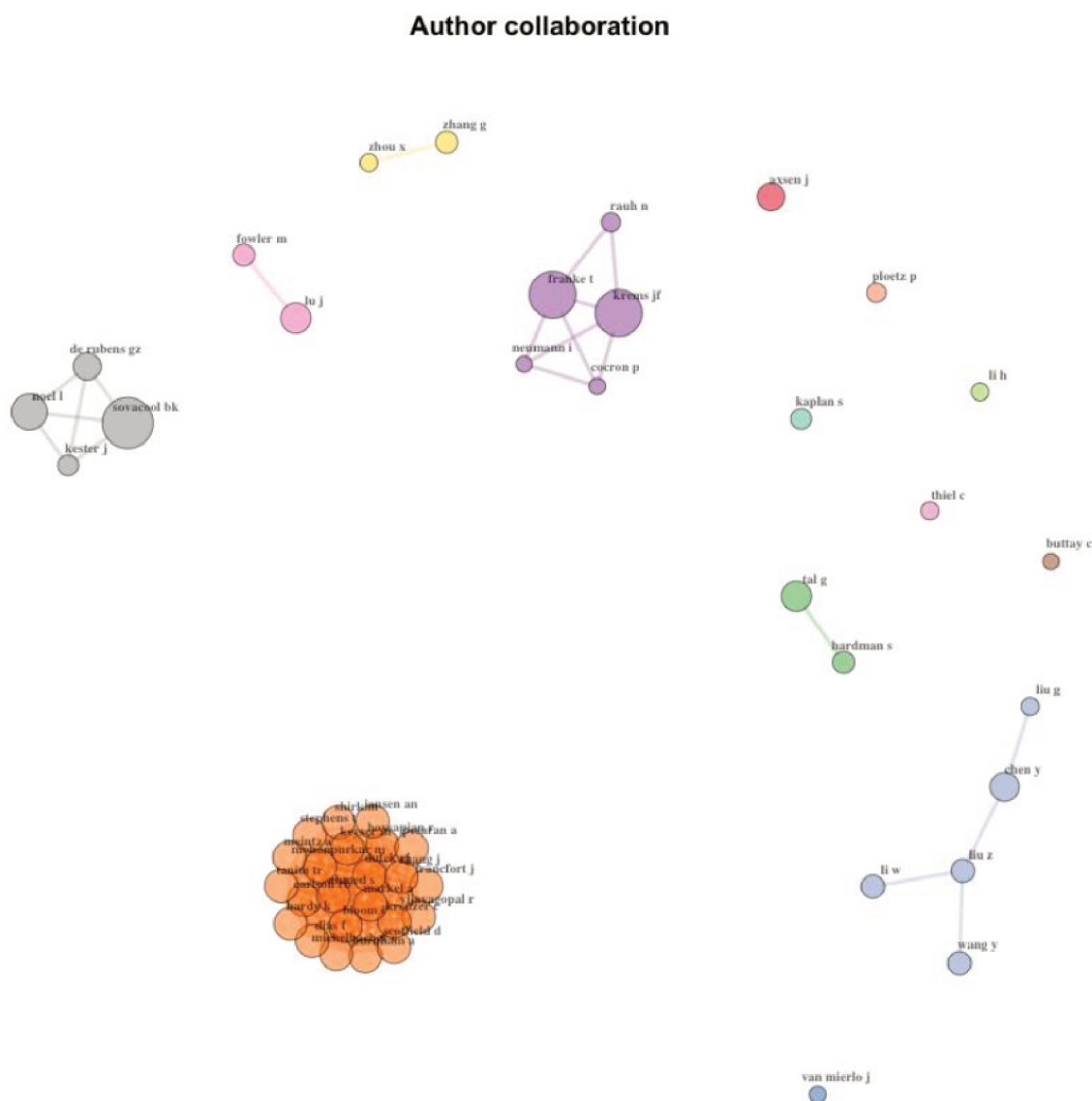


Figura 29 – Relação de colaboração entre autores.

Na Figura 30 é apresentada a rede de cocitação entre os autores. São representados 3 *clusters* nas cores azul, verde e vermelho. No *cluster* de cor azul **William Sierzchula** aparece como o autor mais citado, junto com autores anônimos (que são os dois maiores círculos em azul da figura). Já no *cluster* verde, estão autores como **Ona Egbue**, **Zeinab Rezvani** e **Jonn Axsen** com as maiores quantidades de citações. E em quantidades menores de citações, representados pelos pequenos círculos que formam o *cluster* vermelho estão autores como **S. Hardaman** e **A. C. Mersky**.

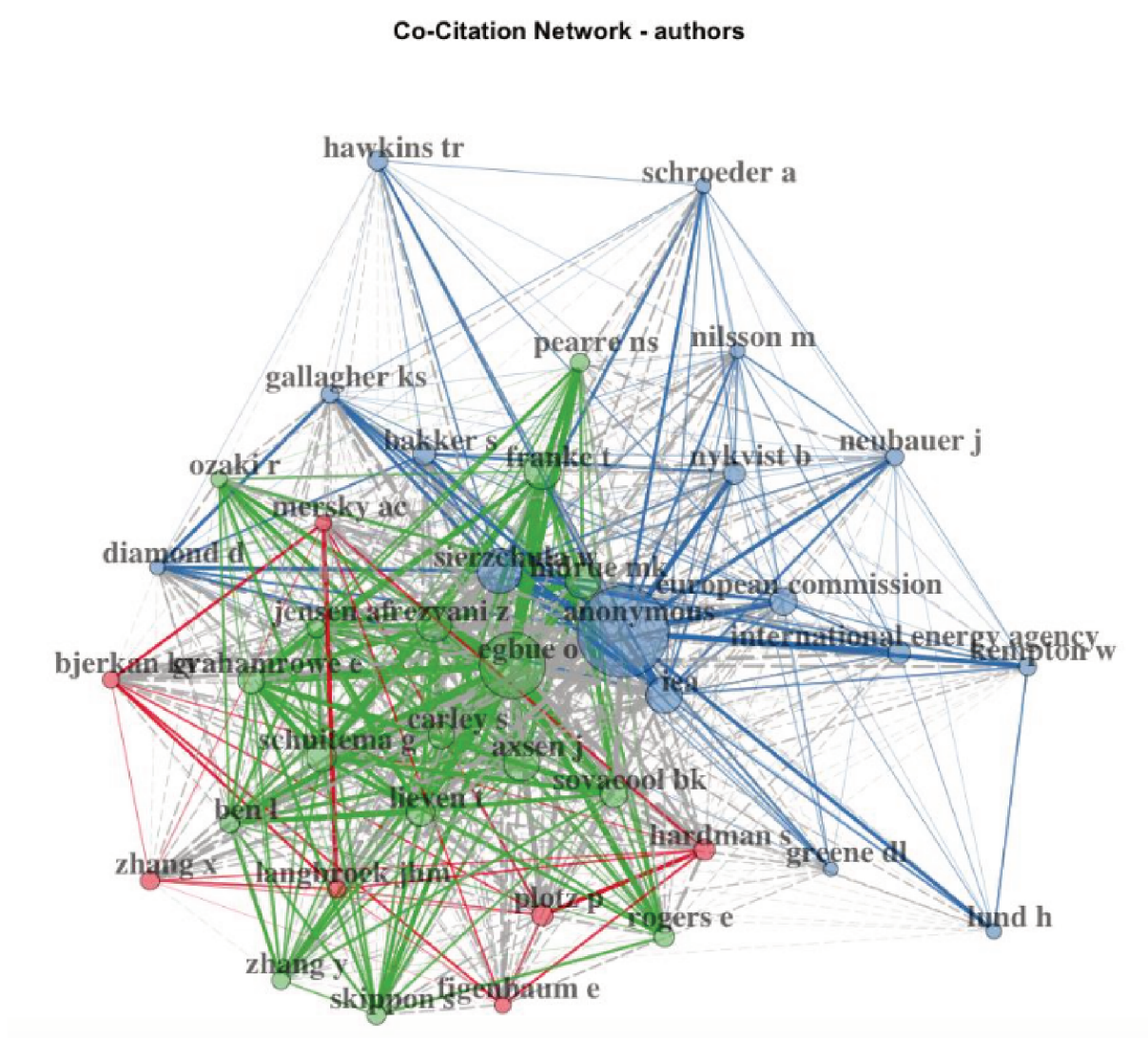


Figura 30 – Rede de cocitação entre autores.

Já os países mais produtivos em número de documentos sobre veículos elétricos são apresentados no gráfico da Figura 31. O mesmo dispõe dados para publicações individuais, assim como, para colaboração em vários países. De acordo com o gráfico, **USA** (*United States of America*) ou Estados Unidos, aparecem em primeiro lugar, com a maior produção de documentos, tanto individuais (SCP – *Single Country Publications*), quanto colaborativas (MCP – *Multiple Country Publications*). Em seguida, em pesquisas individuais, destaca-se a **Alemanha** (*Germany*). Já em pesquisas colaborativas, a **China** é o segundo destaque.

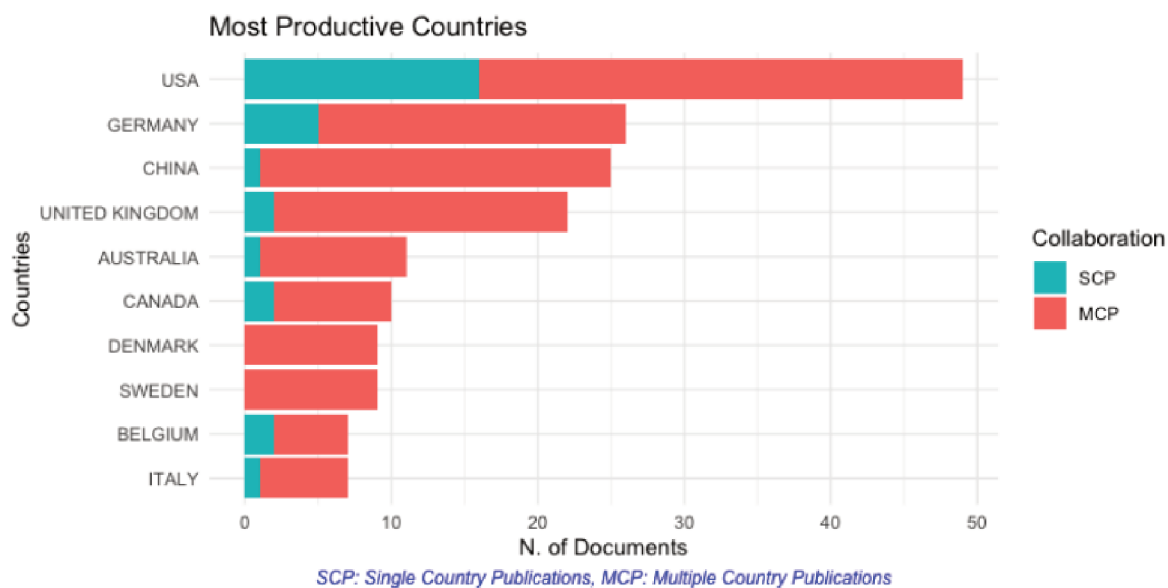


Figura 31 – Número de documentos publicados por país.

Na Figura 32 é apresentada como é a colaboração entre países em pesquisas relacionadas ao tema. De acordo com a figura, os **Estados Unidos** têm a maior quantidade de pesquisas feitas em colaboração sobre o tema buscado, pois possui a maior circunferência na figura. Entretanto, considerando a quantidade de países em que são feitas colaborações de pesquisas, ou seja, a quantidade de ligações entre as circunferências, pode-se observar que a **China** e **Dinamarca** se destacaram, com 8 ligações cada. A Alemanha e o Reino Unido também se destacaram com número de colaborações com países diferentes. Além disso, há uma pequena relação de colaboração entre Espanha e Sérvia. Já o Brasil aparece com poucas pesquisas e não faz conexão com outros países.

Country collaboration

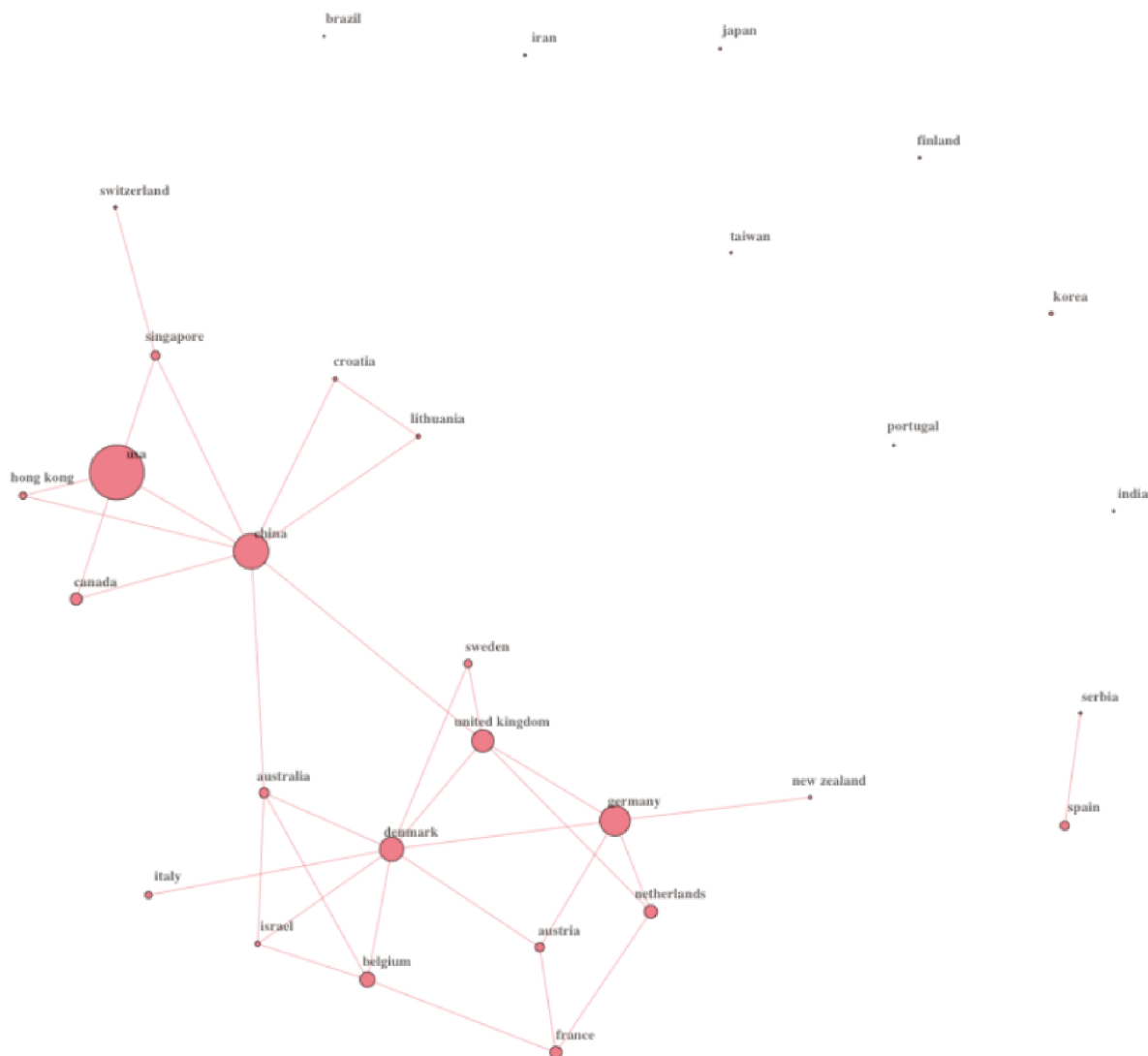


Figura 32 – Colaboração entre países.

Na Figura 33 é possível observar um mapa que demonstra a colaboração entre os países que apresentam pesquisas relacionadas ao tema. Quanto mais escuro o tom de azul, mais pesquisas relacionadas ao tema o país apresenta. Além disso, o mapa também expõe as relações de colaboração entre os países através das conexões apresentadas em vermelho. Estados Unidos é o país com o maior número de colaborações com outros países, estando relacionado com países como China, Coréia do Sul, Alemanha e Canadá. Em uma menor dimensão, aparecem as relações entre Reino Unido e Dinamarca, assim como Espanha e Austrália.

Country Collaboration Map

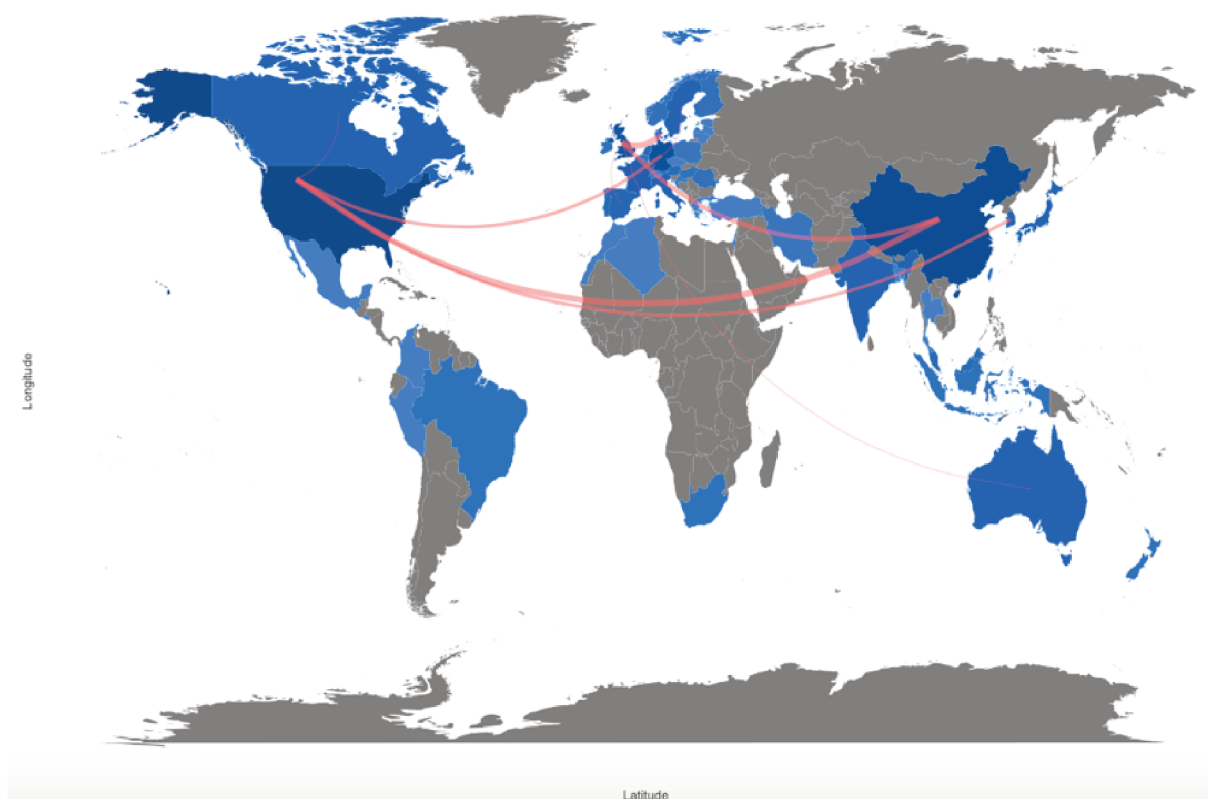


Figura 33 – Mapa de colaboração entre países.

Já a Tabela 5 apresenta quais foram as referências mais citadas. O artigo com maior frequência de citações (62 ocorrências) foi desenvolvido por Ona Egbue e Suzanna Long em 2012, e é intitulado como "*Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions*" (Obstáculos à adoção generalizada de veículos elétricos: Uma análise das atitudes e percepções do consumidor)[39]. O artigo trata de uma análise de uma pesquisa baseada na *internet*, que foi realizada com proprietários de carros convencionais (a combustão), sendo o grupo formado por estudantes, professores e funcionários de uma universidade voltada para ciências, tecnologia e engenharia. O público da pesquisa foi classificado como entusiastas da tecnologia e possíveis proprietários de veículos elétricos. O objetivo do estudo foi de analisar as barreiras sócio-técnicas particularmente relacionadas aos consumidores, e assim, orientar a decisão dos projetistas de veículos elétricos a incorporar a preferência do consumidor ao projeto de engenharia deste tipo de veículo.

Tabela 5 – Referências mais citadas.

Título	Autores	Ano	Freq.
<i>Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions</i>	Ona Egbue, Suzana Long	2012	62
<i>Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda</i>	Zeinab Rezvani, Johan Jansson, Jan Bodin	2015	34
<i>Willingness to pay for electric vehicles and their attributes</i>	Hidrue et al.	2011	32
<i>The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption</i>	Sierzchula et al.	2014	27
<i>Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations</i>	Graham-Rowe et al.	2012	24
<i>The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles</i>	Schuitema et al.	2013	24
<i>Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities</i>	Carley et al.	2013	23
<i>Experiencing Range in na Electric Vehicle: Understanding Psychological Barries</i>	Franke et al.	2011	19
<i>Diffusion of Innovations</i>	Everett M. Rogers	2003	19
<i>Electric vehicles: How much range is required for a day's driving?</i>	Pearre et al.	2011	17

Já a segunda referência mais citada é o artigo desenvolvido por Zeinab Rezvani, Johan Jansson e Jan Bodin, nomeado como "***Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda***"[59]. O trabalho trata de uma pesquisa para detectar quais são as principais barreiras contra a adoção de veículos elétricos pelos consumidores. Para isso, foram realizados estudos de artigos publicados entre 2007 e 2014 relacionados ao tema. Foram abordados estudos empíricos do consumidor, tentando detectar quais são suas atitudes e intenções comportamentais reais em relação aos veículos elétricos. Dentre os resultados foram classificados diferentes tipos de comportamentos influenciados por fatores atitudinais, como o alto custo inicial do VE, além de comportamentos pró-ambiental, de adoção de inovação, simbólico e emocional, como abertura à mudança. Foram descartados estudos mais técnicos que estimassem a venda de veículos elétricos com base em cenários não atitudinais e comportamentais, que envolvessem fatores como preço do combustível ou então políticas de incentivos de determinados países.

Além disso, os autores também tentaram detectar quais são as lacunas e limitações em pesquisas existentes para auxiliar a realização de trabalhos futuros.

O artigo de Michael K. Hidrue, George R. Parsons, Willet Kempton e Meryl P. Gardner foi o terceiro trabalho mais citado (32 vezes), e é intitulado como "***Willingness to pay for electric vehicles and their attributes***"[60]. O trabalho teve como base um levantamento de potenciais compradores de automóveis no ano de 2009 nos Estados Unidos, para isso, foi utilizado um instrumento baseado na *web*. O trabalho teve como objetivo estimar a disposição que as pessoas tinham de pagar por cinco atributos do veículo elétrico, sendo eles: faixa de direção, tempo de carregamento, economia de combustível, redução da poluição e desempenho. A pesquisa foi concentrada em veículos elétricos puros, ao invés de híbridos e comparava o quanto a pessoa estava disposta a pagar a mais em relação ao seu carro à combustão comum dentre as opções ofertadas na pesquisa. Através da análise das respostas concluiu-se que as principais preocupações dos consumidores estão relacionadas à ansiedade de faixa, tempo de carregamento e alto custo de compra. De acordo com o trabalho, apesar do alto valor que alguns dos consumidores estariam dispostos a pagar por um veículo elétrico, os custos das baterias ainda precisavam cair consideravelmente para que esses veículos se tornassem competitivos no mercado americano.

A Figura 34 apresenta uma rede de cocitação das referências citadas, em que é possível observar a formação de quatro *clusters*: vermelho, verde, roxo e azul. A análise de cocitação serve para analisar pares de documentos citados em conjunto. Os tamanhos dos círculos indicam a proporção de quantas vezes cada autor foi citado, e as ligações entre os círculos indicam as cocitações. Entre os autores mais citados no *cluster* roxo estão **O. Egbue** (2012) e **M. K. Hidrue** (2011). No *cluster* vermelho, os autores mais citados são **W. Sierzchula** (2014) e **Z. Rezvani** (2015). Enquanto no *cluster* verde os autores em destaque são **Huitema G.** (2013) e **E. Graham-Rowe** (2012). Por último, no *cluster* azul os autores em destaque são **K. S. Gallagher** (2011) e **D. Diamond** (2009).

Já a Tabela 6 indica as palavras-chaves mais frequentes nas buscas realizadas. As palavras-chave "***Electric vehicle***" (Veículo elétrico), "***Barriers***" (Barreiras) e "***Electric vehicles***" (Veículos elétricos) foram as que tiveram maior frequência, sendo encontradas respectivamente, 65, 53 e 44 vezes. Ainda na Tabela 6, é possível observar quais foram as outras palavras-chave na sequência decrescente de frequência.

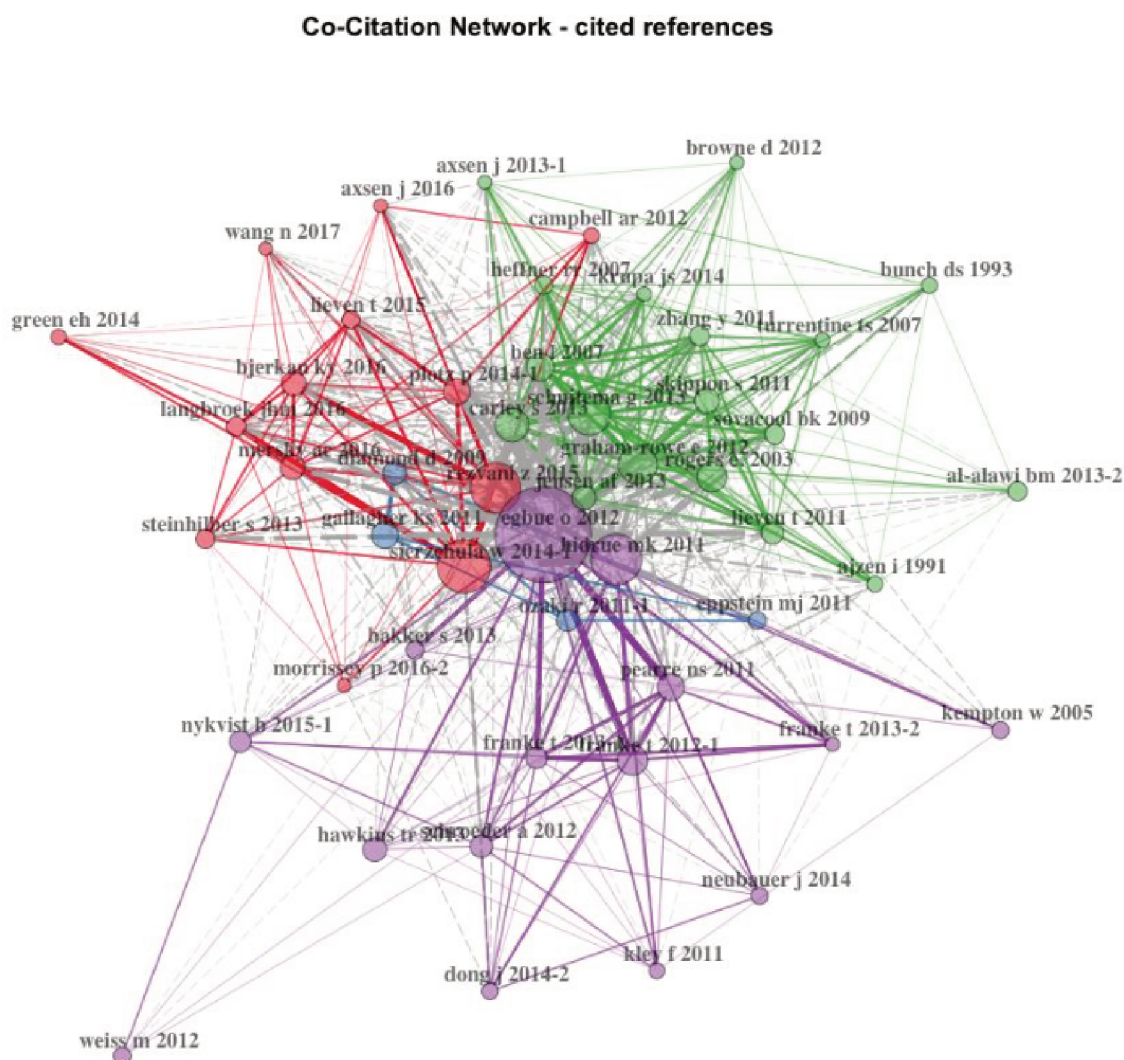


Figura 34 – Rede de cocitação de referências.

Tabela 6 – Palavras-chave mais frequentes.

Termos	Frequência
<i>Electric vehicle</i>	65
<i>Barriers</i>	53
<i>Electric vehicles</i>	44
<i>Adoption</i>	32
<i>Preferences</i>	23
<i>Incentives</i>	22
<i>Demand</i>	21
<i>Mobility</i>	21
<i>Vehicles</i>	21
<i>Attitudes</i>	20

Na Figura 35 estão dispostos essas e outras palavras-chave mais frequentes, sendo desta vez apresentadas em forma de um *TreeMap*. Nesta composição as palavras são

organizadas em quadros de tamanhos diferentes, conforme sua relevância. As palavras-chaves mais frequentes ficam localizadas nas bordas esquerda e inferior da figura.

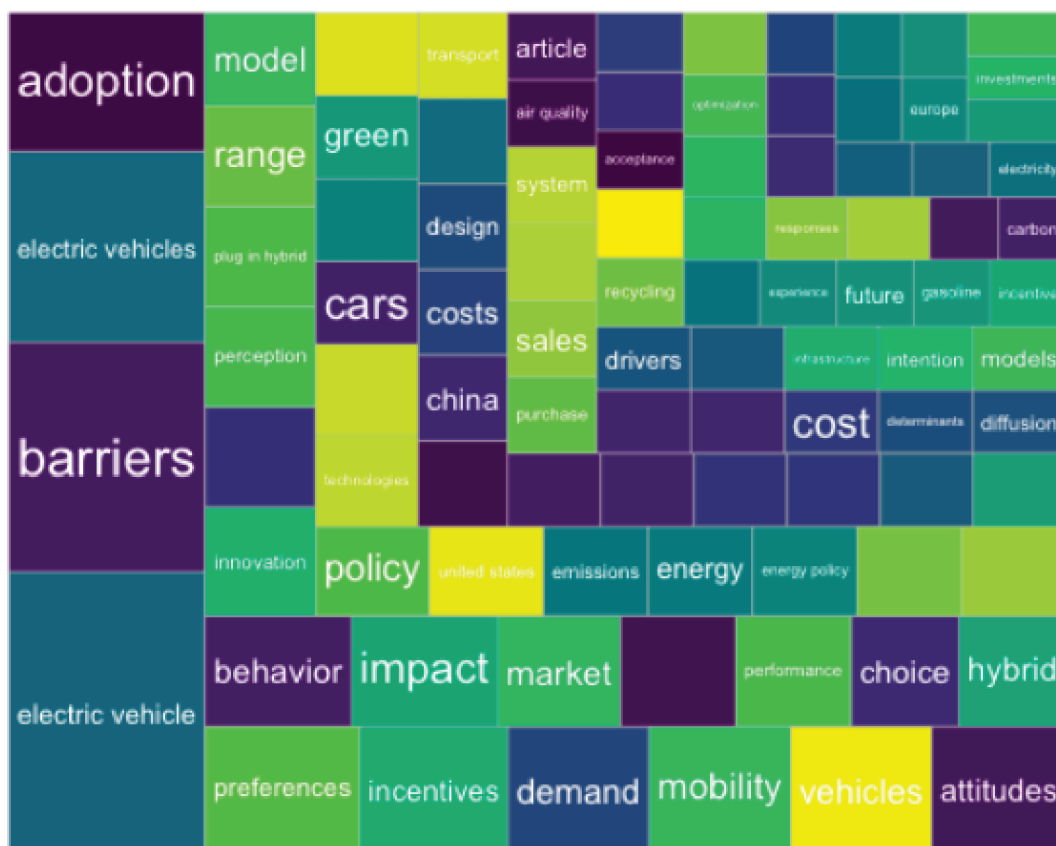


Figura 35 – *TreeMap* para as palavras-chave mais frequentes.

Os temas de tendência e seus respectivos anos estão dispostos na Tabela 7. Os temas mais frequentes foram "**Barriers**"(Barreiras), com frequência de 106 vezes em 2018, em seguida "**Adoption**"(Adoção), com ocorrência 64 vezes também em 2018, "**Preferences**"(Preferências) 46 vezes em 2017, seguidos por "**Incentives**"(Incentivos) 44 vezes em 2019 e "**Demand**"(Demanda) com frequência de 42 em 2016.

Tabela 7 – Temas de tendência.

Item	Ano	Freq.
<i>Barriers</i>	2018	106
<i>Adoption</i>	2018	64
<i>Preferences</i>	2017	46
<i>Incentives</i>	2019	44
<i>Demand</i>	2016	42
<i>Attitudes</i>	2018	40
<i>Behavior</i>	2017	38
<i>Impact</i>	2018	38
<i>Market</i>	2018	32
<i>Performance</i>	2016	30

Já na Figura 36, os temas de tendência mostrados na Tabela 7, entre outros temas de tendência, estão organizados pelo seu ano, e agrupados de acordo com sua relação com outros temas de tendência. Além disso, quanto mais frequente for o tema, maior está a sua representação nos círculos, por exemplo, "*Barriers*" foi o tema de tendência mais frequente em 2018, por isso é representado pelo maior círculo.

Trend Topics

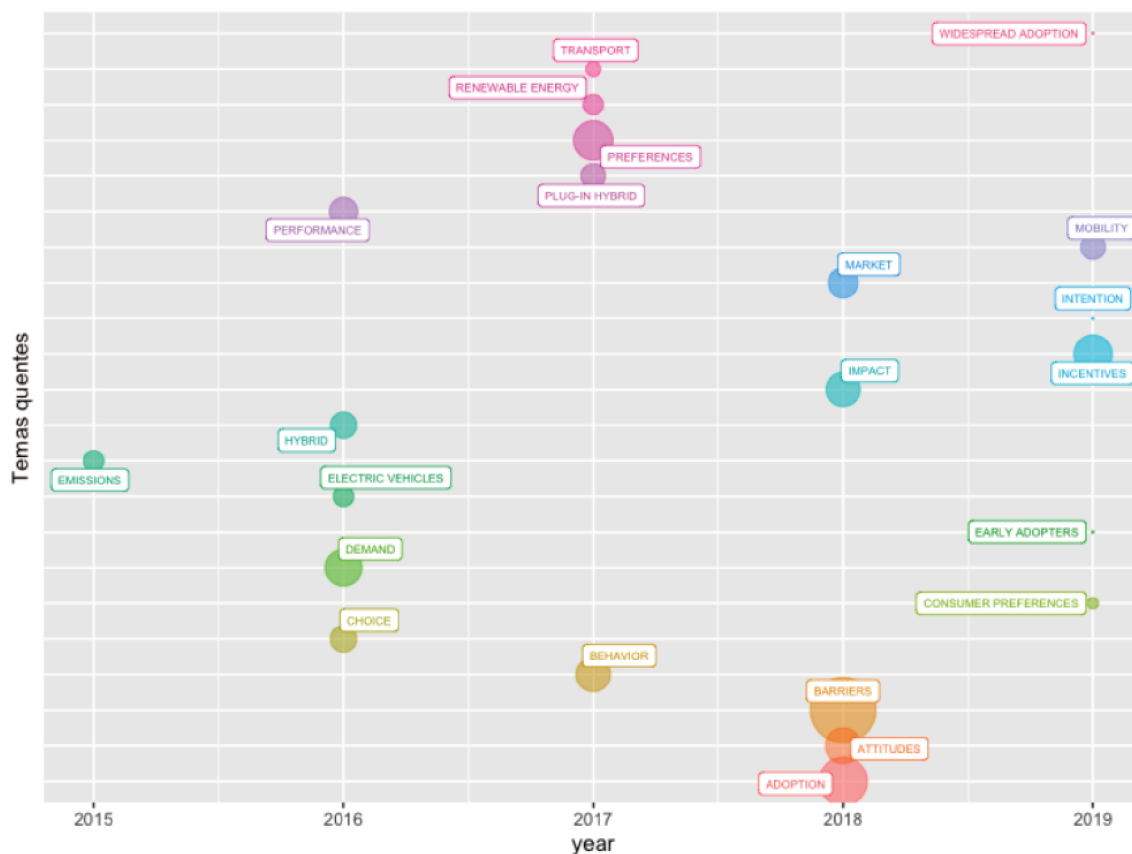


Figura 36 – Temas de tendência.

Na Figura 37 é apresentada a rede de co-ocorrência de palavras-chave. Existem dois *clusters*, um deles é de veículos elétricos, representado pela cor azul, enquanto em vermelho é apresentado o *cluster* de barreiras.

No *cluster* azul estão temas como veículos, baterias de íon de lítio, baterias secundárias, automóveis elétricos, além de veículo(s) elétrico(s). Enquanto no *cluster* vermelho estão além das barreiras, palavras como, adoção, preferências, incentivos e mobilidade.

As ligações em cinza representam as relações entre os dois *clusters*. É importante ressaltar que principalmente a questão da mobilidade faz uma conexão mais intensa entre os dois *clusters*.

Keyword Co-occurrences



Figura 37 – Rede de co-ocorrência das palavras-chave.

A Figura 38 representa um historiograma no qual é possível analisar a evolução do tema e qual autor está citando ou sendo citado por outros autores. Neste caso, pode-se notar que há três temas (ou *clusters*) que estão evoluindo neste historiograma. Cada um dos temas é representado por uma cor diferente: azul, vermelho e verde. O historiograma começa no ano de 2012, com dois temas. O *cluster* em azul começa com o autor J. Axsen, e o *cluster* em vermelho começa com T. Franke. O trabalho desses dois autores é citado por outros autores nos anos subsequentes. Também há um terceiro *cluster*, mais recente, que começou no ano de 2015 com o autor E. P. Stringham, representado pela cor verde. Uma breve descrição dos trabalhos dos autores e esses *clusters* são descritos a seguir.

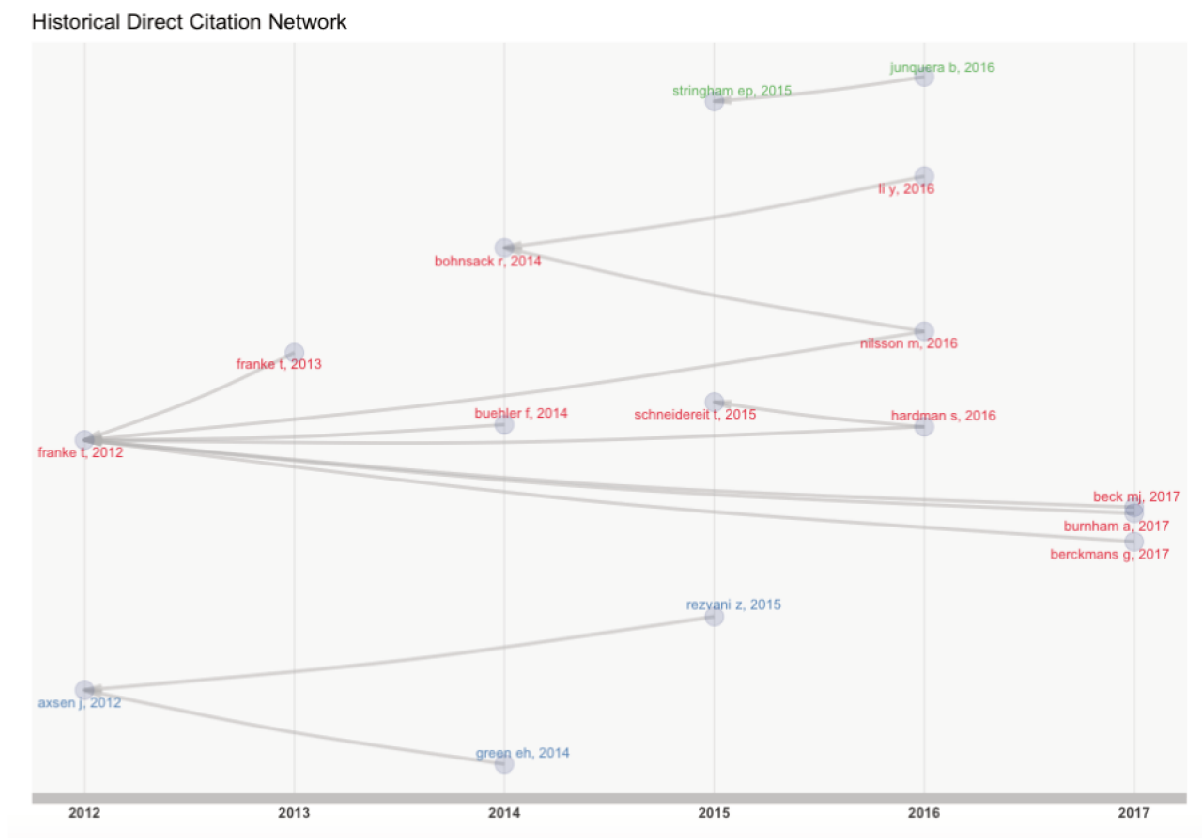


Figura 38 – Historiograma.

- *Cluster azul:*

O artigo *Lifestyle practices and pro-environmental technology* explora conceitos sociológicos de práticas de estilo de vida no contexto do consumo sustentável. E investiga como e porque os consumidores poderiam fazer uma transição para a adoção e uso de novas tecnologias pró-ambientais, como de veículos elétricos, painéis solares e um programa de eletricidade verde. Os resultados da investigação demonstram a relevância do estilo de vida, além de fornecerem uma aplicação empírica única que pode auxiliar o entendimento de oportunidades e barreiras ao consumo sustentável (AXSEN; TYREEHAGEMAN; LENTZ, 2012)[61].

Este trabalho de Axsen é citado por Rezvani no artigo *Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda*, que aborda uma visão abrangente dos motoristas e barreiras contra a adoção de veículos elétricos *plug-in* pelos consumidores. Além de apresentar uma visão geral das perspectivas teóricas que têm sido utilizadas para entender as intenções dos consumidores e o comportamento de adoção em relação aos veículos elétricos. Também identifica quais são as lacunas e limitações em pesquisas existentes, além de sugerir áreas nas quais pesquisas futuras poderiam contribuir com o tema (REZVANI; JANSOON; BODIN, 2015)[59]. Os autores citam o trabalho de Axsen de 2012 para exemplificar o comportamento dos motoristas,

que devem se acostumar a conectar o carro à rede elétrica e carregar a bateria enquanto ela não estiver em uso, além de planejar a sua próxima viagem com antecedência.

Já o artigo *Increasing electric vehicle policy efficiency and effectiveness by reducing mainstream market bias* argumenta que as políticas que pretendem dar para os veículos elétricos plug-in uma base de apoio no mercado não devem focar nos principais consumidores, em vez disso, devem focar em nichos de mercado específicos de compartilhamento de carros e frotas postais, além dos primeiros usuários, incluindo os consumidores verdes (GREEN; SKERLOS; WINEBRAKE, 2014)[62]. Os autores citam o trabalho de Axsen de 2012 para abordar a questão de projetar políticas mais eficientes e efetivas em termos de custo para promover a implantação de veículos elétricos *plug-in*, eliminando o viés de mercado e considerando um público alvo de consumidores que se preocupam com o meio ambiente e estão dispostos a aceitar compromissos de características e preço, para alcançar os benefícios energéticos e ambientais de dirigir um veículo desta categoria.

- **Cluster vermelho:**

O artigo *Experiencing Range in an Electric Vehicle: Understanding Psychological barriers*, de 2012, é um estudo realizado na Alemanha em que foram alugados quarenta veículos elétricos para uma amostra de usuários durante seis meses. O objetivo da pesquisa foi de alcançar uma melhor compreensão da experiência de alcance em condutores experientes de veículos elétricos, e verificar se as variáveis de outros contextos de adaptação, principalmente o estresse, têm poder explicativo para as diferenças interindividuais conhecida como faixa confortável. Com base em literatura existente, foi formulado o conceito de alcance confortável e o mesmo foi relacionado com teorias de estresse e autorregulação (FRANKE et al., 2012)[63]. O estudo concluiu que proporcionar aos motoristas um alcance útil confiável pode ser mais relevante do que aumentar o alcance máximo em um sistema de mobilidade elétrica.

Em 2013, Franke publicou o artigo *Interacting with limited mobility resources: Psychological range leves in electric vehicle use*, que dá continuidade ao estudo publicado no ano anterior. Os resultados dos estudos sugeriram que os usuários estavam confortáveis com a utilização de 75 a 80% dos recursos de faixa disponíveis. E ainda que, vários traços de personalidade e variáveis de competência do sistema, como prática diária, foram positivamente relacionados a valores de nível de faixa (FRANKE; KREMS, 2013)[64]. Os autores recomendam que estratégias baseadas na psicologia devam ser aplicadas para melhorar a otimização da faixa.

O estudo de 2012 de Franke também serviu de base para o artigo *Is EV experience related to EV acceptance? Results from a German field study*. O trabalho de Franke foi escolhido pelos autores, por ser considerado de longa duração, tendo durado 6 meses. Os autores enfatizam que em outros estudos as experiências dos voluntários

são analisadas por um período de tempo menor, e também destacam que o período de testes disponíveis no ato de compra de um veículo elétrico é curto. O estudo serviu para analisar se as percepções das pessoas mudam com o tempo e se as mudanças nos relatos de vantagens e barreiras experimentais têm maior probabilidade de serem positivas após um longo período (BÜHLER et al., 2014)[65].

As publicações de Franke ainda serviram de base para a publicação de *Does range matter? Exploring perceptions of electric vehicles with and without a range extender among potential early adopters in Germany* de Schneidereit et al. em 2015, em que além do material teórico, foi utilizado o mesmo grupo de voluntários da pesquisa anterior para novas pesquisas com pessoas com certa experiência com carros elétricos[66].

Já em 2016, Hardman citou o trabalho de Franke de 2012, em seu artigo, que compara veículos elétricos a bateria de baixa e alta potência[67]. E em 2017, Beck, Burnham e Berckmans citaram os estudos de Franke em artigos relacionados a uma estimativa conjunta das melhores e piores atitudes de escolha de um veículo elétrico[68]; considerações de infra-estrutura e econômicas para cobrança rápida[69]; por fim, uma projeção de custos de baterias de íons de lítio de última geração para veículos elétricos até 2030[70], respectivamente.

Ainda em 2016, questões governamentais foram abordadas por Li Y. e Nilsson M. O texto de Li aborda o tema de inovação empresarial e regulamentação governamental para a promoção do uso de veículos elétricos a partir de lições de Shenzhen, na China[71]. Nilsson aborda o tema de um governo de transição para o veículo elétrico, trazendo intervenções de curto prazo para apoiar uma economia de energia verde[72]. Ambos os autores citam o trabalho de Bohnsack (2014) que trata sobre modelos de negócios para tecnologias sustentáveis, focando em veículos elétricos[73].

- **Cluster verde:**

Em 2016, Junquera desenvolveu o artigo intitulado *Analyzing consumer attitudes towards electric vehicle purchasing intentions in Spain: Technological limitations and vehicle confidence*, cujo objetivo principal foi de descobrir até que ponto alguns fatores são fundamentais para explicar a disposição do consumidor em comprar um veículo elétrico. O trabalho é focado na percepção dos consumidores sobre as especificações técnicas dos carros elétricos, como tempo de carregamento, preço do veículo, faixa de direção e até mesmo a idade dos motoristas (JUNQUERA; MORENO; ÁLVAREZ, 2016)[74].

No estudo de Junquera, é mencionado um trabalho de 2015 de Stringham, et al., *Overcoming Barriers to Entry in na Established Industry: TESLA MOTORS*, que mostra como Elon Musk e a empresa *Tesla Motors* conseguiram desenvolver

estratégias para superar algumas das dificuldades de uma *start-up* penetrar em um mercado tão consolidado quanto o automobilístico. Dentre as barreiras superadas estão o alto custo de capital, e o aumento da rentabilidade do investimento através da união de esforços de outros fabricantes. Neste artigo, os autores coletaram diversas informações principalmente de entrevistas gravadas, documentos corporativos, relatórios industriais e de mídia, além de entrevistar pessoas que trabalham na indústria de veículos elétricos e no Vale do Silício, incluindo a *Tesla*[75].

Na Figura 39 é possível observar um mapa temático, em que o eixo das abscissas representa a centralidade de cada uma das palavras, enquanto o eixo das ordenadas representa a densidade de cada item. Já os quadrantes e a sua localização no mapa temático são apresentados a seguir.

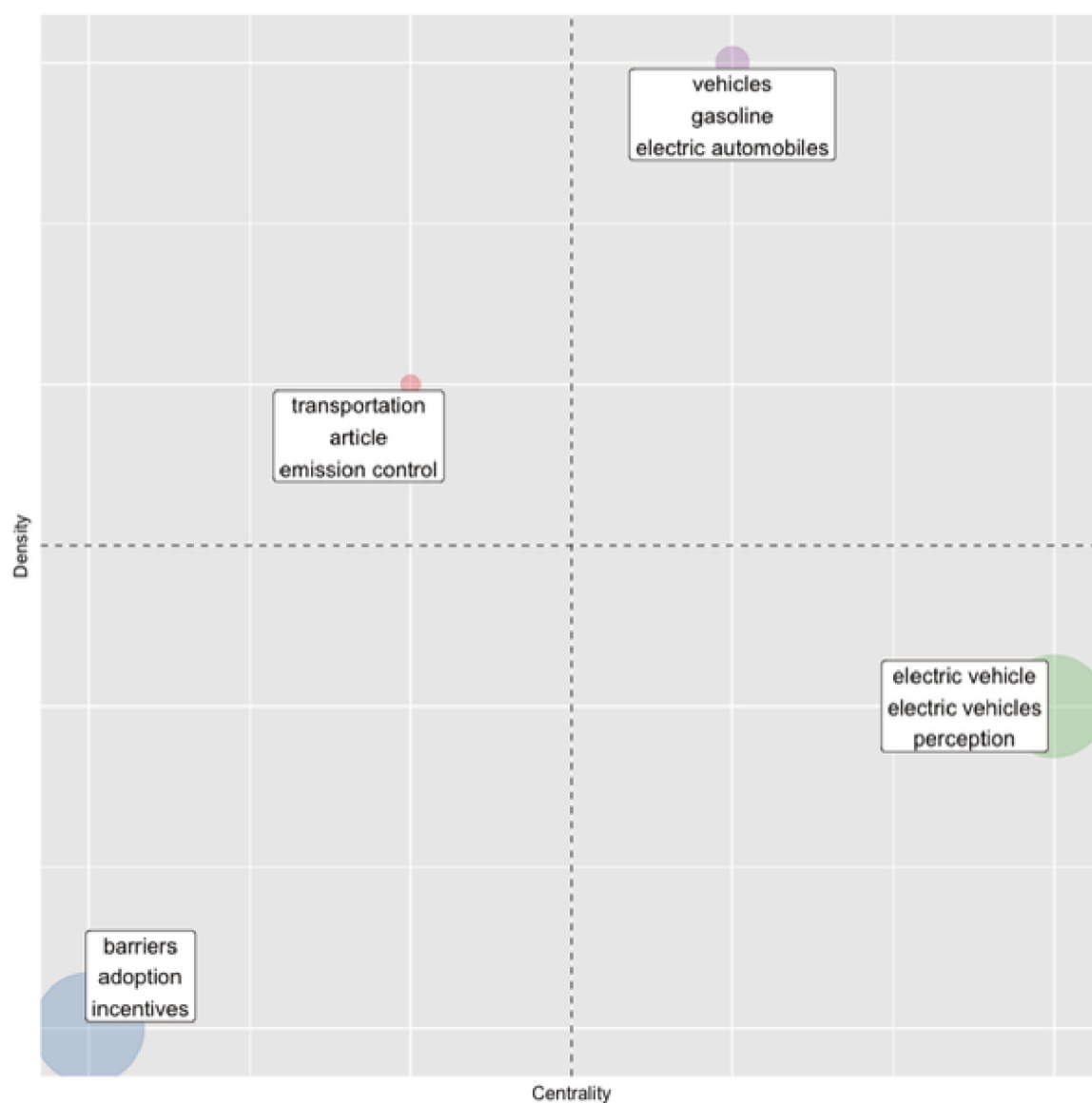


Figura 39 – Mapa temático.

- **Primeiro quadrante:** situado no lado direito superior, este quadrante apresenta alta densidade e centralidade. É onde situam-se os temas motores, ou seja, os temas mais desenvolvidos e centrais. Neste quadrante estão localizadas as palavras *vehicles* (veículos), *gasoline* (gasolina) e *electric automobiles* (automóveis elétricos);
- **Segundo quadrante:** situado no lado esquerdo superior, apresenta temas periféricos e podem indicar assuntos que já foram centrais, mas que agora estão marginalizados. Neste quadrante estão as palavras *transportation* (transporte), *article* (artigo) e *emission control* (controle de emissão);
- **Terceiro quadrante:** localizado no quadrante inferior esquerdo (baixa densidade e centralidade), são temas que ainda não se desenvolveram, ou seja, ainda estão surgindo ou então são temas que estão desaparecendo. Há a necessidade da evolução desses temas para permitir identificar as contribuições para o campo. Neste quadrante estão as palavras *barriers* (barreiras), *adoption* (adoção) e *incentives* (incentivos);
- **Quarto quadrante:** localizado na parte inferior direita, são temas com alta centralidade e baixa densidade. Ou seja, neste quadrante os temas podem ser classificados como temas importantes, mas que ainda não se desenvolveram. Neste quadrante estão as palavras *electric vehicle* (veículo elétrico), *electric vehicles* (veículos elétricos) e *perception* (percepção).

O número de ocorrência das palavras é representado pelo tamanho do círculo, ou seja, as palavras dos quadrantes inferiores tiveram o maior número de ocorrência. Vale destacar que o grupo das palavras barreiras, adoção e incentivos ficaram separadas do grupo de palavras veículos elétricos e percepção, o que pode indicar que um tema tem sido mais desenvolvido do que o outro e também que possuem níveis de relações diferentes com outros grupos. Entretanto, como esses dois grupos ficaram no terceiro e quarto quadrante, isso indica que estes temas ainda precisam ser estudados, e a realização desse trabalho faz a união entre os dois temas.

Na Figura 40 é apresentado um mapa da estrutura conceitual, desenvolvido através do método MCA - *Multiple Correspondence Analysis* (Análise de Correspondência Múltipla). Esse método de análise tem como objetivo analisar a estrutura do campo conceitual do mapa, com base em análise de *cluster K-means*, que agrupa os conceitos comuns. Desta forma, as palavras foram agrupadas com base em sua homogeneidade: quanto mais próximos essas palavras estiverem na distribuição da figura, mais semelhantes são.

Assim pode-se observar o agrupamento de cinco *clusters* representados pelas cores azul, vermelho, verde, laranja e roxo.

O *cluster* vermelho é formado pelas palavras: "**vehicles**" (veículos), "**secondary batteries**" (baterias secundárias), "**perception**" (percepção), "**innovation**" (inovação), "**china**" (China), "**electric vehicle**" (veículo elétrico) e "**electric vehicles**" (veículos elétricos).

Já o *cluster* azul é formado pelas palavras: "**technologies**" (tecnologias), "**plug-in hybrid**" (híbrido *plug-in*), "**attitudes**" (atitudes), "**incentives**" (incentivos), "**alternative fuel vehicles**" (veículos de combustível alternativo), "**policy**" (política), "**adoption**" (adoção), "**barriers**" (barreiras) e "**model**" (modelo).

Do *cluster* verde fazem parte: "**impact**" (impacto), "**consumer attitudes**" (atitudes do consumidor), "**market**" (mercado), "**preferences**" (preferências), "**behavior**" (comportamento), e "**demand**" (demanda).

As palavras: "**energy**" (energia), "**hybrid**" (híbrido), "**choice**" (escolha), e "**range**" (alcance) formam o *cluster* laranja.

E por último, "**mobility**" (mobilidade) e "**renewable energy**" (energia renovável) compõem o *cluster* roxo.

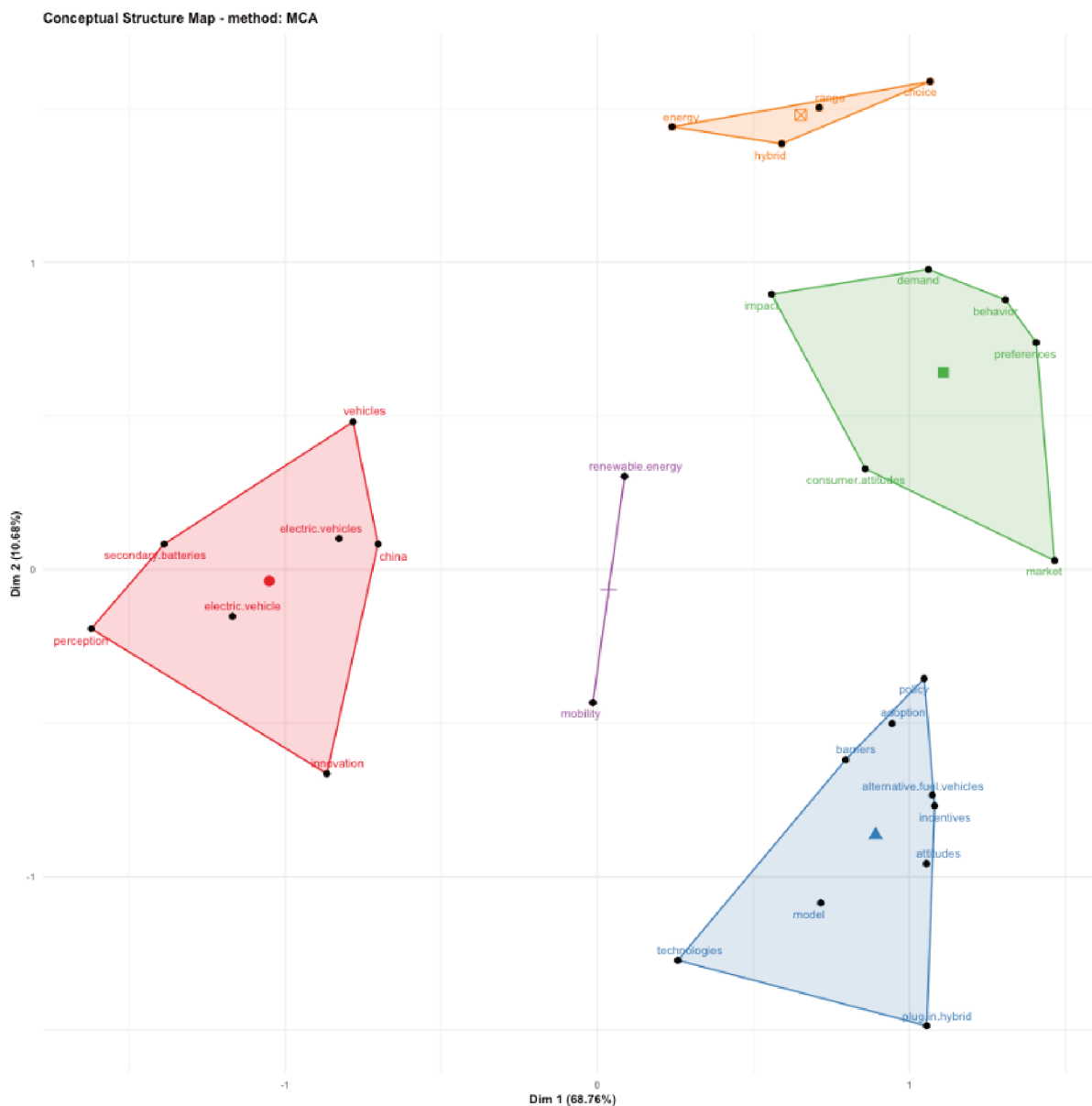


Figura 40 – Mapa da estrutura conceitual.

Na Figura 41 é possível observar um dendrograma (ou diagrama em árvore) com as principais palavras relacionadas ao tema, que se deriva da análise anterior, o método MCA. Pode-se observar que existem cinco *clusters* representados pelas cores laranja, roxo, verde, azul e vermelho. Esses *clusters* estão separados em três categorias de análises: 1) Mobilidade e os Veículos Elétricos ; 2) Barreiras e Desafios; 3) Escolhas e Comportamento dos consumidores.

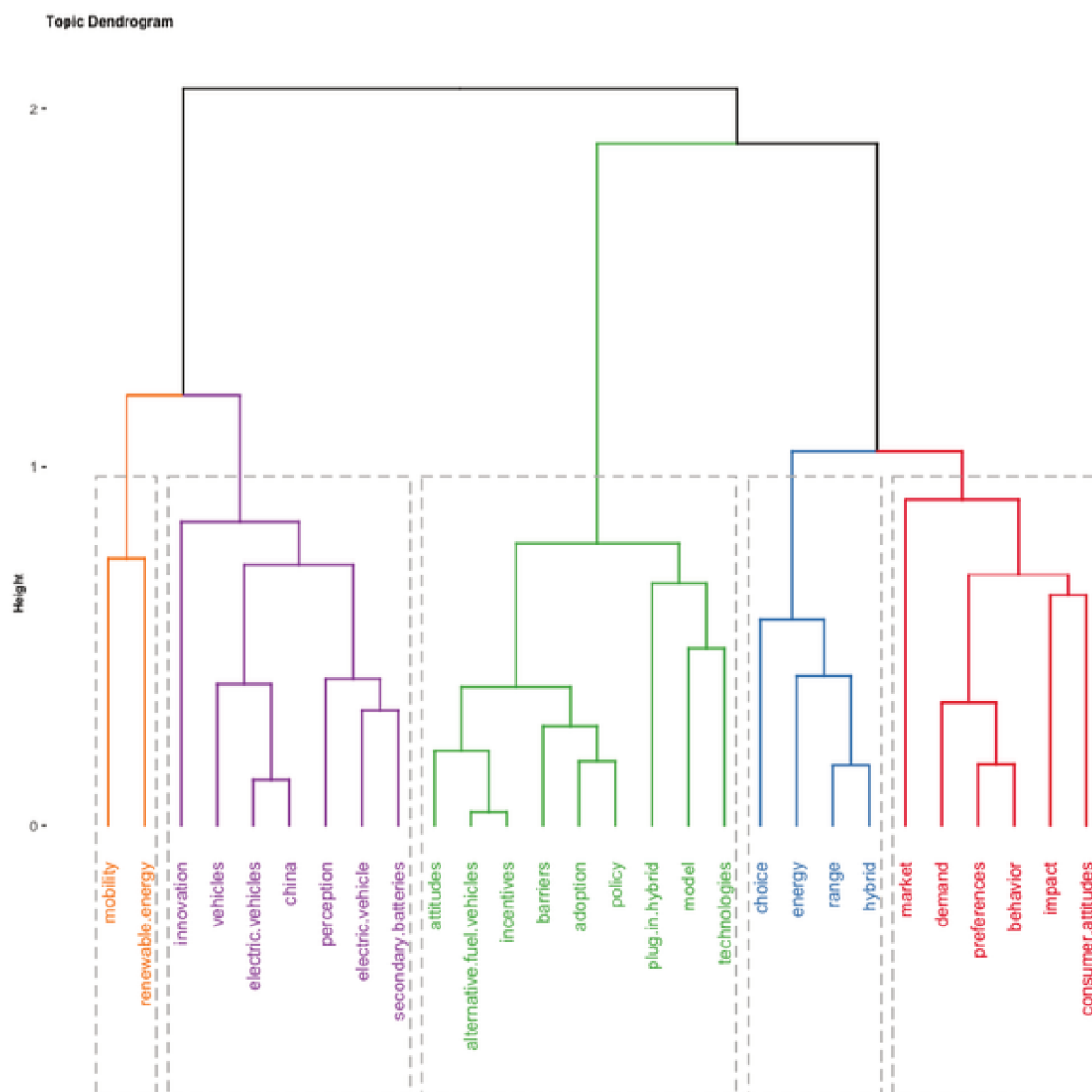


Figura 41 – Dendrograma.

O foco dessa pesquisa ficou no *cluster* verde, ou no item 2 (Barreiras e Desafios). Com isso, tentou-se buscar quais eram as barreiras ou obstáculos para a difusão dos veículos elétricos e suas baterias. Os temas que compõem o *cluster* verde são abordados mais profundamente no item a seguir.

4.3 Análise Sistêmica

Como mencionado no item 3.2, a quarta etapa do método SYSMAP é chamada de análise sistêmica, ou então, análise de conteúdo. Nessa etapa são levantadas quais são as lacunas e oportunidades de pesquisa com base na leitura integral dos textos alinhados com o tema (filtrados ainda na Fase 2). Para isso, é recomendado que inicialmente seja

criada uma pergunta de pesquisa de acordo com o tema de investigação do pesquisador, e assim, obter as lacunas de pesquisa desejadas (VAZ; URIONA-MALDONADO, 2017)[14].

A pergunta utilizada para a realização dessa etapa, foi: "**Quais são as barreiras para a difusão dos veículos elétricos?**"

Esses artigos que compõem a amostra II, e que tiveram seus conteúdos analisados, possibilitaram a identificação das barreiras e lacunas de pesquisas e são apresentados no ANEXO A. Com a leitura integral desses artigos foi possível ter uma ampla noção dos carros elétricos e suas baterias. Principalmente porque os artigos estudaram cenários de diversos países, como Alemanha, Austrália, Bélgica, Brasil, China, Coreia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Laos, Malásia, Noruega e Suécia. Assim como em proporções mais amplas, como toda a União Europeia, ou países nórdicos, ou em menores proporções, como somente a capital de um desses países ou alguma cidade relevante para os estudos.

Além disso, nesses artigos, diversas metodologias de pesquisa foram utilizadas pelos autores, desde revisão da literatura existente, estudos de casos, entrevistas com possíveis usuários de veículos elétricos, especialistas no assunto, empresários, engenheiros, políticos e governantes, entre outros. Também foram abordados diversos tipos de veículos elétricos HEVs, PHEVs, BEVs, FCEVs. Com essa diversificada gama de pesquisas, foi possível compreender quais são as principais barreiras para a difusão dos veículos elétricos e suas baterias de maneira ampla.

4.3.1 Barreiras para a Difusão dos Veículos Elétricos e suas Baterias

Nesta seção, são apresentadas as principais barreiras, discutidas pelos autores, que dificultam a disseminação de veículos elétricos. São cinco principais barreiras: sociais, tecnológicas/técnicas, econômicas, políticas e ambientais (além de um grupo chamado "outras barreiras"). Nos itens a seguir, cada uma dessas barreiras, são analisadas mais profundamente.

4.3.1.1 Barreiras Sociais

Para as autoras Egbue e Long (2012)[39], que tiveram o maior número de citações (de acordo com a Tabela 5), uma das principais falhas tanto dos fabricantes de VEs, quanto dos formuladores de políticas, é não identificar e resolver os problemas relacionados ao consumidor. Segundo as autoras isso pode gerar uma baixa aceitação dos VEs por um longo tempo, até mesmo após os problemas técnicos serem resolvidos.

- **Alcance**

Em um estudo realizado por Lin e Sovacool (2020)[76] sobre benefícios e barreiras da transição do veículo elétrico na Islândia, foram entrevistados 29 especialistas de diversos setores relacionados aos VEs. Neste estudo, a ansiedade de alcance, ou seja, a preocupação que o usuário tem de não conseguir chegar ao seu destino com a carga de bateria disponível, foi apontada como barreira social frequentemente mencionada à adoção de BEVs. Segundo Haddadian, Khodayar e Shahidehpour (2015)[77]: "Os consumidores de VE estão preocupados com viagens de longa distância - a ponto de tal ansiedade de alcance parecer estar desencorajando a maioria dos consumidores potenciais de VE".

"As pessoas pensam que dirigem muito mais tempo todos os dias do que realmente dirigem"(NOEL et al., 2020)[78]. Segundo esses autores, isso faz com que as pessoas acreditem que o carro vai ficar completamente descarregado deixando motoristas e passageiros parados em um local sem infraestrutura de carregamento, sendo essa a barreira mais discutida em seu estudo. A questão do alcance de VEs e da mentalidade das pessoas também foi abordada por um dos entrevistados desse estudo, apontando que cerca de 95% das distâncias percorridas na Suécia, Noruega e Dinamarca são em torno 50 quilômetros por dia. E segundo tal especialista entrevistado, qualquer carro elétrico feito a partir de 2009 é capaz de cobrir essa distância, porém muitas pessoas ainda ficam com receio relacionado ao alcance desses veículos. Outros especialistas desse estudo acreditam que devido as dimensões geográficas e as áreas pouco povoadas dos países nórdicos isso seria um grande desafio para o transporte em geral.

Noel et al. (2020)[78] apontaram que as barreiras mentais em relação ao alcance podem ser uma das barreiras mais difíceis de resolver quando um de seus entrevistados comentou de uma experiência em que foram dados VEs para que algumas pessoas testassem. Mesmo após experiência, sabendo que o alcance era suficiente para suas demandas diárias, os usuários ainda desejavam mais alcance.

- **Tecnologia desconhecida**

"Uma grande barreira é que os consumidores tendem a resistir a novas tecnologias que são consideradas estranhas ou não comprovadas"(EGBUE; LONG, 2012)[39].

Kurani, Turrentine e Sperling (1996)[79] perceberam que a maioria das pesquisas relacionadas ao tema de veículos elétricos costumam consultar apenas uma pessoa por domicílio. Entretanto, a compra de um veículo é considerada importante, e normalmente a decisão é realizada em conjunto pelos membros do domicílio. Os autores elaboraram um estudo com várias residências na Califórnia apelidadas por eles de "*residências híbridas*". Nesse estudo, os autores desenvolveram uma espécie de jogo, no qual as famílias envolvidas na pesquisa possuíam ao menos um veículo a combustão e um elétrico. Segundo os autores, algumas novas tecnologias podem possuir poucos atributos análogos às tecnologias já conhecidas, e isso pode fazer com que as pessoas a subestimem, por não

conhecerem sua real capacidade. Isso pôde ser visto no estudo, conforme as famílias foram readequando suas rotinas e trajetos diários, e conseguiram se adaptar ao veículo elétrico.

A falta de informação correta também foi associada as baterias no estudo de Noel et al. (2020)[78]. : "as pessoas pensam que são tóxicas, as pessoas pensam que vão quebrar facilmente, que você precisa trocar as baterias a cada quatro anos... Existem muitos equívocos [...]". Adnan et al. (2017)[80] consideram importante para a difusão dos veículos elétricos na Malásia, que os consumidores conheçam os benefícios e características dos VEs.

- **Falta de uma primeira experiência**

"Uma primeira experiência pode ajudar a quebrar noções preconcebidas do que os consumidores acreditam ser um VE"(NOEL et al., 2020)[78].

Em um estudo que explorou a adoção de sistemas de compartilhamento de lambretas em áreas urbanas espanholas, Aguilera-García, Gomez e Sobrino (2020)[81] mostraram que o compartilhamento de ciclomotores está passando por uma grande expansão, em várias cidades do mundo, mas principalmente em cidades europeias. Os autores concluíram que uma das principais barreiras para o uso frequente de lambretas elétricas compartilhadas estaria relacionado ao usuário não ter uma primeira experiência com esta alternativa de mobilidade.

Kurani, Turrentine e Sperling (1996)[79] também apontaram que é difícil para o consumidor construir preferências ou interesse por atributos desconhecidos, como alcance limitado, recarga doméstica, zero emissões de escape, dentre outras características dos VEs, porque o consumidor muitas vezes ainda não teve uma experiência com essas tecnologias e portanto, não consegue ter preferência por um VE.

- **Baixa tolerância a riscos**

Um dos obstáculos frequentemente mencionados para a compra de um veículo elétrico, foi a preocupação com a disponibilidade de um carregador de VE (JIA et al., 2018)[82]. Mesmo sabendo que 95% dos proprietários de VEs na Islândia carregam seus carros somente em casa, as pessoas precisam ver carregadores públicos, ou então, não podem comprar um VE, é um estado mental (NOEL et al., 2020)[78].

Quanto as baterias, Ajanovic e Hass (2018)[83] mencionaram que as baterias de lítio-ion podem representar um risco de segurança, quando perfuradas ou carregadas incorretamente, e que isso pode gerar preocupações ou medo entre os usuários.

- **Falta de percepção das vantagens**

Wang et al. (2017)[84] em um estudo sobre as barreiras à adoção generalizada de veículos elétricos na China concluíram que a falta de percepção das vantagens dos VEs era uma das principais barreiras para a sua ampla difusão entre os consumidores chineses.

O preço também foi encarado como uma barreira mental do consumidor. É difícil fazer as pessoas perceberem que apesar do alto investimento inicial de um VE comparado a um carro convencional (a combustão), normalmente o custo da energia na Islândia é mais barato do que os combustíveis, o que gera uma economia a longo prazo (NOEL et al., 2020)[78].

"O motor elétrico é mais econômico para dirigir a si mesmo. Eu dirijo um carro elétrico desde um ano e meio, e nunca tive um carro tão barato. Mas é difícil de explicar para as pessoas. Elas ainda não acreditam nele"(NOEL et al., 2020)[78].

Segundo She et al. (2017) os veículos elétricos têm vantagens no combustível e no custo de manutenção, apesar do alto custo do veículo e de sua bateria. Segundo os autores, com base nos preços atuais de combustível e energia elétrica na China, o custo dos VEs por milha acabam sendo até 50% menor quando comparados aos veículos movidos a gasolina. "Portanto, se os consumidores não entenderem o custo do combustível e o custo de manutenção, isso se torna uma possível barreira para a adoção do VE"(SHE et al., 2017)[85].

- **Confiabilidade no sistema V2G (*Vehicle-to-Grid*)**

Michael e Parag (2016)[86] estudaram como os avanços tecnológicos, como medidores inteligentes de energia elétrica e o crescente número de VEs, permitem que os consumidores de eletricidade em Israel se tornem os chamados "*prosumer*". Ou seja, consumidores que quando necessário podem oferecer serviços à rede elétrica como microgeração, redução da demanda, deslocamento de carga ou armazenamento de energia. Uma maneira de buscar um equilíbrio entre oferta e demanda energética é através da conexão *vehicle-2-grid*

(V2G), que faz com que o veículo forneça a energia armazenada em sua bateria para a rede elétrica quando necessário.

A adoção do V2G muda a forma como os serviços energéticos são vivenciados pelos consumidores, por isso, Michael e Parag (2016)[86] focaram nas barreiras para a integração dos serviços *prosuming* no setor residencial israelense. Através de uma pesquisa com cerca de 500 israelenses, que explora como esse público percebe a gama de tecnologias e programas de gestão de demanda, os autores encontraram diversas preocupações como barreiras para os medidores inteligentes. Segundo os autores, esses medidores são necessários para a adoção do V2G, e suas barreiras vão desde níveis de radiação, privacidade e dados sendo vendidos comercialmente sem autorização.

A pesquisa também mediu a vontade dos israelenses em permitir que a rede elétrica se aproveite da eletricidade armazenada nas baterias dos EVs. Segundo os autores, como as atuais tecnologias e programas de gestão de demanda não estão atualmente disponíveis de uma forma ampla, o público não está acostumado com o seu funcionamento na prática. Ainda segundo os autores: "Os israelenses são bastante negativos sobre a ideia de eletrodomésticos inteligentes que são controlados por terceiros, como o gerente da rede"(MICHAEL; PARAG, 2016)[86]. Os resultados da pesquisa mostraram uma outra preocupação dos israelenses em relação ao V2G: a possibilidade da bateria do carro não estar cheia quando eles precisarem utilizar o veículo.

Noel et al. (2019)[87] destacaram que uma das barreiras relacionadas ao consumidor quanto ao V2G era de que os consumidores não estariam dispostos a aceitar que um terceiro acessasse a sua bateria, e o quanto isso poderia acelerar o processo de degradação da mesma. Outros acharam o conceito do V2G muito complexo para ser entendido, o que diminuiria suas chances de adoção ao sistema. Para os autores não foi surpreendente o fato de os consumidores ficarem desconfiados de alguma ação que poderia inibir a sua bateria.

4.3.1.2 Barreiras Tecnológicas / Técnicas

- **Imaturidade**

Knezovic et al. (2017)[88] apontaram que a clara falta de dados experimentais para avaliar a confiabilidade dos VE produzidos em série para fornecer serviços de grande distribuição de energia, bem como avaliar suas capacidades contemporâneas sob várias condições externas, é vista como uma grande barreira. Na China: "Muitos entrevistados atribuíram problemas de segurança à tecnologia imatura e à falta de normas regulatórias relevantes"(SHE et al., 2017)[85].

- **Ausência de padrões**

Guo e Chan (2015)[89] destacaram a importância e necessidade de estabelecer um sistema de padronização para que seja evitado o desenvolvimento desordenado de produtos incompatíveis por diversos fabricantes. Segundo os mesmos autores, esse sistema deve ser elaborado com urgência.

Segundo Kzenovic et al. (2017)[88], existem diversos padrões de comunicação de VEs, quando se fala em aquisição e flexibilidade. A grande maioria dos VEs segue a norma IEC 61851 ou SAE J1772, que estipulam os limites para a corrente de carga de VEs. As normas citadas anteriormente descrevem uma comunicação de baixo nível, porém uma norma mais recente (ISO/IEC 15118) engloba a troca de informações entre todos os atores envolvidos no processo de fornecimento de energia elétrica para um VE. Essa nova norma também considera a criptografia dos dados para garantir a confidencialidade e integridade dos dados dos usuários. Ainda segundo os autores, essa norma é muito relevante para a aquisição de flexibilidade de VEs, porém não é amplamente apoiada pelos equipamentos e dispositivos de VE contemporâneos, por ainda estar em desenvolvimento.

- **Limitações tecnológicas das baterias**

Globish et al. (2019)[90] apontaram que uma das barreiras para a difusão de veículos elétricos no mercado é a atual faixa de direção fornecida pelas baterias, ou seja, a autonomia do veículo. Do ponto de vista técnico, essa é a principal causa de os veículos movidos a eletricidade ainda não serem amplamente utilizados (HARADA; KOREMATSU, 1999)[91]. Os esforços para melhorar a energia fornecida pelas baterias de lítio foram abordados no artigo de Yao et al. (2018)[92].

"O aspecto crucial para a penetração futura dos VEs é o desenvolvimento do desempenho da bateria"(AJANOVIC; HASS, 2018)[83]. Ainda segundo esses autores, embora o desempenho das baterias ter tido uma evolução significativa, ainda é preciso mais dedicação para aumentar a vida útil das próximas baterias, assim como o número de ciclos de carga/descarga e a capacidade utilizável da bateria durante toda a sua vida útil.

Em termos de produtividade e tecnologia, para Guo e Chan (2015)[89] existem duas barreiras fundamentais para o desenvolvimento de VEs: a pesquisa e a produção em massa de baterias de alta performance. Segundo Haddadian, Khodayar e Shahidehpour (2015)[77] "A tecnologia da bateria é o calcanhar de Aquiles dos VEs". Os autores ainda mencionaram quais os fatores relacionados a bateria levam a esta afirmação, como seu alto custo, longo tempo de carga, sua vida útil incerta, o alcance limitado do acionamento elétrico e que essas limitações colaboram com outra barreira: preocupações sociais. Além disso, o tamanho das baterias pode se tornar uma barreira, pois elas ocupam muito mais espaço quando comparadas a um tanque de gasolina.

Lebeau et al. (2015)[93] em seu estudo da eletrificação de veículos comerciais leves na Bélgica mencionaram como um desafio, a vida útil limitada das baterias em aplicações de transporte. Segundo os autores, "Quando atingem 80% da sua capacidade inicial de energia, precisam ser substituídas". Os autores ainda consideram que as baterias antigas poderiam ser reutilizadas em outras aplicações, mas ainda não há um mercado desenvolvido para isso, e não é claro se essas baterias podem ser valorizadas.

Song et al. (2017)[94] abordaram a questão da composição das baterias. Os autores reconhecem a importância das baterias recarregáveis de lítio e o seu potencial para aplicações nos veículos elétricos e redes inteligentes. Porém destacam que é crescente a preocupação com a disponibilidade de recursos de lítio devido a sua utilização em larga escala, e estudam a utilização das baterias de íons de sódio. Em seu estudo, os autores abordaram os obstáculos para sua comercialização, assim como o grande desafio relacionado a capacidade de melhorar os ciclos de vida dos materiais dos eletrodos.

- **Sensibilidade às condições climáticas**

A geografia e o clima frio da Islândia restringiram o desenvolvimento dos BEVs de acordo com 58,6% dos especialistas entrevistados por Lin e Sovacool (2020)[76]. Um dos entrevistados argumentou que se estiver frio, leva mais tempo para a bateria ser carregada. Outros entrevistados mencionaram que no frio as pessoas utilizam mais calor e desembaçam os vidros com mais frequência o que acelera o consumo de eletricidade.

A sensibilidade às condições climáticas também foi observada por um dos entrevistados de Noel et al.(2020)[78] ao mencionar que um dos desafios da Islândia seria a baixa temperatura (abaixo de zero) do local, o que reduz a faixa de alcance em mais de 50%.

- **Falta de estrutura da rede elétrica**

Knezovic et al. (2017)[88] apontaram como uma barreira a falta de infraestrutura para medição avançada (rede inteligente) disponível para VEs individuais, permitindo a verificação da flexibilidade de entrega de energia. Ainda segundo os autores, a Comissão Europeia recomendou que as funcionalidades de um medidor inteligente devem incluir a leitura remota com comunicação bidirecional e uma taxa de amostragem não superior a 15 minutos. Entretanto, não há padrões internacionais que garantem essas funcionalidades.

Ahn, Kim e Kwon (2018)[95] estudaram como a difusão dos veículos elétricos poderia afetar o fornecimento de energia na Coreia: "Se a participação de mercado dos VEs exceder 12,5% antes de 2030 no mercado interno da Coreia, a oferta e demanda de energia estável estará ameaçada".

Segundo Kzenovic et al. (2017)[88], o aumento do número de veículos elétricos gera um impacto de carga descontrolada, principalmente no nível de distribuição, em que altas concentrações de VE ocasionam vários efeitos prejudiciais quando ocorre a coincidência

entre a carga de VE e o pico de consumo residencial. Para Zhang et al. (2018)[96] o carregamento não planejado em larga escala de carros elétricos pode causar uma grande carga imprevisível e intermitente na rede elétrica atual, podendo afetar seriamente a sua estabilidade. Vassileva e Campillo (2017)[97] também apontaram que é importante considerar o impacto que irá sofrer o sistema elétrico com a penetração dos VEs no mercado. De acordo com os autores, o crescimento no número de VEs nos países nórdicos pode afetar seriamente o perfil de consumo de energia local ao aumentar ainda mais o pico noturno, pois é o período em que os nórdicos preferem carregar seus veículos. Além disso, "[...] baterias maiores causam maiores picos de demanda e deslocam os picos para as horas posteriores, pois a carga da bateria leva mais tempo"(SODENKAMP et al., 2019)[98].

A estrutura do mercado elétrico atual foi vista como uma barreira para 10% dos especialistas entrevistados por Noel et al. (2019)[87] para a adoção do V2G no mercado nórdico. "Os resultados da simulação também determinam que a cobrança programada seria necessária para permitir uma grande penetração dos VEs, sem a necessidade de atualizações significativas na infraestrutura existente"(VASSILEVA; CAMPILLO, 2017)[97].

4.3.1.3 Barreiras Econômicas

- **Custo do veículo**

No estudo de caso realizado por Adepetu e Keshav (2017)[99] descobriu-se que na cidade de Los Angeles (EUA), que já conta com uma elevada taxa de adoção de veículos elétricos, a competitividade de custo dos VEs é uma barreira mais significativa do que a ansiedade de alcance. O custo também foi a principal barreira para a difusão da tecnologia de VEs no Laos (PHOUALAVANH; LIMMEECHOKCHAI, 2016)[100]. O que também foi visto como uma barreira potencial na Austrália Ocidental, principalmente quando se leva em consideração a desigualdade dos rendimentos familiares (ANDRICH; IMBERGER; OXBURH, 2013)[101].

Quando se especifica o modelo de VE, Clinton e Steinberg (2019)[102] apontaram os altos custos iniciais em relação aos veículos convencionais nos Estados Unidos como uma barreira para a adoção dos BEVs. Estudos realizados por Liu et al. (2019)[103] indicam que o alto custo de compra também foi o maior obstáculo para a comercialização de BEVs no mercado chinês. Cerca de 70% dos especialistas de diversas áreas entrevistados por Lin e Sovacool (2020)[76] comentaram que o elevado preço dos BEVs constituía a maior barreira para à ampla adoção desses veículos na Islândia. Ainda segundo os autores, muitos entrevistados comentaram que o custo de capital inicial para a aquisição de um BEV é muito alto, ainda que esses veículos sejam isentos de imposto de registro e do IVA (Imposto sobre Veículos Automotores) na Islândia.

Poucos artigos abordaram veículos elétricos movidos a células de combustível (FCEVs), Ajanovic e Hass (2018)[83] mencionaram que este tipo de veículo movido a hidrogênio não

foi considerado em seu trabalho devido ao seu alto custo, mas poderiam ser de interesse a longo prazo. Renzi e Crawford (2000)[44] concluíram que o elevado custo ainda é um grande obstáculo para levar alguns protótipos para a linha de produção, quando comparados com veículos a combustão.

Outra dificuldade apontada em um dos artigos são os gastos iniciais irrecuperáveis em P&D e outros requisitos de capital que as empresas automobilísticas precisam investir para lidar com as novas tecnologias. Essas mudanças também incluem curvas de aprendizado, acesso a canais de distribuição, patentes, entre outros (STRINGHAM; MILLER; CLARK, 2015)[75].

• **Custo da bateria**

Egbue e Long (2012)[39] mencionaram que além das limitações tecnológicas, o alto custo da bateria é um dos maiores desafios a serem superados para a adoção generalizada dos VEs. De acordo com Ajanovic e Hass (2018)[83] os custos relacionados a bateria de um EV representam aproximadamente 25% a 55% do preço total do carro. "O custo total da bateria inclui três partes: custo dos componentes da célula, custo dos componentes da bateria e outras despesas da empresa"(LIU et al., 2019)[103].

Um estudo desenvolvido na China entrevistou quase 500 pessoas em áreas urbanas para saber quais eram as barreiras para a adoção generalizada de veículos elétricos: "O alto custo da bateria é a principal barreira tecnológica para a adoção generalizada do BEV"(SHE et al., 2017)[85].

• **Fornecimento de matéria-prima**

A platina é um material crucial para as pilhas de células a combustíveis, e seu fornecimento pode se tornar uma barreira para os FCEVs. Apesar das reservas mundiais serem suficientes para uma potencial futura difusão dos FCEVs, há dúvidas a respeito da rapidez com que a produção de platina seria capaz de acompanhar o crescimento da demanda (WANITSCHKE; HOFFMANN, 2019)[43]. Além disso, segundo os autores, apesar da atual tecnologia utilizada nos veículos a combustão interna depender da platina como um catalisador para o tratamento de fumos de escape, a quantidade de platina por veículos é muito maior para os FCEVs.

Ajanovic e Hass (2018)[83] destacaram que existem preocupações relacionadas ao futuro fornecimento e disponibilidade de lítio para aplicação em baterias. Segundo os autores, o atual cartel de dependência de petróleo da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) pode ser substituído por um novo cartel formado pelos países que apresentam a maior concentração de lítio, localizados principalmente na América do Sul.

4.3.1.4 Barreiras Políticas

- **Falta de programas de incentivo**

Vassileva e Campillo (2017)[97] estudaram as barreiras para a adoção de veículos elétricos na Suécia e concluíram que a falta de programas fortes de incentivos resultou no atraso do país em relação a outros países semelhantes no número de veículos elétricos em circulação. Situação parecida ocorreu em outros países europeus: "[...] a Islândia carece de incentivos políticos e eficazes para estimular a adoção do BEV"(Lin; Sovacool, 2020)[76]. "A falta de incentivos ao consumidor foi sugerida como uma barreira por quase 20% dos especialistas, enquanto a falta de vontade política foi apresentada por 12%"(NOEL et al., 2020)[78].

Na Alemanha, segundo Scherrer, Plötz e Van Laerhoven (2020)[104], a tecnologia só pode atingir seu máximo potencial se for apoiada pelo governo. Kzenovic et al. (2017)[88] destacaram que embora os marcos regulatórios de operação do sistema de distribuição sejam diferentes em cada país, muitas regulamentações nacionais não permitem explicitamente a aquisição de flexibilidade e algumas chegam até a proibir a agregação em suas redes para permitir que o veículo elétrico apoie o sistema de distribuição de energia. Segundo os autores, esta é uma grande barreira e deve ser abordada o mais breve possível.

Cohen (2009)[105] estudou o caso da aeromobilidade pessoal e a transição para a mobilidade sustentável nos Estados Unidos e destacou o papel que o governo federal têm para a entrada de uma mobilidade aérea pessoal mais difundida.

- **Infraestrutura de tarifação pública**

A falta de infraestrutura de carregamento público é muitas vezes considerada uma importante barreira à difusão de veículos elétricos (Globish et al., 2019)[90]. Segundo estudo de Noel et al. (2020)[78], nos países nórdicos, um dos maiores desafios enfrentados pelos veículos elétricos são as poucas estações de recarga existentes no momento.

Csiszár et al. (2019)[106] apontaram que a rede de carga atualmente insuficiente, devido ao baixo número de estações e locais mal escolhidos, representa uma barreira significativa para a difusão de veículos elétricos em muitos países. Com isso, propuseram um método de localização de postos de abastecimento público urbano para veículos elétricos na Hungria baseado em uma abordagem de uso do solo.

"O crescente desequilíbrio entre demanda e oferta de infraestrutura de carregamento torna-se o principal obstáculo do desenvolvimento de VE na China"(LIU; WEI, 2018)[107]. Segundo os autores, os governos estão aplicando a modalidade de Parceria Público-Privada (PPP) para aplicar capital sólido e capacidade tecnológica do setor privado para melhorar a situação de infraestrutura, além de estudar as tecnologias de carregamento sem fio.

Ainda em território chinês: "Uma grande barreira para uma maior aceitação dos PEVs (*Plug-in Electric Vehicles*) pelos consumidores é a falta de vagas de estacionamento do-

méstico para os pontos de carregamento"(OU et al., 2018)[108]. Isso faz com que os usuários dependam ainda mais de uma infraestrutura de tarifação pública. Um outro estudo em áreas urbanas na China apontou: "Em termos de suporte ao serviço público, a infraestrutura de tarifação pública ruim é considerada a maior impeditiva"(SHE et al., 2017)[85].

- **Incentivo ao uso de biocombustíveis**

O programa de biocombustíveis adotado pelo governo brasileiro foi apontado por Baran e Legey (2012)[109] como um dos principais obstáculos para a introdução de VEs no Brasil. O programa apoia principalmente a utilização do etanol como biocombustível substituto da gasolina.

4.3.1.5 Barreiras Ambientais

- **Sustentabilidade da fonte de combustível**

Egbue e Long (2012)[39] estudaram quanta influência tem a sustentabilidade na decisão de compra de um VE, realizando um estudo *online* com 500 pessoas, das quais, 481 foram consideradas aptas a participarem das análises. De acordo com a pesquisa, uma grande barreira detectada em um grupo tecnologicamente consciente, e portanto, mais apto a adotar um VE, era a incerteza relacionada a sustentabilidade da fonte de combustível.

As emissões de GEE provenientes da geração de energia elétrica utilizada para carregar/recarregar os BEVs foi apontada como uma grande preocupação pelos diversos especialistas entrevistados por Lin e Sovacool (2020)[76] na Islândia. Assim como na China, em que Wang et al. (2017)[84] perceberam que os benefícios de sustentabilidade e os ambientais dos veículos elétricos influenciam na adoção dos VEs de uma maneira bastante significativa, sendo a incerteza da sustentabilidade da fonte de combustível uma potencial barreira.

Ahn, Kim e Kwon (2018)[95] comentam que uma rápida expansão de VEs no mercado coreano, sem considerar as fontes geradoras de energia possivelmente enfrentará o desafio de formar um consenso social para decidir uma direção política sensata em relação a um "mix"energético mais sustentável.

- **Descarte das baterias**

Para Haddadian, Khodayar e Shahidehpour (2015)[77], existem desafios relacionados à reciclagem das baterias antigas dos VEs, e como essas contribuem para a degradação ambiental. De acordo com Ajanovic e Hass (2018)[83], a maioria das baterias dos VEs têm uma vida útil garantida pelos fabricantes de cerca de 8 a 10 anos, e o que fazer com essas baterias após esse período é um desafio. Ainda segundo os autores, para os

possíveis usuários preocupados com o meio ambiente, a reciclagem adequada da bateria de lítio-íon poderia se tornar uma barreira, pois é um processo complicado, demanda muita energia e ainda não está estabelecido. Além disso, segundo Ajanovic e Hass (2018)[83]: "Normalmente, quando usada em carros, o fim da vida útil da bateria é o ponto em que a capacidade da bateria é menor ou igual a 80% da sua capacidade original", o que geraria uma grande impacto ambiental se essas baterias não forem reutilizadas. Além disso, emissões após tratamento e custos de transporte e manuseio também são considerados altos. Wanitscheke e Hoffmann (2019)[43] também levantaram questões relacionadas as incertezas sobre a intensificação de gases do efeito estufa no processo de reciclagem das baterias.

O descarte das baterias é um obstáculo para Gur et al. (2018)[110], que recomendam que a reutilização de baterias ajudaria a diminuir a demanda por produção de novas baterias, o que requer o consumo de recursos críticos, como o lítio e o cobalto. Os autores ainda sugerem a reutilização de baterias de veículos eletrificados como forma de integrar energias renováveis na rede elétrica europeia. Com isso, seria possível realizar o armazenamento estacionário através de baterias automotivas de segunda mão e ainda os integrar a sistemas fotovoltaicos domésticos. Porém, atualmente em muitos países europeus "o investimento em armazenamento estacionário está longe de ser significativo em escala residencial no momento"(GUR et al., 2018)[110].

4.3.1.6 Outras Barreiras

- **Operacionais**

Wikström, Hansson e Alvfors (2016)[111] relacionaram a barreira operacional com a forma como o usuário se relaciona com o BEV. Apesar de poder afetar a atitude do usuário e se tornar um impedimento para o uso posterior de um BEV, a barreira operacional não é uma barreira igual para todos os usuários. Estudos foram realizados em diversas empresas com frotas comerciais de BEVs, e concluíram que a forma de introdução que a empresa passa aos usuários afeta a forma como os mesmos se relacionam com a nova tecnologia. Segundo os autores, é importante que as organizações trabalhem com as etapas iniciais de apresentação da tecnologia para superar possíveis barreiras operacionais.

- **Pouca variedade de modelos**

"Atualmente, os compradores de automóveis na Islândia sofrem com os atrasos no fornecimento e a disponibilidade limitada de modelos"(Lin; Sovacool, 2020)[76].

Em um estudo sobre os obstáculos à aceitação de VEs na Irlanda, O'Neill et al. (2019)[112] entrevistaram representantes de concessionárias de automóveis e formuladores de políticas e concluíram que há uma limitação relacionada a gama de veículos. Apenas

um dos 17 entrevistados não mencionou este obstáculo para a aceitação de *plug-ins* pelo mercado de massa, estando as opções de VEs muito atrás dos veículos a combustão interna.

- **Relutância de empresas petrolíferas**

Uma possível dificuldade para fazer a transição da automobilidade tradicional (a combustão) para a automobilidade elétrica é apontada por Berkeley et al. (2017)[113]. Segundo tais autores, em relação as empresas petrolíferas: "Os interesses instalados e em ascensão podem procurar manter e prolongar o regime existente e, portanto, podem ser uma barreira para inovações que ameacem a mudança de regime [...]"(BERKELEY et al., 2017)[113].

4.4 Oportunidades e Lacunas de Pesquisas

A análise sistêmica mostrou que são muitas as barreiras para a difusão dos veículos elétricos em diversos países, e algumas delas estão muito interligadas. Porém essas barreiras deixam espaço para algumas oportunidades e lacunas de pesquisas, que são abordadas a seguir.

Novas pesquisas devem ser realizadas abordando os consumidores em geral, e não apenas os mais voltados às novas tecnologias (e mais aptos a adotarem), possibilitando um comparativo de semelhanças e diferenças entre esses dois grupos (EGBUE; LONG, 2012)[39]. Realizar outras formas de questionários, muitos deles foram *online*, o que pode representar uma barreira para algum segmento da população. Aumentar a amostra da população urbana e buscar maior participação principalmente da parcela mais idosa da população, que poderia ter mais dificuldades em se adaptar com as novas tecnologias (AGUILERA-GARCÍA; GOMEZA E SOBRINOB, 2020)[81]. Outro aspecto importante relacionado às amostras, foi a baixa representatividade feminina. Segundo Wang et al. (2017)[84] a amostra utilizada em seu estudo teve uma significativa diferença entre a proporção de homens e mulheres, sendo recomendada a realização de novas pesquisas com uma amostra mais equilibrada.

Muitas pesquisas foram realizadas em países desenvolvidos, portanto seria importante realizar estudos em países em desenvolvimento, visto que esses países têm uma alta desigualdade, acesso a algumas das novas tecnologias e uma renda média em crescimento (ANDRICH; IMBERGER, OXBURGH, 2013; AGUILERA-GARCÍA; GOMEZA; SOBRINHOB, 2020)[101][81]. É importante que as pesquisas futuras comparem como ocorre a difusão dos VEs nos dois diferentes grupos de países, fazendo uma análise de resultados com uma abrangência mais global. Uma abrangência mais global também foi sugerida por Lebeau et al. (2015)[93]. Além disso, é importante saber o quanto as diferenças culturais em nível global influenciam a decisão de adoção de um VE para Wang et al. (2017)[84].

Quanto as baterias, é necessário que as pesquisas encontrem respostas para uma maneira de oferecer maior alcance. Também é preciso oferecer uma vida útil mais longa, com mais ciclos de vida, sem que isso afete muito o seu tamanho ou custo (KURANI; TUR-

RENTINE; SPERLING, 1996; GUO; CHAN, 2015; GUR et al., 2018)[79][89][110]. Para Sodenkampa et al. (2019)[98] também é importante realizar pesquisas mais aprofundadas do quanto a temperatura afeta o desempenho das mesmas. A pesquisa por novos materiais pode trazer uma resposta para esses desafios (GUO; CHAN, 2015; SONG et al., 2017; YAO et al., 2018)[89][94][92]. Segundo Ajanovic e Haas (2018)[83], não está claro qual o tipo de bateria se destacará no futuro ou se apenas um tipo se tornará mais favorável e amplamente adotado. Além disso, estudos sobre as células de combustível também devem ser realizados, principalmente em relação ao seu custo e tamanho (RENZI; CRAWFORD 2000)[44].

Conforme Guo e Chan (2015)[89] o que deve ser explorado com urgência é o desenvolvimento de um sistema de padronização, evitando a produção desordenada de produtos incompatíveis. Outro aspecto importante é a reestruturação dos métodos de fabricação (RENZI; CRAWFORD, 2000; GUO; CHAN, 2015)[44][89]. Além do desenvolvimento de uma maior variedade de modelos que seja capaz de atender as preferências dos consumidores (HADDADIAN; KHODAYAR; SHANIDEHPOUR, 2015)[77].

Haddadian, Khodayar e Shahidehpour (2015)[77] destacaram a importância de orientar os engenheiros dos futuros VEs quanto a importância de incorporar as preferências do consumidor em seus projetos. E ainda evitar tentar reproduzir apenas as mesmas qualidades e atributos dos veículos convencionais a gasolina, como longo alcance e curto tempo de abastecimento, e sim evidenciar as diferentes qualidades das tecnologias dos VEs que os tornam únicos (KURANI; TURRENTINI; SPERLING, 1996)[79].

Vários autores sugeriram que para pesquisas futuras seria fundamental incluir um comparativo do custo de abastecimento de um veículo com motor a combustão interna com um VE (EGBUE; LONG, 2012)[39]. Assim, os consumidores conseguem perceber as vantagens econômicas que podem ter a longo prazo ao adquirir um VE, e não levarem em conta apenas o alto custo inicial de aquisição (GLOBISCH et al., 2019)[90]. As empresas devem estudar maneiras de garantir que os custos iniciais dos VEs não sejam tão elevados para desaminar a sua adoção (ADEPETU; KESHAV, 2017)[99].

Pesquisas futuras devem focar principalmente em formas de simplificar a implementação das tecnologias V2G no mercado de eletricidade (NOEL et al., 2019)[87]. Michaels e Parag (2016) abordaram como são vistas as complexidades desses sistemas pelo público israelense em geral. Também é fundamental o desenvolvimento de métodos de controle das tecnologias das redes inteligentes, obtendo um fluxo de energia de duas vias entre a rede e o VE (KNEZOVIC et al., 2017; CSISZÁR et al., 2019)[88][106]. A atualização dos sistemas de comunicação da rede de distribuição também é necessária para permitir a cobrança programada e controlada de VEs (VASSILEVA e CAMPILLO, (2017)[97]. A gestão de demanda energética também é necessária para suprir a possível eletrificação excessiva (AHN; KIM; KWON, 2018)[95].

Csiszár et al. (2019)[106] apontaram a importância de se ter uma pesquisa que de-

envolva um método de cálculo do número de pontos de carregamento público que serão necessários considerando previsões de crescimento no número de VEs. Precisam ser feitas mais pesquisas sobre estações de carregamento, tanto públicas quanto residenciais (ADNAN et al., 2017)[80]. O fornecimento de mais estruturas de carregamento público pode diminuir a ansiedade de alcance apontada por muitos usuários, porém outras formas de diminuir esta barreira devem ser estudadas. Para Renzi e Crawford (2000)[44], são necessários novos investimentos em infraestrutura independente do combustível alternativo que for mais aceito pelo consumidor.

Ainda é necessário direcionar o uso de energia para um consumo mais verde, e eficiente, aumentando a oferta a partir de fontes renováveis (COHEN, 2009; BARAN; LEGEY, 2012; AHN; KIM; KWON, 2018; AJANOVIC; HAAS, 2018)[105][109][95][83]. A reutilização das baterias para armazenamento estacionário pode ser uma alternativa para um futuro mais sustentável e merece mais estudos (ZHANG et al., 2018)[96]. Assim como a integração dessas baterias com fontes renováveis como geradores eólicos ou células fotovoltaicas (ADNAN et al., 2017; ZHANG et al., 2018)[80][96].

Apenas o avanço tecnológico não é capaz de resolver todos os atuais problemas relacionados ao setor de transporte (AJANOVIC; HAAS, 2018)[83]. São necessárias mudanças de comportamento relacionadas à mobilidade, e novos estudos relacionados ao tema, conforme o andamento dessas mudanças (ADNAN et al., 2017; AJANOVIC; HAAS, 2018; NOEL et al., 2020)[80][83][78]. Estudar tais mudanças antes que aconteçam, permite prever ajustes que podem ser necessários na transição para a mobilidade elétrica, evitando o surgimento de novas barreiras (SCHERRER; PLÖTZ; LAERHOVEN, 2020)[104]. Também é importante melhorar a experiência de condução dos atuais motoristas de veículos elétricos, assim como o *design* e atualização dos carregadores (VASSILEVA; CAMPILLO, 2017)[97]. Além disso, pesquisar a relevância de características atitudinais, como por exemplo, tolerância ao risco ou as novas rotinas de comportamento, e as consequências disso na adoção de um VE (GLOBISCH et al., 2019)[90].

4.4.1 Oportunidades e Lacunas de Pesquisas para a Área de Engenharia de Controle e Automação

Dentre as oportunidades de pesquisa apontadas acima, algumas delas estão diretamente relacionadas com áreas de atuação de um engenheiro de controle e automação, principalmente as oportunidades relacionadas às barreiras tecnológicas e técnicas. Por exemplo, o desenvolvimento de sistemas de protocolos e padronização de equipamentos para veículos elétricos, assim como a reestruturação dos métodos de fabricação. Outros exemplos também são o desenvolvimento de métodos de controle das tecnologias das redes inteligentes, incluindo gestão de demanda, cobrança programada e controlada de energia elétrica. Assim como o desenvolvimento das baterias e possíveis aplicações de

reutilização das mesmas quando não forem mais aplicáveis em veículos elétricos, como o armazenamento estacionário de energia elétrica.

Porém as oportunidades não ficam restritas apenas às tecnologias, pois um engenheiro pode atuar em diversas áreas empresariais, políticas e sociais, e é capaz de orientar e incentivar mudanças de comportamentos sociais e atitudinais como a adoção de energias renováveis e um desenvolvimento mais sustentável, que estão diretamente relacionados aos veículos elétricos.

5 Conclusões

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais do trabalho e as principais recomendações futuras.

5.1 Considerações Finais

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar uma análise das barreiras para a difusão dos veículos elétricos, o qual foi atingido através de uma revisão de literatura estruturada, por meio do método SYMAP e de *softwares* bibliométricos: *RStudio*, *EndNote*, *VOSviewer* e *CitNetExplorer*.

O processo se deu em quatro (4) fases: busca nas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*) para a formação da coleção de documentos, filtragem, bibliometria e análise de conteúdo. As palavras-chave utilizadas foram: ((“**Electric vehicle**” OR “**Electric car**” OR “**Electric mobility**”) AND (“**Barrier\$**” OR “**Obstacle\$**” OR “**Blocking\$**”)), a busca foi realizada no mês de março de 2020.

Foram encontrados 476 documentos ao total, sendo 437 sem duplicados (que foram utilizados na análise cientométrica) e 235 disponíveis para a realização desse trabalho. Deste total de documentos disponíveis, 44 artigos foram classificados como alinhados com o tema, a partir da leitura de seus títulos e resumos. Porém, após leitura integral desses 44 artigos, apenas 42 deles foram utilizados para a execução da análise de conteúdo (ou sistêmica). Cinco critérios foram utilizados para a realização da análise sistêmica:

- i) Quais os conceitos e definições sobre o assunto usado pelos autores?
- ii) Quais os tipos de metodologias usado pelos autores?
- iii) Quais as regiões/países/setores que implementaram e estão desenvolvendo estudos sobre veículos elétricos?
- iv) Quais as barreiras e obstáculos identificadas pelos autores?
- v) Quais as recomendações de trabalhos futuros mencionadas pelos autores?

Com esta pesquisa foi possível encontrar 348 documentos na *Web of Science* e 128 na *Scopus*, totalizando 476 documentos. Também foi possível identificar quais eram os tipos desses documentos, sendo 285 artigos. É interessante ressaltar que o documento mais antigo encontrado é de 1974, e que este foi o único documento publicado até 1995 sobre o tema pesquisado. A partir de 1995, quase todos os anos tiveram documentos publicados até 2020, com exceção de 2001 e 2004. O ano com mais documentos publicados foi 2019, com um total de 94 documentos.

Com a análise bibliométrica foi possível analisar 21 aspectos diferentes relacionados aos veículos elétricos e o que já foi publicado à respeito do tema em duas bases de dados diferentes (*Web of Science* e *Scopus*).

Quanto aos *journals*, ***Energy Policy*** foi o mais frequente, com 35 artigos publicados relacionados ao tema. A rede de cocitação de *journals* mostrou que ***Transport Research Part D-Transport Environment*** está entre os principais *journals*, relacionando abordagens sustentáveis e o setor transporte.

Além disso, entre as instituições mais frequentes nos resultados, estavam ***Tsinghua University*** (China), ***Aarhus University*** (Dinamarca) e ***University of Sussex*** (Reino Unido), com respectivamente 15, 13 e 12 artigos publicados por essas instituições. A colaboração entre instituições indicou que existe uma relação mais regional por exemplo entre diferentes laboratórios situados nos Estados Unidos. E uma relação mais global por exemplo entre instituições da Inglaterra (*University of Oxford*) e China (*Tsinghua University*).

Dentre os autores mais produtivos em número de publicações estava **Benjamin K. Sovacool**, com 9 documentos publicados. E existe uma rede de colaboração entre autores, a qual Sovacool faz parte de um dos *clusters* de colaborações. No *cluster* de Sovacool estão outros autores com bastante publicações, como L. Noel. Além disso, a rede de cocitação de autores indicou que a autora **Ona Egbue** estava entre os autores mais citados, atrás apenas da soma de todos os autores anônimos. Ona Egbue apareceu também com Suzana Long, entre as referências mais citadas (62 vezes), tendo destaque também na rede de cocitação de referências.

Os **Estados Unidos** tiveram destaque como país mais produtivo, tanto de publicações individuais, assim como para publicações em conjunto a outros países. Dinamarca, China e Alemanha também tiveram destaque no número de colaborações entre países. O mapa mundial de colaboração entre países indicou que o Brasil realiza pesquisas sobre o tema, porém não faz colaborações significativas com outros países.

As palavras-chave "***electric vehicle***" e "***barriers***" foram as mais frequentes, tendo aparecido 65 e 53 vezes, respectivamente nos resultados das buscas, sendo destaque também na *TreeMap*. Para temas de tendência, tiveram destaque as palavras "***Barriers***" e "***Adoption***". Ambas as palavras ganharam destaque no ano de 2018.

A questão da mobilidade foi vista como crucial na rede de co-ocorrência de palavras-chave. Visto que "***mobility***" fez a união entre os dois grandes *clusters* de veículos elétricos e barreiras.

A rede histórica de citação direta (ou historiograma), apontou T. Franke como um influente autor, tendo destaque a sua publicação de 2012 "***Experiencing Range in an Electric Vehicle: Understanding Psychological barriers***".

O mapa temático indicou como tema motor, ou seja, bastante denso e centralizado, as palavras: veículos, gasolina e automóveis elétricos. E o mapa conceitual indicou que

as palavras: "*barriers*", "*technologies*", "*plug-in hybrid*", "*attitudes*", "*incentives*", "*alternative fuel-vehicles*", "*policy*", "*adoption*", "*model*" e "*barriers*" estão muito conectadas. O mesmo pôde ser visto no dendrograma, em que foi selecionado "**Barreiras e Desafios**" como principais temas a serem abordados no estudo.

Na análise sistêmica (ou de conteúdo) foram encontradas muitas barreiras para a difusão dos veículos elétricos apontadas pelos autores dos 42 artigos analisados. Essas barreiras foram agrupadas em cinco grandes grupos. O primeiro grupo era o das "**Barreiras Sociais**" em que foram abordadas questões como ansiedade de alcance, o quanto uma tecnologia desconhecida e a falta de uma primeira experiência afetam a relação dos possíveis consumidores e os VEs. Assim como, a baixa tolerância a riscos, a falta de percepção das vantagens dos VEs e falta de confiabilidade no sistema V2G.

O segundo grupo, formado pelas "**Barreiras Tecnológicas/Técnicas**" mostrou como a imaturidade tecnológica, ausência de padrões, falta de estrutura da rede elétrica afetam os veículos elétricos. Quanto as baterias, as barreiras tecnológicas estavam associadas às suas limitações como a faixa de direção que é capaz de fornecer, além da sua sensibilidade às condições climáticas.

Como "**Barreiras Econômicas**" foram apontados o custo total do veículo elétrico, assim como o custo somente da bateria, além de preocupações relacionadas ao fornecimento de matéria-prima.

A falta de programas de incentivo, e também a falta de infra-estrutura de tarifação pública foram vistas como "**Barreiras Políticas**" para a difusão dos VEs. Nesse grupo também foi indicado que no Brasil uma das barreiras estava relacionada ao incentivo governamental brasileiro ao uso de biocombustíveis.

Para as "**Barreiras Ambientais**", foram indicados temas preocupantes a sustentabilidade da fonte de combustível, assim como o posterior descarte das baterias.

Além dessas barreiras, também foi identificado um grupo chamado de "**Outras Barreiras**". Foram abordadas questões operacionais, assim como a pouca variedade de modelos disponíveis no mercado de VEs, além da possível relutância das empresas petrolíferas.

Terminada a Análise Sistêmica, identificou-se quais eram as Lacunas e Oportunidades de Pesquisas relacionadas às barreiras dos veículos elétricos. Dentre as lacunas apontadas estavam a realização de novas pesquisas abrangendo tanto países desenvolvidos, quanto em desenvolvimento. Além de realizar as pesquisas (principalmente *on-line*) através de outros meios para que a amostra das pesquisas atingissem diferentes públicos. Assim como incentivar que o público em geral tenha uma primeira experiência com um veículo elétrico e tenha conhecimento de suas reais vantagens quando comparado a um veículo a combustão. Também enfatizou-se a urgência do estabelecimento de padrões, evitando a produção de produtos incompatíveis.

Quanto às baterias, devem ser realizadas novas pesquisas, principalmente voltadas para

atender as expectativas de alcance dos usuários, sem impactar no custo total do produto. Para os engenheiros, além de atenderem aos requisitos solicitados pelos usuários, devem focar atenção no desenvolvimento das redes V2G, que são fundamentais para a adoção dos veículos elétricos.

5.2 Recomendações Futuras

Finalmente este capítulo, traz as recomendações futuras dessa pesquisa, tendo como sugestões:

- A utilização de mais banco de dados do portal da Capes;
- A utilização de mais artigos para análise de conteúdo;
- Considerar banco de dados nacionais, já que se usou apenas os internacionais;
- A utilização de outros trabalhos como teses, dissertações, livros e congressos científicos;
- A verificação a campo (estudos de casos) das barreiras para a difusão dos veículos elétricos encontradas na literatura.

Referências Bibliográficas

- 1 UPSBATTERYCENTER. *Gustave Trouve Pioneers Electric Transport in 1881*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.upsbatterycenter.com/blog/gustave-trouve-electric-tricycle/>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 20
- 2 ALTMOB. *An old-timer electric racing car has the 100 km/h record*. [S.l.]. Disponível em: <http://altmob.com/an_old_timer_electric_racing_car_has_the_100_km_h_record>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 21
- 3 FORD MEDIA CENTER. *FORD MODELO T, PRIMEIRO CARRO POPULAR DA HISTÓRIA, COMEMORA 110 ANOS DE LANÇAMENTO*. [S.l.]. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2018/10/02/ford-modelo-t--primeiro-carro-popular-da-historia--comemora-110-.html#>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 21
- 4 CARRO BRASIL. *Gurgel Itaipu o primeiro carro elétrico fabricado na América do Sul*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.carrobrasil.com.br/noticia/gurgel-itaipu-o-primeiro-carro-eletrico-fabricado-na-america-do-sul>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 23
- 5 AUTOMATIVE. *Mercedes-Benz NECAR 3 (1997)*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.automativ.de/mercedes-benz-necar-3-1997-id-518.html>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 25
- 6 TOYOTA - THE OFFICIAL BLOG OF TOYOTA GB. *Modelo Híbrido - Toyota Prius 1997*. [S.l.]. Disponível em: <<https://blog.toyota.co.uk/history-toyota-prius>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 25
- 7 CARS GUIDE. *Chevrolet Volt 2010 Review*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.carsguide.com.au/car-reviews/chevrolet-volt-review-10388>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 26
- 8 AUTOBLOG. *Nissan LEAF named one of Time's top 50 inventions of 2009*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.autoblog.com/2009/11/14/nissan-leaf-named-one-of-times-top-50-inventions-of-2009/>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 26
- 9 UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. *How Do Hybrid Electric Cars Work?* [S.l.]. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>>. Acesso em: 30 jun. 2020. 8, 27
- 10 UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. *How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work?* [S.l.]. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>>. Acesso em: 30 jun. 2020. 8, 28
- 11 UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. *How Do All-Electric Cars Work?* [S.l.]. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>>. Acesso em: 30 jun. 2020. 8, 29

- 12 UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. *How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?* [S.l.]. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>>. Acesso em: 30 jun. 2020. 8, 30
- 13 ECOSYSTEM. *Carros elétricos: é assim que a bateria é reciclada.* [S.l.]. Disponível em: <<http://www.ecosystemrs.com.br/noticias/166/carros-eletricos-3A-e-assim-que-a-bateria-e-reciclada>>. Acesso em: 8 jul. 2020. 8, 31
- 14 VAZ, C.; URIONA-MALDONADO, M. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo sysmap (scientometric and systematic yielding mapping process). In: _____. [S.l.: s.n.], 2017. 8, 33, 34, 71
- 15 ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *A ONU e a mudança climática.* [S.l.]. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/mudanca-climatica/>>. Acesso em: 23 jun. 2020. 15
- 16 FGV ENERGIA. *Boletim de Conjuntura do Setor Energético.* [S.l.]. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/setembro_-2019_v4.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020. 15
- 17 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Global Warming of 1.5 °C.* [S.l.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>. Acesso em: 23 jun. 2020. 15
- 18 WORLD RESOURCES INSTITUTE. *O que significa zerar as emissões líquidas? Respondemos 6 dúvidas frequentes.* [S.l.]. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/09/o-que-significa-zerar-emissoes-liquidas-respondemos-6-duvidas-frequentes>>. Acesso em: 22 jun. 2020. 15
- 19 FGV ENERGIA. *Caderno Carros Elétricos.* [S.l.]. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020. 15, 16
- 20 ENERGY, O. of E. E. . R. *All-Electric Vehicles.* [S.l.]. Disponível em: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources>>. Acesso em: 03 ago. 2020. 15
- 21 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global EV Outlook 2020.* [S.l.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>. Acesso em: 20 jun. 2020. 16, 17
- 22 AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Carros elétricos chegaram para ficar.* [S.l.]. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/carros-eletricos-chegaram-para-ficar>>. Acesso em: 23 jun. 2020. 16
- 23 MINISTÉRIO DA ECONOMIA. *Rota 2030 - Mobilidade e Logística.* [S.l.]. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/sector-automotivo/rota2030>>. Acesso em: 27 jun. 2020. 16
- 24 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. *Electric Mobility Brasil instala eletrovia na Dutra.* [S.l.]. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/electric-mobility-instala-eletrovia-na-dutra/>>. Acesso em: 27 jun. 2020. 17

- 25 ABB. *Maior eletrovia do Brasil completa um ano com potência total consumida de 2,5 MW*. [S.l.]. Disponível em: <<https://new.abb.com/news/pt-br/detail/22899/maior-eletrovia-do-brasil-completa-um-ano-com-potencia-total-consumida-de-25-mw>>. Acesso em: 26 jun. 2020. 17
- 26 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. *Veículos elétricos: O que se deve levar em consideração antes de adquirir um*. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/veiculos-eletricos-o-que-se-deve-levar-em-consideracao-antes-de-adquirir-um/>>. Acesso em: 27 jun. 2020. 17
- 27 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Frota de veículos*. [S.l.]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?indicador=28122>>. Acesso em: 27 jun. 2020. 17
- 28 CONEXÃO PLANETA. *Veículos elétricos estão no centro do plano de recuperação da indústria automotiva da França pós-pandemia*. [S.l.]. Disponível em: <<https://conexaoplaneta.com.br/blog/veiculos-eletricos-estao-no-centro-do-plano-de-recuperacao-da-industria-automotiva-da-franca-pos-pandemia/>>. Acesso em: 27 jun. 2020. 17
- 29 HøYER, K. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, v. 16, p. 63–71, 06 2008. 19, 20
- 30 BARRETO, G. *Veículo Elétrico A Bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 1986. 19, 20, 21, 22
- 31 BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. *Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil*. [S.l.], 2011. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3306.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2020. 19, 20, 21, 22, 24, 28
- 32 MATULKA, R. *The History of the Electric Car*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 10 mai. 2020. 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
- 33 CHAN, C. The rise fall of electric vehicles in 1828–1930: Lessons learned [scanning our past]. *Proceedings of the IEEE*, v. 101, p. 206–212, 01 2013. 22
- 34 NOCE, T. *Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu aperfeiçoamento*. Dissertação (Mestrado) — PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, 2009. 23
- 35 SOVACOOOL, B.; HIRSH, R. Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (phevs) and a vehicle-to-grid (v2g) transition. *Energy Policy*, v. 37, p. 1095–1103, 03 2009. 23
- 36 SOVACOOOL, B.; HIRSH, R. Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (phevs) and a vehicle-to-grid (v2g) transition. *Energy Policy*, v. 37, p. 1095–1103, 03 2009. 24

- 37 SILVEIRA, F. *Carro elétrico sem recarga: como funciona a célula de combustível*. [S.l.]. Disponível em: <<https://motorshow.com.br/carro-eletrico-sem-recarga-como-funciona-a-celula-de-combustivel/>>. Acesso em: 15 mai. 2020. 24, 32
- 38 LONG, Z. et al. What does tesla mean to car buyers? exploring the role of automotive brand in perceptions of battery electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 129, p. 185–204, 11 2019. 25
- 39 EGBUE, O.; LONG, S. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*, v. 48, p. 717–729, 09 2012. 27, 28, 29, 56, 71, 72, 79, 81, 84, 85
- 40 ANTUNES, P. D. R. *VEÍCULOS ELÉTRICOS, FUNCIONAMENTO E SEUS BENEFÍCIOS*. 2018. Monografia (Bacharel Engenharia ELétrica), UNIFACVEST, Lages, Brasil. 27
- 41 JUNIOR, V. N. *Estudo das Principais Vantagens do uso da Frenagem Regenerativa em Veículos Híbridos*. 2014. Monografia (Especialista Engenharia Automotiva), Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil. 27
- 42 DEGANI, J. *Mas afinal, o que é Smart Grid e como funciona na prática?* [S.l.]. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/smart-grid/>>. Acesso em: 21 mai. 2020. 28
- 43 WANITSCHKE, A.; HOFFMANN, S. Are battery electric vehicles the future? an uncertainty comparison with hydrogen and combustion engines. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 04 2019. 29, 79, 82
- 44 RENZI, S.; CRAWFORD, R. Powering the next generation automobile: Daimlerchrysler's venture into fuel cell technology. *Corporate Environmental Strategy*, v. 7, p. 38–50, 12 2000. 29, 79, 85, 86
- 45 FREITAS, J. C. N. de. *Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Minho, 2012. 30, 32
- 46 IBERDROLA. *Saiba tudo o que é preciso sobre as baterias dos carros elétricos*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/inovacao/baterias-de-carro-eletrico>>. Acesso em: 17 jun. 2020. 31
- 47 PERNER, A.; VETTER, J. Lithium-ion batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles. In: _____. [S.l.: s.n.], 2015. p. 173–190. ISBN 9781782423775. 31
- 48 FEREGUETTI, L. *Carro elétrico: duzentos anos de história cheia de altos e baixos*. [S.l.]. Disponível em: <<https://engenharia360.com/carro-eletrico-historia/>>. Acesso em: 11 jun. 2020. 32
- 49 GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. In: _____. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 33
- 50 SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. In: _____. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. p. 19–28. 33

- 51 MORIOKA, S.; CARVALHO, M. Sustentabilidade e gestão de projetos: um estudo bibliométrico. 2016. 34
- 52 LAGE, M. Utilização do software nvivo em pesquisa qualitativa: Uma experiência em ead. *ETD - Educação Temática Digital*, v. 12, p. 198, 12 2011. 37
- 53 WALTER, S.; BACH, T. Adeus papel, marca-textos, tesoura e cola: Inovando o processo de análise de conteúdo por meio do atlas.ti. *Administração: Ensino e Pesquisa (RAEP)*, v. 16, p. 275–308, 06 2015. 37
- 54 HERBERT, T. L. Endnote 5 for windows. *The Journal for Chemical Information and Computer scientists*, 2002. 40
- 55 ECK, N. J. van; WALTMAN, L. Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, v. 84, p. 523–538, 08 2010. 41
- 56 ECK, N. J. van; WALTMAN, L. Citnetexplorer: A new software tool for analyzing and visualizing citation networks. *Journal of Informetrics*, v. 8, 04 2014. 41
- 57 SASSI, C. P. et al. *Modelo de regressão linear múltipla utilizando os softwares R e STATISTICA: Uma aplicação a dados de conservação de frutas*. [S.l.]. Disponível em: <http://repositorio.icmc.usp.br/bitstream/handle/RIICMC/6682/Relat%C3%B3rios%20T%C3%A9cnicos_377_2012.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 abr. 2020. 42
- 58 O'M, J. The case for electric and fuel cell powered vehicles. *Ambio*, v. 3, p. 15–23, 01 1974. 46
- 59 REZVANI, Z.; JANSSON, J.; BODIN, J. Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 34, 01 2015. 57, 63
- 60 HIDRUE, M. et al. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, v. 33, p. 686–705, 09 2011. 58
- 61 AXSEN, J.; TYREEHAGEMAN, J.; LENTZ, A. Lifestyle practices and pro-environmental technology. *Ecological Economics*, v. 82, p. 64–74, 10 2012. 63
- 62 GREEN, E.; SKERLOS, S.; WINEBRAKE, J. Increasing electric vehicle policy efficiency and effectiveness by reducing mainstream market bias. *Energy Policy*, v. 65, p. 562–566, 02 2014. 64
- 63 FRANKE, T. et al. Experiencing range in an electric vehicle: Understanding psychological barriers. *Applied Psychology*, v. 61, p. 368–391, 07 2012. 64
- 64 FRANKE, T.; KREMS, J. Interacting with limited mobility resources: Psychological range levels in electric vehicle use. *Transportation Research Part A Policy and Practice*, v. 48, p. 109–122, 02 2013. 64
- 65 SCHMALFUß, F. et al. Is ev experience related to ev acceptance? results from a german field study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 25, p. 34–49, 07 2014. 65

- 66 MORGENSTERN, T. et al. Does range matter? exploring perceptions of electric vehicles with and without a range extender among potential early adopters in germany. *Energy Research Social Science*, v. 8, 07 2015. 65
- 67 HARDMAN, S.; SHIU, E.; STEINBERGER-WILCKENS, R. Comparing high-end and low-end early adopters of battery electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 88, 04 2016. 65
- 68 BECK, M.; ROSE, J.; GREAVES, S. I can't believe your attitude: a joint estimation of best worst attitudes and electric vehicle choice. *Transportation*, 01 2016. 65
- 69 BURNHAM, A. et al. Enabling fast charging – infrastructure and economic considerations. *Journal of Power Sources*, v. 367, p. 237–249, 11 2017. 65
- 70 BERCKMANS, G. Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. *Energies*, v. 10, 09 2017. 65
- 71 LI, Y. et al. Business innovation and government regulation for the promotion of electric vehicle use: Lessons from shenzhen, china. *Journal of Cleaner Production*, v. 134, 10 2015. 65
- 72 NILSSON, M.; NYKVIST, B. Governing the electric vehicle transition – near term interventions to support a green energy economy. *Applied Energy*, v. 179, 03 2016. 65
- 73 BOHNSACK, R.; PINKSE, J.; KOLK, A. Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Research Policy*, v. 43, p. 284–300, 03 2014. 65
- 74 JUNQUERA, B.; MORENO, B.; FERNANDEZ, R. A. Analyzing consumer attitudes towards electric vehicle purchasing intentions in spain: Technological limitations and vehicle confidence. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 109, 05 2016. 65
- 75 STRINGHAM, E.; MILLER, J.; CLARK, J. Overcoming barriers to entry in an established industry: Tesla motors. *California Management Review*, v. 57, p. 85–103, 08 2015. 66, 79
- 76 LIN, X.; SOVACOOOL, B. Inter-niche competition on ice? socio-technical drivers, benefits and barriers of the electric vehicle transition in iceland. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 35, 01 2020. 72, 77, 78, 80, 81, 82
- 77 HADDADIAN, G.; KHODAYAR, M.; SHAHIDEHPOUR, M. Accelerating the global adoption of electric vehicles: Barriers and drivers. *The Electricity Journal*, v. 28, 12 2015. 72, 76, 81, 85
- 78 NOEL, L. et al. Understanding the socio-technical nexus of nordic electric vehicle (ev) barriers: A qualitative discussion of range, price, charging and knowledge. *Energy Policy*, v. 138, p. 111292, 03 2020. 72, 73, 74, 77, 80, 86
- 79 KURANI, K.; TURRENTINE, T.; SPERLING, D. Testing electric vehicle demand in 'hybrid households' using a reflexive survey. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, v. 1, 01 1996. 72, 73, 85

- 80 ADNAN, N. et al. A new era of sustainable transport: An experimental examination on forecasting adoption behavior of evs among malaysian consumer. *Transportation Research Part A Policy and Practice*, Volume 103,, p. Pages 279–295, 08 2017. 73, 86
- 81 AGUILERA-GARCÍA, ; GOMEZ, J.; SOBRINO, N. Exploring the adoption of moped scooter-sharing systems in spanish urban areas. *Cities*, v. 96, p. 102424, 01 2020. 73, 84
- 82 JIA, J.-J. et al. Willingness to accept energy-saving measures and adoption barriers in the residential sector: An empirical analysis in beijing, china. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 95, p. 56–73, 07 2018. 74
- 83 AJANOVIC, A.; HAAS, R. Electric vehicles: solution or new problem? *Environment, Development and Sustainability*, v. 20, 06 2018. 74, 76, 78, 79, 81, 82, 85, 86
- 84 WANG, F. et al. Analysis of barriers to wide spread adoption of electric vehicles in shenzhen china. *Sustainability*, v. 9, 04 2017. 74, 81, 84
- 85 SHE, Z.-Y. et al. What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? a survey of public perception in tianjin, china. *Transport Policy*, v. 56, p. 29–40, 05 2017. 74, 75, 79, 81
- 86 MICHAELS, L.; PARAG, Y. Motivations and barriers to integrating ‘prosuming’ services into the future decentralized electricity grid: Findings from israel. *Energy Research Social Science*, v. 21, p. 70–83, 11 2016. 74, 75
- 87 NOEL, L. et al. Navigating expert skepticism and consumer distrust: Rethinking the barriers to vehicle-to-grid (v2g) in the nordic region. *Transport Policy*, v. 76, 02 2019. 75, 78, 85
- 88 KNEZOVIC, K. et al. Supporting involvement of electric vehicles in distribution grids: Lowering the barriers for a proactive integration. *Energy*, v. 134, 06 2017. 75, 76, 77, 80, 85
- 89 GUO, C.; CHAN, C. Whole-system thinking, development control, key barriers and promotion mechanism for ev development. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, v. 3, 06 2015. 76, 85
- 90 GLOBISCH, J. et al. Consumer preferences for public charging infrastructure for electric vehicles. *Transport Policy*, v. 81, 2019. 76, 80, 85, 86
- 91 HARADA, S.; KOREMATSU, K. Study on cruising range between charges of electric motorcycle (i) - relation between vehicle speed and cruising range. *Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy*, 1999. 76
- 92 YAO, Z. et al. Interplay of cation and anion redox in li 4 mn 2 o 5 cathode material and prediction of improved li 4 (mn,m) 2 o 5 electrodes for li-ion batteries. *Science Advances*, v. 4, p. eaao6754, 05 2018. 76, 85
- 93 LEBEAU, P. et al. Electrifying light commercial vehicles for city logistics? a total cost of ownership analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, v. 15, p. 551–569, 09 2015. 77, 84

- 94 SONG, S. et al. Na-rich layered $\text{Na}_2\text{Ti}_x\text{Cr}_x\text{O}_3$ ($x = 0, 0.06$): Na-ion battery cathode materials with high capacity and long cycle life. *Scientific Reports*, v. 7, 12 2017. 77, 85
- 95 AHN, S.-J.; KIM, L.; KWON, O. Korea's social dynamics towards power supply and air pollution caused by electric vehicle diffusion. *Journal of Cleaner Production*, 09 2018. 77, 81, 85, 86
- 96 ZHANG, Z. et al. Mode for reducing wind curtailment based on battery transportation. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, v. 6, 07 2018. 78, 86
- 97 VASSILEVA, I.; CAMPILLO, J. Adoption barriers for electric vehicles: Experiences from early adopters in sweden. *Energy*, v. 120, 11 2017. 78, 80, 85, 86
- 98 SODENKAMP, M. et al. Who can drive electric? segmentation of car drivers based on longitudinal gps travel data. *Energy Policy*, v. 130, p. 111–129, 07 2019. 78, 85
- 99 ADEPETU, A.; KESHAV, S. The relative importance of price and driving range on electric vehicle adoption: Los angeles case study. *Transportation*, 08 2015. 78, 85
- 100 PHOUALAVANH, S.; LIMMEECHOKCHAI, B. Energy saving and co2 mitigation of electric vehicle (ev) technology in lao transport sector. *Engineering Journal*, v. 20, p. 101–109, 08 2016. 78
- 101 ANDRICH, M.; IMBERGER, J.; OXBURGH, E. Inequality as an obstacle to sustainable electricity and transport energy use. *Energy for Sustainable Development*, v. 17, p. 315–325, 08 2013. 78, 84
- 102 CLINTON, B.; STEINBERG, D. Providing the spark: Impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 98, p. 102255, 08 2019. 78
- 103 LIU, X. et al. Modeling total lifecycle ownership cost of battery electric vehicle based on urban traffic data in china. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 11, p. 168781401985199, 05 2019. 78, 79
- 104 SCHERRER, A.; PLÖTZ, P.; LAERHOVEN, F. Power from above? assessing actor-related barriers to the implementation of trolley truck technology in germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 34, p. 221–236, 02 2020. 80, 86
- 105 COHEN, M. Sustainable mobility transitions and the challenge of countervailing trends: The case of personal aeromobility. *Technology Analysis Strategic Management - TECHNOL ANAL STRATEG MANAGE*, v. 21, p. 249–265, 02 2009. 80, 86
- 106 CSONKA, B. et al. Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach. *Journal of Transport Geography*, v. 74, p. 173–180, 01 2018. 80, 85
- 107 LIU, J.; WEI, Q. Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in china using fuzzy topsis. *Journal of Cleaner Production*, v. 189, 04 2018. 80

- 108 OU, S. et al. Estimation of vehicle home parking availability in china and quantification of its potential impacts on plug-in electric vehicle ownership cost. *Transport Policy*, v. 68, p. 107–117, 09 2018. 81
- 109 BARAN, R.; LEGEY, L. The introduction of electric vehicles in brazil: Impacts on oil and electricity consumption. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, 01 2012. 81, 86
- 110 GUR, K. et al. The reuse of electrified vehicle batteries as a means of integrating renewable energy into the european electricity grid: A policy and market analysis. *Energy Policy*, v. 113, p. 535–545, 02 2018. 82, 85
- 111 WIKSTROM, M.; HANSSON, L.; ALVFORS, P. Investigating barriers for plug-in electric vehicle deployment in fleets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 49, p. 59–67, 12 2016. 82
- 112 O’NEILL, E. et al. Barriers to electric vehicle uptake in ireland: Perspectives of car-dealers and policy-makers. *Case Studies on Transport Policy*, v. 7, 12 2018. 82
- 113 BERKELEY, N. et al. Assessing the transition towards battery electric vehicles: A multi-level perspective on drivers of, and barriers to, take up. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 106, p. 320–332, 12 2017. 84

A ANEXO A - Artigos da Análise Sistêmica

Nesse ANEXO são apresentados os 42 artigos utilizados na Análise Sistêmica desse trabalho.

Autor	Ano	Título	Revista
Adepetu; A. and Keshav; S.	2017	The relative importance of price and driving range on electric vehicle adoption: Los Angeles case study	Transportation
Adnan; N.; Nordin; S. M.; Rahman; I. and Rasli; A. M.	2017	A new era of sustainable transport: An experimental examination on forecasting adoption behavior of EVs among Malaysian consumer	Transportation Research Part a-Policy and Practice
Aguilera-García; Á.; Gomez; J. and Sobrino; N.	2020	Exploring the adoption of moped scooter-sharing systems in Spanish urban areas	Cities
Ahn; S. J.; Kim; L. and Kwon; O.	2018	Korea's social dynamics towards power supply and air pollution caused by electric vehicle diffusion	Journal of Cleaner Production
Ajanovic; A. and Haas; R.	2018	Electric vehicles: solution or new problem?	Environment
Andrich; M. A.; Imberger; J. and Oxburgh; E. R.	2013	Inequality as an obstacle to sustainable electricity and transport energy use	Energy for Sustainable Development
Baran; R. and Legey; L. F. L.	2013	The introduction of electric vehicles in Brazil: Impacts on oil and electricity consumption	Technological Forecasting and Social Change
Berkeley; N.; Bailey; D.; Jones; A. and Jarvis; D.	2017	Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of; and barriers to; take up	Transportation Research Part a-Policy and Practice
Clinton; B. C. and Steinberg; D. C. J. e Srinivasan; R.	2019	Providing the Spark: Impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption	Journal of Environmental Economics and Management
Cohen; M. J.	2009	Sustainable mobility transitions and the challenge of countervailing trends: The case of personal aeromobility	Technology Analysis and Strategic Management
Csiszar; C.; Csonka; B.; Foldes; D.; Wirth; E. and Lovas; T.	2019	Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach	Journal of Transport Geography
Egbue; O. and Long; S.	2012	Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions	Energy Policy

Autor	Ano	Título	Revista
Globisch; J.; Plotz; P.; Dutschke; E. and Wietschel; M.	2019	Consumer preferences for public charging infrastructure for electric vehicles	Transport Policy
Guo; C. and Chan; C. C.	2015	Whole-system thinking; development control; key barriers and promotion mechanism for EV development	Journal of Modern Power Systems and Clean Energy
Gur; K.; Chatzikyriakou; D.; Baschet; C. and Salomon; M.	2018	The reuse of electrified vehicle batteries as a means of integrating renewable energy into the European electricity grid: A policy and market analysis	Energy Policy
Haddadian; G.; Khodayar; M. and Shahidehpour; M.	2015	Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers	Electricity Journal
Harada; S. and Korematsu; K.	1999	Study on cruising range between charges of electric motorcycle (I) - relation between vehicle speed and cruising range	Nihon Enerugi Gakkaishi/- Journal of the Japan Institute of Energy
Jia; J. J.; Xu; J. H.; Fan; Y. and Ji; Q.	2018	Willingness to accept energy-saving measures and adoption barriers in the residential sector: An empirical analysis in Beijing; China	Renewable & Sustainable Energy Reviews
Knezovic; K.; Marinelli; M.; Zecchino; A.; Andersen; P. B. and Traeholt; C.	2017	Supporting involvement of electric vehicles in distribution grids: Lowering the barriers for a proactive integration	Energy
Kurani; K. S.; Turrentine; T. and Sperling; D.	1996	Testing electric vehicle demand in 'hybrid households' using a reflexive survey	Transportation Research Part D-Transport and Environment
Lebeau; P.; Macharis; C.; Van Mierlo; J. and Lebeau; K	2015	Electrifying light commercial vehicles for city logistics? A total cost of ownership analysis	European Journal of Transport and Infrastructure Research
Lin; X. and Sovacool; B. K.	2020	Inter-niche competition on ice? Socio-technical drivers; benefits and barriers of the electric vehicle transition in Iceland	Environmental Innovation and Societal Transitions

Autor	Ano	Título	Revista
Liu; J. C. and Wei; Q. S.	2018	Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China using fuzzy TOPSIS	Journal of Cleaner Production
Liu; X.; Wang; N.; Dong; D. C. and Fang; T.	2019	Modeling total lifecycle ownership cost of battery electric vehicle based on urban traffic data in China	Advances in Mechanical Engineering
Michaels; L. and Parag; Y.	2016	Motivations and barriers to integrating 'prosuming' services into the future decentralized electricity grid: Findings from Israel	Energy Research & Social Science
Noel; L.; Zarazua de Rubens; G.; Kester; J. and Sovacool; B. K.	2019	Navigating expert skepticism and consumer distrust: Rethinking the barriers to vehicle-to-grid (V2G) in the Nordic region	Transport Policy
Noel; L.; Zarazua de Rubens; G.; Kester; J. and Sovacool; B. K.	2020	Understanding the socio-technical nexus of Nordic electric vehicle (EV) barriers: A qualitative discussion of range; price; charging and knowledge	Energy Policy
O'Neill; E.; Moore; D.; Kelleher; L. and Brereton; F.	2019	Barriers to electric vehicle uptake in Ireland: Perspectives of car-dealers and policy-makers	Case Studies on Transport Policy
Ou; S.; Lin; Z.; He; X. and Przesmitzki; S.	2018	Estimation of vehicle home parking availability in China and quantification of its potential impacts on plug-in electric vehicle ownership cost	Transport Policy
Phoualavanh; S. and Limmeechokchai; B.	2016	Energy Saving and CO2 Mitigation of Electric Vehicle (EV) Technology in Lao Transport Sector	Engineering Journal-Thailand
Renzi; S. and Crawford; R.	2000	Powering the next generation automobile: DaimlerChrysler's venture into fuel cell technology	Corporate Environmental Strategy
Scherrer; A.; Plötz; P. and Van Laerhoven; F.	2020	Power from above? Assessing actor-related barriers to the implementation of trolley truck technology in Germany	Environmental Innovation and Societal Transitions
She; Z. Y.; Qing; S.; Ma; J. J. and Xie; B. C.	2017	What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? A survey of public perception in Tianjin; China	Transport Policy

Autor	Ano	Título	Revista
Sodenkamp; M.; Wenig; J.; Thiesse; F. and Staake; T.	2019	Who can drive electric? Segmentation of car drivers based on longitudinal GPS travel data	Energy Policy
Song; S.; Kotobuki; M.; Chen; Y.; Manzhos; S.; Xu; C.; Hu; N. and Lu; L.	2017	Na-rich layered Na ₂ Ti _{1-x} Cr _x O _{3-x/2} (x = 0; 0.06): Na-ion battery cathode materials with high capacity and long cycle life	Scientific Reports
Stringham; E. P.; Miller; J. K. and Clark; J. R.	2015	Overcoming barriers to entry in an established industry: Tesla motors	California Management Review
Vassileva; L. and Campillo; J.	2017	Adoption barriers for electric vehicles: Experiences from early adopters in Sweden	Energy
Wang; F. P.; Yu; J. L.; Yang; P.; Miao; L. X. and Ye; B.	2017	Analysis of the barriers to widespread adoption of electric vehicles in Shenzhen China	Sustainability (Switzerland)
Wanitschke; A. and Hoffmann; S.	2019	Are battery electric vehicles the future? An uncertainty comparison with hydrogen and combustion engines	Environmental Innovation and Societal Transitions
Wikstrom; M.; Hansson; L. and Alvfors; P.	2016	Investigating barriers for plug-in electric vehicle deployment in fleets	Transportation Research Part D-Transport and Environment
Yao; Z.; Kim; S.; He; J.; Hegde; V. I. and Wolverton; C.	2018	Interplay of cation and anion redox in Li ₄ Mn ₂ O ₅ cathode material and prediction of improved Li ₄ (Mn;M) ₂ O ₅ electrodes for Li-ion batteries	Science Advances
Zhang; Z.; Mei; D.; Jiang; H.; Liu; G.; He; H. and Chen; Y.	2018	Mode for reducing wind curtailment based on battery transportation	Journal of Modern Power Systems and Clean Energy