



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

RACHEL DA COSTA OLIVEIRA SANTOS

**Inserção de Veículos Elétricos no Planejamento
da Expansão de Sistemas de Energia: uma
Revisão Sistemática da Literatura Visando um
Melhor Dimensionamento da Demanda**

NITERÓI

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

RACHEL DA COSTA OLIVEIRA SANTOS

Inserção de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão de Sistemas de Energia: uma Revisão Sistemática da Literatura Visando um Melhor Dimensionamento da Demanda

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração: Sistemas de Energia Elétrica.

Orientador:

Bruno Soares Moreira Cesar Borba

Co-orientadora:

Yona Lopes

NITERÓI

2023

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S237i Santos, Rachel da Costa Oliveira
Inserção de veículos elétricos no planejamento da
expansão de sistemas de energia: uma revisão sistemática da
literatura visando um melhor dimensionamento da demanda /
Rachel da Costa Oliveira Santos. - 2023.
162 f.: il.

Orientador: Bruno Soares Moreira Cesar Borba Borba.
Coorientador: Yona Lopes.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Escola de Engenharia, Niterói, 2023.

1. Planejamento da expansão. 2. Veículos Elétricos. 3.
Produção intelectual. I. Borba, Bruno Soares Moreira Cesar
Borba, orientador. II. Lopes, Yona, coorientador. III.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia.IV.
Título.

CDD - XXX

RACHEL DA COSTA OLIVEIRA SANTOS

Inserção de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão de Sistemas de Energia:
uma Revisão Sistemática da Literatura Visando um Melhor Dimensionamento da
Demanda

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração: Sistema de Energia Elétrica.

Aprovada em 09 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Bruno Soares M. Borba, D.Sc. – Orientador, UFF



Prof^a. Yona Lopes, D.Sc. – Orientadora, UFF



Prof. Márcio Zamboti Fortes, D.Sc. – UFF



Prof^a. Luciane Neves Canha, D.Sc. – UFSM

Niterói

2023

À familia

Agradecimentos

A todo corpo docente e funcionários da Universidade Federal Fluminense, sempre prontos a colaborar e zelosos no cumprimento de suas tarefas.

À toda minha família pelo apoio ao longo dessa trajetória. Especialmente ao meu marido Julio pelo suporte incondicional, pela compreensão nos momentos em que precisei estar ausente dedicando a este trabalho e pelos incentivos nos momentos mais difíceis.

Um agradecimento especial também a minha mãe Thais, pelo apoio na leitura e revisão ortográfica dessa dissertação, além do suporte em outras esferas permitindo a minha dedicação ao trabalho.

Ao meu orientador Doutor Bruno Borba, pela paciência, pelo acolhimento, pela generosidade em compartilhar seu vasto conhecimento e por ter acreditado em mim em todos esses anos de trabalho. Sem a sua orientação nada disso seria possível.

A minha coorientadora, Dra Yona Lopes, pelo brilhantismo, pela gentileza, segurança e por toda a dedicação demonstrados na orientação desta dissertação.

À minha filha Cecilia, por ser a prova viva de Deus na minha vida e, com isto, me fazer querer sempre ir adiante.

A Todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização dessa dissertação.

Resumo

A transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis é um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta no século XXI. Nesse contexto, a crescente adoção de Veículos Elétricos (VE's) desencadeou um novo paradigma no setor de energia, onde a mobilidade elétrica não apenas redefine a forma como nos deslocamos, mas também cria oportunidades significativas para a integração sinérgica com o planejamento da expansão de sistemas de energia. Entretanto, essa transição também traz consigo desafios complexos para os sistemas de energia, uma vez que a carga adicional dos VEs pode sobrecarregar a infraestrutura elétrica existente e demandar fontes de energia adicionais. Portanto, a necessidade de uma ampla e detalhada revisão da literatura reside em compreender profundamente os impactos da inserção de VE's no planejamento da expansão de sistemas de energia, a fim de garantir uma integração harmoniosa, eficiente e ecologicamente equilibrada desses veículos, contribuindo assim para uma transformação energética resiliente e bem-sucedida. Essa dissertação realiza esse estudo a partir de uma Revisão Sistemática Da Literatura (RSL) com foco na inserção dos VE's no planejamento da expansão do sistema elétrico. Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica que demonstrou que não existe atualmente na academia nenhum trabalho com esse foco. Após essa etapa realizou-se a busca por todos os artigos que estavam dentro do tema da pesquisa. Para encontrar esses artigos elaborou-se uma *string* de busca, além de critérios de inclusão e exclusão, os quais serão especificados ao longo desse trabalho. Com todos os artigos detectados, realizou-se três categorizações, a primeira relacionando o problema que motivou a elaboração de cada artigo, a segunda considerando o tema principal abordado pelo trabalho e por fim uma última categorização que considera como que cada trabalho respondeu as perguntas de pesquisa o que, de certa forma, indica o quão mais relevante é um trabalho para o tema aqui proposto. Na primeira categorização os artigos foram agrupados em 7 grande temas e na segunda em 8 temas. Após essas categorizações analisou-se os resultados encontrados o qual considerou, além da mencionada categorização, o país de origem de cada um dos artigos. Os resultados encontrados demonstram que os estudos sobre os VE's dentro do planejamento da expansão encontram-se muito centralizado em países desenvolvidos, como exceção aparecem apenas Irã e China devido principalmente a investimento em educação. Além disso, uma análise mais aprofundada dos artigos encontrados aqui demonstrou alguns *gaps* que podem ser estudados em trabalhos futuros, como por exemplo, incorporar o custo para tornar um sistema inteligente e também considerar o desgaste na vida útil das baterias ao utilizar o *Vehicle-to-grid* (V2G). Por fim, também foi analisado a relação entre a primeira e a segunda categorização e foi percebido que existe uma relação entre aumentar a penetração dos VE's e o carregamento inteligente, assim como uma relação entre a descarbonização e o carregamento inteligente.

Palavras-chave: Veículos elétricos, planejamento da expansão, RSL

Abstract

One of the biggest challenges for the mankind in the 21st century is the transition to more clean and sustainable energy sources. In this regard, the growing demand for electric vehicles has triggered a new paradigm in the energy sector, where electric mobility not only redefines the way we move, but also creates significant opportunities for synergistic integration with power systems expansion planning. However, this transition also brings challenges for the energy system, as the additional load from EVs can overload the existing electrical infrastructure and also require additional energy sources. Therefore, the need for a broad and detailed literature review lies in deeply understanding the impacts of inserting EVs in the expansion planning of the energy systems, to guarantee a harmonious, efficient and ecologically balanced integration of these vehicles, thus contributing to a resilient and successful energy transformation. This research carries out a systematic review focusing on the insertion of EV in the expansion planning of the electrical system. Initially, a bibliographical review was carried out which demonstrated that there isn't currently work in academia with this focus. After this first stage, a search was carried out for all articles that were within the research topic. To find all the articles in the research topic a search string was elaborated, beside this, inclusion and exclusion criteria was also considered, which would be specified throughout this work. With all the articles detected, three categorizations were made, the first relating the problem that motivated the construction of each article, the second considering the main theme addressed by the work and finally a final categorization that considers how each work answered the research questions which, in a way, indicates how much more relevant a work is to the theme proposed here. In the first categorization, the articles were grouped into 7 major themes and in the second into 8 themes. After this first step, the results found were analyzed, which considered, in addition to the aforementioned categorization, the country of origin of each of the articles. The results found in this research demonstrate that studies on EV within expansion planning are very centralized in developed countries, except for only Iran and China due mainly to investment in education. Furthermore, a more in-depth analysis of the articles found here demonstrated some gaps that can be studied in future work, such as, for example, include the necessary cost to transform a system in intelligent in the expansion planning, and also account for the impacts in battery lifespan when using V2G. Finally, the relationship between the first and second categorization was also analyzed, and it was noticed that there is a relationship between increasing the penetration of EV and smart charging, as well as a relationship between decarbonization and smart charging

Keywords: Electric vehicle, systematic review, expansion planning.

Lista de Figuras

1.1	Capacidade de redução na emissão de CO ₂ através da utilização ou aprimoramento de diferentes tecnologias	1
1.2	Emissão de CO ₂ dividida por setor, considerando a emissão a nível global	2
1.3	Emissão de CO ₂ por setor considerando apenas a emissão com origem nos Estados Unidos	3
1.4	Compromissos anuais de gastos de CAPEX e P&D em VE's e tecnologias digitais por montadoras selecionadas, 2019-202	4
2.1	Ciclos de descarga típico para os dois modos que o Veículo Híbrido Plug-in pode operar, sendo eles Carga Depletada, onde a carga é utilizada para o deslocamento e Carga Sustentada, onde o <i>Motor de Combustão Interna</i> (MCI) sustenta a carga	16
2.2	Configuração dos diferentes tipos de VE	16
2.3	Fluxograma das 4 principais ligações de automóveis	17
2.4	Prazos que diversos países colocaram para obter uma frota 100% sem emissão de CO ₂ ou ainda mesmo uma frota 100% elétrica	21
2.5	Percentual das redes com violação dos limites dependendo da penetração de VE e da sua distribuição ao longo da rede	24
2.6	Fluxograma das etapas que compõem uma RSL	31
2.7	Alternativa de um fluxograma das etapas de uma RSL conforme Uman . .	31
2.8	Alguns métodos para escolha do universo da RSL	33
3.1	Fluxograma dos Artigos	42
4.1	Especificação das três categorizações que foram realizadas	45
4.2	Quantidade de problemas que foram considerados de forma simultânea em cada um dos artigos	46

4.3	Pareto considerando a quantidade de artigos que considera cada um dos agrupamentos dos problemas	47
4.4	Diagrama de Venn com os principais problemas e suas correlações	48
4.5	Divisão dos artigos por considerando a classificação conforme o tema principal	64
4.6	Classificação dos artigos conforme nota atribuída devido as respostas as perguntas de pesquisa definidas no início do capítulo 3	91
5.1	Análise dos artigos conforme problema que motivou sua elaboração	92
5.2	Análise da quantidade de problemas apontados em cada artigo e também problemas mais representativos considerando a quantidade de artigos de cada um	94
5.3	Análise dos problemas que foram apontados em cada artigo de maneira conjunta	95
5.4	Análise dos artigos conforme classificação do tema principal do artigo	96
5.5	Análise das publicações por ano considerando separadamente Europa e Ásia	98
5.6	Classificação dos artigos conforme Ano - considerando tanto o tema de publicação como o país de origem	99
5.7	Análise das palavras chaves dos artigos que compõem esse trabalho	100
5.8	Análise das palavras chaves dos artigos que compõem esse trabalho desconsiderando VE	100
5.9	Problemas com origem na Ásia separando China e Irã	101
5.10	Como que o Irã está em relação ao acordo de Paris - Metas e objetivos que foram considerados	101
5.11	Composição da Matriz Energética do Irã e seu consumo de CO ₂ em <i>Million Tonnes Of Carbon Dioxide Equivalent</i> (MMTCDE)	102
5.12	Parcela do mercado correspondente aos VE's	102
5.13	Classificação dos artigos conforme cada país, considerando os países individualmente e por continente	103
5.14	Análise do investimento em educação e também da quantidade de publicações do Irã ao longo dos anos	104

5.15	Análise correlacionada entre os problemas e quais soluções foram abordadas por artigo	106
5.16	Áreas negligenciadas na literatura relacionadas a consideração de VE no planejamento da expansão	107
6.1	Diagrama de Ishikawa com os principais desafios para o planejamento da expansão e para os VE's juntos	112

Lista de Tabelas

1.1	Trabalhos Relacionados: <i>Surveys, Tutorials, Reviews</i> do Estado da Arte de Veículos Elétricos	12
2.1	Características dos diferentes tipos de VE	18
2.2	Modelos de VE, sua respectiva quantidade vendida no ano de 2022 e custo com base no mesmo ano	22
4.1	Classificação dos artigos considerando os problemas abordados em cada um	49
4.2	Quantidade de artigos por cada agrupamento de problemas	50
A.1	Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 1	138
A.2	Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 2	139
A.3	Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 3	140
A.4	Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 4	141
A.5	Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 5	142
B.1	Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 1	144
B.2	Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 2	145
B.3	Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 3	146
B.4	Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 4	147
B.5	Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 5	148

Lista de Abreviaturas e Siglas

BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>	15
CASP	<i>Critical Appraisal Skills Programme</i>	34
CHIO	<i>Coronavirus Herd Immunity Optimizer</i>	80
DSO	<i>Distribution System Operator</i>	85
EMA	<i>Exchange Market Algorithm</i>	89
ESS	<i>Energy Storage System</i>	9
FACTS	<i>Flexible Alternating Current Transmission Systems</i>	88
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>	15
G2V	<i>Grid-to-vehicle</i>	72
GD	Geração Distribuída	55
GEE	Gases De Efeito Estufa	67
GLD	Gerenciamento Pelo Lado Da Demanda	5
GWO	<i>Grey Wolf Optimizer</i>	89
H2VE	Veículo Elétrico De Hidrogênio	84
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>	14
ICA	<i>Optimization And Imperialistic Competitive Algorithm</i>	89
IDH	Índice De Desenvolvimento Humano	93
KERS	<i>Kinetic Energy Recovery Systems</i>	15
KWO	<i>Kraftwerke Oberhash</i>	20
LCOE	<i>Levelized Cost Of Electricity</i>	67
LDV	<i>Light-duty Vehicle</i>	3
LOLE	<i>Loss-of-load Expectation</i>	71
MCI	<i>Motor de Combustão Interna</i>	2
MMAT	<i>Mixed Methods Appraisal Tool</i>	34

MMTCDE	<i>Million Tonnes Of Carbon Dioxide Equivalent</i>	102
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i>	98
OXDE	<i>Orthogonal Crossover Based Differential Evolution</i>	89
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>	15
PIR	Planejamento Integrado De Recursos	64
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>	34
RE	<i>Renewable energy</i>	9
RSL	Revisão Sistemática Da Literatura	6
STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>	93
V2B	<i>Vehicle-to-Building</i>	74
V2G	<i>Vehicle-to-grid</i>	5
VAT	<i>Value Added Tax</i>	99
VE	Veículo Elétrico	1
VRDT	<i>Voltage Regulating Distribution Transformers</i>	83
ZEV	<i>Zero Emission Vehicle</i>	2

Sumário

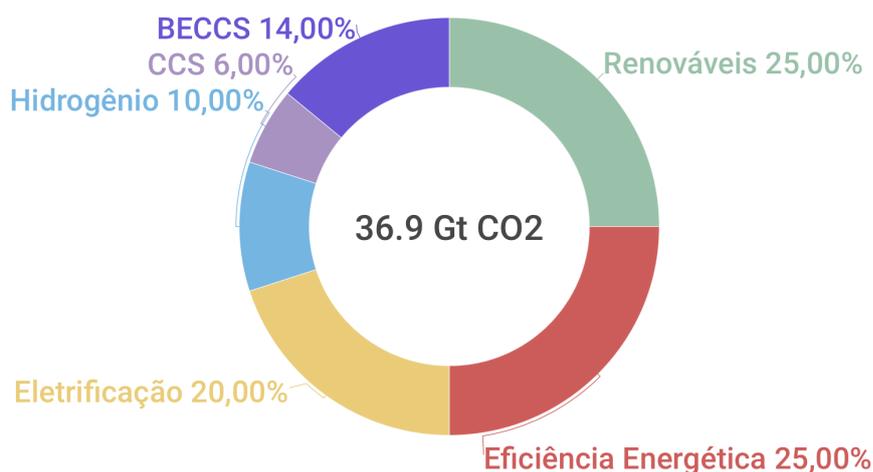
1	Introdução	1
1.1	Objetivo	8
1.2	Trabalhos Relacionados	8
1.3	Estrutura do Trabalho	13
2	Fundamentação Teórica	14
2.1	Veículos Elétricos	14
2.1.1	Tipos De Veículos Elétricos	14
2.1.2	História Dos Veículos Elétricos No Brasil E No Mundo	16
2.1.3	Veículos Elétricos Na Atualidade	20
2.1.4	Impactos Dos Veículos Elétricos No Sistema Elétrico	23
2.2	Visão Geral Sobre Revisão Sistemática Da Literatura	28
2.2.1	Conceitos	28
2.2.2	Protocolos De Revisão	34
3	Condução Da RSL Sobre VE's Dentro De Planejamento da Expansão	37
4	Categorização Dos Artigos Seleccionados Durante A RSL Sobre VE's Dentro De Planejamento da Expansão	44
4.1	Categorização Dos Artigos Conforme Problema Principal que Motivou A Sua Elaboração	45
4.1.1	Descarbonização	51
4.1.2	Aumento Da Demanda	53

4.1.3	Necessidade De Um sistema Mais Inteligente	55
4.1.4	Intermitência Das Fontes Renováveis	56
4.1.5	Maior Complexidade Do Sistema	57
4.1.6	Falta De Integração No Planejamento	59
4.1.7	Aumento Da Quantidade De VE's	61
4.2	Categorização Pelo Tema Principal Do Artigo	62
4.2.1	Planejamento Integrado	63
4.2.2	Carregamento Inteligente Ou Controlado	69
4.2.3	VE's Juntamente Com Fontes Renováveis	77
4.2.4	VE's Juntamente Com Geração Distribuída (GD) Ou Gerenciamento Pelo Lado Da Demanda (GLD)	79
4.2.5	Grande Penetração De VE's	83
4.2.6	Vantagens Para O Sistema Elétrico Ou Econômicas	84
4.2.7	Artigos De Revisão	86
4.2.8	Outros	88
4.3	Categorização Conforme As Respostas A RSL	89
5	Análise Dos Resultados Encontrados	92
5.1	Áreas Negligenciadas	106
6	Conclusão	109
	Referências	114
	Apêndice A – Tabela com todos os artigos e seus temas principais e os problemas que motivaram a sua elaboração	137
	Apêndice B – Tabela com as notas e respostas de cada artigo que compõe essa dissertação	143

Capítulo 1

Introdução

Os Veículos Elétricos (VE's) não são um tema recente ,já que seus primeiros registros datam do final do século XIX [1]. Apesar disso, sua relevância vem crescendo ano após ano. Diversos motivos podem ser atribuídos ao porque dessa maior importância dos VE's recentemente, com o principal deles sendo o aspecto ambiental. Diferentes estudos relatam a capacidade em reduzir a emissão de CO₂ através da eletrificação do setor de transporte, essa redução pode ser de 40% conforme [2] ou 20% até 2050 conforme [3]. A Figura 1.1 demonstra como que cada setor consegue reduzir a emissão de CO₂.



NOTA: Os abatimentos consideram energia e processos relacionados a emissão de CO₂ juntamente com emissões sem ser de energia. Renováveis inclui geração de energia através de fontes renováveis além de biomassa e aquecimento renovável. Eficiência energética inclui medidas relacionadas a redução de demanda e melhorias de eficiência. Mudanças estruturais (como por exemplo: realocação de produção de aço com redução de uso de ferro) e práticas de economia circular são partes de eficiência energética. Eletrificação inclui uso direto de energia limpa em transporte e aplicações de aquecimento. Hidrogênio e seus derivados inclui combustíveis sintéticos e matéria-prima. CCS considera captura de carbono e armazenamento direto da fonte e de outros processos de emissão, principalmente na indústria. BECCS e outras medidas de remoção de carbono incluem bionergia acoplada com CCS em eletricidade, aquecimento e indústria.

CCS: Carbon Capture and Storage - Captura de carbono e armazenamento
BECCS: bioenergy with carbon capture and storage - Bionergia com captura de carbono e armazenamento
GtCO₂: gigatoneladas de dióxido de carbono

Figura 1.1: Capacidade de redução na emissão de CO₂ através da utilização ou aprimoramento de diferentes tecnologias. Fonte: [3]

A China, a partir do ano de 2006, se tornou o país com a maior emissão de CO₂, representando aproximadamente 30% do total da emissão mundial, já os Estados Unidos ocupam a segunda posição com 13%, um percentual bem inferior ao da China [4]. Ao analisar a dependência do petróleo, os Estados Unidos e a China também se destacam, sendo responsáveis por 20,4% e 16% do consumo mundial respectivamente [5].

Na atualidade, o setor de transporte é responsável por aproximadamente 20% de toda a emissão de CO₂ no mundo [6], podendo representar até um percentual mais relevante dependendo da localidade analisada. Nos Estados Unidos o setor de transporte foi responsável por 38% da emissão de CO₂ em 2021 [7], o que significa que aproximadamente 20% de toda a emissão do setor de transportes no mundo pertence aos Estados Unidos [5]. As Figuras 1.2 e 1.3 demonstram a emissão por setor mundial e dos Estados Unidos, respectivamente.

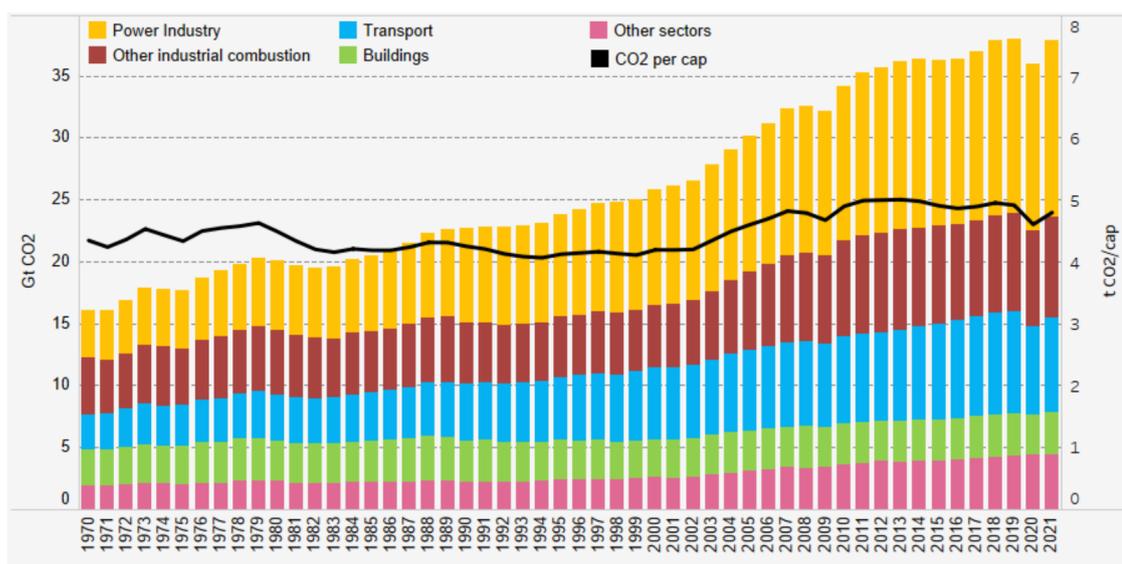


Figura 1.2: Emissão de CO₂ dividida por setor, considerando a emissão a nível global
Fonte: [6]

Diversas políticas foram traçadas ao redor do mundo com o intuito de reduzir a emissão de gases do efeito estufa e com isso reduzir o aquecimento mundial. A principal medida nesse assunto é o acordo de Paris que foi assinado por 192 países em 2015 com o intuito de conter as mudanças climáticas [8]. Para atingir o que foi proposto no acordo de Paris as emissões de CO₂ precisam cair 43% até 2030 [8]. Com isso, vários países ao redor do mundo traçam diversas metas para atingir esse objetivo. Considerando a venda dos últimos anos, 25% do mercado de carros no mundo estão sujeitos a uma meta de 100% *Zero Emission Vehicle* (ZEV) ou então a banir os *Motor de Combustão Interna* (MCI)

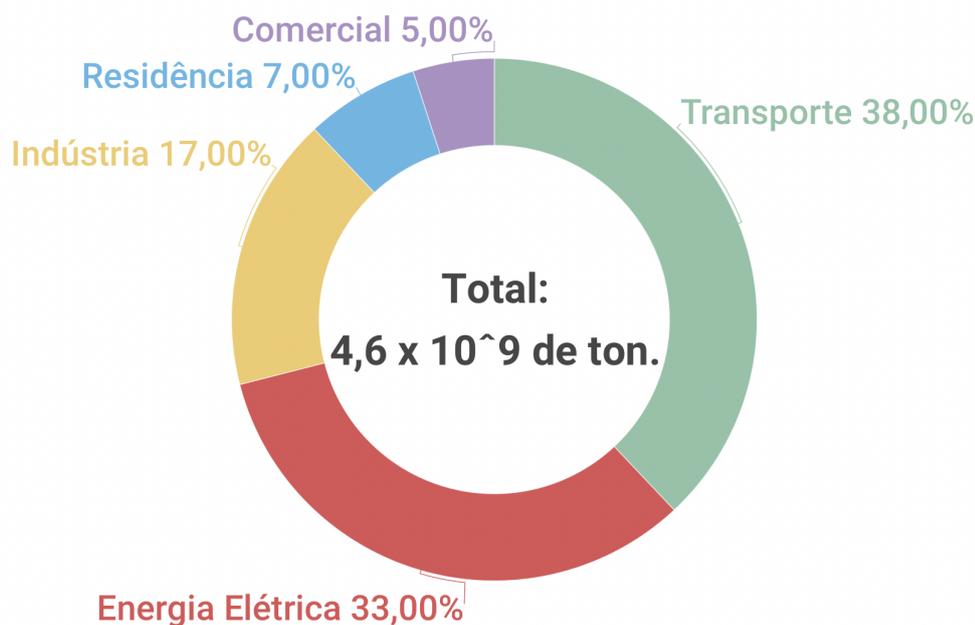


Figura 1.3: Emissão de CO₂ por setor considerando apenas a emissão com origem nos Estados Unidos

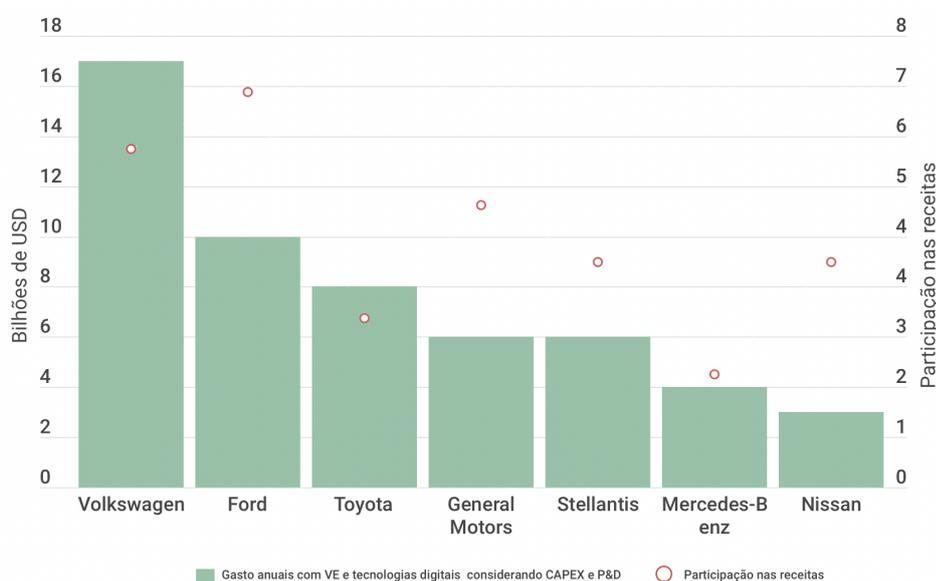
Fonte: [7]

até 2035 [9].

Os Estados Unidos possuem uma meta de que 50% dos veículos *Light-duty Vehicle* (LDV) que serão vendidos até 2023 sejam elétricos e que serão construídos 500.000 estações de carregamento públicas [9, 10]. O Canadá, assim como a União Europeia, por sua vez, possuem uma meta de 100% de ZEV até 2035 considerando os LDV [9, 11]. O Japão aprovou subsídios que somam 193 milhões de euros para a compra de VE [9]. A Tailândia, visando tornar-se pioneira nos VE's na Ásia, anunciou que da produção local 30% será de ZEV até 2030 e que até 2035 100% dos registros de veículos novos serão de ZEV [9]. Na América do Sul, o líder em medidas é o Chile que projeta eletrificar sua frota de LDV até 2030 e de transporte público até 2035 [9, 12]. Já no Vietnã, Malásia, Egito, Ruanda, África do Sul e Quênia existem políticas que oferecem subsídios para a compra de VE [9]. O governo francês atualmente mantém a oferta de subsídios para a compra de VE, além da previsão de lançar um programa na segunda metade de 2023, o qual permitirá que famílias de baixa renda aluguem um VE por € 100,00 por mês [13]. Além disso, outros países europeus também aumentaram os incentivos, como por exemplo: Polônia, Portugal e Espanha. Em outras regiões do globo também é possível encontrar uma série de incentivos, como por exemplo a Indonésia e a Malásia que reduziram impostos para os VE's e a Colômbia que oferece vantagens de estacionamento para os VE's [13]. As informações

completas sobre as política e em que estado de implementação elas se encontram podem ser encontrados em [14].

As medidas de eletrificação das frotas de veículos não partem apenas dos governos, diversas empresas também estão se comprometendo com esta eletrificação. A BWM se comprometeu a venda dos VE's representar 50% do total em 2030, a Jaguar, Rolls Royce, Mitsubishi e Land Rover possuem metas de 100% de eletrificação dos seus veículos. A Nissan, por sua vez, planeja atingir 55% das vendas com os VE's e a BYD já conseguiu eletrificar toda sua frota a partir de 2022 [15]. A Figura 1.4 demonstra os gastos que as empresas estão tendo com esse compromisso com os VE's.



NOTA: Os abatimentos consideram energia e processos relacionados a emissão de CO2 juntamente com emissões sem ser de energia. Renováveis inclui geração de energia através de fontes renováveis além de biomassa e aquecimento renovável. Eficiência energética inclui medidas relacionadas a redução de demanda e melhorias de eficiência. Mudanças estruturais (como por exemplo: realocação de produção de aço com redução de uso de ferro) e práticas de economia circular são partes de eficiência energética. Eletrificação inclui uso direto de energia limpa em transporte e aplicações de aquecimento. Hidrogênio e seus derivados inclui combustíveis sintéticos e matéria-prima. CCS considera captura de carbono e armazenamento direto da fonte e de outros processos de emissão, principalmente na indústria. BECCS e outras medidas de remoção de carbono incluem bionergia acoplada com CCS em eletricidade, aquecimento e indústria.

Figura 1.4: Compromissos anuais de gastos de CAPEX e P&D em VE's e tecnologias digitais por montadoras selecionadas, 2019-2022

Fonte: [15]

Com essas diversas políticas espalhadas ao redor do globo era de se esperar um aumento expressivo na quantidade de VE circulando, já que diversos países incorporaram a eletrificação do setor de transporte como uma alternativa para atingir as metas de descarbonização [9]. Com uma projeção de venda de 14 milhões de VE em 2023 espera-se que os VE's representem 18% do mercado de veículos considerando os LDV [15], o primeiro trimestre de 2023 já representou um aumento nas vendas de 25% se comparado com o mesmo período do ano anterior. Ao comparar as vendas de 2021 com 2022 houve um aumento de aproximadamente 50%, saindo de 6,6 milhões de veículos para 10 milhões [9].

Esse aumento expressivo da quantidade de VE pode gerar impactos para o sistema elétrico. Dentre os impactos negativos que podem ocorrer pode-se citar um maior desvio de tensão na rede [16], uma deterioração do perfil de carga no momento do pico [17], o desbalanceamento da carga, o congestionamento do sistema [18, 19], quedas e sobrecargas de tensão [20, 21], além também de uma sobrecarga na rede [22]. Os equipamentos elétricos também podem sofrer com a alta penetração e ter a sua vida reduzida [18, 19].

Esse aumento da penetração dos VE no sistema elétrico juntamente com o leque de impactos negativos que podem ocorrer levanta uma questão relevante, qual seja, se o sistema elétrico irá conseguir suportar esse grande aumento dos VE devido tanto ao aumento da demanda quanto também a alteração do perfil de carga, já que os VE sem nenhum tipo de incentivo nesse sentido, tendem a ser carregados durante a noite nas residências [23].

Nesse contexto, o primeiro aspecto para responder essa questão é que os VE precisam ser incluídos dentro do planejamento, e além disso considerando que a entrada dos VE's vem se dando de forma gradual é importante considerar isso em um planejamento de médio e longo prazo, ou seja, mais especificamente, no planejamento da expansão do sistema elétrico. O principal objetivo do planejamento da expansão é garantir o fornecimento constante de energia mesmo com uma crescente demanda [24] e pode ser dividido em planejamento da geração, transmissão ou distribuição dependendo qual é o foco do estudo.

A importância de se considerar os VE's dentro do planejamento da expansão vem com o objetivo de conseguir mapear previamente a demanda oriunda dos VE's e com isso trazer uma certa previsibilidade para o sistema, além de uma garantia que toda a carga continuará sendo atendida no futuro. Os VE's estão diretamente relacionados com o planejamento da expansão não só devido a um aumento da demanda que pode ocorrer devido a sua presença, mas também devido as mudanças que podem ocorrer na curva de carga devido ao carregamento desses veículos. É importante considerar em qual momento o carregamento será realizado, se será um carregamento residencial ou através de estações rápidas. Além disso, esse carregamento pode ser realizado de uma maneira controlada e também pode ocorrer *Vehicle-to-grid* (V2G) ou até mesmo medidas de Gerenciamento Pelo Lado Da Demanda (GLD) que também conseguem alterar como que a rede irá perceber esses VE's. Todos esses aspectos impactam na curva de carga que por consequência impacta no planejamento da expansão.

Outro ponto a se considerar é que os VE's não impactam da mesma forma todo o sistema elétrico, impactando mais severamente as redes de baixa tensão e podendo gerar

até ganhos caso o carregamento seja na média tensão [16, 25, 26].

Todos esses pontos demonstram como que os VE's conseguem impactar no planejamento da expansão e reforça ainda mais a importância deles serem considerados ao construir o planejamento da expansão.

Considerando esses aspectos e ponderando também as mudanças que o setor elétrico vem sofrendo recentemente com a entrada de diversas tecnologias, entre elas o VE, uma revisão de todos os artigos que tratam sobre os VE's dentro do planejamento da expansão é de suma importância para conseguir demonstrar em que ponto a academia se encontra hoje nesse tema. Além disso, uma revisão bem estabelecida consegue encontrar *gaps* e oportunidades de pesquisas futuras na área já que consegue demonstrar uma determinada tendência para o futuro.

Em se tratando de trabalhos de revisão uma alternativa de pesquisa que, apesar de não ser recente, é pouco utilizada na área de engenharia é a Revisão Sistemática Da Literatura (RSL). A RSL consiste em um método para coletar, revisar e sintetizar informações acerca de um tema para assim conseguir determinar o que se sabe e o que ainda é desconhecido na área de pesquisa, além disso também consegue perceber as tendências futuras e a existência de algum *gap* [27, 28, 29, 30]. A RSL se diferencia de uma revisão tradicional por seguir protocolos extremamente específicos e pelo seu caráter de reprodutibilidade, o que possibilita que, no futuro, seja possível retomar a RSL para verificar novos estudos que foram publicados.

Em que pese a relevância do tema, os artigos de revisão anteriores focaram a análise no VE ou na estação de carregamento, em uma análise estrita e individual, sem levar em consideração o impacto do aumento da demanda sobre o planejamento do sistema elétrico nos médio e longo prazos. Considerando uma análise sistêmica e ampla esse trabalho vem com o intuito de preencher essa lacuna realizando uma RSL trazendo todos os trabalhos que consideram os VE's no âmbito do planejamento da expansão. Quando os VE não são considerados, impactos negativos para o sistema podem ser verificados, o que pode, inclusive, não conseguir atender a demanda. Isso reforça a importância de se considerar os VE's no planejamento da expansão.

Com o objetivo de preencher esse *gap* encontrado no estado da arte, esse trabalho realiza uma RSL considerando os trabalhos que tratam dos VE dentro do planejamento da expansão. Com o intuito de trazer ainda mais relevância e notoriedade para esse trabalho foi analisado o planejamento da expansão considerando tanto a geração quanto a distribuição e transmissão.

Desta forma, a motivação desse trabalho é principalmente descobrir e agrupar os trabalhos que tratam de VE's dentro do planejamento da expansão, e assim contribuir para facilitar a expansão dos VE's já que, conforme foi colocado anteriormente, são capazes de trazer benefícios para o sistema e também são o futuro da mobilidade. Será realizada uma RSL para encontrar todos os trabalhos que tratam desse tema e após essa etapa será realizado um agrupamento e categorização desses trabalhos. Importante ressaltar que não foi encontrado na literatura nada semelhante ao proposto por esse trabalho, que consiste em uma revisão em se tratando de VE dentro de planejamento da expansão.

Destaque-se que, uma outra motivação desse trabalho é a de conseguir por meio de parâmetros específicos encontrar lacunas no que tange uma alta penetração dos VE's dentro do planejamento da expansão e assim contribuir para futuras pesquisas nessas áreas pouco exploradas ou até mesmo inexploradas. Além dessas lacunas, uma RSL também irá permitir encontrar características dos estudos que foram analisados o que também permite traçar uma análise que engloba além de aspectos teóricos aspectos regionais.

Dentre as metodologias possíveis para a realização desse trabalho foi escolhida a RSL justamente pelos benefícios que esse tipo de revisão traz. Por se tratar de uma revisão com parâmetros muito bem definidos é possível sua reprodução e também conferir o que foi incluído nessa dissertação devido a sua *string* de busca, bancos de dados e também critérios de inclusão e exclusão.

Além disso, após a localização desses trabalhos é realizada três categorizações distintas, com o intuito de agrupar os artigos pelos temas mais relevantes tratados por eles e também dependendo de como os artigos responderam a cada uma das perguntas de pesquisa que foram consideradas nessa dissertação. Essa categorização tem o intuito de, além de agrupar artigos semelhantes, facilitar que pesquisadores da área consigam encontrar facilmente artigos que tratem de um tema específico.

Por fim, com intuito de adicionar ainda mais valor para essa revisão, é realizada uma análise de todos os artigos que compõem essa dissertação. Analisou-se quais os aspectos mais relevantes foram encontrados, além de justificar o porquê um tema teve uma relevância maior do que outro. Também considerou-se todas as origens do artigo e foi explicado por que determinados países possuem uma relevância maior do que outros.

As categorizações realizadas durante esse trabalho também foram de certa forma agrupadas com o objetivo de permitir uma análise ainda mais aprofundada dos artigos.

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo consiste em levantar, de maneira sistemática e fundamentada, as lacunas de pesquisa relacionadas ao planejamento da expansão considerando a integração de VE. Essa identificação será conduzida de forma organizada e reproduzível, a partir de uma RSL, a fim de orientar e direcionar futuras pesquisas na área.

Para tanto, são objetivos específicos desta dissertação:

1. Realizar uma revisão abrangente da literatura científica existente sobre os VE considerados de maneira conjunta com o planejamento da expansão.
2. Identificar os principais desafios e oportunidades relacionados à inserção de VE no planejamento da expansão do sistema elétrico.
3. Categorizar todos os artigos conforme o problema que motivou, o tema principal e também a classificação conforme os critérios da RSL.
4. Analisar os resultados encontrados durante a etapa da categorização dos artigos encontrados durante a RSL. Essa análise abrangeu tanto os temas principais dos artigos como aspectos regionais.
5. Avaliar as tecnologias e metodologias que possibilitam uma maior penetração dos VE dentro do planejamento da expansão.
6. Propor estratégias e diretrizes para aprimorar o planejamento da expansão com a inclusão de VE, visando uma maior confiabilidade e flexibilidade do sistema elétrico.
7. Contribuir para o avanço do conhecimento nessa área, fornecendo subsídios para futuras pesquisas e decisões relacionadas ao planejamento da expansão e VE .

1.2 Trabalhos Relacionados

Muitos trabalhos de levantamento a respeito de VE's são apresentados na literatura, apesar de todos tratarem a respeito de VE os focos principais dos trabalhos são diferentes. Em [31, 32, 33, 34] os autores fizeram uma revisão com foco em como as políticas públicas podem impactar na quantidade de VE. Já em [35, 36, 37, 38, 39, 40] o foco é o impacto que os VE's possuem no sistema elétrico. Em [41, 42] os autores trataram do impacto de aspectos comportamentais. A grande maioria dos artigos por sua vez trata

de estação de carregamento de alguma forma, ou da localização delas [43, 44, 45, 46], ou então de estações ultrarrápidas [47, 48], ou até mesmo do planejamento das estações de carregamento [49, 50, 51, 52, 53, 54, 55].

Estes trabalhos no geral, apesar de seus diferentes focos, analisam em que ponto de estudo determinado assunto se encontra. Com o intuito de auxiliar o leitor em encontrar os avanços de determinado tema na literatura. Apesar das diferentes temáticas todos eles tratam dos VE's com o intuito de aumentar a penetração dos mesmos no sistema. Em [31] foi demonstrado que incentivos de taxas e infraestrutura são os aspectos mais relevantes para aumentar a quantidade de VE, já em [35] foram apontados as vantagens e desvantagens de diversos métodos além de comparar a funcionalidade de cada um. Em [49] os autores demonstraram que a quantidade de estações de carregamento afeta diretamente a quantidade de VE.

Ainda que todos esses trabalhos trataram de VE dentro de uma revisão, nenhum deles fez uma revisão considerando o VE dentro do planejamento da expansão e os seus impactos, sendo essa uma das principais contribuições desse trabalho. Mesmo que alguns deles tenham desenvolvido modelos para cálculo da demanda dos VE's que serão utilizados ao incluir o VE no planejamento da expansão [56] essa próxima etapa, de inclusão no planejamento da expansão que é o foco dessa dissertação, não teve nenhum trabalho de revisão. Esses pontos reforçam e demonstram a contribuição dessa dissertação, em considerar os VE's dentro do planejamento da expansão. Esse tema é de suma relevância já que a quantidade de VE vem aumentando consideravelmente, em 2022 14% dos carros vendidos eram elétricos, um aumento de 5% se comparado com 2021 [15].

Nos estudos que tratam do planejamento das estações de carregamento, o foco foi puramente a localização e a quantidade de estações de carregamento necessárias para atender determinada demanda de VE porém não foi considerado esse aumento da demanda tanto dos VE quanto das estações de carregamento no planejamento da expansão.

Foram encontrados 42 artigos que tratavam de revisões relacionadas a VE's. Esses artigos foram divididos conforme 13 temáticas, sendo elas:

1. Estações de carregamento
2. Integração de VE com *Energy Storage System* (ESS) e *Renewable energy* (RE)
3. Troca de baterias
4. Políticas e normas

5. Impactos dos VE's no sistema elétrico
6. Previsão de demanda dos VE's
7. Aspectos de comunicação relacionadas a VE, como por exemplo: V2G
8. Aspectos comportamentais
9. Modelos e materiais
10. Outros
11. Artigos que fazem uma RSLs
12. Artigos que possuem alguma limitação geográfica, como por exemplo, fazem revisão observando apenas um país.
13. Consideração de VE dentro do planejamento da expansão

A Tabela 1.1 demonstra a divisão de todos esses artigos com as temáticas abordadas por eles. Analisando a tabela pode-se perceber que a grande maioria dos artigos trata sobre estações de carregamento, desde a sua capacidade até a sua localização ótima. Depois desse tema o mais abordado é o de modelos e materiais, que basicamente consiste em trabalhos que fizeram uma revisão de todos os modelos disponíveis. Esses trabalhos também terminam por categorizar os modelos, demonstrando quando cada um deve ser utilizado, além das vantagens e desvantagens de cada um.

Analisando mais a fundo a Tabela 1.1 percebe-se as características que tornam esse trabalho diferente de todos os demais. Apesar de todos os trabalhos terem como palavra chave VE e fazerem revisões relacionadas a esse tema, nenhum deles traz uma revisão voltada especificamente para o impacto de uma alta penetração de VE's no planejamento da expansão do sistema elétrico, sendo esse, portanto, a maior contribuição desse trabalho. Outro aspecto relevante é que apenas três trabalhos além deste fizeram uma RSL. Esse é outro diferencial que aumenta a contribuição dessa pesquisa, já que a RSL garante a procedência da revisão além de permitir a inclusão de novos trabalhos para uma pesquisa futura.

Outro aspecto relevante é que ao observar a tabela é que esse trabalho também é o mais completo de todos expostos aqui, uma vez que irá abordar sete das categorias relacionadas e o outro artigo que mais aborda temas considera apenas quatro. O motivo desse trabalho considerar essas sete categorias ficará mais evidente nas próximas seções,

mas em resumo como esse trabalho é um trabalho de revisão que considerou de maneira extremamente ampla os trabalhos que tratam de VE dentro de planejamento da expansão todos os temas da atualidade com maior relevância foram considerados. Entre esses temas tem-se fontes renováveis, unidades de armazenamento, comunicação, como por exemplo V2G, os impactos dos VE's além de considerar o impacto na demanda devido a presença dos VE's. Esses temas relevantes representam cinco das categorias que foram expostas nessa seção e que esse trabalho irá abordar. Além disso, esse trabalho será o único que trata de VE dentro do planejamento da expansão e um dos poucos que realizou uma RSL. Esses dois últimos pontos reiteram a maior contribuição que essa dissertação traz, o primeiro devido a importância e aumento da relevância que os VE's vem ganhando na atualidade, com maior representatividade e também quantidade de modelos [15], e o segundo devido as vantagens que a condução de uma RSL traz para o trabalho. Entre essas vantagens pode-se citar, a confiabilidade da revisão [57], a sua explicitabilidade, o fato de seguir uma metodologia bem específica e por fim a capacidade de reprodução da revisão [58].

Tabela 1.1: Trabalhos Relacionados: *Surveys, Tutorials, Reviews* do Estado da Arte de Veículos Elétricos

Ref.	Est. de carga.	VE + ESS e/ou RE	Troca de baterias	Pol. e Norm.	Impa. VE	Prev. de Dema.	Comunicação	Compor. lamento	Mod. e Mater.	Outros	RSL	Lim. Geo.	VE + plane. expan.
[50]	X												
[55]										X			
[51]	X											X	
[53]	X		X									X	
[54]	X		X	X									
[52]	X								X				
[59]	X		X				X						
[60]	X		X								X		
[47]	X												
[48]	X	X							X				
[43]	X												
[44]	X								X				
[45]	X						X		X				
[46]	X								X				
[49]	X								X				
[61]	X	X									X		
[62]	X	X							X				
[63]	X												
[64]	X	X					X						
[65]							X						
[66]								X			X		
[31]				X									
[32]				X								X	
[33]				X									
[34]				X								X	
[35]					X				X				
[67]	X				X		X						
[37]					X								
[38]					X								
[39]	X				X				X				
[40]					X								
[41]								X					
[42]								X					
[68]									X				
[69]									X				
[56]						X			X				
[70]	X	X				X							
[71]	X					X	X		X				
[72]							X			X			
[73]	X			X					X	X			
Atual		X			X	X	X			X	X		X

1.3 Estrutura do Trabalho

O restante desta dissertação está estruturada em cinco capítulos, sendo o Capítulo 2 a fundamentação teórica dos assuntos relevantes para essa dissertação, que são os VE e RSL. É nessa seção que serão conceituados os tipos de VE, quais estão disponíveis no Brasil e como que os VE's impactam o sistema elétrico. Além disso, também será apresentado o que é uma RSL, como ela é realizada além dos principais conceitos e protocolos existentes.

Em seguida o Capítulo 3 trata sobre como foi realizada a condução da RSL nesse trabalho, como por exemplo quais critérios de qualidade e perguntas de pesquisa foram utilizados. Já o 4, tras as categorizações que foram realizadas. Os artigos foram categorizados de três formas: pelo problema que motivou a construção do artigo, pela temática principal do artigo e pela classificação conforme os critérios da RSL. Essa categorização é importante para agrupar artigos semelhantes e facilitar a utilização dos dados encontrados durante esse trabalho em estudos futuros.

O Capítulo 5 realiza uma análise mais aprofundada de todos os artigos que compõem essa dissertação. Aqui é possível perceber os artigos agrupados por temáticas para conseguir visualizar de forma mais clara qual tema se sobressai sobre os demais. Também é realizado uma análise dos países dos autores dos artigos para verificar se tem alguma tendência clara mundial de onde esse conhecimento está concentrado.

Por fim, o Capítulo 6 traz a conclusão dessa dissertação, revisitando os principais pontos discutidos no trabalho e elencando as maiores contribuições para a academia.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Com o intuito de elucidar todos os conceitos que serão utilizados durante essa dissertação, esse capítulo traz os conceitos mais relevantes relacionados aos VE's e também a RSL.

2.1 Veículos Elétricos

Os VE's tem se tornado cada vez mais presentes nos grandes centros [15]. Hoje já é possível encontrar uma grande diversidade de modelos e também de tipos diferentes, sendo eles híbridos ou totalmente elétricos. Essa seção irá trazer os tipos de VE's além de um pouco da sua história para contextualizar o cenário atual que foi considerado na maioria dos trabalhos que compõem essa dissertação.

2.1.1 Tipos De Veículos Elétricos

Os VE's podem ser categorizados conforme o seu modo de funcionamento, como, por exemplo, se são movidos apenas a bateria ou se possuem também um motor a combustão, ou seja, se utilizam alguma parcela de combustíveis fósseis.

Os veículos elétricos híbridos, também conhecidos como *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) utilizam de um motor a combustão além de um motor elétrico. A propulsão e tração vem através da utilização de combustíveis fósseis. O motor elétrico por sua vez vem para auxiliar o motor a combustão, resultando em uma maior eficiência [74, 75].

Existem três tipos de configurações possíveis atualmente para o HEV, o sistema em série, em paralelo e o misto. No caso do sistema em série o MCI aciona um gerador que vai acionar o motor elétrico. Já no sistema em paralelo o MCI e o motor elétrico

trabalham juntos nas situações que exijam mais potência. E por fim o sistema misto que possui dois motores elétricos que atuam em série e em paralelo ao MCI. Nesses três tipos de configurações as baterias serão carregadas também pelo sistema de frenagem regenerativa, também conhecido como *Kinetic Energy Recovery Systems* (KERS). Em situações de muito trânsito em que o carro fica parado, o MCI será desligado [76].

Exemplos de veículos que usam as configurações citadas acima são o Honda Insight que utiliza a configuração em paralelo, com um motor elétrico auxiliando na tração já que se acopla no eixo de saída do MCI, e o Toyota Prius que utiliza a configuração em série [76, 77, 78].

O veículo elétrico a bateria, também conhecido como *Battery Electric Vehicle* (BEV), utiliza toda sua energia de sua bateria recarregável. Já os veículos elétricos híbridos *plug-in*, também conhecidos como *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) possuem em sua configuração uma bateria recarregável, um motor elétrico, além de um motor a combustão que permite a utilização de combustíveis fósseis [79]. A bateria desse tipo de veículo possui uma capacidade maior do que a de um HEV, essa bateria consegue transportar o carro em longas distâncias sem a necessidade da utilização do MCI. O MCI pode servir como energia para o motor elétrico em um momento que a bateria encontra-se descarregada. Assim como o HEV, o PHEV pode ter a configuração em série e em paralelo, além disso, consegue operar em dois modos distintos *charge sustaining*(carga Sustentada) ou *charge depleting* (carga depletada) [76], a Figura 2.1 demonstra essas duas configurações.

Por fim, o carro elétrico *fuel cell*, também conhecido como *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) é abastecido com hidrogênio. São mais eficientes que os carros de combustão interna e ainda possuem outra vantagem que é o fato de não emitirem poluentes, apenas água e calor [74, 75]. Esse tipo de veículo usa um sistema de propulsão semelhante ao dos VE's, ou seja, a energia armazenada em forma de hidrogênio é convertida em eletricidade pela célula de combustível. Além disso, esses veículos são equipados com outros mecanismos, como, por exemplo, uma tecnologia que permite armazenar a energia da frenagem em baterias para serem usadas posteriormente [80].

A Tabela 2.1 compila as principais características de cada um dos tipos de veículos descritos acima. A Figura 2.2 mostra as configurações de cada tipo de VE demonstrando como que funciona a ligação dos motores elétricos, juntamente com o mecanismo de frenagem regenerativa (KERS) e também motor de combustão quando presente. A Figura 2.3 demonstra os tipos de ligações possíveis.

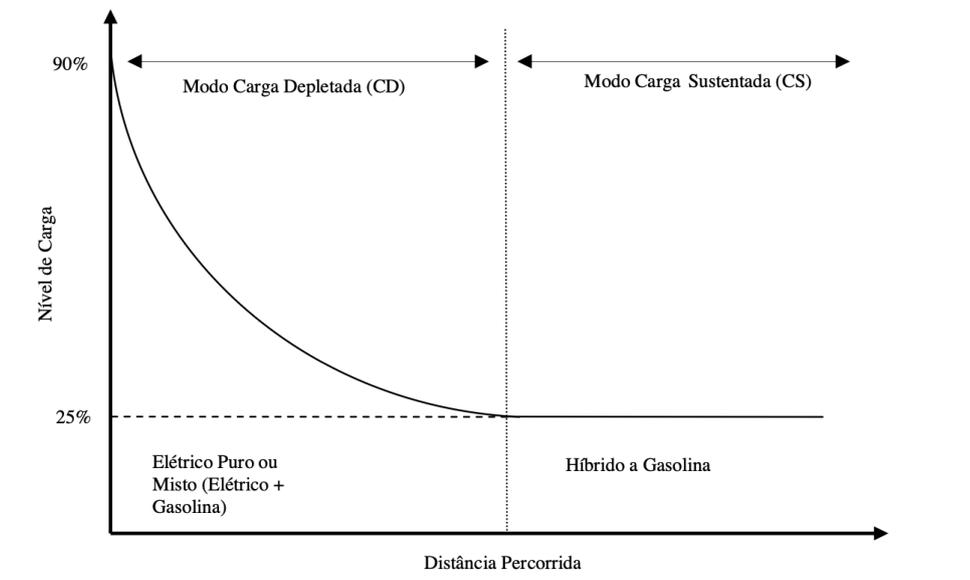


Figura 2.1: Ciclos de descarga típico para os dois modos que o Veículo Híbrido Plug-in pode operar, sendo eles Carga Depletada, onde a carga é utilizada para o deslocamento e Carga Sustentada, onde o MCI sustenta a carga

(fonte: [76])

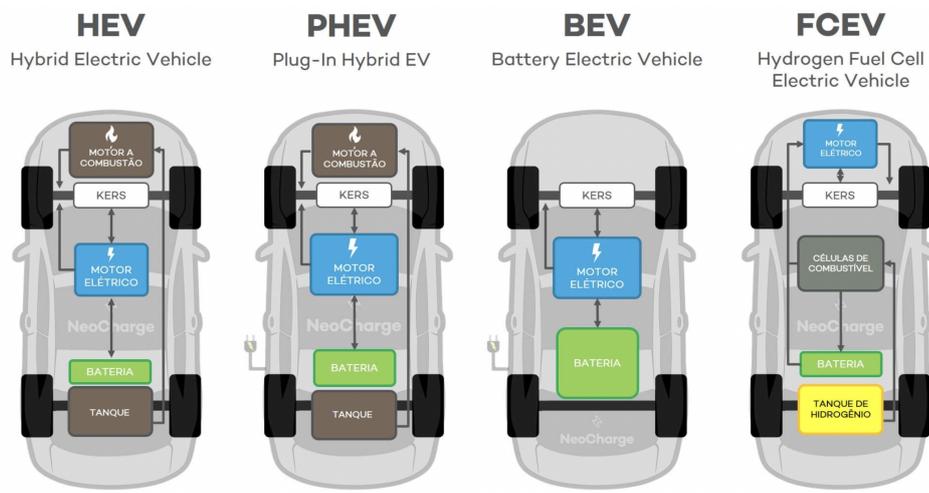


Figura 2.2: Configuração dos diferentes tipos de VE

(fonte: [81])

2.1.2 História Dos Veículos Elétricos No Brasil E No Mundo

A história dos veículos elétricos se entrelaça com a invenção e avanços tecnológicos das baterias. Os primeiros VE's surgiram inclusive antes dos veículos MCI, tendo sido inventados entre 1873 e 1881 e eram utilizados na França, Estados Unidos e Reino Unido [1]. Nos Estados Unidos já existiam cerca de 1.600 VE's antes mesmo do final do século XIX e apenas aproximadamente 940 veículos MCI [78]. Já os veículos MCI foram inventados

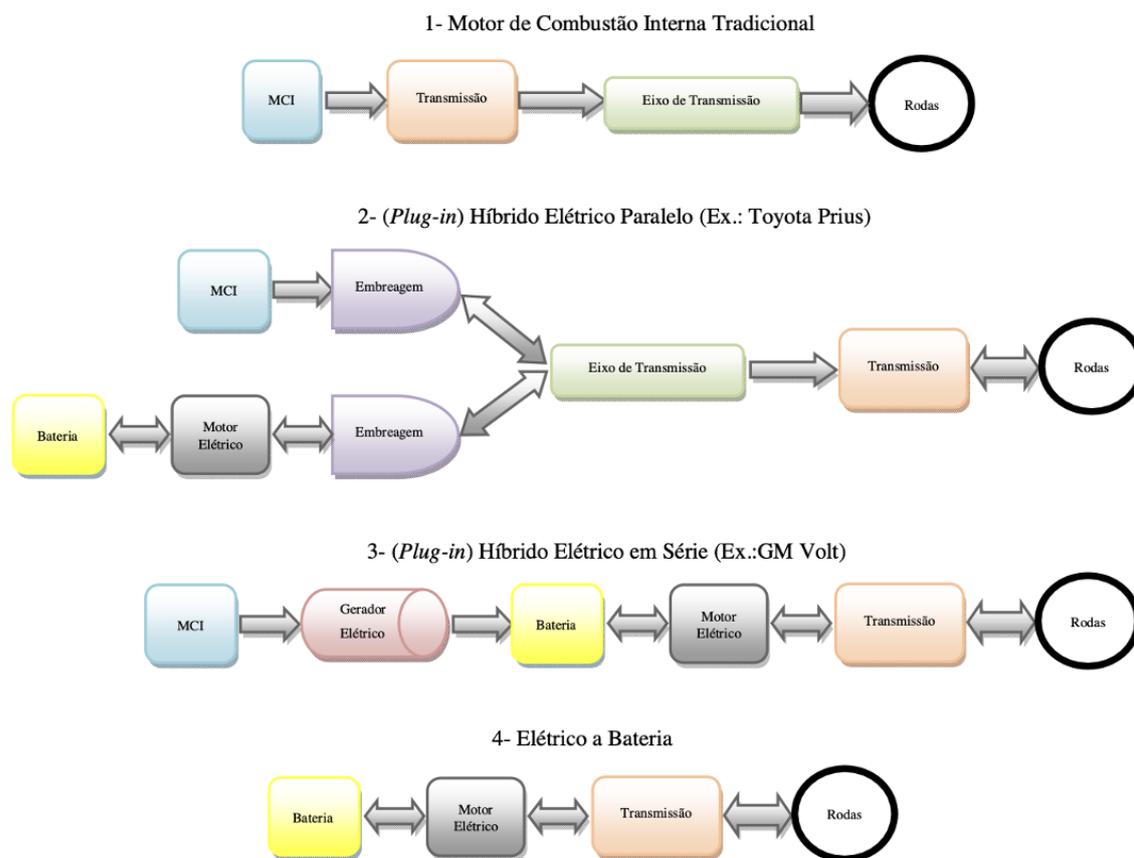


Figura 2.3: Fluxograma das 4 principais ligações de automóveis (fonte: [76])

apenas em 1886 [77].

Os primeiros VE's utilizavam bateria de chumbo e ácido que foi inventada em 1859 por Gaston Planté, depois disso a próxima grande invenção tecnológica nessa área foi feita por Thomas Edison que inventou a bateria de níquel-ferro que possuía uma capacidade de armazenamento 40% maior do que sua predecessora [1, 76, 78, 82].

Em 1887 foram registrados a primeira utilização comercial dos VE's: a utilização como táxi que começou em Nova Iorque e rapidamente se espalhou por diversos estados americanos. Os VE's também são responsáveis por outro feito, o do primeiro veículo capaz de suprir a barreira dos 100km/h com o veículo desenvolvido pelo belga Camille Jenatzy [76, 83].

Já no seu surgimento os VE's encontraram dificuldades na sua difusão, principalmente pelo fato de os veículos MCI apresentarem melhor autonomia e potência. Além disso, a manutenção desses veículos era mais fácil do que as dos VE's já que era realizada pelas mesmas pessoas que faziam manutenção em bicicletas na época, enquanto os VE's

Tabela 2.1: Características dos diferentes tipos de VE (fonte: [74])

	HEV	PHEV	BEV	FCEV
Motor	CI + Elétrico	CI + Elétrico	Elétrico	Elétrico
Fonte de Ener.	Comb. + Frenagem	Comb. + rede + frenagem	Rede + frenagem	Rede + frenagem
Cap. da Bateria	1 a 2 kWh	5 a 20 kWh	20 a 100 kWh	1 a 2kWh
Autonomia	400 a 700 km - comb.	30 a 120 km - bateria 400 a 700 km - comb.	100 a 400 km - bat.	320 a 600km - comb.
Recarga/ Reabaste.	frenagens/ postos de comb.	via rede elétrica + frenagens/ em postos de comb.	via rede elétrica + frenagens/ NA	frenagens/ em estação de recarg a de hidrogênio
Modelos	Toyota Prius, Kia Niro, Ford Fusion Hybrid, Kia Optima Hybrid, Hyundai Ioning HEV, Chevrolet Malibu	BWM i8, Toyota Prius, Mercedes Benz C350e, Volvo V60 PHEV, Mitsubishi Outlander, Volkswagen Golf GTE	Tesla, Chevrolet Bolt, Nissan Leaf, BMW i3, Renault Zoe, Jaguar i-Pace, Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf	Toyota Mirai, Hyundai Tucson FCEC, Hyundai Nexo, Honda Clarity

demandavam um mecânico que fosse familiarizado com o funcionamento do carro e de sua bateria [77, 82].

Na década de 1930 os VE's praticamente não se encontravam no mercado, sendo utilizados quase que somente para entrega de leite, coleta de lixo e serviços de entrega. Nos momentos de crise, como, por exemplo, na Primeira e na Segunda Guerra Mundial, foi verificado um aumento da produção de VE's devido ao racionamento de gasolina e diesel em alguns países como, por exemplo: Estados Unidos, Reino Unido e Japão, sendo esse último especificamente no pós-guerra [82, 83].

Mesmo com o aumento das preocupações ambientais na década de 1970 os VE's ainda não conseguiam bons resultados se comparados com os MCI. Diversos motivos podem ser elencados relativamente ao porquê desses resultados não serem alcançados. Dentre eles a produção em série desenvolvida por Henry Ford, o que resultou na redução significativa dos preços com os veículos MCI que chegavam a custar metade dos VE's, a invenção da partida elétrica que ocorreu em 1912, a descoberta de petróleo no estado do Texas, o que resultou na redução do preço da gasolina e, por fim, já em 1920, os Estados Unidos já possuíam rodovias de larga extensão, o que demandava veículos com uma maior autonomia [77, 78, 82, 83].

Alguns avanços tecnológicos desenvolvidos entre 1890 e 1900 contribuíram para uma maior difusão dos VE's. Dentre esses avanços temos o surgimento dos veículos híbridos, também conhecidos como HEV, que utilizam além da eletricidade a gasolina, e também o desenvolvimento da frenagem regenerativa, que é capaz de transformar energia cinética durante a frenagem em energia elétrica [76, 82, 78]. O primeiro veículo híbrido surgiu em 1916, conhecido como *Woods Gasoline-Electric*. Entretanto, como apresentava um custo

superior aos outros veículos no mercado, não obteve uma boa aceitação e poucas unidades foram vendidas [77]. Apesar desse registro de um HEV apenas em 1916, já em 1903 existiu um veículo com características similares a de um HEV, com um gerador elétrico que era alimentado por um motor de combustão interna pequeno e as rodas dianteiras também possuíam dois motores elétricos capazes de fornecerem tração a elas [1]. Entre 1901 e 1906 também existiu outro veículo similar a um HEV em paralelo onde o MCI realizava a dupla função de fornecer tração para as rodas e carregar a bateria elétrica. O motor elétrico por sua vez servia para fornecer uma potência adicional ao MCI, sendo possível funcionar sozinho em momentos de trânsito [1].

Além desses avanços tecnológicos, alguns acontecimentos mundiais fizeram as grandes montadoras voltarem seus olhos novamente para os VE's. Entre esses acontecimentos podemos citar a crise do petróleo em 1973. Essa crise gerou racionamento em diversos países e também uma maior conscientização a respeito da energia nuclear, principalmente no que diz respeito a segurança e o destino dos dejetos radioativos [78]. Depois desses acontecimentos, em 1997, a Toyota lançou no mercado japonês o Prius e a Audi, por sua vez, lançou no mercado europeu o modelo Duo. Ambos eram modelos híbridos. O primeiro modelo híbrido a entrar no mercado americano foi um da Honda, o modelo era o Insight e chegou em 1999. Logo depois o Prius também chegou nos Estados Unidos e esses dois modelos foram um sucesso de vendas, com o Prius estando no mercado americano até hoje. O HEV está cada vez conquistando uma maior parcela do mercado desde o lançamento do Prius nos Estados Unidos [77]. Importante ressaltar que o que aumenta ainda mais a parcela dos HEV's e VE's são os incentivos do governo americano para aumentar tanto a produção quanto a demanda por eles [82].

No Brasil o primeiro VE que se tem notícia foi inventado pela Gurgel Motores em 1974 e era conhecido como Gurgel Itaipu, um carro apenas para uso urbano que comportava até duas pessoas. A bateria desse modelo era de chumbo-ácido e podia ser carregada nas tomadas residenciais. Apesar dessa iniciativa inovadora no mercado nacional, a bateria apresentava pouca autonomia e durabilidade, além de um grande peso, o que dificultou a difusão desse modelo. Apesar disso, em 1980 a Gurgel Motors lançou um segundo modelo de VE conhecido como Gurgel Itaipu E-400, o qual pelos mesmos motivos do primeiro modelo não teve uma boa aceitação [76, 77, 83].

A primeira linha de ônibus elétrico brasileira foi instalada em 1918 na cidade do Rio de Janeiro, pela empresa Light and Power Co. LTDA. A linha fazia a ligação da Praça Mauá ao Palácio Monroe, que já não existe, mas estava localizado na outra extremidade

da Av. Rio Branco [83].

Em 2004 surgiu um outro projeto para incentivar a utilização de VE's entre a Itaipu Binacional, FIAT e *Kraftwerke Oberhash* (KWO). Para esse projeto foram produzidos mais de quarenta VE's do modelo Fiat Palio Weekend que foram utilizados principalmente pela usina, já que devido ao seu alto custo, cerca de cinco vezes o valor do modelo convencional, nunca foram produzidos para venda [76, 77, 83].

2.1.3 Veículos Elétricos Na Atualidade

As vendas de VE's vem sendo cada vez maiores, em 2021, foram vendidos em todo mundo 6,6 milhões de VE [9], atingindo a marca de 10% de todos os carros circulantes [9]. O ano de 2022, por sua vez, também foi um bom ano para os VE's com o primeiro quadrimestre tendo superado o ano anterior em 75% [9] e com uma quantidade de 10 milhões de carros vendidos [15], o que representa que 14% de todo carro novo vendido é elétrico [15]. Em 2023 continua-se percebendo um grande crescimento na frota dos VE's, com as vendas tendo subido 25% no primeiro trimestre do ano se comparado com o mesmo período do ano anterior [15], com uma projeção de venda de 14 milhões no ano [15], caso essa projeção ocorra, os VE's representarão 18% do mercado de veículos [15]. O grande sucesso dos VE's se dá principalmente pelos incentivos governamentais que foram de aproximadamente USD 30 bilhões em 2021, considerando que para um maior consumo de VE no país são necessários maiores medidas governamentais que apoiem a compra pelos consumidores desse tipo de automóvel [77, 84]. Além também de um maior desenvolvimento de infraestrutura necessária de recarga. Uma medida governamental tomada pelo governo brasileiro com o intuito de aumentar a quantidade de VE foi a de isentar os impostos de importação para os VE's [85].

Alguns países não estão apresentando esse enorme crescimento, como é o caso do Brasil onde a frota dos VE's representa menos de 0,5% do total de veículos em circulação [9, 86]. Apesar de se comparado com níveis globais ainda estar em um patamar abaixo, o Brasil vem apresentando um crescimento acelerado do consumo de VE's, com um aumento de 68,5% nas vendas dos VE's nos sete primeiros meses de 2023, se comparado com 2022 [87].

No total já se encontram em circulação no Brasil aproximadamente 150 mil VE's até maio de 2023 [88], sendo que desse total cerca de 35 mil foram vendidos em 2021 e cerca de 50 mil foram vendidos em 2022 [88, 89], ou seja, os dois últimos anos representam aproximadamente 65% de todos os VE's. Isso indica a relevância que os VE's tem tomado

ultimamente e como podem ainda crescer muito mais. Outro aspecto que demonstra como que os VE's vem ganhando relevância é o *market share* desses veículos, que saiu de 2,8% em 2022 para 3,4% analisando os dados até maio de 2023 [88].

Diversos países possuem metas ousadas de eletrificação da sua frota e inclusive algumas montadoras também possuem a mesma meta [9]. A Figura 2.4 resume algumas dessas metas conforme colocado em [15]. Outro aspecto que vem fortalecendo cada vez mais o crescimento da utilização de VE's no mundo são o aumento da quantidade de modelos disponíveis, o que torna o carro mais atrativo para os compradores. Em todo o mundo já são aproximadamente 450 modelos [9].

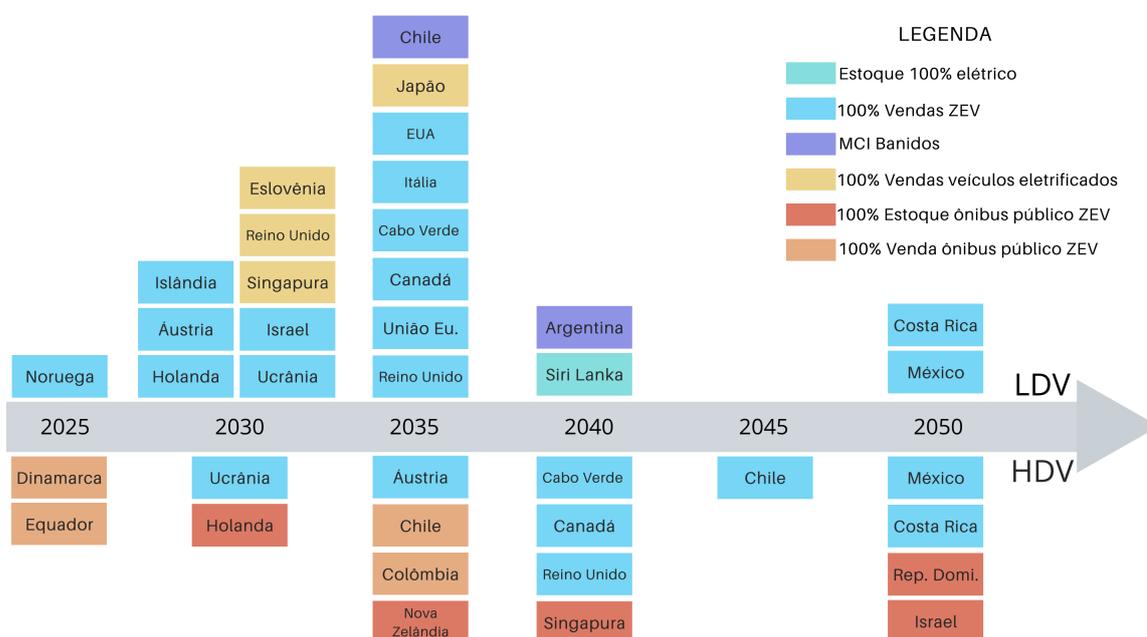


Figura 2.4: Prazos que diversos países colocaram para obter uma frota 100% sem emissão de CO₂ ou ainda mesmo uma frota 100% elétrica

Fonte: [15]

O Brasil vem apresentando cada vez mais modelos disponíveis no mercado. Atualmente o mercado conta com mais de 200 modelos de diversas montadoras, o que representa um aumento de 185% se comparado com os modelos que estavam disponíveis em maio de 2022 [87, 90]. A Tabela 2.2 apresenta alguns modelos e a quantidade vendida no ano de 2022, foi realizado um pareto e esses modelos representam 90% de todos os veículos vendidos no ano. Além do aumento de modelos disponíveis, outra vantagem que facilita a quantidade de VE no mercado brasileiro é o aumento das quantidades de estações de carregamento, com 3.500 postos públicos ou semi-públicos até junho de 2023 [87].

O que ainda é uma grande barreira para uma maior difusão de VE's no mercado brasileiro é o custo desse tipo de veículo, o HEV mais barato no mercado é o Toyota

Tabela 2.2: Modelos de VE, sua respectiva quantidade vendida no ano de 2022 e custo com base no mesmo ano (fonte: [89])

Modelo	Marca	Quantidade	Valor inicial (R\$)
Corolla Cross	Toyota	10.764	192.380
Corolla	Toyota	5.823	174.070
Tiggo 8	Caoa Cherry	1.694	279.990
XC60	Volvo	1.458	399.950
XC40	Volvo	1.348	309.950
Tiggo 5X	Caoa Cherry	970	169.990
X5	BMW	948	630.950
Discovery	Land Rover	931	730.950
Classe C	M.Benz	884	349.990
RAV4	Toyota	864	301.990
Icar	Caoa Cherry	766	149.990
Stonic	Kia	738	259.990
Tiggo 7	Caoa Cherry	713	199.990
X3	BMW	707	399.950
XC90	Volvo	667	509.950
Cayenne	Porsche	604	589.000
E-JS1	JAC	552	159.900
C40	Volvo	519	309.950
330E	BMW	517	374.950
Sportage	Kia	463	259.990
Range Rover	Land Rover	414	647.950
E Tron	Audi	400	609.990
Kwid	Renault	384	142.990
Cooper	Mini	332	274.990
Defender	Land Rover	301	708.950
Leaf	Nissan	287	297.140
Q5	Audi	274	413.999
Jumpy	Citroen	242	161.490
Ioniq	Hyundai	240	229.900

Corolla com valores a partir de R\$ 183.000 [91], já o PHEV mais em conta é o Renault Kwid que custa a partir de R\$ 140.000 [92]. Esses valores são mais que o dobro do veículo mais barato no mercado hoje, o Renault Kwid Zen, que custa aproximadamente R\$ 70.000 [93].

O aumento da quantidade de VE's pode ser diretamente ligada ao desenvolvimento econômico do país. Foi verificado em [82, 94] que o que ocorreu nos Estados Unidos, Japão e Alemanha está se repetindo em outros países como Brasil, Coréia do Sul, Índia e China. A quantidade de veículos se relaciona com o PIB em uma relação de uma curva em S, o que significa que a frota cresce lentamente em baixos níveis de desenvolvimento, com o crescimento acelerando quando a renda nacional aumenta. O nível de saturação é atingido quando o país atinge um nível mais elevado de desenvolvimento [82, 94].

Já existem estudos que preveem a frota brasileira de VE's como sendo a quinta maior do mundo em 2030 [94]. Destaque-se que a partir desses dados e relacionados ao desenvolvimento econômico é possível que o país se planeje para a chegada desses veículos e possa oferecer uma infraestrutura que acomode a circulação e carregamento dos mesmos.

2.1.4 Impactos Dos Veículos Elétricos No Sistema Elétrico

Uma das alternativas encontradas para reduzir as mudanças climáticas é a eletrificação do setor de transporte. Essa eletrificação é necessária uma vez que uma outra alternativa para a redução de poluentes, que seriam os biocombustíveis, competem diretamente com a produção alimentícia [16]. Isso é um dos grandes motivos que levam ao aumento cada vez maior dos VE's no sistema elétrico e da sua projeção de crescimento ser tão grande. Esse aumento traz inúmeros desafios para o sistema elétrico. Diferentemente da inserção das fontes renováveis que impactaram principalmente as áreas rurais, o aumento dos VE's irá impactar a rede urbana. Esse impacto faz com que seja necessário cada vez mais reforços no sistema [16].

A Figura 2.5 mostra uma situação na Alemanha em que uma baixa penetração de VE's não provoca muitos desvios de tensão, acontecendo apenas um acúmulo local. Porém se a penetração for superior a 10% os primeiros impactos já são percebidos. Ao atingir 30% de penetração consegue-se perceber muita violação de limite de tensão. Isso demonstra a necessidade de expandir o sistema ou criar um sistema de controle de carregamento para permitir maiores penetrações [16].

Um grande número de VE's podem gerar inúmeros impactos para o sistema elétrico

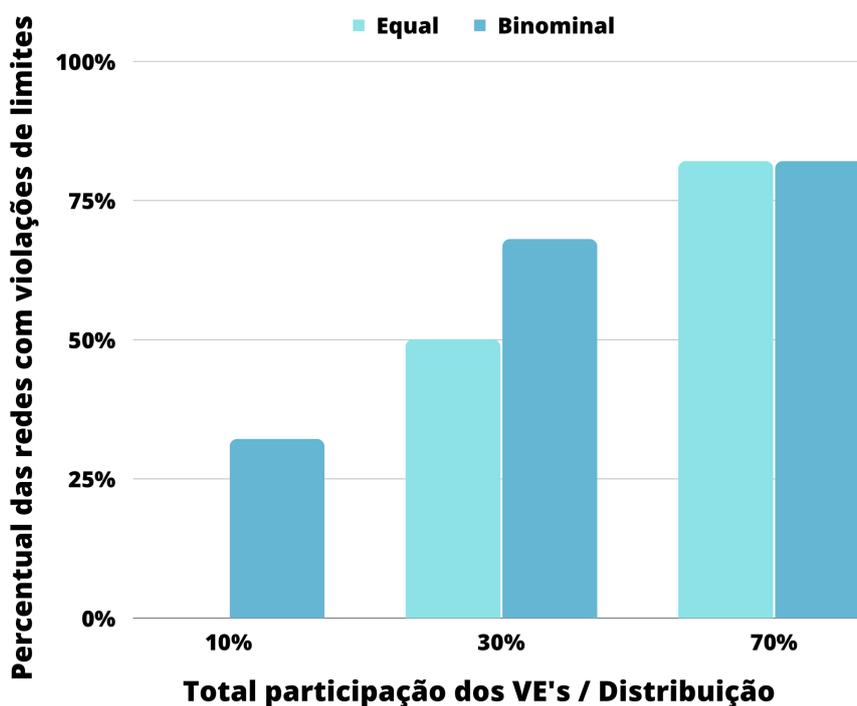


Figura 2.5: Percentual das redes com violação dos limites dependendo da penetração de VE e da sua distribuição ao longo da rede

(fonte: [16])

devido principalmente ao seu aumento de demanda e também a alteração da curva de carga. A dimensão e o tipo de impacto causado depende muito da forma que esses VE's foram inseridos, se existe algum tipo de controle de carregamento, se é possível realizar V2G ou até mesmo se esses veículos foram considerados no planejamento da expansão. Dependendo da forma que o VE foi adicionado na rede e também como que ocorreu o carregamento desse veículos os impactos podem ser negativos ou positivos.

Um dos primeiros grandes impactos que pode ocorrer é a necessidade de expansão ou reforço do sistema existente para suportar esse aumento de demanda. Com a presença dos VE's o sistema de potência de baixas tensões irá sofrer ainda mais que os demais [16, 25] e, além disso os custos atrelados a esse reforço e expansão do sistema podem ser ainda mais expressivos caso o sistema seja subterrâneo [16].

Em se tratando dos impactos negativos que podem ocorrer devido à presença dos VE's com um carregamento não controlado pode-se citar o aumento das perdas elétricas, uma deterioração do perfil de carga no momento do pico [17], o desbalanceamento da carga, o congestionamento do sistema [18, 19], quedas e sobrecargas de tensão [20, 21], além também de uma sobrecarga na rede [22]. Esses impactos acabam por afetar a qualidade da energia fornecida [22]. Além dos impactos no sistema também acontecem impactos nos

equipamentos reduzindo a vida útil dos mesmos [18, 19]. O carregamento não controlado também resulta em um aumento da incerteza da carga, o que traz mais volatilidade para o sistema [95].

Por outro lado, caso o carregamento seja controlado e concentrado fora dos horários de pico, esses efeitos negativos podem não acontecer. Foi demonstrado em [23] que em situações de carregamento não controlado, 43% da demanda se encontra durante o período de pico, o que evidencia ainda mais a sobrecarga que pode ocorrer no sistema.

No que pese a utilização dos VE juntamente com as fontes renováveis pode ocorrer também outros impactos negativos, como, por exemplo, um maior *curtailment* e redespacho de usinas. Essas medidas podem resultar em perdas econômicas [96]. Estima-se que essas perdas possam ter atingido até €1.000M na Alemanha em 2017 [97, 98]. A utilização sem um carregamento controlado consegue aumentar os custos tanto operacionais quanto de investimento [99].

Alguns outros aspectos negativos podem ocorrer no sistema sem ser necessariamente devido a um tipo específico de carregamento. Devido à natureza da carga dos VE's ela irá aparecer espaçada, o que resulta em custo para o sistema tanto de distribuição como para o sistema de transmissão [100], além de aumentar a volatilidade para o sistema [19]. Os VE's impactam também na necessidade da reserva de emergência devido ao aumento da demanda de curto prazo e também devido à ausência de modelos regulatórios e consolidados, que permitam o fluxo V2G.

Destaque-se que uma relevante questão em se tratando dos VE's é o fato de não ser possível precisar a quantidade de VE que um sistema terá no futuro. Com isso, o sistema elétrico pode apresentar todos esses aspectos negativos bem antes do esperado [101].

Apesar de todos esses aspectos negativos citados anteriormente, os VE's também conseguem trazer alguns benefícios para o sistema dependendo de como for considerada a sua carga, o seu tipo de carregamento, como foram inseridos e da preparação que foi realizada no sistema. Esse aspecto reforça ainda mais a importância e relevância do presente trabalho em levantar todos os artigos que consideram os VE's dentro do planejamento da expansão.

Os VE's podem atuar oferecendo serviços auxiliares para a rede. Serviços auxiliares são os serviços que permitem que a energia seja transportada ao longo de toda a rede de uma maneira estável, eficiente e segura [102]. Os serviços auxiliares podem oferecer inércia para a rede, regulação de frequência, de tensão, reserva de energia, entre outros

[102].

Um grande número de VE's desde que sejam conectados com controle na rede trazem como oportunidade um grande armazenamento e flexibilidade para o sistema [103].

A alteração de frequência na rede pode ser corrigida variando o consumo e a geração de energia, e os VE's como podem funcionar tanto como carga como como fontes de geração ao injetar energia na rede podem auxiliar no controle de frequência [104]. Os VE's também conseguem atuar na regulação de tensão ao injetar potência na rede e aliviar os nós sobrecarregados [104]. Com o carregamento inteligente, esses veículos também podem funcionar com reserva de emergência e também atuando em processos de arbitragem, regulação de frequência e estabilização de tensão [99].

Por se tratarem de cargas flexíveis e programáveis, os VE's podem ser utilizados para deslocamento de carga (*load shifting*) e assim fornecendo serviços auxiliares. Além disso, conseguem evitar a flutuação de energia oriunda das fontes renováveis [105]. Sua capacidade de atuar tanto como gerador como carga é o que aumenta a flexibilidade do sistema e com isso os VE's também conseguem aumentar a resiliência do sistema [105].

Ao utilizar o V2G os VE's funcionam como uma geração distribuída e conseguem fornecer, além do que já foi citado acima, regulação de frequência e reserva de emergência. Considerando a utilização de sistemas inteligentes, com capacidade de comunicação e controle, as vantagens dos VE's são ainda maiores, podendo atuar para aumentar a capacidade do sistema de potência contra desastres naturais através de uma auto adaptação e capacidade de se recuperar de uma falta sozinho. Com isso os VE's conseguem garantir uma operação segura e estável. Todas essas características demonstram como que o VE consegue contribuir para o sistema aumentando a resiliência do mesmo [105, 106, 107].

Outra vantagem da utilização de V2G é que ao auxiliar na diminuição das perdas e também na redução da variação da carga eles acabam oferecendo mais qualidade para o sistema [20] e também contribuem para evitar que os equipamentos do sistema sejam superestimados [108] o que indiretamente envolve um maior custo. Além disso, a capacidade do V2G em deslocar a carga, reduzindo pico e fazendo preenchimento de vales, resulta em uma operação mais simplificada para o operador do sistema [109]. Sua utilização com fontes renováveis permite suavizar as oscilações dessas [99], reduzindo as rampas de potência [110]. O carregamento dos VE's tende a aumentar o pico e como a produção de fontes renováveis geralmente cria vales, essas duas tecnologias podem ser complementares para melhorar o funcionamento da rede [111].

Apesar de um grande número de VE's resultarem em um aumento da curva de carga e assim gerando um novo pico, caso o carregamento considerado seja rápido a flexibilidade que será conseguida ao reduzir o tempo de carregamento de 8 horas para 15 minutos pode contribuir para o achatamento da curva de carga e também na redução de perdas, além também da regulação de tensão [112].

Além do V2G existem outras maneiras dos VE's trazerem benefícios para o sistema. Uma dessas alternativas é a alocação ótima das estações de carregamento. Essa alocação ótima pode trazer benefícios para a operação como um condicionante de potência ativa e reativa [21].

A utilização de V2G também possui outra vantagem atrelada ao *curtailment* das fontes renováveis, já que por poder absorver energia no momento de maior produção de energia solar e eólica, por exemplo, os VE's podem contribuir com a intermitência dessas fontes [110].

Além dos benefícios para o sistema elétrico também podem ocorrer outro tipo de benefícios, como, por exemplo, o sonoro, já que os VE's são bem mais silenciosos do que os MCI [2, 108].

Pode-se citar alguns exemplos de artigos que tratam das vantagens para o sistema. Em [113] foi analisado um caso para a Alemanha e demonstraram que os VE's conseguem reduzir o pico de carga através de sua flexibilidade, outro artigo que trata da redução do pico foi o [114]. Já em [115, 116] foi analisado como que o V2G consegue trazer mais flexibilidade para o sistema [109, 117].

Os VE's podem atuar reduzindo o pico de demanda ou até deslocando o consumo de um horário para o outro. Além disso, caso o sistema suporte o V2G esse veículo pode funcionar como uma unidade de armazenamento para o sistema. Essas alternativas podem permitir que no planejamento da expansão sejam necessárias menos unidades geradoras, já que com a redução do pico é necessária uma produção menor em determinado momento.

Além disso, os VE's podem funcionar como uma unidade de armazenamento para as fontes renováveis e assim evitar o *curtailment* de energia, já que podem armazenar a energia em um momento de grandes ventos que não é um momento de grande demanda, por exemplo. Ao evitar o corte de produção de energia acontece um ganho financeiro implícito, que, na verdade, é uma forma de impedir um desperdício de energia.

Em [118] os autores concluíram que um carregamento inteligente é capaz de reduzir a necessidade de uma maior capacidade instalada, logo é capaz de trazer um ganho finan-

ceiro. Além disso, o estrangulamento do sistema irá ocorrer quatro anos mais tarde com a presença de VE's e um carregamento inteligente. Já em [119] os VE's são utilizados para evitar uma sobra de energia, ou seja, o *curtailment*.

2.2 Visão Geral Sobre Revisão Sistemática Da Literatura

A RSL combina diversos estudos através de uma metodologia sistemática e um método explícito para conseguir sintetizar as evidências. De maneira geral consegue fornecer uma análise qualitativa ou quantitativa por meio dos estudos. Além disso, o método oferece uma transparência de quais fatores foram utilizados para categorizar os artigos [120].

A RSL traz diversas vantagens para revisões tanto técnicas quanto científicas. Ela é capaz de unificar o conhecimento de determinado tema, além de seguir métodos e protocolos bem definidos que facilitam a sua conferência e reprodução com acurácia. É considerada como uma parte essencial de uma determinada pesquisa, ainda mais se for considerado o constante aumento de publicações que podem ser inclusive contraditórias [121, 122]. Um dos aspectos mais interessantes da RSL é o seu caráter de reprodutibilidade, ou seja, outros pesquisadores conseguem continuar ou atualizar um estudo o qual utilizou processos bem definidos [123].

O objetivo principal e mais importante de uma RSL é resumir os achados dos trabalhos originais, também chamados de estudos primários, e com isso conseguir encontrar falhas, *gaps* e encontrar um panorama de determinado tema com mais qualidade mesmo em uma época com inúmeras publicações [120].

Para o desenvolvimento de uma RSL deve-se seguir um fluxo de ações. Inicialmente, define-se a(s) pergunta(s) de pesquisa que precisam ser respondidas, depois é realizada a coleta dos dados, que consiste na busca pelos artigos que estão em linha com as perguntas de pesquisa. Após a coleta, os dados são preparados e analisados, para no fim serem reportados [27]. O procedimento poderá ser alterado um pouco dependendo de qual método se está seguindo. Por esse motivo, todo o método também é descrito.

2.2.1 Conceitos

Uma revisão da literatura consiste em uma unificação de ideias que vieram de diferentes autores sobre os mais diversos temas. Essas ideias vêm através da leitura de artigos ou

até mesmo de pesquisa feita pelo próprio pesquisador [122]. Sendo assim, a revisão da literatura nada mais é do que a documentação de todo esse conhecimento que foi adquirido. Em outras palavras, como foi definido em [122]: “a revisão da literatura é uma compilação crítica de obras que discorrem sobre uma temática”.

A RSL consiste em um método altamente informativo e sistemático para coletar, revisar e sintetizar informações de um tema específico para assim conseguir determinar o que é conhecido ou desconhecido ainda na área de pesquisa [27, 28, 29]. Com isso é possível descobrir quais as tendências futuras além da existência de *gaps* de forma mais eficiente [27, 30].

Ao realizar uma RSL diversas etapas precisam ser realizadas. Inicialmente é preciso identificar a pergunta de pesquisa, importante ressaltar que a RSL será guiada por essa pergunta e por isso deve ser pensada de maneira a ser bastante explícita [120]. Alguns autores traçam etapas diferentes para a condução da RSL e mais a frente serão apresentadas algumas referências.

Existem três tipos de RSL conforme citado abaixo [123, 124].

- Meta-análise;
- Revisões sistemáticas narrativas;
- Revisões sistemáticas com meta-síntese.

A meta-análise consiste em uma análise quantitativa. É utilizada quando diversos estudos utilizaram a mesma hipótese [123, 124]. Esse tipo de RSL pega uma abordagem objetiva para sintetizar de forma quantitativa os resultados [27]. Uma definição para esse tipo de RSL consiste em analisar estatisticamente a robustez do que foi encontrado em uma área específica, além de ser capaz de identificar e solucionar conflitos de diferentes artigos para trazer mais clareza acerca de determinado tema [27, 125]. Além disso, ela combina o resultado de diversos estudos para fornecer um resumo do conhecimento, por meio da combinação de resultados fornece conclusões precisas e exatas a respeito das relações das variáveis, desta forma consegue resolver resultados contraditórios analisando o impacto moderador das variáveis. Por se tratar de uma modalidade estatística por meio da meta-análise é possível comparar os estudos [27, 29, 126, 127, 128].

A revisão narrativa é utilizada para tratar de estudos que utilizam diversas metodologias ou diferentes fundamentações teóricas. Essas revisões sintetizam os resultados

quantitativos de outros estudos sem fazer nenhuma análise estatística, com isso são utilizadas para unir artigos com diferentes metodologias visando traçar o histórico de algum tema ou também avaliar uma nova teoria [123, 124].

Por fim, a meta-síntese é utilizada para integrar artigos que tratam de um tema de forma qualitativa. O principal objetivo desse tipo de RSL é sintetizar os estudos, para com isso encontrar temas, conceitos ou teorias para explicar determinado assunto que está sendo analisado [123, 124].

Com o intuito de englobar outros tipos de RSL alguns autores tem mais uma classificação que consiste em uma revisão mista. No caso da revisão mista são realizadas análises tanto quantitativas quanto qualitativas [123, 129, 130], essa modalidade seria uma unificação das modalidades descritas acima.

Por mais que o conceito de RSL seja relativamente recente, suas abordagens não são novas. Já no século XVIII apareceu o primeiro conceito de RSL porém sobre um nome diferente, conhecida como *research synthesis*. Essas pesquisas eram conduzidas nas áreas de exatas, agricultura, psicologia e medicina [131]. O conceito mais recente da RSL é atribuído a Archie Cochrane [131, 132]. Após essa introdução a RSL foi muito utilizada na área de saúde, devido ao grande número de publicações dessas áreas [133] que chegam a milhares de estudos por pesquisa.

Já na década de 1990 a meta-análise começou a ser utilizada nas áreas de ciências sociais. Também nessa década, em 1992, foi estabelecido o método Cochrane com o intuito de ajudar na condução das RSL. Após isso, diversas instituições criaram plataformas com o intuito de agrupar diversas RSL como por exemplo: Campbell Collaboration, The Joanna Briggs Institute e International Prospective Register of Systematic Reviews [131].

Em se tratando do fluxo que deve ser seguido, ele é geralmente padrão e pode ser adaptado dependendo da pergunta de pesquisa, da abrangência da RSL e também da área do estudo. Existem hoje diversos guias das etapas que devem ser conduzidas da RSL. A Figura 2.6 demonstra as etapas que foram definidas em [134]. Já a Figura 2.7 demonstra uma outra proposta de etapas elaboradas por [135].

Apesar de existirem diversos fluxogramas que tratam de como deve ser conduzida uma RSL quatro elementos sempre são comuns entre eles. Sendo eles: a definição da pergunta de pesquisa, a seleção dos estudos, condução de uma avaliação da qualidade dos artigos e e análise dos estudos [131].

Apenas para fins didáticos, o método descrito em [135] e demonstrado na Figura 2.7



Figura 2.6: Fluxograma das etapas que compõem uma RSL (fonte: [134])

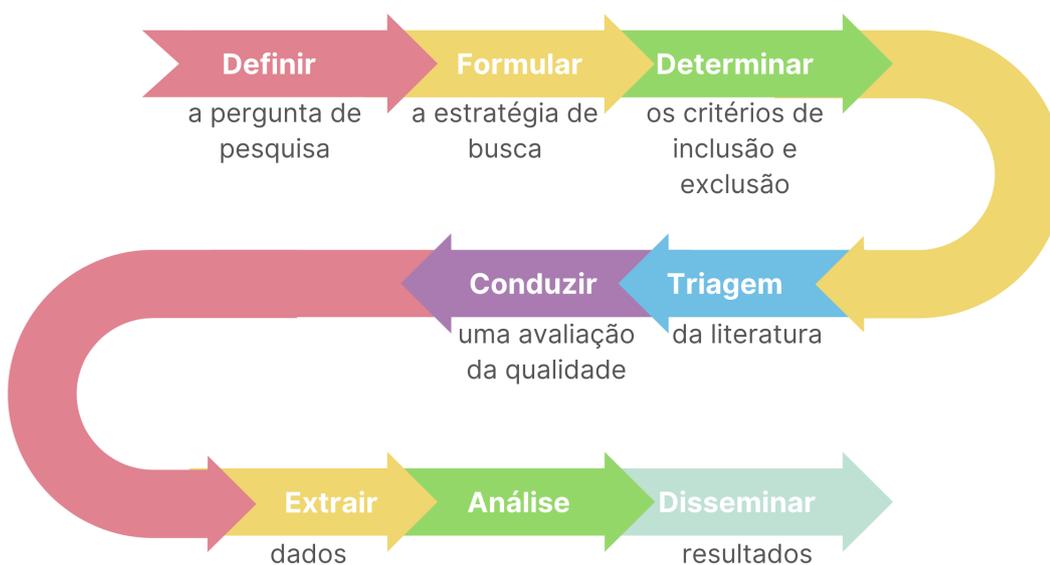


Figura 2.7: Alternativa de um fluxograma das etapas de uma RSL conforme Uman (fonte: [135])

será explicado etapa por etapa. Para a descrição das etapas do outro método exposto na Figura 2.6 pode ser verificado em [134]. Uma breve explicação de cada etapa encontra-se abaixo.

A primeira etapa consiste na definição da pergunta de pesquisa, que pode ser descritiva, causal, exploratória, relacional ou normativa [131, 135, 136]. Além disso é importante colocar no título do trabalho que é uma revisão sistemática [135]. A pergunta de pesquisa define o que se deseja encontrar, ela deve resumir o objetivo principal da pesquisa [137], além de uma pergunta clara e específica ser o ponto inicial para uma boa RSL [124]. A pergunta de pesquisa serve para atestar a validade e a necessidade da pesquisa. Além disso, aumenta a eficiência da revisão ao limitar tempo e custo de encontrar os estudos relevantes [137, 138].

A segunda etapa consiste na definição dos critérios de inclusão e exclusão. Essa etapa é importante para servir como um guia de quais estudos serão incluídos na pesquisa e quais serão excluídos por não possuírem determinadas características [136, 137, 139]. Os critérios de inclusão e exclusão servem para definir os limites da pesquisa e devem ser definidos baseados na pergunta de pesquisa para evitar que sejam influenciados por outros estudos da área ou então por questões pessoais [124]. Além disso, todos os fatores de inclusão ou exclusão devem ser justificados e a seleção dos artigos a serem incluídos ou excluídos deve se dar com base nos critérios aqui estabelecidos, não se permitindo nenhum juízo de valor no momento da seleção para garantir a imparcialidade da revisão [124].

Existem diversos métodos para definir a inclusão de estudos, dependendo se a RSL é quantitativa ou qualitativa. Conforme [140] existem mais de 30 métodos que podem ser utilizados nessa etapa. A Figura 2.8 demonstra alguns tipos desses métodos [131]. Importante ressaltar que esses critérios não serão aplicados a todos os estudos de RSL e por isso adaptações precisam ser realizadas. Além disso, os critérios de inclusão e exclusão também devem conter questões relacionadas a linguagem do artigo, tipo de publicação e ano de publicação [124, 135].

A terceira etapa consiste em determinar a estratégia de busca. Torna-se relevante nessa etapa considerar além das palavras chaves que foram definidas na etapa anterior todos os sinônimos e plurais que possam aparecer. Essa etapa pode ser dividida em duas etapas, a primeira consiste em definir os termos que serão procurados e a segunda em decidir em quais banco de dados os artigos serão pesquisados [131]. Ressalte-se que é preciso incluir pelo menos dois bancos de dados na pesquisa para garantir que os artigos relevantes sejam encontrados [124].

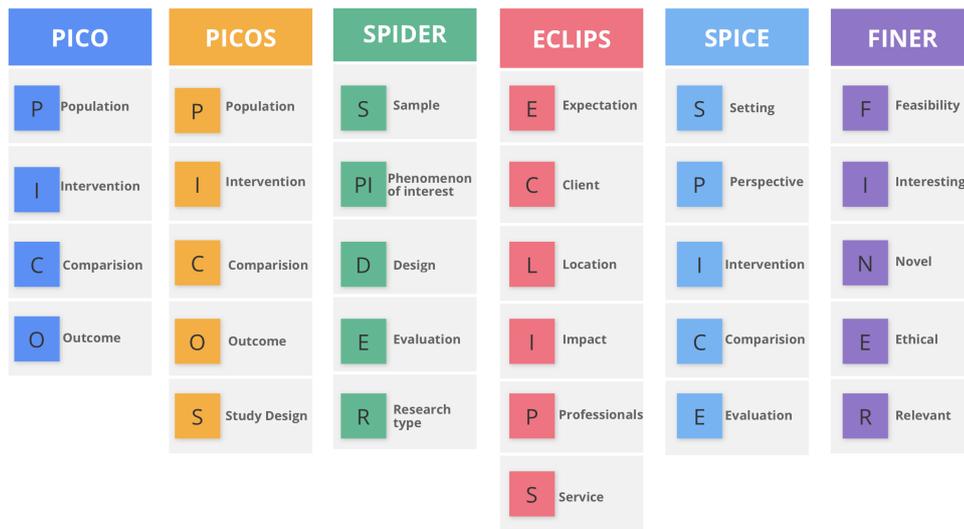


Figura 2.8: Alguns métodos para escolha do universo da RSL
(fonte: [131, 141])

Com o objetivo de auxiliar a busca dos termos específicos que devem ser utilizados pode ser necessária uma pesquisa em artigos dos temas relacionados para assim conseguir encontrar termos relevantes [124]. A *string* de busca deve conter além do que foi falado anteriormente, como por exemplo plurais e sinônimos, incluir diferenças de escrita e termos mais amplos ao invés de termos restritos [124]

A quarta etapa consiste em passar pelos artigos que foram selecionados e é a etapa que irá consumir mais tempo da RSL. Após a pesquisa da *string* nos bancos de dados os artigos precisam ser selecionados através da leitura do título e resumo, para ai aplicar os critérios de inclusão e exclusão [131]. Nessa etapa é possível considerar que um artigo necessita de mais uma análise e que seja importante ler o texto inteiro ou parte dele e não só o título e *abstract*.

A quinta etapa trata do critério de qualidade. É importante depois da aceitação dos artigos que eles passem por uma avaliação de qualidade para evitar alguma inclinação pessoal na classificação [131]. A análise da qualidade deve englobar a relevância do artigo, o design, metodologia, análise dos dados além da consideração dos resultados [131, 135].

A sexta etapa é a de extração dos dados. Nessa etapa todos os dados relevantes para a RSL serão retirados dos artigos. Os dados que devem ser retirados dos artigos são guiados pelas perguntas de pesquisa [131]. Os dados que serão retirados podem possuir natureza descritiva ou analíticos [131, 136]. Entre os dados descritivos temos: o ano de publicação, método utilizado, anos de pesquisa considerados, entre outros.

A sétima etapa consiste na análise dos dados. Essa análise pode ser quantitativa ou

qualitativa, conforme descrito anteriormente. Essa etapa é de suma importância, pois é nesse momento que irá constar os achados da RSL. Com essa análise dos dados é possível verificar, por exemplo, qual a tendência de determinado assunto.

A última etapa consiste em disseminar os achados e é a etapa que inclui a publicação e divulgação do trabalho realizado.

Diversas ferramentas podem ser utilizadas para ajudar nas etapas da RSL. Alguns exemplos de ferramentas são o *Parsifal* (que pode ser acessado em: <https://parsifal.com>), que permite registrar todas as etapas da revisão, além de deixar tudo registrado e armazenado. Um outra ferramenta que pode ser utilizada é o *Mendeley* (que pode ser acessado em: <https://www.mendeley.com>) que permite o gerenciamento dos artigos.

Em se tratando de um fluxograma para a condução da RSL, nesse trabalho foi utilizado conforme descrito em [135] e demonstrado na Figura 2.7, além disso, foi utilizado a diretriz do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

2.2.2 Protocolos De Revisão

A RSL tenta coletar todas as evidências empíricas que se enquadram dentro de parâmetros bem definidos com o intuito de responder a uma pergunta de pesquisa. Utiliza-se métodos específicos e sistemáticos para minimizar a parcialidade, e se tornar assim uma fonte confiável de informações [142]. Diversos protocolos podem ser utilizados para atingir esse objetivo, e esses protocolos serão mais bem explicados nessa seção.

Os protocolos da RSL nada mais são do que as etapas que devem ser seguidas, além da pergunta de pesquisa. Escrever um protocolo antes da construção da RSL pode ser muito útil para entender o universo de pesquisa bem como qual metodologia será utilizada para responder as perguntas da pesquisa. Dependendo do tipo da RSL esse protocolo pode ser mais rígido ou mais flexível [134, 143].

Alguns dos protocolos conhecidos são *Cochrane Handbook*, o PRISMA, o *Mixed Methods Appraisal Tool* (MMAT) e o *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP). Nessa seção será descrito um pouco a respeito deles e como os mesmos auxiliam na condução da RSL.

O PRISMA foi desenvolvido por um grupo de 29 autores que desenvolveram um *checklist* com 27 itens e um diagrama de fluxo de 4 etapas [144]. A lista contém tudo que deve estar presente na RSL [123]. O *checklist* contém também itens considerados fundamentais para uma maior transparência da RSL. Inicialmente o protocolo era denominado QUO-

ROM e foi alterado em 2005 se tornando o que é hoje conhecido como PRISMA [144]. O diagrama proposto aqui deve conter todos os artigos que foram encontrados, além de demonstrar todas as classificações, entre elas: os aceitos, excluídos e duplicados [144]. O PRISMA tem como função garantir a total transparência e uma maneira de reportar a RSL e não contempla maneiras de condução da mesma, para esse objetivo deve-se utilizar outros métodos [144].

Dentre os itens que constam no *checklist* existem itens para todo o conteúdo da RSL. Desde o título até a discussão. O protocolo define critérios para o título no qual deve constar tratar-se de uma RSL, além de ser informativo, também tem um guia para tudo que deve estar presente no *abstract*. Além disso, determina que os critérios de inclusão e exclusão sejam bem especificados. Para garantir a rastreabilidade e transparência, outro ponto que consta no *checklist* é quando e quais bancos de dados foram acessados, além de registrar tudo que foi realizado para evitar a opinião pessoal durante a seleção. Do ponto de vista dos resultados ressalta a importância de considerar todos os estudos envolvidos em um diagrama. Outro ponto também é explicar alguns artigos que aparentam estar dentro dos critérios, mas por algum motivo se encontram fora. O protocolo completo com todas as suas diretrizes pode ser encontrado em [145].

Outro protocolo utilizado para conseguir conferir a RSL é o CASP. Esse protocolo possui uma lista de questões que incluem informações sobre os resultados, a validade desses, além da sua aplicabilidade [123]. O CASP engloba dez questões para avaliar a RSL. Essas questões são divididas em três grupos, a saber: primeiro, se os resultados encontrados são válidos; segundo, quais são os resultados e terceiro, se esses resultados irão contribuir localmente.

As duas primeiras questões propostas pelo CASP devem ser respondidas de maneira fácil e caso a resposta seja afirmativa deve-se prosseguir para as outras oito questões. Depois das duas primeiras questões, as quais abordam sobre a pergunta de pesquisa, a próxima considera se todos os estudos relevantes foram incluídos na RSL. As outras visam tratar da qualidade da extração dos dados e dos resultados encontrados. Todas as perguntas podem ser respondidas com 3 opções: Sim, não e não sei dizer. O protocolo completo pode ser encontrado em [146].

O MMAT por sua vez é uma ferramenta que permite analisar a qualidade de estudos considerados mistos [123] e foi desenvolvida por [147]. Esse método permite analisar a qualidade metodológica de cinco categorias de estudo, sendo elas: pesquisa qualitativa, testes de controles randômicos, estudos não randômicos, estudos quantitativos e estudos

mistos. Esse método foi desenvolvido em 2006 e revisto em 2011. Para garantir o bom uso do método é recomendado que duas pessoas distintas apliquem o método no trabalho. O protocolo começa com duas perguntas que são abrangentes para todos os tipos de trabalho, quais sejam: se as perguntas de pesquisa são claras e se as informações coletadas permitem responder as perguntas de pesquisa. Depois disso são relacionadas cinco perguntas dependendo do tipo do estudo. O protocolo completo pode ser encontrado em [147].

Por fim o *Cochrane Handbook* disponível em [148] é um livro que passa por todos os pontos da revisão, desde como começar uma revisão, como definir o escopo de pesquisa, a definição dos critérios de inclusão e exclusão, a busca dos estudos, a coleta de dados, passando por análises qualitativas e econômicas. Além disso, possuem um site onde se encontram armazenados diversas revisões e permitem busca inclusive pelas palavras definidas no PICOS. Esse protocolo é mais voltado para a área da saúde e pode ser tratado mais como uma maneira de conduzir a RSL do que um protocolo propriamente dito [149].

Capítulo 3

Condução Da RSL Sobre VE's Dentro De Planejamento da Expansão

Para realizar a RSL dos VE dentro do planejamento da expansão duas etapas foram realizadas. A primeira delas é a condução da RSL que demonstra e exemplifica o que foi efetivamente realizado, com a *string* que foi utilizada além de todos os parâmetros considerados para incluir ou excluir determinado artigo.

Após essa etapa ter sido realizada, os artigos foram categorizados de três maneiras diferentes, essa categorização será realizada no 4, a primeira delas considerou o problema que motivou a construção do artigo, a segunda devido ao tema principal do artigo e por último, a terceira considerou como que os artigos responderam a cada um dos critérios de pesquisa considerados na etapa de condução.

A revisão sistemática de literatura foi conduzida com o auxílio da ferramenta Parsifal, o qual ajuda na organização dos processos, dos artigos e dos critérios de pesquisa.

O objetivo dessa revisão sistemática é encontrar e categorizar todos os artigos que tratam de VE dentro do planejamento da expansão e com isso encontrar os pontos que necessitam de mais atenção, além de propiciar um melhor dimensionamento da demanda através do mapeamento dos artigos que consideram os VE's no planejamento da expansão. A relevância desse trabalho consiste no fato de não ter sido encontrado na literatura nenhum trabalho que faça uma revisão com esse foco e objetivo. O aumento dos VE's, além de trazer uma nova demanda de energia no sistema, também traz diversas outras implicações que serão tratadas mais a frente nesse trabalho, como, por exemplo, alteração na curva de carga, necessidade de um planejamento integrado, maior complexidade do sistema elétrico, entre outros.

Para a realização da revisão foi considerado como *population Electric Vehicle* e seus sinônimos e como *intervention Expansion Planning* e os seus sinônimos.

A *string* de busca utilizada foi a seguinte:

("Electrical Vehicle"OR "BEV"OR "Battery Electric Vehicle"OR "Battery-electric vehicle"OR "EV"OR "HEV"OR "Hybrid electric vehicle"OR "Hybrid electrical vehicle"OR "Hybrid vehicle"OR "PEV"OR "PHEV"OR "Plug in Electrical vehicle"OR "Plug in electric vehicle"OR "Plug in hybrid electric vehicle"OR "Plug-in Electrical vehicle"OR "Plug-in Hybrid Electric Vehicle"OR "Plug-in electric vehicle"OR "electric vehicle") AND ("Expansion Planning"OR "Expansion"OR "GEP"OR "Generation Expansion")

Essa *string* foi utilizada para pesquisar em três bancos de dados, sendo eles:

1. Scopus
2. Science Direct
3. IEEE

Com o intuito de selecionar melhor os artigos que vão compor essa dissertação, foram estabelecidos os critérios de inclusão e exclusão para decidir se o artigo estaria dentro ou fora do proposto aqui. Esses critérios servem para nortear e elencar o motivo de forma mais específica que levou um artigo ser aceito ou não para a próxima etapa.

Os critérios de inclusão considerados foram os seguintes e estão descritos em seguida:

1. Ano de publicação superior a 2010
2. Inserção do VE no planejamento da expansão
3. Responde as perguntas de pesquisa
4. Verificar na próxima etapa
5. VE juntamente com outra solução

O critério relacionado a data de publicação foi adicionado para evitar a inclusão de artigos muito antigos e que já possam estar de certa forma obsoletos.

Outro critério adicionado para ajudar na condução da revisão foi o de verificar na próxima etapa. Na primeira etapa de seleção dos artigos só é realizada a leitura do título

do artigo e do *abstract*. Essa categorização de verificar na próxima etapa permitiu rastrear os artigos os quais apenas com essa filtragem não poderiam ser eliminados, ou seja, artigos que após a leitura do título e *abstract* ainda não se tem uma clareza se devem ser incluídos ou não nesse trabalho. Esses artigos foram direcionados para a segunda etapa, após uma leitura completa foram reclassificados como aceitos ou rejeitados e por qual motivo.

Os outros critérios estão relacionados com o tema proposto por essa dissertação e por esta razão foram incluídos.

Os critérios de exclusão considerados na revisão foram os seguintes:

1. Ano de publicação inferior a 2010;
2. Língua do artigo (sem ser em inglês ou português);
3. Não relacionado a VE ou a Planejamento, mas dentro de sistema elétrico;
4. Não relacionado a área de elétrica;
5. Relacionado a planejamento da expansão mas não relacionado a VE;
6. Relacionado a VE, mas não relacionado a Planejamento.

Esses critérios de exclusão estão em consonância com os critérios de inclusão citados acima.

Após a definição dos critérios de inclusão e exclusão foram escolhidas as perguntas de pesquisa dessa dissertação.

As perguntas de pesquisa servem para organizar e demonstrar o que se espera encontrar ao fim da revisão sistemática. Além disso, funcionam como um bom parâmetro para a organização dos artigos, sendo possível agrupá-los por temas de acordo com a resposta para cada uma das perguntas.

As perguntas de pesquisa que foram utilizadas nesse trabalho foram as seguintes:

1. Planejamento: O artigo trata de VE explicitamente no segmento de planejamento?
2. Planejamento: O artigo é específico de planejamento da expansão?
3. Planejamento: O artigo especifica qual planejamento da expansão (distribuição, transmissão ou geração)?

4. Planejamento: O artigo trata dos impactos que podem acontecer na rede com a inserção de VE?
5. Comunicação: O artigo trata de uma solução abordando comunicação? (como por exemplo: V2G, *smartgrid*)
6. Segurança Cibernética: O artigo trata de problemas relacionados a segurança cibernética?
7. GLD: O artigo trata de VE juntamente com GLD?
8. RE: O artigo trata de VE juntamente com RE?
9. ESS: O artigo trata de VE juntamente com ESS?
10. Infraestrutura: O artigo trata de problemas atrelados a infraestrutura necessária para um maior número de VE dentro do planejamento da expansão?
11. Conclusão: O artigo levanta desafios futuros?
12. Conclusão: O artigo apresenta alguma solução para o problema da inserção de VE?
13. Conclusão (escalabilidade): O artigo apresenta uma solução possível de ser escalada?
14. Qualidade da energia: O artigo trata de problemas de qualidade de energia devido VE?
15. O artigo trata de uma parte específica do VE? (Ex. apenas sobre bateria)
16. O artigo trata de benefícios financeiros atrelados a inserção de VE? (Ou comparações entre duas ou mais opções de inserção de VE considerando aspectos financeiros)

A definição das perguntas de pesquisa tentou ser o mais objetiva e clara possível, para facilitar na inclusão ou exclusão dos artigos. Como o tema principal dessa dissertação é o planejamento da expansão considerando o VE a primeira pergunta de pesquisa elaborada foi exatamente se o artigo tratava desse tema, sendo portanto a principal. A partir dessa pergunta, foram incluídas outras baseadas no que desajava-se encontrar, alinhado com o que ocorre hoje no planejamento da expansão. Por isso foram considerados os VE's juntamente com outras tecnologias como por exemplo GLD, ESS e RE. As perguntas de pesquisa também tentaram incorporar se alguns desafios dos VE's foram considerados, como por exemplo a necessidade de aumentar a infraestrutura para considerar uma grande penetração de VE ou também se considera algum tipo de comunicação, já que, conforme

vai ser mais detalhado nesse trabalho, o V2G e o carregamento inteligente possuem um papel relevante no planejamento da expansão na presença de grandes quantidades de VE.

Por fim, uma outra definição que precisa ser tomada é acerca dos critérios de qualidade. Os critérios de qualidade funcionam como uma maneira de classificar os artigos e de certa forma ranquear os artigos conforme alguns parâmetros escolhidos. A ideia é conseguir ao final visualizar os artigos mais relevantes para o tema, por isso que a quantidade de perguntas de pesquisa respondidas entra como um critério de qualidade.

Os critérios de qualidade que foram utilizados ao longo dessa revisão foram:

1. Artigo foi estruturado de forma clara? (ou seja, o artigo foi escrito com início meio e fim? Além disso, os objetivos propostos pelos autores foram demonstrados no artigo?)
2. O artigo é de alguma revista/jornal?
3. O artigo foi publicado em uma revista de alto fator de impacto?
4. O artigo responde mais de uma das perguntas de pesquisa?

Quanto mais alto for a pontuação de um artigo mais relevante ele vai ser para o trabalho.

No Apêndice A estão localizados todos os artigos e qual foi a resposta para cada um dos critérios elencados acima. Além disso, nesse mesmo apêndice também está relacionado a classificação de todos os artigos que serão tratados ao longo dessa dissertação.

Com esses parâmetros todos definidos foi iniciada a etapa de condução da RSL. Inicialmente foram encontrados 3.227 artigos utilizando a *string* de busca nas plataformas especificadas nesse capítulo. Desse total de artigos, 2.744 foram rejeitados já na primeira filtragem, da leitura do resumo e título, por não estarem de acordo com o que foi proposto por essa dissertação. Esses artigos que foram eliminados podiam tratar de VE's porém fora de planejamento da expansão ou então até podiam tratar de planejamento da expansão, mas não incluíam os VE's dentro do estudo.

Do total dos artigos recusados, três foram recusados por estarem em outra língua sem ser português ou inglês. Os outros 2115 não estão relacionados com os três temas que abrangem o escopo dessa dissertação, sendo eles: planejamento da expansão, VE's e sistema de energia. Por fim, dos 482 aceitos nessa primeira etapa, 247 foram caracterizados

com a necessidade de uma leitura mais completa na próxima etapa, ou seja, poderão ainda ser eliminados após a leitura completa do artigo.

Na segunda etapa da revisão, esses 482 artigos foram lidos e reclassificados, conforme sua classificação inicial. Além disso, foi feito um resumo de cada um deles e destacados os pontos mais relevantes tratados no artigo. Essa etapa é importante para facilitar a classificação dos artigos conforme os temas abordados por eles. Dentro desses 482 artigos, 8 foram eliminados por se tratarem de artigos duplicados que não foram filtrados inicialmente pelo Parsifal.

A Figura 3.1 retrata a quantidade de artigos encontrados e suas classificações dentro dessa RSL cumprindo um pré-requisito do protocolo PRISMA. Desta forma, 26 artigos foram eliminados por não terem sido encontrados para a realização da etapa de leitura ou então por serem artigos bloqueados para visualização. Os artigos que englobam essa dissertação são os de acesso livre ou então os que fornecem acesso para a universidade ou pela plataforma da CAPES.

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only

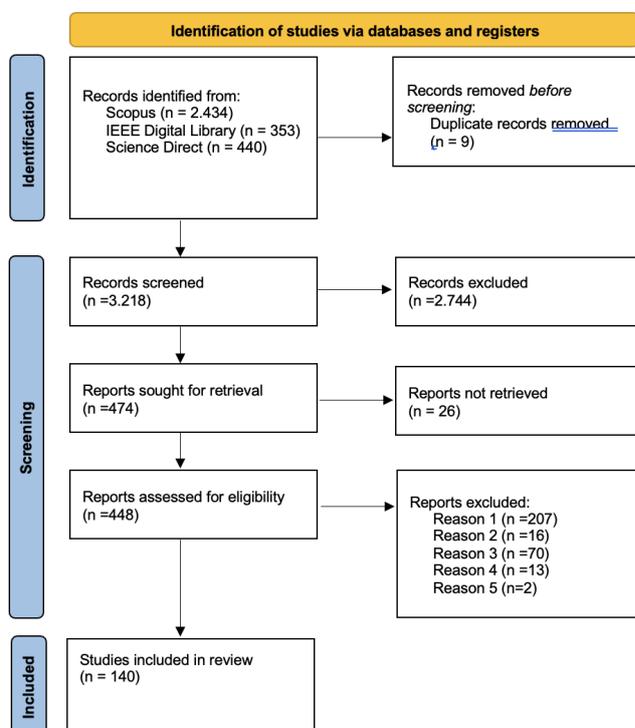


Figura 3.1: Fluxograma dos Artigos

Na etapa de leitura foram eliminados mais 308 artigos que não estavam dentro dos

temas propostos nessa dissertação. Esses artigos foram eliminados pelos motivos listados abaixo:

1. Relacionado a VE mas não relacionado a planejamento da expansão;
2. Relacionado a VE mas não relacionado a planejamento da expansão;
3. Não relacionado a VE nem a planejamento da expansão mas dentro de elétrica;
4. Não é um artigo e sim um livro;
5. Língua do artigo não é inglês ou português.

A quantidade de artigos eliminados conforme cada um dos critérios podem ser encontradas no Fluxograma 3.1. Analisando a imagem percebe-se que a grande maioria dos artigos foram eliminados devido a não tratarem de VE dentro do planejamento da expansão.

Capítulo 4

Categorização Dos Artigos Selecionados Durante A RSL Sobre VE's Dentro De Planejamento da Expansão

Nesse trabalho serão realizadas três categorizações dos artigos. A primeira delas será realizada conforme o problema que motivou a construção do artigo. Já a segunda delas será realizada conforme o tema central do artigo. Por fim, a terceira irá considerar a pontuação de cada artigo conforme os critérios de qualidade e as perguntas de pesquisa que foram comentadas no Capítulo 3.

O intuito de fazer essas três classificações é conseguir criar uma linha de raciocínio e desenvolvimento dentro do tema. Inicialmente existe a presença de algum problema ou desafio que motivou os pesquisadores a desenvolverem um estudo com o intuito de resolver esse problema. Após o problema e a solução essa RSL vem com o intuito de organizar todos esses estudos por esses temas e também conseguir de certa forma classificar quão mais próximo do tema um artigo está se comparado com outro, essa é a classificação conforme as notas que foram atribuídas devido as respostas às perguntas de pesquisa.

A maioria dos artigos não trata exclusivamente de um dos temas que foram utilizados para realizar a classificação, sendo assim, essa divisão foi estabelecida considerando qual o assunto foi tratado de forma mais relevante dentro do artigo. A classificação completa de todos os artigos pode ser encontrada no Apêndice A.



Figura 4.1: Especificação das três categorizações que foram realizadas

4.1 Categorização Dos Artigos Conforme Problema Principal que Motivou A Sua Elaboração

O mercado de energia vem encontrando diversas mudanças nos últimos anos, as preocupações ambientais voltam a atenção para as fontes renováveis e também para os VE's.

Foi realizada uma categorização dos artigos considerando os problemas principais encontrados na literatura, sendo eles:

1. Descarbonização;
2. Aumento da demanda;
3. Necessidade de um sistema mais inteligente;
4. Intermitência das fontes renováveis;
5. Maior complexidade do sistema;

6. Falta de integração no planejamento;
7. Aumento da quantidade de VE's.

Conforme demonstrado na Figura 4.2, onde é possível verificar quantos problemas são considerados em cada um dos artigos, a maioria dos artigos considera apenas um problema. Em seguida aparecem os artigos que consideraram dois problemas simultaneamente. Realizando um pareto é possível perceber que essas duas categorias representam 74,3% de todos os artigos.

Além dessa categorização dos problemas também foram elencados algumas vantagens que os VE's podem trazer para o sistema elétrico, entre elas controle de frequência, regulação de tensão, reserva de emergência, deslocamento de carga, entre outros.

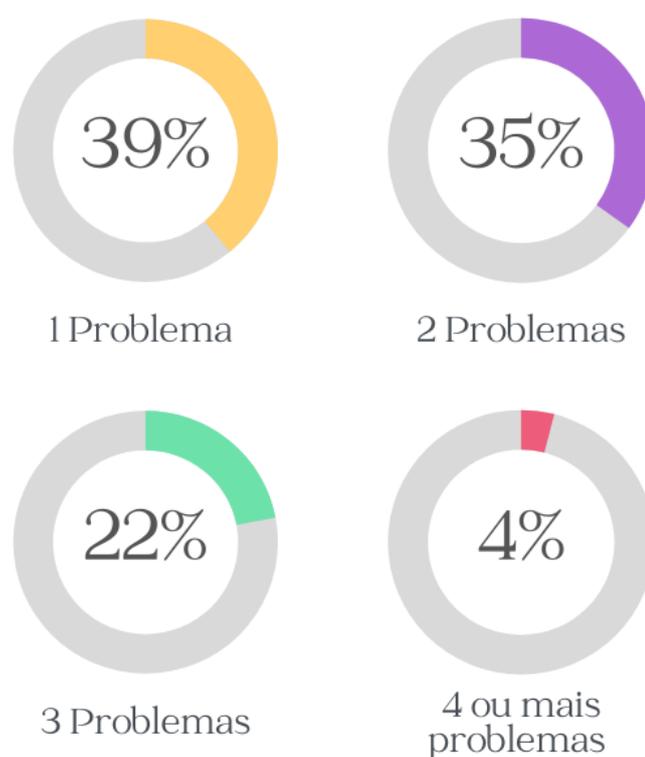


Figura 4.2: Quantidade de problemas que foram considerados de forma simultânea em cada um dos artigos

A Tabela 4.1 classifica todos os artigos conforme os problemas encontrados. Os artigos que tiveram os mesmos problemas foram agrupados. Para facilitar a análise, foi construído a Figura 4.3 que fez um pareto com a quantidade de referências em cada linha da tabela representando um total de 69% dos 140 artigos que compõem esse trabalho. Algumas informações podem ser retiradas dessa figura. A primeira delas é que o problema mais

4.1 Categorização Dos Artigos Conforme Problema Principal que Motivou A Sua Elaboração47

encontrado nos artigos diz respeito a maior complexidade do sistema, o que aparece de forma isolada em 18 artigos. Em seguida, vem a descarbonização presente em 14 artigos e aumento da quantidade de VE em 13 artigos isoladamente. Isso representa 32,1% do total de artigos, como foi verificado na Figura 4.2 que 39% dos artigos consideram apenas um problema., percebe-se como que apenas esses 3 problemas são representativos retratando mais de 80% dos artigos que só consideram um problema.

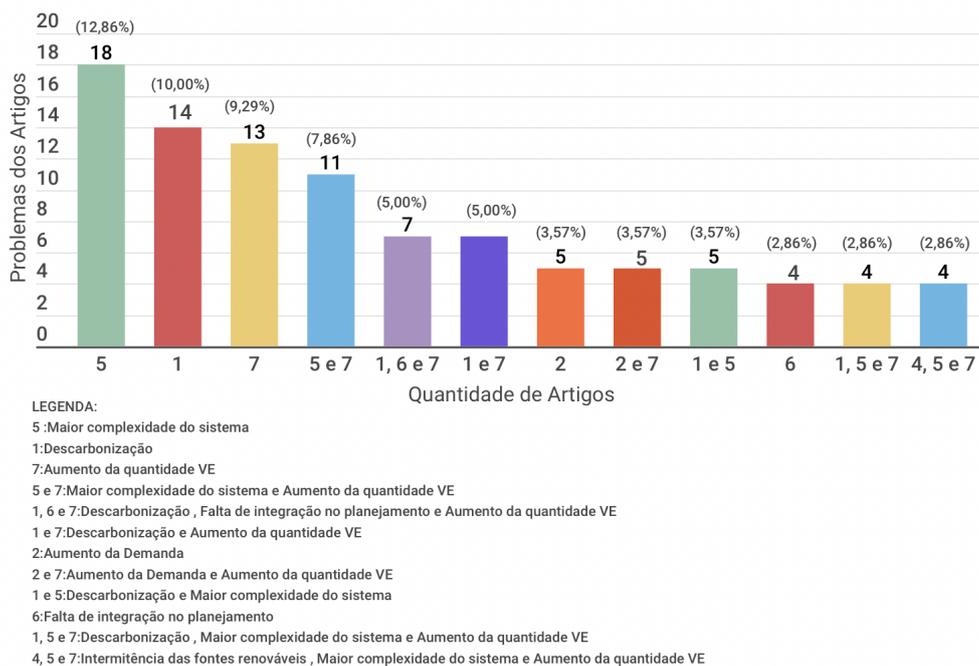


Figura 4.3: Pareto considerando a quantidade de artigos que considera cada um dos agrupamentos dos problemas

Além disso, através da Tabela 4.1 é possível construir outra tabela, a Tabela 4.2, que agrupa e quantifica os artigos para se conseguir ter uma análise numérica de forma mais expressiva e intuitiva. Analisando a Tabela 4.2 é possível perceber que dos artigos que consideram mais de um problema o mais representativo é os que consideram uma maior quantidade de VE e maior complexidade do sistema, com aproximadamente 8% do total de artigos. Outro ponto em que é possível perceber por meio dessa tabela é que o problema mais presente é o aumento da quantidade de VE, porém não de forma isolada e sim juntamente com descarbonização que aparecem em nove linhas da tabela, representando 20% do total, logo em seguida vem aumento de VE juntamente com maior complexidade do sistema, que aparecem em cinco linhas da tabela, representando 16% do total.

A Figura 4.4 demonstra os problemas mais considerados e suas interligações. Foi realizado um pareto para verificar quais problemas que iriam compor o diagrama. A

figura contempla aproximadamente 70% dos artigos que compõem essa dissertação. Esse percentual foi escolhido para conseguir uma quantidade representativa dos artigos que ainda fosse fisicamente possível plotar no Diagrama de Venn, ao incluir uma porcentagem maior começa ficar muito pulverizado e não é possível mais traçar o diagrama.

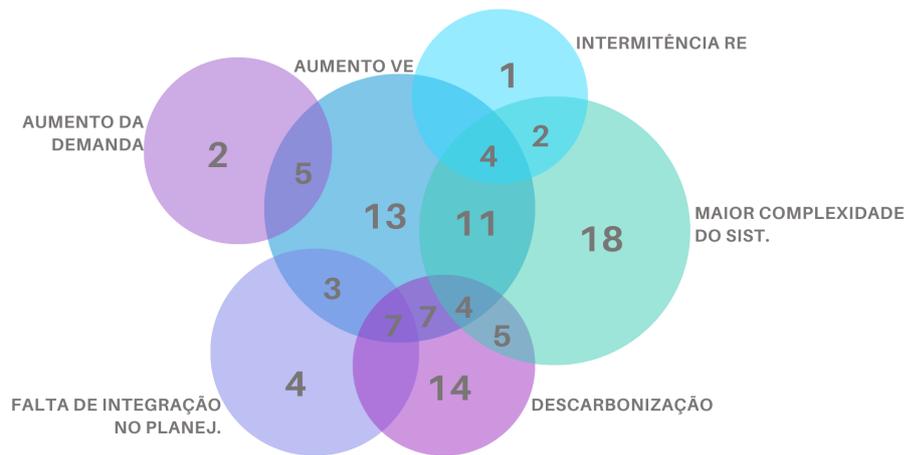


Figura 4.4: Diagrama de Venn com os principais problemas e suas correlações

Tabela 4.1: Classificação dos artigos considerando os problemas abordados em cada um

Referência	Problemas						
	1	2	3	4	5	6	7
[150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159]					X		
[160, 161, 162, 17, 163, 164, 165, 166]							
[167, 168, 169]			X				X
[170, 171, 113, 2, 172, 173, 174]	X						X
[175, 176, 177, 178, 179]		X					X
[180, 181, 182, 183, 111]	X				X		
[184]	X				X		
[118, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194]					X		X
[21]	X		X				X
[195, 196, 197, 26, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206]							X
[16]	X	X	X				X
[207, 208, 209, 210, 211]		X					
[212, 213, 214]						X	X
[117, 215, 216, 217, 215, 218, 219]	X					X	X
[105, 220, 221, 222]						X	
[223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236]	X						
[237]		X			X		
[238, 239]				X	X		
[240, 241]	X	X					X
[242]	X	X			X	X	X
[243, 244, 36, 245]	X				X		X
[246, 22, 247, 248]				X	X		X
[249, 250, 251]	X	X					
[252, 253, 254]					X	X	
[255]	X		X			X	
[256]	X			X			X
[100]					X	X	X
[257]					X		X
[258, 259, 260]	X					X	
[261]							X
[262]		X				X	X
[19]			X			X	X
[263]			X		X		
[264, 265, 266]	X	X					X
[267]		X					X
[268]	X			X		X	
[269, 270]	X				X	X	
[119]	X			X			
[271]				X			
[272]	X	X				X	X
[273]	X	X				X	

Tabela 4.2: Quantidade de artigos por cada agrupamento de problemas

Problemas de cada artigo	Qtd Artigos	(%)
Maior complexidade do sistema	18	12,86%
Aumento da quantidade VE	14	10,00%
Descarbonização	14	10,00%
Maior complexidade do sistema e Aumento da quantidade VE	12	8,57%
Descarbonização e Aumento da quantidade VE	7	5,00%
Descarbonização, Falta de integração no planejamento e Aumento da quantidade VE	7	5,00%
Aumento da Demanda e Aumento da quantidade VE	6	4,29%
Descarbonização e Maior complexidade do sistema	6	4,29%
Aumento da Demanda	5	3,57%
Descarbonização, Aumento da Demanda e Aumento da quantidade VE	5	3,57%
Falta de integração no planejamento	4	2,86%
Descarbonização, Maior complexidade do sistema e Aumento da quantidade VE	4	2,86%
Intermitência das fontes renováveis, Maior complexidade do sistema e Aumento da quantidade VE	4	2,86%
Necessidade de um sistema mais Inteligente e Aumento da quantidade VE	3	2,14%
Falta de integração no planejamentoAumento da quantidade VE	3	2,14%
Descarbonização e Aumento da Demanda	3	2,14%
Maior complexidade do sistema e Falta de integração no planejamento	3	2,14%
Descarbonização e Falta de integração no planejamento	3	2,14%
Intermitência das fontes renováveis e Maior complexidade do sistema	2	1,43%
Descarbonização, Maior complexidade do sistema e Falta de integração no planejamento	2	1,43%
Descarbonização, Necessidade de um sistema mais Inteligente e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Descarbonização, Aumento da Demanda, Necessidade de um sistema mais Inteligente e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Aumento da Demanda e Maior complexidade do sistema	1	0,71%
Descarbonização, Aumento da Demanda, Maior complexidade do sistema, Falta de integração no planejamento e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Descarbonização, Necessidade de um sistema mais Inteligente e Falta de integração no planejamento	1	0,71%
Descarbonização, Intermitência das fontes renováveis e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Maior complexidade do sistema, Falta de integração no planejamento e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Aumento da Demanda, Falta de integração no planejamento e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Necessidade de um sistema mais InteligenteFalta de integração no planejamentoAumento da quantidade VE	1	0,71%
Necessidade de um sistema mais Inteligente e Maior complexidade do sistema	1	0,71%
Descarbonização, Intermitência das fontes renováveis e Falta de integração no planejamento	1	0,71%
Descarbonização e Intermitência das fontes renováveis	1	0,71%
Intermitência das fontes renováveis	1	0,71%
Descarbonização, Aumento da Demanda, Falta de integração no planejamento e Aumento da quantidade VE	1	0,71%
Descarbonização, Aumento da Demanda e Falta de integração no planejamento	1	0,71%

4.1.1 Descarbonização

Preocupações ambientais trazem a tona cada vez mais a busca por opções mais limpas que não emitam nenhum tipo de poluente, estima-se que a descarbonização do setor de transporte pode reduzir a emissão de CO₂ em até 40% [2]. Esse problema é um dos grandes motivos pelo fato de os VE's estarem crescendo cada vez mais, principalmente na Europa onde diversos países possuem metas de zerar a emissão das suas frotas. Considerando as vendas de todos os veículos em 2021, aproximadamente 25% do mercado está com o objetivo de vendas 100% de veículos de zero emissão (ZEV) ou com políticas para banir MCI até 2035 [9].

A assinatura do acordo de Paris por 192 países, em 2015, colocou ainda mais em cheque o compromisso ambiental de diversos países [8]. O Canadá juntamente com a Europa estão com uma meta de emitir zero CO₂ até 2050 [9, 274, 275]. O Chile por sua vez está com o objetivo de possuir em sua frota 40% de veículos ZEV [9].

Diversos trabalhos que compõem essa dissertação apontam como problema a emissão de poluentes. Em [234] os autores pontuam a relação entre conseguir uma emissão zero e também atingir um crescimento econômico. Para isso analisam a eletrificação do setor elétrico no Reino Unido. Em [233] com foco em um sistema mais limpo foi proposta uma interligação entre as unidades de geração hidrelétricas e as estações de carregamento. Já em [119] considera-se a utilização de fontes renováveis junto com os VE's. Em [243] os autores demonstraram que ao considerar o carregamento flexível dos VE's é possível atingir boas reduções de CO₂.

Estudos apontam que a emissão de poluentes pode ser reduzida em até 80% caso seja realizado um planejamento que considere não só a eletrificação da frota de transporte como também um alto índice de renováveis além de armazenamento [180]. Já em [117] os autores apontaram uma redução de 40% e assim como o estudo anterior também foram considerados penetração de renováveis e armazenamento. Diferentemente de outros artigos esse artigo considerou também a possibilidade de *retrofit* das usinas de carvão para auxiliar na redução dos gases poluentes. Apresentando uma opinião contrária do que foi exposto aqui, em [2, 225] os autores demonstram que o menor cenário de emissão de CO₂ é justamente o cenário sem a presença de nenhum VE e que na presença de VE o carregamento fora do pico é capaz de contribuir um pouco para a meta de uma menor emissão de carbono mas em apenas 0,95%. Os benefícios dos VE's para a descarbonização vem muitas vezes atrelado a presença de renováveis e em [245] foi demonstrado que caso não seja considerado renováveis juntamente com os VE's os benefícios para a descarboni-

zação podem ser até 60% inferiores. Uma outra alternativa às fontes renováveis pode ser a mudança da matriz energética, em [230] os autores demonstraram que ao aumentar a utilização de usinas de gás natural a redução de CO₂ pode atingir 30%.

Importante ressaltar que considerar aspectos climáticos no planejamento da expansão pode acrescentar custos. Em [259] foram encontrados um aumento de custo de 2,7%. Para conseguir atingir a redução no custo outras medidas deveriam ser tomadas, como por exemplo V2G e GLD que podem reduzir o custo em até 28% se comparado com cenários onde essas medidas não foram utilizadas [232].

Um aspecto que deve ser considerado ao tratar do problema de descarbonização é qual a fonte de energia que será utilizada para carregar os VE's. Alguns estudos demonstram que ao suprir esse aumento de demanda com fontes de energia que emitam poluentes, a emissão de CO₂ dos VE's pode ser maior do que as dos MCI. Em [276] foi considerado que ocorreria uma redução dos poluentes se fontes renováveis de energia fossem utilizadas para suprir parte da demanda dos VE's. Já em [264] foi demonstrado que para um fornecimento 100% de combustíveis fósseis os VE's seriam mais poluentes atingindo um equilíbrio quando as fontes de combustíveis fósseis não forem superiores a 93% da matriz energética.

Um ponto comum a todos os artigos aqui citados, além do fato de mencionar a descarbonização como motivação ao trabalho desenvolvido, é o fato de tratarem os VE's como uma possível solução para a emissão de poluentes devido a sua natureza de não emitir nenhum gás que contribui para o efeito estufa. Porém é importante ressaltar que como a presença de muitos VE's pode resultar em um aumento de demanda, é necessário analisar qual será a fonte de energia que irá atender essa nova demanda. Apenas em [2, 264, 251] levam em conta o aspecto que os VE's podem resultar em uma maior poluição dependendo da origem da energia.

Em [225] os autores verificaram como ficaria a emissão de CO₂ com e sem a presença de VE's e concluíram que o cenário que menos emite CO₂ ocorre quando não há a presença de VE's, além disso, os autores demonstraram que o carregamento fora do pico pode ser benéfico para o sistema permitindo uma maior penetração de renováveis. Já em [264] os autores consideram a existência de transferência de energia entre cidades e que isso pode levar a uma falsa sensação de menor emissão de poluentes, que na verdade só foram transferidos de uma cidade para a outra. Por fim, em [251] foi demonstrado que os VE's contribuem pouco para uma descarbonização se não for considerado taxas de emissão de carbono, e com isso os autores concluem que além da eletrificação do setor de transporte

são necessárias medidas adicionais.

Uma solução para esse problema é considerar no problema de otimização critérios ambientais ou de emissão de CO₂ como foi feito em [21, 117, 180, 230, 255, 259, 273], isso já irá garantir que a matriz energética proposta atenda os pré-requisitos e assim evitar essa questão de uma maior poluição. Em [255] os autores consideraram um planejamento integrado entre o sistema elétrico e o de gás natural. Como inseriram o critério de emissão de poluentes a solução encontrada foi a ótima considerando tudo. Em [230] os autores analisaram cenários com restrição de emissão de CO₂, eles concluíram que mesmo com um aumento de demanda ao utilizar usinas de gás natural a emissão de CO₂ será reduzida em até 30%. Em [259] os autores fizeram um planejamento da expansão visando a descarbonização de Austin, Texas. Para isso foi realizado um planejamento integrado entre o setor elétrico e de transporte além de considerar aspectos climáticos. Em [273] os autores concluem que ao considerar o planejamento do sistema elétrico junto com o de transporte pode-se atingir naturalmente a descarbonização.

Uma outra alternativa que pode ser viável é considerar uma alta penetração de renovável, o que é favorecido com a presença de VE. Com isso se obteria uma matriz mais limpa e com menos emissão de CO₂. Em [244] os autores verificaram uma redução de CO₂, além de um menor custo e uma redução do *curtailment* de energia eólica e solar. Em [245] os autores analisaram a penetração de VE junto com um target de energia renovável de 93%. Em [268] os autores fizeram um planejamento da expansão considerando um cenário de 100% de fontes renováveis nas Ilhas Canárias. Em [272] os autores concluem que os VE's favorecem uma maior penetração de renovável.

4.1.2 Aumento Da Demanda

O crescimento da população mundial, que recentemente atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas, com uma projeção de chegar em 9 bilhões em 2037 [277], além de uma mudança comportamental traz a necessidade de um consumo cada vez maior de energia elétrica. A inserção de VE's também pesa por essa maior demanda de energia, uma vez que o aumento de VE's no sistema irá demandar energia elétrica e não mais combustíveis fósseis.

Em [240] os autores analisaram como que uma grande penetração de VE's irá impactar na demanda. Por fim concluíram que apesar do aumento na demanda o carregamento controlado resulta em uma economia de 20% dos custos se comparado com o carregamento não controlado e também em retardar a construção de novas linhas em 60% [209]. Já em [242] além do aumento da demanda também foram considerados aspectos da incerteza

da carga associada aos VE's. Outro ponto relevante tratado em [178] é quão seria o aumento de demanda visando a garantia da confiabilidade do sistema mesmo com uma alta penetração de VE.

Já em [264] os autores fizeram um planejamento da expansão considerando diversos cenários com aumento de demanda diversos. A conclusão do trabalho é que a importação de energia iria aumentar, devido à pressão de aumento da população e crescimento rápido. Essa dependência na importação de energia gera um peso para o sistema de transmissão, infraestrutura e rede adjacentes, levando a uma falta de confiabilidade e insegurança para o sistema elétrico.

Como foi demonstrado em [267] o aumento do tipo de cargas conectados ao sistema, como por exemplo VE, resulta em um aumento da demanda principalmente em áreas urbanas e suburbanas de baixa tensão. Os autores terminam concluindo que o aumento da demanda será diretamente ligado ao modo como essas cargas são conectadas, de uma forma mais rígida ou mais flexível. Em [251] os autores demonstram que uma alta penetração de VE's pode aumentar a demanda em até 46%.

Além disso, alguns estudos apontam que caso os VE's não sejam incluídos no planejamento da expansão, com o aumento de demanda que irá surgir por uma maior presença de VE's o sistema elétrico pode simplesmente não suportar tamanha demanda [246, 272]. Isso é o ponto primordial de porque o aumento da demanda vem sendo tratado juntamente com os VE's.

Em [170] os autores levantam a necessidade de uma maior construção de estações de carregamento para atender a demanda de energia que vai surgir com o aumento da quantidade de VE's, e também relatam da importância de garantir esse carregamento de forma segura, protegendo a rede elétrica. Em [235, 249] além da descarbonização os autores também pontuaram o impacto do aumento da demanda e em [207, 208] os autores demonstram como medidas de GLD conseguem contribuir para amenizar o aumento de demanda no sistema retardando os reforços necessários em 12% das simulações.

O aumento da demanda é citado em diversos artigos como inerente a uma maior penetração dos VE e esse aumento se torna um problema devido as implicações no planejamento da expansão. Entre essas implicações tem-se a alteração da curva de carga e também quão grande irá ser esse aumento da demanda já que a quantidade de VE é uma projeção que tem uma série de outros fatores atrelados, como por exemplo construção de estações de carregamento, um componente comportamental se as pessoas irão se adaptar ao VE entre outros.

4.1.3 Necessidade De Um sistema Mais Inteligente

Diversas mudanças relacionadas ao sistema de energia ocorreram nos últimos anos, como por exemplo: GLD, medidores digitais, *smartgrid*, V2G, Geração Distribuída (GD), entre outros. Essas alterações exigem uma alteração também no sistema elétrico, para conseguir usufruir dessas novas tecnologias e também para funcionar de uma forma mais estável e flexível.

A tecnologia V2G permite que o VE seja conectado na rede e funcione tanto retirando energia da rede quanto devolvendo energia para a rede. Essa possibilidade exige que o sistema seja inteligente para reconhecer, por exemplo, os momentos de maior demanda de energia do sistema, ou uma outra possibilidade seria que o próprio consumidor, por meio de medidores inteligentes, conseguisse decidir quando iria carregar o seu carro e quando que poderia fornecer energia pra rede visando um benefício financeiro.

Com a tecnologia V2G é possível um maior controle e gerenciamento da demanda de energia. Os VE's poderiam armazenar energia no momento de sobra de energia para liberar em algum momento de maior consumo [76]. Em [167] os autores demonstram que o V2G permite a redução do pico.

Um outro aspecto que aumenta a complexidade do sistema é o carregamento dos VE's, que além do V2Gs, citado acima, pode acontecer de forma controlada ou não controlada. Para um carregamento controlado, mesmo que não haja retorno de energia para a rede, é necessário que o sistema elétrico seja mais inteligente para conseguir controlar o carregamento para momentos de menor pico de energia ou para momentos que haja sobra de energia renovável como foi proposto em alguns artigos [16, 21, 118, 180, 168]. O carregamento inteligente pode ser o responsável por permitir uma maior penetração de VE's como foi demonstrado em [168]. Outro aspecto é que o carregamento não-controlado pode ocasionar maiores perdas na rede [19] e isso fortalece ainda mais o porquê a necessidade de um sistema inteligente é importante.

Em [16] os autores levantam outro problema atrelado ao sistema mais inteligente que é o fato de ele ser mais caro que o sistema tradicional, entretanto eles ponderam que com o passar do tempo esse sistema tende a ficar mais acessível. Além disso, eles demonstraram que o carregamento inteligente pode reduzir os custos em até 30%.

Em [150] os autores tratam dos benefícios que a micro rede pode trazer para o sistema e fazem uma simulação em uma micro rede com fonte renovável e VE. Em [167] os autores relatam os benefícios econômicos que podem ocorrer se os carregamentos dos

VE's for inteligente.

A alternativa para reduzir o impacto no sistema elétrico dos VE's seria transformar o sistema em um sistema inteligente, contudo isso só irá acontecer se for encontrado vantagens econômicas para tal [16].

Diferentemente de como foi analisado no problema da descarbonização os VE's não seriam a solução para esse problema, e sim essa etapa seria necessária para permitir uma maior penetração de VE's, já que um carregamento inteligente traz vantagens para o sistema como foi colocado acima. Em outras palavras esse seria um problema que dificulta a expansão dos VE's.

4.1.4 Intermitência Das Fontes Renováveis

As preocupações ambientais fizeram aumentar em todo o mundo a demanda por energia renovável. Com a inserção de fontes renováveis no sistema elétrico alguns problemas também aparecem, como por exemplo a necessidade de um sistema com uma maior flexibilidade [211] e também o problema da intermitência das fontes renováveis [76].

A necessidade de uma maior flexibilidade se dá para garantir o atendimento da carga no momento da demanda. Essa flexibilidade pode ser atingida de diversas maneiras, com armazenamento, geração flexível, expansão da rede, gerenciamento pelo lado da demanda, entre outros [211].

Os VE's possuem um papel importante nesse problema porque com a tecnologia necessária eles conseguem atuar como V2G e isso permite que eles funcionem como um tipo de armazenamento. Um grande volume de VE's permitiria armazenar energia de fontes renováveis em momento de baixa demanda e grande produção para ser utilizada em outros momentos [76].

Assim como foi demonstrado na seção sobre descarbonização, a intermitência das fontes renováveis é um problema do sistema elétrico que pode ser aliviado com a presença dos VE's. Isso ocorre devido a capacidade desses veículos de se comportarem como cargas flexíveis.

Em [278] os autores relatam como que a geração eólica necessita da presença dos VE's para atuarem como armazenamento e assim reduzir os impactos negativos da inserção de renováveis. Para reforçar isso, em [238] os autores demonstram uma maior penetração eólica juntamente com os VE's. Já em [119] os VE's são utilizados para maximizar a

inserção de renováveis, mais especificamente de geração eólica, no Brasil.

Em [248] os autores também demonstram que ao considerar VE's junto com eólica é necessário menos políticas de incentivo para uma maior penetração de eólica. Já em [247] os autores fazem um planejamento da expansão considerando 100% de fonte renovável e VE's. Os autores concluíram que na ausência de VE's ocorre um decaimento na presença de energia eólica e solar.

Um contraponto interessante levantado por [271] é que os VE's só considerariam ter um deslocamento de demanda dentro do mesmo dia, sendo assim não conseguem impactar a curva em outros dias. Isso acaba por subir o custo do sistema e também faz necessário fontes não renováveis para garantir a reserva de emergência.

Em [246] por sua vez, os autores demonstram que os VE's são capazes de reduzir o *curtailment* das fontes renováveis.

4.1.5 Maior Complexidade Do Sistema

Com os avanços tecnológicos os sistemas elétricos estão se tornando mais complexos. Agora além da geração tradicional possuem outras opções como por exemplo micro rede e geração distribuída. Além disso outros tipos de carga estão se conectando ao sistema como por exemplo os VE's. O aumento da demanda por energia também torna os sistemas cada vez maiores o que ajuda na sua complexidade. Outro aspecto que aumenta a complexidade do sistema é a quantidade de pessoas envolvidas entre os clientes, os operadores, as empresas etc. [151].

Em se tratando dos países dos artigos, esse problema foi o mais difundido de todos, com a presença de 16 países distintos apesar de ao analisar a quantidade ser bem concentrado no Irã e na Europa. Esse ponto é interessante pois demonstra como que a maior complexidade do sistema é um tema muito abordado e com isso tem um grande impacto no planejamento do sistema elétrico daqui para a frente.

Em [150, 151] os autores trataram de sistemas complexos com diversos tipos de cargas e concluíram que os VE's conseguem trazer mais flexibilidade para o sistema.

Já em [180] os autores fizeram uma análise multi-cenário com diversos tipos de tecnologia e concluíram que ao planejar setores juntos e aumentar a flexibilidade se reduz a necessidade de usinas de *backup*.

Em [184] os autores demonstraram que uma alta penetração de VE's pode resultar em

um aumento da estabilidade do sistema desde que o ponto de acesso seja próximo da fonte. Já em [154] os autores demonstraram, que apesar de trazer maior complexidade, o V2G é capaz de reduzir o custo do sistema em até 28% e também retardar o reforço do sistema em até um ano [155, 186, 194]. Dentre as vantagens para o sistema, o carregamento inteligente consegue reduzir o pico de demanda e com isso menos usinas para atender a base são necessárias [163].

Em [158] os autores analisaram a confiabilidade do sistema devido a maior complexidade do sistema nos anos recentes com a presença de renováveis e desregulação do mercado. Foi realizado uma análise de diversos artigos e os autores concluíram que os trabalhos que tratam da cooperação entre diversos segmentos resultaram em maiores benefícios além de um maior bem estar social. Em [162], por sua vez, os autores fizeram uma revisão com o intuito de apontar os maiores desafios do planejamento da expansão da geração e concluíram que os VE's contribuem para uma maior penetração de renováveis além de serem capazes de reduzir o custo do sistema. Além disso, ao se analisar os problemas encontrados a maioria gira em torno da inclusão de diferentes tipos de tecnologia no planejamento. Outro artigo que tratou da confiabilidade foi o [237], nele os autores demonstraram que ao considerar as cargas de maneira correta é possível fazer um planejamento tendo como objetivo um sistema cumprindo requisitos de confiabilidade além de um menor custo.

Uma análise do carregamento inteligente foi realizado em [111] e os autores demonstraram que apenas 21% das estações precisam ser atualizadas para inteligentes para conseguir os benefícios desse tipo de carregamento. Foi considerado um estudo de caso para a Alemanha. Essa conclusão é interessante pois vai contra a maioria dos estudos que indica uma necessidade de 100% de um carregamento inteligente. Com isso, os custos dessa atualização seriam menores além de uma menor complexidade.

Em [118] os autores demonstraram que as medidas de GLD para permitir o carregamento inteligente são capazes de retardar a expansão do sistema elétrico. Para o estudo de caso realizado o estrangulamento do sistema aconteceu 4 anos mais tarde com o carregamento controlado, o que é ainda mais relevante do que foi encontrado em [186].

Um novo método foi proposto em [242] considerando além de VE's, GD, GLD, além das incertezas atreladas a carga. Os resultados encontrados demonstraram a eficiência desse método se comparado a outros. Em [246] também foi proposto um novo método considerando VE's, esse método foi capaz de aumentar a flexibilidade do sistema além de reduzir o *curtailment*. Os autores terminam concluindo que caso os VE's não sejam

considerados o sistema de distribuição não irá suportar essas cargas. Isso ressalta a importância de todas essas novas cargas serem consideradas no planejamento. Em [22] os autores consideraram um planejamento integrado com VE's, GD, armazenamento e estações de carregamento. Os autores concluíram que o planejamento integrado foi capaz de reduzir os custos da expansão do sistema ao reduzir os custos de operação. Além disso o sistema se torna menos dependente da subestação. Outro artigo que tratou de mais de um tipo de tecnologia foi o [188] que considerou tanto VE's quanto GD. Os autores concluíram que o planejamento conjunto favorece inclusive a maior penetração de VE's já que as GD podem ser utilizadas para aliviar o impacto dos VE's. Os autores também demonstram que existe uma relação entre a redução das perdas e o custo do sistema, que ao aumentar a redução o custo se aumenta.

Apesar de aumentar a complexidade do sistema a incorporação de unidades de armazenamento e fontes renováveis consegue reduzir as perdas do sistema e também o custo [161, 193]. Em [161] foi demonstrado que o percentual de redução das perdas pode chegar a 3,23%, além disso, a confiabilidade do sistema também aumentou em 35%.

Um ponto a considerar é que diferentemente de alguns problemas citados aqui os VE's contribuem para aumentar a complexidade do sistema e não são vistos como uma solução para isso. Essa complexidade está intrínseca ao novo sistema e para amenizar os seus efeitos o mais importante é considerar esses diferentes tipos de carga no momento do planejamento. Nos artigos colocados nessa seção foi possível perceber que ao considerar essas novas cargas foram encontrados inclusive benefícios.

4.1.6 Falta De Integração No Planejamento

O aumento da penetração dos VE's pode resultar no enfraquecimento da segurança e estabilidade do sistema. Com isso, um planejamento integrado entre VE e planejamento conseguiria reduzir os impactos da penetração dos VE's [260] e também reduzir os custos do sistema em até 11,3% [220, 222]. Além disso, também conseguiriam reduzir os custos [214, 219] Por essa relevância diversos artigos tratam como um problema o fato de não ocorrer um planejamento integrado. Esses artigos, ao colocar isso como uma questão já elaboram uma solução que parte do pressuposto de um planejamento integrado e com isso apresentam as vantagens dessa metodologia.

Um assunto ainda pouco abordado na literatura é como que pode existir vantagens caso o planejamento seja feito de forma integrada, como por exemplo o planejamento da geração junto com o da transmissão, ou o planejamento da geração junto com o plane-

jamento das estações de carregamento de VE's, além disso também é possível realizar o planejamento integrado do sistema elétrico e do sistema de aquecimento.

A falta de planejamento integrado pode intercorrer em aumento de custos ou até mesmo uma necessidade de uma demanda superior. Além de caso o planejamento não seja realizado em conjunto a solução ótima para o problema de otimização pode não ser encontrada [212]. Em [100] os autores demonstraram que um planejamento integrado foi capaz de aumentar a flexibilidade do sistema reduzindo a necessidade de instalação de algumas linhas de transmissão. Já em [219] os autores demonstraram que quanto mais planejamento integrado for realizado menor será o custo para o sistema. Em [273], por sua vez, os autores demonstraram que um planejamento integrado do setor elétrico e de transporte pode levar a descarbonização apenas considerando o menor custo na otimização desses dois segmentos.

Alguns estudos tratam do planejamento integrado entre o sistema elétrico e as estações de carregamento [214, 215, 253, 260, 269, 272]. Em [272] os autores consideraram ainda a questão da confiabilidade no momento da otimização, já em [269] os autores concluem que os VE's afetam o planejamento da expansão e por isso ser tão crucial o planejamento integrado. Em [214] os autores demonstram que o planejamento integrado resultou em uma expansão muito menor. Outros tratam do setor de aquecimento com o elétrico [254] resultando, inclusive, em mais flexibilidade para o sistema.

Em [258] os autores demonstram que existe uma sinergia entre o planejamento da transmissão e a flexibilidade dos VE's o que facilitaria um planejamento integrado. Os autores concluem que ao aumentar a flexibilidade dos VE's ocorre uma redução de custos do sistema. Já em [105] os autores demonstram que o planejamento integrado permite o sistema acomodar cenários climáticos extremos, o que demonstra a vantagem do método em se tratando de corte de carga e custo de operação.

Dos problemas apresentados aqui, esse já foi resolvido nos artigos ao considerar esse planejamento de forma integrada. Do ponto de vista prático a solução apresentada pode não ser de tão fácil acesso, uma vez que muitas vezes os setores distintos estão sob autoridades diferentes e muitas vezes não ocorre nenhum tipo de comunicação entre eles. Fora que, por se tratarem de *stakeholders* diferentes, é extremamente complicado colocar o interesse comum a favor do interesse individual da entidade sem algum tipo de intervenção governamental, na forma, por exemplo, de incentivos ou subsídios. Apesar disso, conforme foi demonstrado em [221] o pior cenário pode ser o mesmo para entidades diferentes o que pode favorecer esse planejamento integrado. Em [19] os autores conseguiram fazer uma

simulação considerando diferentes *stakeholders* e concluíram que o carregamento possui vantagens para o sistema, entre elas reduz o *load clustering* e utiliza a rede de maneira mais eficiente.

Além disso, em alguns artigos apresentados [254, 258], envolvem além de entidades diferentes, países diferentes o que pode dificultar ainda mais a real implementação do modelo.

4.1.7 Aumento Da Quantidade De VE's

O problema mais frequente nos trabalhos tratados ao longo dessa dissertação é o aumento elevado da quantidade de VE's e como isso afeta todo o sistema elétrico. A maior quantidade de VE's vai implicar em uma necessidade de demanda, com uma relação que não é linear e sim quadrática [178, 241, 245, 267]. Além disso pode também aumentar o pico de energia noturno devido a maioria dos veículos carregarem durante a noite [36]. O pico também pode ser alterado de uma estação do ano para outra como demonstrado em [172]. Em [256] os autores demonstraram que os VE's podem ser capazes de impactar o sistema até mais do que as fontes renováveis, com custos até 30 vezes maiores com uma alta penetração de VE.

Em [179] os autores demonstram que o carregamento dos VE's podem ser responsáveis por gerar sobrecarga para o sistema que resultaria em um custo alto para o sistema. Como solução consideram o VE junto com unidades de armazenamento. Em [247] os autores demonstram como que uma grande penetração de VE's pode afetar a capacidade instalada do sistema. Já em [272] os autores concluem que o aumento da quantidade de VE pode atrapalhar a confiabilidade do sistema mesmo que nenhum reforço na rede seja realizado.

Além disso, outro problema relatado devido ao aumento dos VE's é a necessidade de uma infraestrutura para atender esses veículos. Em [261] os autores demonstram como que a penetração de VE pode afetar todos os setores de uma economia e inclusive resultar em uma redução de até 0,15% em todos os setores.

Em [175] os autores ponderam como que um grande número de VE's pode alterar a estabilidade da rede, e com isso ressaltam a importância do carregamento orientado. Em [26] os autores também colocam que mesmo considerando o carregamento inteligente nem todos os impactos dos VE's serão supridos e com isso demonstram a importância de considerar a demanda dos VE's no planejamento. Já em [118] os autores relatam que os impactos da grande inserção de VE's ainda foi pouco estudado. Em [16] os autores

comentam que o aumento de VE's pode acabar forçando a rede principalmente no período noturno e de baixas tensões, a solução apresentada por eles seria ou de fortalecer o sistema ou programar o carregamento. Em [171] os autores demonstram que o sistema alemão não suportaria a previsão de VE's caso todos os carros fossem carregados de forma não controlada. Esse artigo levanta duas questões relevantes que valem ser mencionadas, a primeira da importância de considerar o número de VE no planejamento da expansão e o segundo como a forma de carregamento pode resultar em um grande impacto no sistema elétrico.

Já em [168] os autores propuseram um modelo capaz de encontrar quantos VE's podem ser absorvidos pelo sistema. Para isso os autores consideram o carregamento inteligente.

Como vantagem para a penetração dos VE's, em [176] os autores demonstraram que os VE's permitem uma maior penetração de renováveis devido a sua capacidade de armazenamento além de reduzir o *curtailment* [246]. Já em [212] os autores demonstram que para 100% de penetração o planejamento integrado possui vantagens para o sistema, encontrando uma solução ótima para os sistemas considerados. Em [240] os autores também trataram do carregamento inteligente para cenários com alta penetração de VE's e como que essa modalidade de carregamento consegue reduzir os custos em até 20% se comparado com o não inteligente.

Diferente de todos os problemas encontrados esse é o único que possui uma solução simples de ser implementada. Conforme foi colocado acima diversos problemas podem aparecer devido a não consideração dos VE's no planejamento da expansão e para resolver esse problema basta considerar a demanda oriunda dos VE's. O único problema que ainda permanece é relacionado com a incerteza dos VE's, já que diversos estudos apontam estimativas diferentes da quantidade de VE's que estarão em circulação. A certeza que se tem é que cada ano que passa o volume de VE's circulante está maior que o anterior.

4.2 Categorização Pelo Tema Principal Do Artigo

Nessa etapa os artigos foram agrupados conforme o tema principal de cada um deles. Sendo assim, eles foram divididos em 8 grupos conforme abaixo:

1. Planejamento integrado;
2. Carregamento inteligente ou controlado;

3. VE's juntamente com fontes renováveis;
4. VE's juntamente com GD ou GLD;
5. Grande penetração de VE's;
6. Vantagens para o sistema elétrico ou econômicas;
7. Artigos de revisão;
8. Outros.

A Figura 4.5 demonstra o percentual para cada um dos temas encontrados. Importante ressaltar que o tema mais retratado é o do carregamento inteligente. Para esse trabalho foi considerado carregamento inteligente qualquer tipo de carregamento controlado além de V2G. Analisando a Figura 4.5 alguns aspectos podem ser observados, o primeiro deles, conforme foi colocado anteriormente, é que o tema V2G representa aproximadamente 33% do total e se analisar através de um pareto percebe-se que apenas dois temas (V2G e Planejamento Integrado) representam 60% do total. Conforme vai ser demonstrado mais a frente no Capítulo 5, esses dois temas tiveram um aumento de publicações nos anos mais recentes (a partir de 2018) isso evidencia uma mudança na linha de pesquisa relacionada a VE's.

As próximas seções trarão as categorias e o que cada artigo encontrou de mais relevante.

4.2.1 Planejamento Integrado

O planejamento integrado pode ocorrer de distintas maneiras. Pode tratar de um planejamento integrado entre o sistema elétrico e o de transporte como foi realizado em [157, 166, 196, 197, 273] ou até mesmo mais especificamente entre o sistema elétrico e o planejamento das estações de carregamento de VE que podem ser rápidas como foi realizado em [100, 179, 218, 270], ou considerando hidrogênio como foi realizado em [227] de maneira pioneira ou ainda sem especificar o tipo de estação como foi realizado em [105, 117, 185, 191, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 221, 246, 262] [160, 193, 177, 195, 260]. Também é possível realizar o planejamento integrado com o sistema de aquecimento como em [211, 220, 237, 254]. É possível também considerar um planejamento integrado de mais de dois sistemas como foi realizado em [219, 255] que considera tanto as estações de carregamento rápidas como o sistema de aquecimento ou em [220] que considera tanto

Categorização dos artigos conforme tema principal

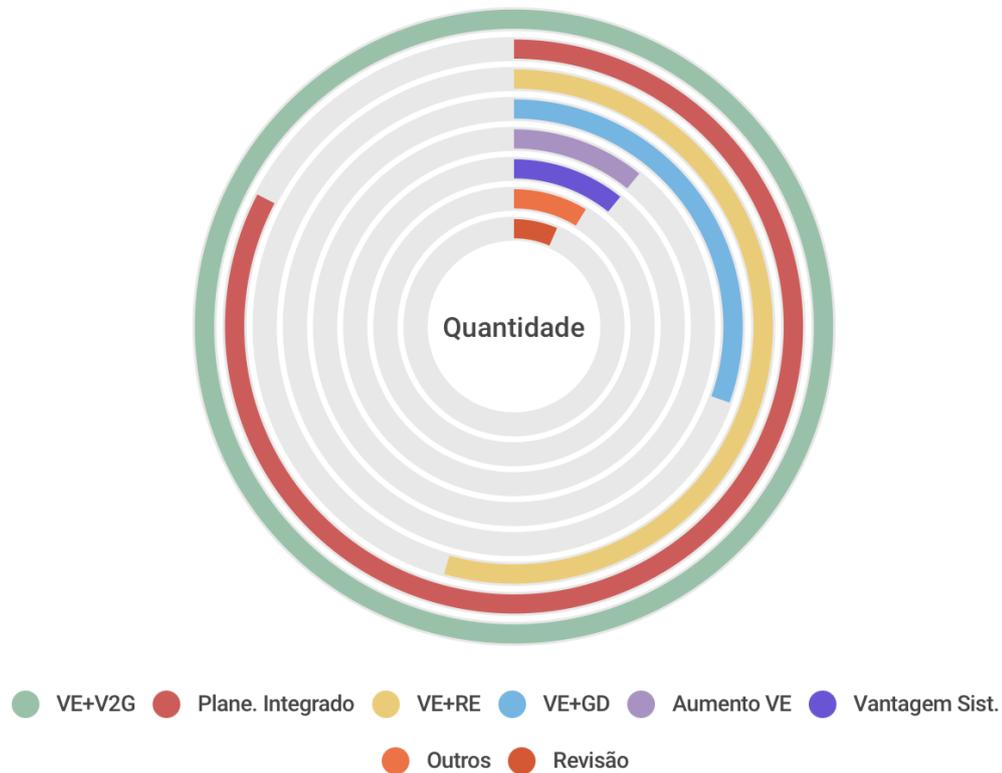


Figura 4.5: Divisão dos artigos por considerando a classificação conforme o tema principal

o de transporte como o de aquecimento. Há também aqueles artigos que consideram um planejamento integrado apenas dentro do setor elétrico, fazendo um planejamento em conjunto dos setores de geração, transmissão e distribuição como foi realizado em [181, 197, 222, 229, 266]. Importante ressaltar que durante todo esse trabalho quando se trata de planejamento integrado não foi considerado o conceito Planejamento Integrado De Recursos (PIR).

Em se tratando do planejamento integrado considerando o sistema de transporte algumas vantagens podem aparecer para o sistema. Uma dessas vantagens é a redução do custo do sistema como foi demonstrado em [166, 220]. Essa redução pode atingir até 8% considerando V2G além de tornar o sistema mais robusto e menos dependente de fontes térmicas [220]. Além de reduzir o custo também foi demonstrado em [166, 197] que os custos de investimentos do setor de transporte estão diretamente relacionados a uma maior demanda elétrica. Já em [227] a redução dos custos no planejamento integrado

pode chegar a 7 bilhões de euros por ano.

Outra vantagem que pode ser atingida é uma maior confiabilidade do sistema [196] e também a redução de rampas [273].

Em [273] os autores demonstraram que os VE's também contribuem para uma maior penetração de renováveis, principalmente das eólica devido a sua geração noturna, além de o planejamento integrado permitir uma completa descarbonização do setor elétrico até 2050 para o estudo de caso da Espanha. Já em [157] os autores demonstraram que o preço do carbono tem um papel importante no custo geral além de uma relação entre o fluxo de tráfego e o custo geral.

Em se tratando dos trabalhos que fazem o planejamento integrado junto com as estações de carregamento rápido. Em [100] os autores demonstraram que o planejamento integrado foi capaz de aumentar a flexibilidade do sistema tanto do carregamento quanto do de distribuição. Além da vantagem atrelada a flexibilidade, o planejamento integrado também obteve uma menor *curtailment*, um menor custo e diferente do que foi analisado em outros artigos os autores também analisaram que esse planejamento foi capaz de melhorar a qualidade do serviço. Em [179] os autores também demonstraram a capacidade de o planejamento integrado gerar um menor custo, porém foi analisado a possibilidade de incorporar unidades de armazenamento que resultou em um custo 50% menor do que a instalação ou reforço de linhas existentes.

Os artigos [218, 255] tem um foco maior em vantagens ambientais atingidas devido a esse planejamento integrado. Em [255] os autores consideraram como uma variável a emissão de carbono e incluíram fontes fotovoltaicas nas estações de carregamento para reduzir as emissões. Já em [218] os autores demonstraram que mesmo sem incentivos os VE's ainda possuem um carregamento menos poluente do que os veículos de combustão interna.

Diferentemente dos demais, os autores [270] consideraram na função objetivo minimizar o custo das estações de carregamento rápido, mas também o custo de investimento nas fontes renováveis, basicamente eólica e solar. Os autores concluíram que inserção de fontes renováveis no sistema de distribuição é capaz de melhorar a performance do sistema e por consequência aumentar a satisfação dos donos dos veículos em até 9,1%.

Dos artigos que consideram um o planejamento integrado junto com as estações de carregamento alguns possuem um foco em apenas demonstrar a eficácia do método proposto em encontrar uma solução ótima [212, 214, 216, 217, 260] enquanto outros possuem

focos mais amplos, como por exemplo aspectos ambientais ou sistêmicos. Em [212] os autores demonstraram a correlação entre as rodovias, estações de carregamento e linhas de distribuição que aumentam a medida que se eleva o trânsito. Já em [217] é realizado um planejamento de dois níveis aonde o resultado do primeiro nível, que é a localização e capacidade das estações de carregamento, serve de entrada para o segundo que é o planejamento do sistema de distribuição. Em [214] os autores demonstram que ao considerar o planejamento integrado mesmo com um aumento na demanda dos carros de 50% não foi necessário nenhuma expansão do sistema de geração e apenas uma linha de distribuição foi construída.

Em se tratando de vantagens para o sistema elétrico, em [105] os autores demonstraram como que considerar as estações de carregamento termina por aumentar a resiliência do sistema com redução de *load shedding* e também do custo da operação. Já em [246] os autores demonstraram que o *curtailment* também foi menor além de aumentar a flexibilidade do sistema e assim como em [105] também houve redução dos custos. Em [221] os autores demonstraram que a flexibilidade do sistema aumentou em 25,89% porém diferentemente do [221] os autores propuseram um modelo que considera os interesses tanto do operador do sistema de distribuição quanto dos responsáveis por gerenciar as estações de carregamento e que consegue otimizar os objetivos conflitantes.

Assim como em [105, 246] os autores em [177] demonstraram a capacidade do planejamento integrado em reduzir o custo em até 3,12% se for utilizado um modelo determinístico. Outra solução apresentada pelos autores foi a utilização de um método robusto que apesar de ser mais caro a solução apresenta uma performance melhor em algumas situações, ou seja, o sistema é mais robusto e isso poderia justificar o aumento do custo. O mesmo foi realizado em [160] onde foram simulados uma solução robusta e outra determinística com conclusões semelhantes. A maior diferença entre eles é que em [160] os autores consideraram as incertezas atreladas as fontes renováveis, elétricas e de tráfego de forma simultânea, também foram considerados na solução a possibilidade de unidades de armazenamento e GD. Assim como em [160] em [185] os autores também consideraram no planejamento a incorporação de GD.

Assim como em [160] em [215] os autores também consideraram as incertezas atreladas as fontes renováveis, porém também considera a possibilidade de instalação de banco de capacitores. Os resultados encontrados apresentaram um maior custo, porém uma menor taxa de falha da subestação o que indica uma melhor performance do sistema. Em [117] os autores também encontraram um aumento no custo do sistema, assim como em

[215] porém por um motivo diferente. Em [117] os autores consideraram a produção de CO₂ no planejamento visando obter um sistema menos poluente. Com isso, os resultados encontrados tem uma redução na produção de Gases De Efeito Estufa (GEE) em 40% se comparado com os anos 1990. Isso ocorre devido a maior penetração de renováveis que serão responsáveis por 32% da geração e são as responsáveis por um maior custo de *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE)

Em [191, 195, 193, 213, 219, 262] os autores demonstraram a possibilidade de reduzir o custo ao considerar o planejamento integrado juntamente com as estações de carregamento com percentuais que atingem até 18% em [213] e 12,7% em [219]. Já em [195] os autores demonstraram a capacidade de reduzir os custos de expansão desde que um estacionamento de VE, que funciona também como estação de carregamento, funcione também como uma unidade de armazenamento. A mesma conclusão ocorreu em [193] onde os autores fizeram simulações com armazenamento e fontes renováveis e concluíram que as unidades de armazenamento são capazes de reduzir os custos de expansão do sistema elétrico além de favorecer a penetração de renováveis.

Por sua vez em [191, 262] os autores fizeram planejamento de dois níveis para tratar tanto dos interesses dos responsáveis pelo sistema elétrico quanto das estações de carregamento, sendo que em [191] foi considerado que os responsáveis pelos dois sistemas são o mesmo e com empresas separadas. Os resultados encontrados demonstraram que o custo se reduz quando são a mesma empresa, porém o lucro da estação de carregamento também se reduz. Assim como em [193, 195] os autores também demonstraram que ao considerar unidades de armazenamento consegue-se reduzir o custo ao evitar a necessidade de reforço nas linhas. Já em [262] foi considerada uma colaboração entre os responsáveis de cada empresa e não que era a mesma entidade. Diferentemente de outros estudos foi considerado a localização da estação de carregamento baseado no apoio da rede elétrica, também diferente de outros estudos foram consideradas as incertezas do comportamento de carregamento e taxas de adoção de VE.

Em [219] os autores fizeram um planejamento integrado que além de considerar as estações de carregamento considerou o sistema de gás na China, foi demonstrado pelos autores que quanto mais sistemas forem incluídos no planejamento maior será a redução de custo, sendo de 10% com os 3 setores integrados podendo chegar a 12,7% em caso de uma alta penetração de veículos a gás.

Os artigos [211, 237, 254] fizeram o planejamento integrado com o setor de aquecimento. Enquanto [237] simulou para uma micro rede e apenas geração, em [254]

verificaram como que o acoplamento pode trazer mais flexibilidade para a Europa e analisaram além da geração a transmissão. Os autores concluíram que ocorreu um aumento da emissão de CO₂ na Noruega, porém ao mesmo tempo ocorre uma redução no resto da Europa que compensa esse aumento. Com isso os autores levantam uma importante conclusão que a emissão do todo pode reduzir mesmo com aumento em países individuais. Além disso o custo de energia para a Europa cai aproximadamente 3% e houve um decréscimo na expansão da transmissão de 0,4% com o planejamento coordenado. Já o custo de energia da Noruega caiu 19%.

Em [211] os autores consideraram não só a interligação do setor elétrico com o de aquecimento como também com o de transportes. Os autores concluíram que na presença de 10 milhões de VE em 2050 poderia ter 100GWh/d de carga flexível através da resposta a demanda. O *curtailment* foi evitado com a utilização de armazenamento que não conseguiu evitar 100% do desperdício de energia, com isso os autores concluem que um sistema ainda mais integrado geraria ainda mais benefícios.

Em se tratando dos artigos que fazem um planejamento integrado apenas dentro do setor elétrico, os autores de [266] demonstraram que o carregamento controlado dos VE's evita o *curtailment* e permite uma maior penetração de VE's. Outra vantagem do carregamento controlado foi a redução da capacidade instalada de 15% e também foi possível uma maior penetração de fontes renováveis.

Com um foco mais ambiental, os autores em [229] fizeram um planejamento que considera além da minimização dos custos a da emissão de CO₂ e uma alta penetração de renováveis. Os resultados encontrados verificaram uma tendência nos custos e na emissão de CO₂. No cenário com 60% de penetração a redução de CO₂ foi de apenas 5%, devido ao carregamento dos VE's ser realizado fora de um horário de produção das renováveis o que torna necessário um aumento da produção nas térmicas.

Tanto em [181] quanto em [222] foi considerado um planejamento integrado do setor elétrico considerando armazenamento, com a diferença que em [222] foi considerado a possibilidade de interligação com o setor de gás além do armazenamento de gás. Com isso o *load shedding* foi reduzido em até 67,7%, além de ter ocorrido redução no custo de investimento e não ter ocorrido *curtailment* nem para o sistema de gás nem para o elétrico. Além dos custos de investimentos os de operação também foram reduzidos em 11,3% e ocorreu uma maior penetração de renováveis. Com isso os autores concluem que o planejamento integrado conseguiu trazer mais flexibilidade para o sistema. Outra análise feita pelos autores é a diferença de um planejamento sequencial entre o setor elétrico e de

gás ou o planejamento combinado. Os resultados encontrados demonstraram que o custo do planejamento combinado é 2,5 vezes menor do que o sequencial. O que mostra que o planejamento conjunto consegue encontrar o melhor *trade-off* para os dois sistemas.

Outra diferença dos dois artigos é que enquanto [222] conseguiu atingir uma redução no custo em [181] ocorreu um aumento proporcional a penetração dos VE's além disso também ocorreu um maior custo da reserva de capacidade em 9,5% devido a maior presença de renováveis.

4.2.2 Carregamento Inteligente Ou Controlado

Nessa seção serão contemplados todos os artigos que tem como foco principal algum tipo de controle no carregamento dos VE's. Algumas das estratégias de controle que podem ocorrer são: V2G e também carregamento controlado através de GLD.

Em [154, 210] foi considerado o carregamento inteligente, na forma de V2G dentro de uma micro rede além de considerar fontes de energia renovável, sendo eólica e solar em [210] e apenas solar em [154]. Entre as vantagens da utilização do V2G estão a redução do custo, já que sem a sua utilização o custo aumentou em 28% e com um aumento de 127% das microturbinas [154], e também a redução da demanda [210]. Diferentemente de [154] a ideia dos autores em [210] é transformar uma cidade, mais especificamente Jakarta, em diversas micro redes e com isso reduzir os impactos da GD e VE na rede. Aumento da distorção harmônica e redução da qualidade da energia estão entre os impactos encontrados.

Em se tratando da contabilização das incertezas no planejamento da expansão, os autores em [154] demonstraram que ao considerar as incertezas ocorreu um aumento no custo de 58%. Esse aumento é devido a necessidade de uma maior capacidade instalada para lidar com essa incerteza.

Os artigos [118, 153, 208, 232] consideraram o carregamento inteligente como uma medida de GLD, sendo que em [153, 232] além do carregamento inteligente também foi considerado a possibilidade de V2G. Entre as vantagens encontradas da utilização do V2G tem-se um maior balanceamento do sistema [153], uma redução de custo, atingindo 22% caso 100% dos VE's façam V2G, eliminação por completo da necessidade de armazenamento e quase que por completo de eólicas *offshore* e, por fim, aumento da penetração de energia solar [232]. Além disso, foi demonstrado em [232] que caso 100% dos VE's realizem V2G, esses veículos conseguiriam armazenar energia para 1,5 dia de consumo. Em

se tratando de transmissão de energia entre localidades distintas, em [153] foi demonstrado que essa conexão permitiu um aumento de energia renovável enquanto em [232] os autores demonstraram que a economia devido a utilização do V2G pode ser ainda maior caso não haja conexão entre os países.

Em [118, 208] os autores demonstraram como que o carregamento inteligente consegue reduzir os custos do sistema. Sendo que em [208] o motivo dessa redução de custo é que no carregamento não controlado os VE's carregam no horário de pico o que resulta na necessidade de uma maior capacidade produtiva das subestações e alimentadores, além disso como o custo está alto da energia acaba por ter um maior custo de produção. Já em [118] os autores demonstraram que o carregamento controlado conseguiu retardar o estrangulamento do sistema em 4 anos e os custos para evitar esse estrangulamento seriam na ordem de 9 bilhões de euros. Ao adiar o estrangulamento é adiado também a necessidade de expansão do sistema, com isso os autores concluem que investir mais em GLD pode ser capaz de retardar ainda mais a expansão do sistema.

Por fim, diferentemente de [118, 153, 208] os autores em [232] também consideraram um foco ambiental além de um planejamento integrado entre o setor elétrico, considerando distribuição, transmissão e geração, e o setor de transporte e aquecimento. A redução de CO₂ considerada foi de 95% se comparado com os anos 1990. Os cenários foram aos poucos aumentando demanda e flexibilidade para conseguir verificar as vantagens do acoplamento dos setores. Foram simulados cenários considerando só o setor elétrico, setor elétrico com o de transporte, cenário que permite GLD, cenário com V2G, com FCEV além de depois ainda incorporar cenários com diferentes opções para o aquecimento. Os resultados encontrados demonstram que o GLD consegue reduzir o custo do sistema em até 14% caso todos os VE's participem, porém caso apenas 25% dos VE's participem já teria uma redução de 10%, ou seja, uma pequena parcela de veículos participantes já resultaria em redução próxima do máximo. Já o cenário com FCEV apresentou um custo mais elevado de até 16% para o cenário com 100% FCEV devido ao alto custo da eletrolise e armazenamento de hidrogênio. Sendo assim, os autores concluem que o FCEV deve ser utilizado apenas quando a alta densidade do hidrogênio é necessária, como por exemplo para veículos pesados.

Assim como em [232] os autores em [167] também consideraram que todos os VE's participariam de V2G com o intuito de reduzir o pico e também o consumo de energia.

Em [269, 272] foi considerado um planejamento de dois níveis para integrar os VE's dentro do planejamento da expansão do sistema de distribuição. Sendo que em [269]

no nível superior a função objetivo considera o custo do investimento além do custo de manutenção, já o nível inferior considera o custo de comprar a energia da rede e em [272] o primeiro nível trata do planejamento propriamente dito e o segundo considera a performance que o sistema escolhido possui. Diferentemente de [269] os autores em [272] consideraram que todas as residências possuíam um medidor inteligente além de aspectos relacionados a confiabilidade do sistema com o indicador *Loss-of-load Expectation* (LOLE) que é o tempo de perda de carga, quanto maior menos confiável é o sistema. Em ambos os artigos os autores demonstram a importância de considerar a penetração de VE no planejamento da expansão já que essa penetração consegue afetar o planejamento e que caso os VE's não sejam considerados o sistema pode inclusive não suportar a sua penetração em níveis elevados além do sistema poder ter uma performance inferior [272].

Entre as vantagens encontradas pelos autores, temos: uma maior eficiência do método de dois níveis se comparado ao de um [269] e também que a flexibilidade dos VE's permite a demanda se adequar mais a produção de fontes renováveis, o que implica uma maior penetração dessas unidades [272]. Em se tratando do custo do sistema, em [272] os autores demonstraram que ao considerar o carregamento inteligente o custo do sistema se reduz em \$49,8M e que se não for considerado nenhum reforço no sistema mesmo que o custo seja reduzido a confiabilidade do sistema será afetada, e depois de 3 anos o sistema não funcionaria dentro das métricas necessárias.

Assim como em [232] os autores em [186, 209, 259] consideraram um planejamento integrado juntamente com aspectos econômicos e sistêmicos além de considerar o V2G. Como exceção temos [259] que também considerou aspectos ambientais, mais especificamente a descarbonização de Austin, TX, os resultados encontrados demonstraram que considerar a descarbonização resultou em um aumento de custo de apenas 2,7%, além disso a capacidade instalada foi maior devido a presença de maiores fontes renováveis que possuem um menor fator de capacidade do que as de ciclo combinado.

Entre as vantagens da utilização do V2G nesses trabalhos tem-se a redução dos custos da expansão e também retardar a instalação de novas linhas [209] e o reforço do sistema de distribuição em até um ano [186]. Além disso, o V2G conseguiu aumentar o lucro da estação de carregamento enquanto reduz o do sistema de distribuição.

Diferentemente de [209, 259] os autores em [186] consideraram a degradação das baterias e demonstraram que essa degradação é responsável por reduzir o lucro da estação além de incrementar os custos do sistema de distribuição.

Em [170] também apresentaram vantagem do V2G mas o foco principal do artigo

foi apresentar mecanismos para proteger a rede na presença de estações de carregamento de diferentes potências. Entre os equipamentos de proteção utilizados tem-se: relés de proteção, disjuntor de corrente residual, disjuntor de caixa moldada e transformador de isolamento. Na simulação os autores concluíram que no modo V2G o sistema de proteção funciona como deveria, já que não houve aumento de corrente enquanto no modo *Grid-to-vehicle* (G2V) ocorre um aumento de corrente passando pelos dispositivos o que implica na necessidade de alteração da proteção.

Os autores de [17, 172, 225] demonstraram um aumento de demanda juntamente com aspectos ambientais, mais precisamente a redução de emissão de CO₂. O aumento da demanda ocorre devido a penetração dos VE's [17, 172] ou ainda devido a consideração de um carregamento não-residencial [225].

Dentre as vantagens do carregamento não-residencial demonstradas por [225] tem-se uma redução em nova geração de usinas a gás de aproximadamente 700MW de 2024 para frente. Além da antecipação em um ano dos investimentos em unidades eólicas e o retardamento também em um ano das unidades geotérmicas. Por fim, todos os anos apresentaram um benefício financeiro ao considerar o carregamento de VE em locais públicos, com exceção de 2036, que ocorreu um maior custo com a geração geotérmica do que a economia com a redução em capacidade de unidades a gás.

O carregamento dos VE's fora do pico de energia resultou em uma menor emissão de CO₂ e também contribui em 0,95% na redução de 20% de emissões até 2020 propostas pela Irlanda [225]. Outras vantagens encontradas foram a capacidade de reduzir o custo do planejamento da expansão da geração em 2,70% e reduzir a emissão de CO₂ e NOX em 1,85% e 4,83% respectivamente [17].

Outras considerações importantes são a capacidade de uma alta penetração de VE transformar o pico de energia do verão para o inverno [172] e também que a emissão de CO₂ é menor sem os VE's [225].

Assim como em [17, 172, 225] os autores em [241, 267] também trataram de um aumento de demanda devido a uma maior penetração de renováveis. Em ambos os trabalhos os autores simularam cenários inflexíveis e com mais flexibilidade. Os resultados encontrados demonstraram que a flexibilidade dos VE's ajuda a reduzir o aumento de demanda se comparado com o caso inflexível, com uma diferença de até 62GW.

Em ambos os artigos foi considerado a possibilidade de fontes renováveis participarem da matriz energética e com isso há a necessidade da presença de usinas de ciclo aberto

de gás e de ciclo combinado para atuarem no momento que não tiver energia das fontes renováveis [241] e também que a presença das renováveis impacta menos no aumento da demanda do que só a presença dos VE's.

Os autores em [163, 243, 244, 258] simularam diversos cenários variando a capacidade de flexibilidade do sistema. A flexibilidade foi aumentada considerando uma parcela maior de VE realizando V2G. Os resultados encontrados demonstraram a capacidade de o V2G reduzir o pico de energia, e por consequência com menor custo operacional já que usinas para atender o pico geralmente possuem um baixo investimento e alto custo operacional, além disso outra vantagem foi o aumento da reserva de emergência [163, 243]. Outras vantagens encontradas foram a redução do *curtailment* de energia, solar e eólica, redução das emissões de CO₂ em 2,59%, além de reduzir o custo em 2,08% [244] como também foi demonstrado em [163, 243, 258].

Nesses quatro artigos foi demonstrado que tornar o sistema mais flexível favorece a penetração de eólica. Além disso, foi demonstrado em [258] que o V2G também decai em muito a necessidade de unidades de armazenamento.

Diferentemente de [163, 244, 258] os autores em [243] consideraram os custos para coordenar e introduzir flexibilidade para o sistema, como por exemplo, medidores inteligentes e infraestrutura necessária, além dos custos atrelados ao desgaste da bateria devido a presença do V2G.

Também tratando de diferentes opções de carregamento, os autores em [251] consideraram a possibilidade do carregamento ocorrer durante a manhã, tarde ou noite enquanto em [200] foi considerado a possibilidade de carregamento residencial e não-residencial. Além de analisar o impacto que diferentes horas de carregamento possuem no sistema, os autores em [251] também consideraram o impacto das taxas de carbono no planejamento da expansão. A presença dos VE aumento a demanda por energia em até 46% dependendo do tipo de veículo. Os autores concluíram que sem taxa de carbono a redução nas emissões, mesmo com os VE são muito pequenas chegando ao máximo a 3%. Se comparado com os BEV os FCEV permitiram uma maior penetração de renováveis, de 60% comparado com 46%.

Em [171, 194, 199, 250] o foco foi o planejamento da expansão do sistema de transmissão considerando também a presença de V2G. Os resultados encontrados demonstraram que sem o V2G para o sistema Alemão 43,3% da demanda não seria suprida [171] e também iria ocorrer um aumento dos custos do sistema de transmissão e do pico de energia [199]. Além disso, os VE's seriam uma alternativa para reduzir os custos de equipamentos

na transmissão [199]. Já com o V2G a redução de custos no sistema chegou até 29,52% [194].

Já em [250] foram considerados além de V2G a possibilidade de outras formas de carregamento inteligente, entre eles: G2V e *Vehicle-to-Building* (V2B). Os resultados encontrados demonstraram que todas as alternativas funcionam para evitar o reforço do sistema e que podem gerar uma grande economia financeira além de funcionar para reduzir as incertezas tanto para a simulação no IEEE24 e no Reino Unido. A tecnologia V2G apresentou os melhores resultados, com uma redução de 200 milhões de libras para IEEE24 e 10,6 bilhões de libras para o Reino Unido.

Por sua vez, em [178, 182] o foco é a expansão do sistema de geração. Sendo que em [178] os autores demonstraram que a necessidade de expansão devido a penetração de VE não é linear e sim quadrática. Os resultados demonstraram que uma penetração de 60% no ano de 2050 exige uma expansão da geração de 27%. Os autores concluem que se não for utilizado nenhum carregamento inteligente o pico do carregamento irá coincidir com o de carga e isso irá aumentar muito a necessidade de geração, sendo assim é necessário um carregamento inteligente para amenizar o pico. Já em [182] foi considerado além da possibilidade de carregamento inteligente a possibilidade de armazenamento. Os resultados encontrados demonstram que se o operador do sistema controla o carregamento os investimentos necessários em armazenamento são muito menores. O custo de operação do sistema pode ser reduzido em 3,6% devido a esse controle. Além disso, a instalação de placa fotovoltaica reduz em 20% se não se considera a flexibilidade oferecida pelo VE e pelo armazenamento.

Em [223] foi considerado além do planejamento da geração o planejamento da transmissão junto. Diferentemente do que foi apontando em [163, 243, 244, 258] os autores concluíram que para o caso chileno o carregamento inteligente favoreceu a penetração de unidades solares, aumentando sua penetração em 2,4%. Além disso, os custos de investimento foram mais altos no cenário com carregamento inteligente, porém o custo de operação são menores o que demonstra a vantagem dessa modalidade de carregamento no longo prazo. Com um alto nível de penetração e carregamento inteligente foi verificado uma alteração do pico, que foi reduzido e deslocado para o meio do dia quando a produção de energia solar está no seu potencial máximo.

Em [16, 168] foi considerado o impacto de uma grande penetração de VE além de proposta para um sistema inteligente. Sendo que em [168] foi proposto um método para verificar quantos VE um sistema suporta e em [16] foi considerado os custos de

transformar um sistema em inteligente. Os resultados encontrados demonstram que o carregamento de forma inteligente pode reduzir os custos em aproximadamente 30%. Os autores ponderam que é importante o consumidor receber algum benefício para esse carregamento inteligente, o que pode implicar em redução de ganhos para as operadoras.

Analisando tanto as fontes renováveis quanto uma alta penetração de VE, os autores em [113, 176] demonstraram a capacidade do carregamento controlado reduzir o pico em até 4,5GW o que irá aumentar a eficiência do sistema em 10% [113]. Além da redução do pico, em [176] os autores demonstraram a capacidade do carregamento controlado em alterar os vales e também mitigar as rampas.

Em [26, 19, 174, 192, 240] os autores analisaram como que o carregamento controlado e não-controlado irá impactar no planejamento da expansão do sistema elétrico. Entre os resultados encontrados tem-se que o carregamento controlado reduz o pico de energia em aproximadamente 7% [26, 174, 240]. Além disso, os custos se reduzem em aproximadamente 20% [240] e as perdas em aproximadamente 45% [26] com o carregamento controlado. Tanto em [19, 26, 240] os autores consideram que o problema do carregamento não-controlado é a concentração da carga. Esse carregamento concentrado pode terminar em um único transformador e com isso resultar na sobrecarga do mesmo. Os autores em [26] verificaram que 30,2% dos transformadores de média tensão e 16,7% dos de alta estarão sobrecarregados em 2030. Já com o carregamento inteligente essa sobrecarga cai para 12,6% e 16,7% respectivamente. Já em [174] assim como em [163, 243, 244, 258] os autores demonstraram que os VE ajudam na penetração de energia eólica já que reduziu o *curtailment* dessa energia.

Diferentemente de [26, 174, 192, 240] os autores em [19] retrataram que muitas vezes, apesar de ser mais benéfico para o sistema, o carregamento controlado não pode ser realizado por limitações tecnológicas e por isso deve-se analisar maneiras de considerar o carregamento não controlado.

Também com um foco no impacto na rede, mas olhando apenas para o carregamento inteligente, os autores em [111] analisaram um custo ótimo entre o carregamento inteligente e o *curtailment* de energia renovável. Os resultados encontrados mostram que o custo do sistema pode ser reduzido significativamente com o carregamento inteligente e *curtailment* de renováveis. Com o custo anual podendo reduzir em 19% e o custo da expansão do sistema de distribuição caindo em média em 37%, variando dependendo da rede utilizada.

Diferentemente de todos os outros artigos que trataram de carregamento inteligente,

os autores em [111] demonstraram que apenas 21% das de carregamento precisam ser atualizadas para inteligente para atingir boa parte dos ganhos desse tipo de carregamento. Essa conclusão é relevante pois demonstra que para atingir um grande ganho não é preciso alterar uma grande parte das estações.

Em [21, 155, 198] o foco dos autores foi no método escolhido para a solução do problema. Sendo que em [21] foram escolhidos os melhores nós para a instalação dos carregadores inteligentes e que a utilização de GD conseguiu reduzir as perdas do sistema. Já em [198] foram consideradas as incertezas atreladas as cargas, penetração de VE e carregamento inteligente ou não. Os resultados encontrados demonstraram que o carregamento coordenado pode atrasar a construção e reforço das estruturas elétricas e assim melhorar a eficiência do investimento. Por fim em [155] os resultados encontrados demonstraram que o investimento na tecnologia que permite o controle do carregamento é capaz de retardar ou até mesmo evitar investimentos tradicionais, sendo capaz de evitar 600 euros por unidade de valor do investimento realizado em tecnologia para controlar o carregamento para o caso da baixa tensão e 2700 euros para a média tensão.

Diferentemente dos outros artigos nessa seção, em [187] o foco foi o impacto que as estações de carregamento rápido têm no sistema de distribuição e em [234] foi considerado aspectos comportamentais para verificar qual seria o investimento necessário na rede elétrica britânica para conseguir uma penetração de 99% de EV em 2050 com 75% realizando carregamento inteligente.

Apesar dos diferentes focos dos artigos dessa seção é possível perceber que alguns assuntos se repetem de maneira recorrente, entre eles podemos citar a capacidade do carregamento inteligente reduzir ou retardar os custos atrelados a expansão, alteração na curva de demanda com aumento de demanda mas redução no pico, favorecimento da penetração de fontes renováveis, principalmente eólica mas também a solar em alguns casos e por fim vantagens para o sistema como por exemplo: menor *curtailment* de energia, redução das perdas e também aumento da reserva de emergência quando os VE's funcionam como V2G.

Apesar desses artigos todos tratarem das vantagens de um carregamento inteligente ou controlado apenas um artigo levanta a questão da viabilidade tecnológica de tornar todo o sistema apto para esse carregamento e poucos artigos consideram os custos relacionados a transformar o sistema inteligente em suas análises.

4.2.3 VE's Juntamente Com Fontes Renováveis

Diversos artigos tratam de um aumento de VE juntamente com fontes renováveis, que podem ser eólica [2, 36, 119, 169, 180, 201, 204, 231, 248], solar [228, 238, 245, 265] ou ainda tratar da penetração de eólica e solar de maneira conjunta [156, 183, 206, 247, 264, 271]. Há também os artigos que não tratam de maneira específica sobre qual o tipo de fonte renovável está sendo considerado [161, 165, 236, 256, 257, 268]. Em se tratando das metas de penetração de renováveis, elas podem ser de 100% [247, 268, 271], 93% [245], 40% [2] ou 25% [204].

Em [169, 201, 248] o foco foi além da energia renovável eólica, a economia do sistema e também a utilização de tecnologia inteligente, sendo em [201, 248] foi considerado o V2G e em [169] os autores consideraram *smartgrid*. Os resultados encontrados demonstraram incentivos para a geração eólica pode ser responsável por aumentar a sua penetração em aproximadamente 1,5% além de que é possível conseguir uma maior penetração eólica com a presença de VE [248] e um menor *curtailment* [201]. Por fim, em [201] os autores também demonstraram a vantagem do carregamento inteligente e como ele é capaz de reduzir os custos do sistema em aproximadamente 380 mil dólares.

Ainda considerando eólica e com um viés mais ambiental os autores em [2, 180] fizeram um planejamento da expansão com um intuito de reduzir [180] ou apenas mensurar as emissões de CO₂ [2]. Em [180] os autores consideraram a possibilidade de armazenamento através de hidrelétricas reversíveis, compressores de ar e bateria além de medidas de GLD e carregamento inteligente dos VE's com o intuito de aumentar a flexibilidade do sistema. Essa flexibilidade atingida por essas alternativas além de uma integração maior entre os setores reduziu a necessidade de usinas de *backup* e também reduziu o custo do sistema. A meta de redução de emissão de 90% se comparado com os anos 1990 não foi atingida apenas considerando a opção de armazenamento. Já em [2] os autores demonstraram que ao considerar o carregamento dos VE's fora do horário de pico consegue contribuir em 0,95% para a meta da Irlanda de emissão de GEE e que a presença dos VE's aumenta a emissão de CO₂ se comparado com um cenário sem nenhum VE. Além disso, os VE's conseguem contribuir para a meta de 10% de energia renovável em 1,68% ao favorecerem a presença de energia eólica.

Considerando eólica e um aspecto mais econômico os autores em [204, 231] demonstraram uma redução no custo ao considerar eólica juntamente com VE de até 6,78%. Além disso, em [231] também foi considerado a possibilidade de medidas de GLD juntamente com eólica e VE, os resultados encontrados indicam que considerar energia eólica com os

VE's é mais vantajoso financeiramente do que considerar apenas GLD e VE.

Em se tratando de aspectos sistêmicos, em [119] os autores demonstraram que ao utilizar o excedente de energia eólica para carregar os VE's ocorre uma redução dos custos e também a combinação de VE com a eólica permitiu um aumento do fator de capacidade das fazendas eólicas, que nesse estudo foi próximo do máximo vislumbrado para a região de 35%. Já em [36] os autores demonstraram os problemas que podem ocorrer ao não considerar no planejamento a penetração de VE e energia eólica. Os resultados encontrados demonstraram que sem considerar a demanda dos VE's a demanda total é subestimada, o que gera uma solução que não é possível em 60,2% dos casos. Além disso, se não forem consideradas as fontes de energia eólica a solução encontrada tem um custo muito maior.

Em [156, 206, 264] os autores trazem aspectos negativos da penetração de renováveis, eólica e solar, e também VE. Sendo que em [206, 264] os autores demonstraram a capacidade dos VE's serem mais poluentes do que os veículos de combustão interna e em [156] o foco foi o aumento do custo. Ao considerar juntamente com o planejamento da expansão da transmissão o planejamento de fontes de potência reativa o resultado encontrado demonstrou um custo um pouco maior, porém com uma maior confiabilidade do sistema [156]. Tanto em [264] quanto em [206] os autores apontam a importância de tornar a matriz de energia mais renovável e não só aumentar a presença dos VE's

Apesar de em [206] os autores terem demonstrado que os VE's são até 25% mais poluentes do que os veículos a gasolina, eles também demonstraram que a presença de VE's consegue reduzir o *curtailment* de energia eólica e solar em 10% e 23% respectivamente. Apesar disso, essas fontes possuem uma participação muito pequena no carregamento desses veículos (de apenas 4%).

Já em [264] os autores demonstraram que, ao fazer o planejamento de Beijing permitindo o intercâmbio de energia, a importação de energia de regiões vizinhas iria aumentar, devido a pressão de aumento da população e crescimento rápido. Essa dependência na importação de energia gera um peso para o sistema de transmissão, infraestrutura e rede adjacentes, levando a uma falta de confiabilidade e insegurança para o sistema elétrico. Os autores concluíram que mesmo no cenário com uma inserção extremamente alta de VE um maior número de veículos de combustão seria necessário para conseguir suprir o tráfego de pessoas. Como Beijing iria importar mais energia, a poluição seria apenas transferida de Beijing para as cidades vizinhas, com quase 50% da energia importada. No cenário com o fornecimento de energia 100% de combustíveis fósseis, os VE's serão

mais poluentes do que os veículos de combustão interna, atingindo um equilíbrio quando o fornecimento de energia fosse menor que 93% de fontes de carvão.

4.2.4 VE's Juntamente Com GD Ou GLD

Entre os artigos que compõem esse grupo alguns tratam apenas de GD dentro de uma micro rede [224, 249] ou ainda consideram GD juntamente com um planejamento integrado, que pode ser tanto dentro de setores de elétrica [164, 205] ou com o setor de transporte [252, 159]. Existem também os que tratam de GD juntamente com unidades de armazenamento [22, 152, 263]. Um único artigo tratou apenas de GLD [150] e apenas dois trataram de GLD juntamente com GD [207, 242]. Em [188, 215] o foco foi apenas GD.

Em [150] foi simulado uma micro rede na Califórnia e os autores concluíram que a presença dos VE's foi capaz de aumentar a confiabilidade do sistema. Os autores consideraram aspectos ambientais e verificaram que no cenário com menor impacto ocorre quando a menor quantidade de energia é retirada da rede. Em [224] os autores também apresentaram desvantagens quando a micro rede está conectada na rede, porém diferentemente de [150] a desvantagem foi financeira e não ambiental. Também com um viés financeiro em [249] os autores demonstraram uma relação entre o lucro e o risco, sendo quanto maior o risco maior será o lucro.

Assim como em [224] onde foi considerado a possibilidade de armazenamento e demonstrado pelos autores a sua vantagem principalmente em evitar a sobra de energia que pode atingir até 70%, em [22] os autores concluíram que ao utilizar o armazenamento juntamente com GD e estações de carregamento mesmo que o custo de investimento seja maior o custo operacional fica muito inferior terminando por ter uma redução no custo total. No cenário simulado com a utilização de unidades de armazenamento o aumento do custo de investimento foi de 23 milhões de dólares para uma redução no custo da operação de 52 milhões de dólares. Importante ressaltar que para permitir a viabilização das unidades de armazenamento foi considerado que no futuro elas teriam uma redução de custo de 8%.

Assim como em [22] os autores de [252] também demonstraram que ao considerar armazenamento, estações de carregamento e GD o custo de investimento será maior porém o custo total será menor porém diferentemente de [22] o custo que foi menor foi o de produção e perda de energia. Os autores demonstraram que a redução no custo total pode atingir 8,78%. Outra vantagem encontrada pelos autores é que o tempo de espera

dos VE's também se reduziu, o que demonstra as vantagens do planejamento elétrico integrado com o de transporte. Diferentemente de [22, 252] em [164] foi considerado apenas o custo de produção de geração e foi demonstrado que ele pode ser até 33% com a presença de GD.

Em [242] os autores desenvolveram um novo método meta-heurístico conhecido como *Coronavirus Herd Immunity Optimizer* (CHIO) que considera além de GD, medidas de GLD mais especificamente resposta a demanda e também o comportamento incerto de VE. O resultado encontrado demonstrou que mesmo construindo mais linhas do que em outros métodos utilizados o custo do CHIO ainda foi inferior, o que permite concluir que o custo não está apenas atrelado a quantidade de linhas mas também aonde elas serão construídas. Além disso o CHIO também conseguiu uma convergência mais rápida do que os outros métodos.

Também comparando diferentes métodos, os autores em [215] desenvolveram um novo método e o compararam com a modelagem determinística e robusta. O método robusto encontrou um custo 3,6% maior se comparado ao determinístico devido a maior quantidade de incertezas e a metodologia proposta encontrou um custo 4,3% que o robusto. Isso acontece porque são necessários mais investimentos para garantir a capacidade das subestações, alimentadores, GD e bancos de capacitores para que as incertezas de eólica, fotovoltaica, cargas convencionais e VE possam ser consideradas.

Em [188, 205] os autores apresentaram vantagens para o sistema com a inserção de GD além de VE. Existe uma relação entre o custo e as perdas, sendo quanto maior o custo menor serão as perdas [188] e também as unidades de geração fotovoltaica ajudam a reduzir as perdas enquanto uma alta penetração de VE aumenta as perdas [205]. Além disso, foi demonstrado que a GD consegue aliviar os impactos negativos da alta penetração de VE [188] evitando também violações de tensões [205]. A sobrecarga também pode ser reduzida em até 15% caso seja considerado uma alta penetração fotovoltaica. Além disso, em [205] os autores perceberam que um sistema com uma grande participação de eólica e solar consegue absorver mais VE.

Assim como em [205] em [159] os autores demonstraram que a energia eólica facilita a penetração de VE conseguindo reduzir o custo do sistema e as perdas de energia em até 1,5%. Além disso, os resultados encontrados demonstraram que emissão de carbono é capaz de influenciar o investimento total em até 21%.

Diferentemente dos demais artigos até aqui, em [263] foi considerado um sistema de gerenciamento de energia. Os resultados encontrados demonstraram que a utilização

de turbinas a gás pode reduzir o custo operacional em até 33% enquanto os VE podem reduzir o custo em 11%. Os autores também demonstraram que ao utilizar esse sistema de gerenciamento o indicador de performance do sistema subiu 17%.

Assim como em [242] em [207] foram consideradas medidas de GLD mais especificamente de resposta a demanda juntamente com GD. Os resultados encontrados demonstram que 12% das simulações não precisariam de reforço caso seja aplicado a resposta a demanda.

Em se tratando de fontes eólica e solares juntas, os autores em [183] fizeram um planejamento da expansão com a possibilidade das fontes renováveis serem colocadas de maneira distribuída ou para alimentar as estações de carregamento. Já em [247, 271] os autores consideraram também as aspectos sistêmicos e financeiros. Em se tratando dos aspectos sistêmicos, a presença de VE consegue reduzir a capacidade instalada em até 11% ao considerar o carregamento controlado [247] e aumentar a presença de fontes renováveis aumenta o *curtailment* de energia se não for considerado a opção de armazenamento ou de GLD [271]. O GLD é capaz de reduzir os picos e vales na curva de carga diária, o que evita a necessidade de despachar geradores com um alto custo marginal, o que reduz o custo do sistema como um todo [271]. Apesar disso, os autores concluem que apesar do custo de operação se manter próximo com uma maior penetração de renováveis o custo de instalação do sistema aumenta significativamente. Mesmo com uma geração de 87% de fontes renováveis, a curva de carga de alguns períodos no verão supera a marca de 20GW que deve ser suprido com outros tipos de geração.

Com foco maior em energia solar, os autores em [238] aumentaram os incentivos para deslocar o consumo para horas com maior produção de energia solar e com isso concluíram que ao colocar uma otimização de preço aumenta-se o fator de coincidência da rede o que leva a maiores picos e por consequência em necessidade de expansão do sistema.

Em se tratando de energia solar juntamente com um foco ambiental, é possível reduzir a emissão de CO₂ mesmo com um aumento de demanda devido a presença dos VE's [228, 245]. O custo da energia pode aumentar devido a essa maior demanda, porém um aumento da demanda de 60% gerou um aumento no custo de apenas 9% [245]. Além disso, em [245] os autores também demonstraram a importância da eletrificação da frota de veículos vir acompanhada de uma maior penetração de renováveis, já que sem nenhum *target* de renováveis a eletrificação dos meios de transporte não traz tanto benefício de emissão de CO₂, com uma redução desse benefício em 60%.

Diferentemente de [228, 238, 245] o foco em [265] foi verificar a distribuição espacial

de carregamento de veículos elétricos e instalação fotovoltaica em residências e com isso estimar o custo para o sistema de distribuição. Os autores concluíram que inicialmente VE e a energia fotovoltaica serão adicionados de maneira concentrada, depois é de se esperar uma assimetria das cargas e que os métodos tradicionais de colocar GD no sistema de distribuição não seriam capazes de capturar essas assimetrias. Além disso, os autores concluíram que o custo para o planejamento da expansão caso seja utilizado métodos convencionais pode gerar em um investimento abaixo do necessário com baixa penetração de GD e um investimento acima do necessário com alta penetração. Por fim os autores ainda introduzem um novo conceito *peak-net-load* que na visão deles irá substituir *peak-load* como um dos principais critérios para expansão do sistema.

Em [161, 165] foi considerado além de renováveis a possibilidade de utilizar armazenamento. Unidades de armazenamento em conjunto com renováveis foram responsáveis por aumentar a confiabilidade do sistema, o que pode ser percebido devido a uma redução no custo de confiabilidade em 35%, além disso reduziram o custo total do sistema em 3,23% devido a capacidade das unidades de carregamento alterar o fluxo de energia o que implica em menores perdas e também da redução dos custos de produção já que as unidades de armazenamento funcionam como fonte de energia [161]. Além de armazenamento, os autores em [268] consideraram o GLD e também a interdependência entre os setores de energia, transporte e aquecimento. O intuito do armazenamento e GLD é reduzir a flutuação das fontes renováveis. Foram simulados 3 cenários com uma meta de 100% de renováveis e todos os cenários foram dominados por geração solar, representando quase que metade da geração, a segunda maior foi a eólica com percentuais de até 37%. Os autores concluíram que a interligação dos sistemas conseguiu reduzir os custos e também aumentar a sustentabilidade, além disso, o carregamento flexível dos VE's contribuiu para uma maior penetração de fontes renováveis.

Assim como em [268], os autores em [236] consideraram a interligação entre os setores elétricos e de transporte e demonstraram a capacidade de uma redução no *curtailment* de energia se reduzir em até 93% ao considerar a interligação dos sistemas, o armazenamento, fontes renováveis e VE. Outra vantagem do sistema interligado é que a produção de hidrogênio pode ser realizada através de excedente das fontes renováveis.

Em [257] os autores consideraram além de renováveis GD e V2G. Os resultados encontrados demonstraram que as fontes renováveis são capazes de alterar a solução ótima do sistema. Além disso, a presença de um planejamento conjunto considerando fontes renováveis e estações de carregamento terminou por tornar o sistema mais flexível, já que

a diferença *peak-off-peak* decaiu 21%. Além de alterar o sistema como foi demonstrado em [257], a presença de renováveis impacta menos o sistema do que a presença de VE, com diferença de até 30 vezes no custo [256]. Outro aspecto demonstrado em [256] é que os custos podem ser entre 36% e 55% menor se a maioria dos VE's for carregado em média tensão. Os autores também concluíram que *Voltage Regulating Distribution Transformers* (VRDT) é uma tecnologia promissora que pode reduzir os custos de até 80% na integração de renováveis.

4.2.5 Grande Penetração De VE's

Os artigos que tem como tema principal uma maior penetração de VE podem ser agrupados conforme outro foco trazido no artigo. Existem artigos que tratam de aspectos econômicos além de de garantir uma grande penetração de VE que pode ser de 100% [173, 233] ou a máxima suportada pelo sistema [175]. Já em [203, 230] foi considerado a possibilidade de aumentar VE juntamente com fontes renováveis, sendo eólica em [230] e solar em [203].

Uma alta penetração de VE foi atingida sem malefícios para a rede em [175] ao considerar um carregamento mais lento. Já em [173] a alternativa utilizada para essa alta penetração foi distribuir os carregamentos nas distintas fases da rede. A distribuição do carregamento resultou em um nível de tensão melhor em 1,5% além de uma redução na queda de tensão devido uma maior simetria. Sem a utilização do switch, que é o que garante a ligação nas diferentes fases, a corrente ultrapassou a nominal já em uma penetração de 16%, já com a presença do switch isso só irá ocorrer em uma penetração de 47%. Com uma penetração de 100% a corrente irá exceder, porém muito pouco.

Conforme foi colocado anteriormente em [203, 230] foram considerados além de uma maior penetração de VE fontes de energia alternativa, porém em [230] foi considerado cenários com restrição de emissão de CO₂ enquanto em [203] foram considerados a possibilidade de unidades de armazenamento com baterias de segunda mão. Já em [230] foram considerados opções de usinas de gás natural, carvão além de eólica tanto *onshore* como *offshore*. Os autores concluíram que no cenário com uma demanda inelástica aumentar a penetração de VE junto com um maior controle de emissões resulta em um aumento do custo marginal além do aumento do custo da emissão de carbono. Essa combinação faz com que usinas de geração com baixo custo e alta emissão sejam forçadas fora da matriz energética. Além disso, o efeito de uma maior penetração no custo marginal fica mais expressivo nos cenários com alto nível de restrição de CO₂. Os autores demonstraram que

o aumento da utilização de gás natural pode resultar em reduções significativas de CO₂, mesmo no cenário de um aumento de demanda de energia. Nos cenários realizados nesse trabalho, a redução encontrada chegou a 30% com 10% de penetração.

Diferentemente dos demais artigos dessa seção, os autores em [233] foram os únicos a considerar Veículo Elétrico De Hidrogênio (H2VE), com um cenário considerando 100% VE e um 50% VE e 50% H2VE, além disso também foi considerado a possibilidade de exportação de energia. Os autores concluíram que o custo dos sistemas de hidrogênio de grande porte ainda inviabiliza seu uso, mas se considerar uma redução de 90% no custo até 2050, esses sistemas seriam capazes de reduzir o *curtailment* e também seria necessário a construção de menos hidrelétrica para atender a demanda.

4.2.6 Vantagens Para O Sistema Elétrico Ou Econômicas

Com foco em vantagens sistêmicas, os autores em [151, 184] demonstraram que os VE's ajudaram a trazer flexibilidade e estabilidade para o sistema elétrico. Diferentemente de [184], os autores em [151] consideraram também a presença de energia solar e demonstraram que a energia solar juntamente com os VE's conseguiram evitar uma queda na última barra do sistema simulado porém ainda não foram capazes de manter a tensão dentro do valor pré-estabelecido, o que necessitaria de mais medidas. Já em [184] dentre as vantagens apresentadas pelos autores pela inserção dos VE's estão uma maior tensão na rede, que por consequência dessa penetração melhora o custo e a distribuição de tensão no sistema, gerando uma maior estabilidade de tensão. Importante ressaltar que essa maior estabilidade ocorre de forma limitada, no cenário simulado em 750kVa a estabilidade teve um aumento negativo, já que a capacidade adicionada está próxima da carga total do sistema. Com isso, os autores concluem que com a maior penetração de VE o ponto de acesso deve ser próximo da fonte para assim conseguir uma maior estabilidade da tensão.

Em [190, 261] o foco maior foi econômico. Sendo que em [190] foram simulados diversos cenários visando atingir a flexibilidade no carregamento dos VE's enquanto que em [261] foi analisado o impacto financeiro no sistema de distribuição se a meta de 20% de penetração dos VE's em 2030 for atingida no Reino Unido.

Em [261] foram simulados diversos cenários considerando que a penetração seria atingida aos poucos ou de uma vez e também que os custos seriam parcelados em 3 ou 12 anos. O ponto central do artigo é demonstrar que essa penetração de VE pode contribuir para destravar uma maior sustentabilidade e crescimento em diferentes partes da economia. Os autores alegam que os custos necessários para reforçar o sistema de distribuição serão

pagos por todos os consumidores ao longo do tempo, não só pelo aumento de custo na conta de energia como também um aumento de custo em produtos e serviços, já que o produtor também teve aumento de custo e provavelmente irá repassar. O maior impacto negativo foi em 2030 no cenário que considera a despesa condensada em 3 anos, o que resultou em uma contração no setor elétrico em 0,73% e 0,15% em todos os outros setores menos no de construção. No cenário com o custo gradual, o resultado principal é que houve um impacto positivo no produto interno bruto, além do setor de empregos e gastos com moradia.

Já em [190] foi considerado a possibilidade de uma tarifação diferenciada além disso foram considerados tanto consumidores rurais quanto urbanos. Foram simulados diversos cenários oscilando a flexibilidade das cargas. Para os cenários de flexibilidade, no cenário com todo mundo inflexível o *Distribution System Operator* (DSO) teria uma economia de aproximadamente 13.700 dólares se comparado com o sistema atual, que possui um alto custo de fornecimento de energia incondicional. Os autores concluem que os clientes inflexíveis possuem um papel mais importante dos que os flexíveis já que nos cenários com um pouco de flexibilidade o DSO ainda teria uma economia apesar de menor. Quando todas as cargas dos VE's se tornaram flexíveis o custo para o DSO ficou maior. Para o DSO os cenários onde todas as cargas são flexíveis opera melhor do que onde só os VE são flexíveis. Já para os cenário de tarifação dinâmica os autores concluíram que essa opção é pior para o DSO.

Diferentemente de [151, 184, 190, 261], em [226] foi considerado também a possibilidade de veículos movidos a hidrogênio como uma alternativa aos VE's na Espanha. Foram considerados cenários com todos os VE's substituídos por H2VE e com uma participação de 50% de cada um. Os resultados fornecem a matriz de energia, o investimento necessário em fontes renováveis além do aumento da demanda. Com o investimento em renováveis e o aumento de demanda ainda é necessário a utilização de usinas de ciclo combinado o que aumenta a produção de CO₂. Os autores concluem que com o atual custo de produção de H2 o VE ainda é uma alternativa mais barata mesmo desconsiderando a distribuição de H2 e o custo das estações de abastecimento. Como uma vantagem atrelada aos H2VE os autores concluem que eles conseguem trazer mais flexibilidade para o sistema do que o VE, com uma produção maior de H2 no momento de sobra de energia das fontes renováveis.

4.2.7 Artigos De Revisão

Em [158] os autores fazem uma revisão de outros trabalhos que utilizam ferramentas de teoria dos jogos para estudar a operação e design dos sistemas elétricos modernos. Foram considerados quatro tópicos pelos autores: troca de energia, balanceamento de energia, planejamento da rede e confiabilidade. Foram demonstrados as vantagens e desvantagens da utilização desse método para solucionar problemas dentro dessas categorias. Os resultados e conclusões dos trabalhos encontrados resultam em *insights* para o melhor design e operação do sistema, como por exemplo, as metodologias mais eficientes para o planejamento da expansão. Em se tratando de *energy trading* diversos tipos de teorias foram encontrados, como por exemplo: evolucionária, cooperativa e não-cooperativa, sendo que a última foi a mais comum. Os autores concluíram que é necessária uma participação do governo para distribuir o lucro e assim garantir que o mercado funcione de forma justa e competitiva. Os autores verificaram uma limitação que geralmente os estudos consideram que possuem informação de todos os *players* do mercado o que na prática não acontece.

Dentro de *energy trading* os autores analisaram os estudos que tratam de VE e como que teoria dos jogos é uma ferramenta popular para modelar a interação entre a rede e o VE.

Em se tratando de balanceamento de energia os autores concluem que a teoria dos jogos também é muito utilizada devido a participação de diversos tomadores de decisão. Entre os problemas que podem ser resolvidos com essa teoria estão: GLD, compartilhamento de energia e ótimo carregamento de VE. Diversos estudos demonstram que uma regulação eficiente resulta em equilíbrio onde os consumidores podem distribuir seu consumo ao longo do dia e reduzir o pico, o que de certa forma aumenta a eficiência do sistema.

Do ponto de vista de planejamento do sistema alguns autores sugerem que o sistema deve ser tratado como se as diversas partes que o compõem pertencem a diferentes partes interessadas e com isso a teoria dos jogos vem tomando um papel importante na solução desses problemas. Um exemplo é quando diversas unidades geradoras pertencem a grupos distintos e é um desafio coordenar todos esses recursos juntamente com o planejamento da expansão da transmissão.

Por fim os autores trataram da confiabilidade do sistema. Devido ao fato de em anos recentes ter uma maior integração de renováveis e uma desregulação do mercado o que gerou um aumento de entidades independentes dentro do sistema, essas entidades

muitas vezes não possuem o mesmo objetivo e com isso diversos estudos utilizam *game theory* para oferecer incentivos para os diversos players atuarem juntos aumentando a confiabilidade do sistema.

Os autores concluem que os artigos que utilizaram teoria dos jogos cooperativa e por isso trataram de cooperação entre as diferentes entidades resultam em um aumento dos benefícios para as partes interessadas além de levar a um maior bem-estar social.

Em [162] os autores fazem uma extensa revisão da literatura e separam os desafios do planejamento da expansão da geração em categorias, sendo esse aspecto um dos diferenciais desse trabalho. As categorias tratadas nesse trabalho são: integração de geração e transmissão, riscos no planejamento da expansão da geração, integração de veículos elétricos, integração de planejamento de longo prazo com operação de curto prazo, interdependência de energia e sistemas de gás, impactos de armazenamento, GLD e de políticas no planejamento da expansão da geração. O artigo fornece *insights* do problema de planejamento da expansão da geração, além de mostrar o impacto de forma individual de cada categoria. Foram elencados também os aspectos mais críticos que devem ser considerados no planejamento da expansão da geração. Em se tratando de VE, os autores concluíram que sua penetração pode apresentar uma correlação positiva com investimentos em fontes renováveis, além de ser capaz de reduzir custos de investimento e operação, por ser capaz de aliviar o pico de demanda. Outro aspecto positivo relatado pelos autores foi a redução de impactos ambientais devido a uma menor utilização de carvão e gás natural.

Em [235] os autores fizeram uma extensa revisão com foco em VE. Eles abordaram a quantidade de VE, estações de carregamento além de políticas de incentivo ao redor do mundo. Os autores também registraram os impactos que os VE's trazem para a rede elétrica. Os autores concluíram que o aumento do número de VE irá gerar um grande impacto na infraestrutura da rede para ser capaz de gerar mais energia além de tempos de resposta mais rápidos. Os autores também destacaram que os VE podem se tornar no futuro grandes carregadores de energia, como por exemplo através da tecnologia V2G. Como problema para essa tecnologia ainda falta ser analisados os impactos que podem ocorrer na vida útil da bateria além da aceitação dos usuários.

Importante ressaltar, que apesar de tratarem de certa forma de VE e planejamento da expansão, nenhum dos artigos apresentados aqui tem o foco semelhante a esse trabalho, que é VE dentro do planejamento da expansão. Além disso, nenhum desses trabalhos realizou uma RSL.

4.2.8 Outros

Em [253] artigo os autores propuseram um modelo para estimar os custos adicionais para obter resiliência do sistema no planejamento da expansão da geração para o caso de uma micro rede. Para verificar o modelo foi realizado um estudo de caso em uma pequena região da Nova Zelândia. Para conseguir verificar o custo da resiliência foram adicionadas restrições no planejamento relacionadas a resiliência sem criar capacidade redundante. O modelo utilizado foi o HOMER com um planejamento de 25 anos. Os autores concluíram que o sistema seria capaz de uma resiliência de até 2 falta de energia por ano com duração de até 4 dias.

Em [239] os autores fizeram um planejamento da expansão da transmissão juntamente com a utilização de dispositivos *Flexible Alternating Current Transmission Systems* (FACTS), mais especificamente um tiristor controlado. Os autores consideraram também incertezas atreladas a geração eólica, além das incertezas de carga elétricas e de VE. Foi considerada uma otimização de dois níveis, onde no primeiro nível foi otimizado o custo de investimento de novas linhas e do FACTS, já no segundo nível foram otimizados os custos de operação. Para considerar as incertezas atreladas a fontes renováveis, VE e cargas elétricas foi considerado o pior caso na otimização da operação. A instalação do FACTS permite reduzir o corte de carga e consumo de potência reativa. Os autores fizeram duas simulações. Primeiro foi feito a otimização do problema sem a utilização de FACTS e depois com para verificar o impacto dele no planejamento da expansão. Os autores encontraram uma redução de 32,26% nos custos totais no planejamento com FACTS do que no sem graças a redução no custo de operação. Os autores também simularam, além da metodologia proposta, uma metodologia robusta estocástica. Foi verificado pelos autores a inferioridade do método estocástico e robusto se comparado com o proposto devido a ter encontrado um maior custo.

Com um foco em políticas, os autores em [202] propuseram um planejamento da expansão do sistema de transmissão considerando a presença de VE. Foi proposta uma metodologia baseada no método *fuzzy* para encontrar o investimento ótimo em políticas no nível de transmissão. Os resultados encontrados demonstraram que um alto nível de penetração de VE impõe um nível de estresse maior na adequação do sistema.

Já em [189] o foco foram os diferentes métodos de solução de problemas de otimização. Foram comparados a performance de inúmeros métodos metaheurísticos analisando o número de iterações, convergência, tempo de implementação e no *Wilcoxon Signed-Rank Test* para resolver o problema do planejamento da expansão da transmissão na presença

da incerteza atrelada a fonte eólica e também da incerteza da demanda dos VE. Os resultados encontrados demonstraram que todos os métodos foram capazes de encontrar a solução ótima. Com os *Grey Wolf Optimizer* (GWO) e *Orthogonal Crossover Based Differential Evolution* (OXDE) sendo extremamente robustos e *Optimization And Imperialistic Competitive Algorithm* (ICA) e *Exchange Market Algorithm* (EMA) performando consideravelmente pior.

4.3 Categorização Conforme As Repostas A RSL

Existe uma outra opção de categorização que será realizada nesse trabalho. Nessa terceira alternativa os artigos vão ser categorizados conforme as respostas as perguntas de pesquisa, além disso também serão considerados os critérios de qualidade para a pontuação total de cada artigo. Os artigos com as maiores notas representam os mais relevantes seguindo os critérios dessa RSLs.

As perguntas de pesquisa foram respondidas com sim ou não, sendo que caso a resposta fosse afirmativa soma-se um ponto e já no caso da resposta negativa o artigo não soma nenhum ponto. Com intuito de considerar o impacto que os artigos já possuem na academia foi considerado o fator de impacto e também as citações.

No caso do fator de impacto, artigos de jornais ou revistas que possuíam nota acima de 4,0 foram pontuados com 1. Já os artigos que também são de jornais e revistas, porém possuem um indicador abaixo de quatro foram pontuados com 0,5. O restante, que não estão nessa classificação, receberam nota zero.

Em se tratando do número de citações, apesar de não estar incluído no critério de qualidade também foi somado uma pontuação para os artigos. Os artigos com menos de 10 citações receberam a nota zero, entre 10 e 20 0,5 e acima de 20 os artigos receberam a nota 1.

A maior nota encontrada foi 16 e cinco artigos obtiveram essa nota, sendo eles: [232, 247, 254, 258, 263]. Importante ressaltar que a nota máxima que um artigo poderia ter seria 22. Logo em seguida três outros artigos atingiram a nota 15, sendo eles: [111, 162, 223].

Dentre os artigos que conseguiram a nota máxima algumas considerações podem ser retiradas, a primeira delas é que todos os artigos ou trataram sobre flexibilidade ou então sobre um sistema com a presença de VE e também uma forte penetração de renováveis.

Com exceção de [263], todos os outros artigos são de revistas com alto fator de impacto e possuem um número bem expressivo de citações, podendo chegar até em 515 em [232].

Além disso, como as perguntas de pesquisa consideram além de VE outras tecnologias como fontes renováveis, GLD, V2G e armazenamento pode-se concluir que esses artigos foram bastante abrangentes não tratando apenas de VE mas sempre incorporado com outras alternativas para assim conseguir uma alta penetração de VE. Em [258] foram considerados além de diversos tipos de carregamento a opção de V2G e também armazenamento. Já em [247] foi considerado além de diversos tipos de carregamento a consideração de 100% de fontes renováveis. Em [254] também foram considerados carregamento inteligente e V2G, porém diferentemente dos demais também foi considerado um agrupamento entre os setores com o intuito de otimizar o planejamento. Assim como em [258] em [263] foi considerado além do armazenamento a GD. Por último, o [232] foi o mais completo de todos e considerou além de V2G, armazenamento, fontes renováveis e planejamento integrado a possibilidade de GLD e redução da emissão de CO₂. Todos esses artigos possuem uma coisa em comum, que é conseguir uma redução de custo ao incorporar VE com outras tecnologias.

A Figura 4.6 representa quantos artigos para cada nota foram encontrados. A listagem completa com a resposta para cada pergunta pode ser encontrada no apêndice B. Analisando o gráfico é possível concluir que os artigos com notas maiores ou igual a 10 representam mais de 60%, mais precisamente 62,14%. A nota mais obtida pelos artigos foi 10, sendo que 16 artigos tiveram essa nota, o que representa 11,43% do total.

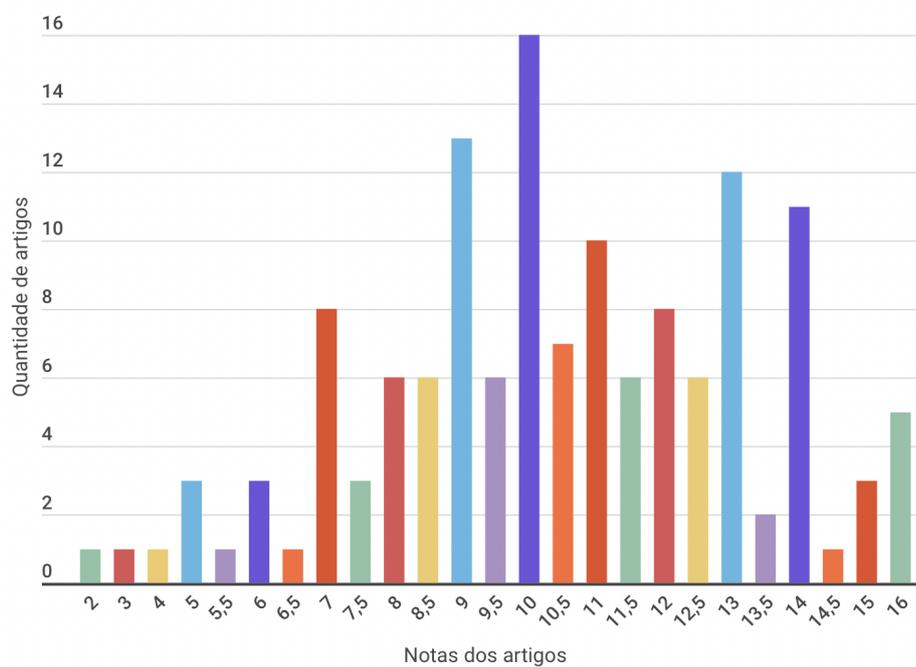


Figura 4.6: Classificação dos artigos conforme nota atribuída devido as respostas as perguntas de pesquisa definidas no início do capítulo 3

Capítulo 5

Análise Dos Resultados Encontrados

Após as análises realizadas no capítulo 4, entre elas a categorização dos problemas que motivaram a construção dos artigos que compõem esse trabalho e também, a categorização dos temas centrais de cada um desses artigos, algumas conclusões importantes podem ser retiradas.

No que diz respeito aos problemas apontados pelos artigos, como pode ser visto em 5.1, o maior foco da Europa é com a descarbonização e aumento de VE. Isso era esperado já que diversos países europeus possuem metas de emissão de carbono que devem ser atingidas nos próximos anos e para atingir essas metas é necessário que ocorra uma eletrificação do setor de transporte. Além disso, é possível perceber como grande parte dos artigos são de origem europeia.

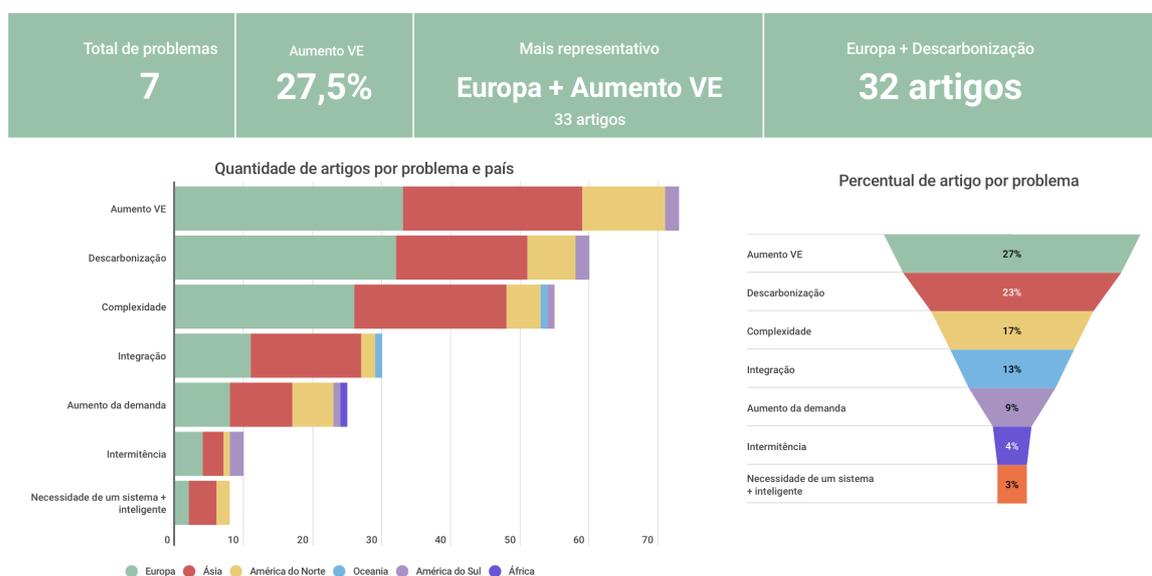


Figura 5.1: Análise dos artigos conforme problema que motivou sua elaboração

Outro aspecto interessante é que ao considerar um agrupamento maior, percebe-se que aproximadamente 70% dos artigos que enxergam que a emissão de poluentes como um problema são classificados como países desenvolvidos. Isso levanta um alerta que apesar de ser um tema tão importante, apenas uma pequena classe de países considera isso. Vale ressaltar que o Irã se apresenta como exceção da regra e apesar de ser um país subdesenvolvido apresenta uma quantidade considerável de artigos no tema.

Entre os problemas encontrados dois merecem destaque, o primeiro já foi citado acima e é a descarbonização. O outro que também apareceu de forma bastante representativa nesse trabalho foi o aumento da quantidade de VE. Era de se imaginar que esse problema viesse em linha com a descarbonização, uma vez que, ao tentar atingir essa descarbonização uma das alternativas é a eletrificação da frota de veículos e com isso é esperado um grande aumento da quantidade de VE's. Nesse sentido, também é possível perceber que a Europa se destaca nesse problema.

Diferentemente dos demais países percebe-se também que o Irã apresenta como principal problema uma maior complexidade do sistema elétrico. Assim como explicado acima, era esperado que esse problema aparecesse em conjunto com o aumento de VE. Isso ocorre devido ao fato de um dos motivos da maior complexidade do sistema elétrico ser, inclusive, a grande presença de VE's devido a dificuldade de prever sua demanda de carga uma vez que isso irá depender diretamente do perfil do usuário.

Em se tratando do problema de aumento da demanda, é possível perceber que aproximadamente 60% estão concentrados apenas na Europa e América do Norte. Os países subdesenvolvidos, diferentemente do que aconteceu em descarbonização, possuem uma presença mais representativa de aproximadamente 36% dos estudos publicados. Essa tendência também se repete no problema de uma maior necessidade de um sistema inteligente, que só apresentou uma divisão mais igualitária devido a presença da China, que apesar de ser um país subdesenvolvido devido ao seu Índice De Desenvolvimento Humano (IDH), tem apresentado um enorme investimento em educação o que ficou evidente com a formação de mais *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) PhD na China do que nos Estados Unidos [279]. Essa tendência demonstra como que o conhecimento e as pesquisas ainda estão muito mais concentrados nos países considerados desenvolvidos.

Diferentemente dos outros problemas apresentados, o da intermitência das fontes renováveis apresenta uma maior representatividade dos países subdesenvolvidos, atingindo 50%. Isso ocorre nesse caso principalmente pelos artigos publicados no Brasil que tem um forte viés de energia renovável, então, desta forma, pode-se considerar natural que que

isso seja tratado como um problema nos artigos produzidos no Brasil. Destaque-se ainda, que outro país que apresentou grande representatividade nesse problema foi o Irã.

Uma análise relevante que pode ser feita é a correlação dos problemas entre si, já que um artigo pode ter considerado mais de um problema. A Figura 5.2 demonstra que ao analisar os problemas de forma conjunta é possível perceber que a maioria dos problemas não aparece de forma isolada com 60,7% dos artigos considerando mais de um problema. Ressalte-se que em se tratando de problema isolado o mais representativo foi o de maior complexidade do sistema com 12,9% do total. Em seguida aparece a descarbonização com 10,0% bem próximo do aumento da quantidade de VE's com 9,3%.

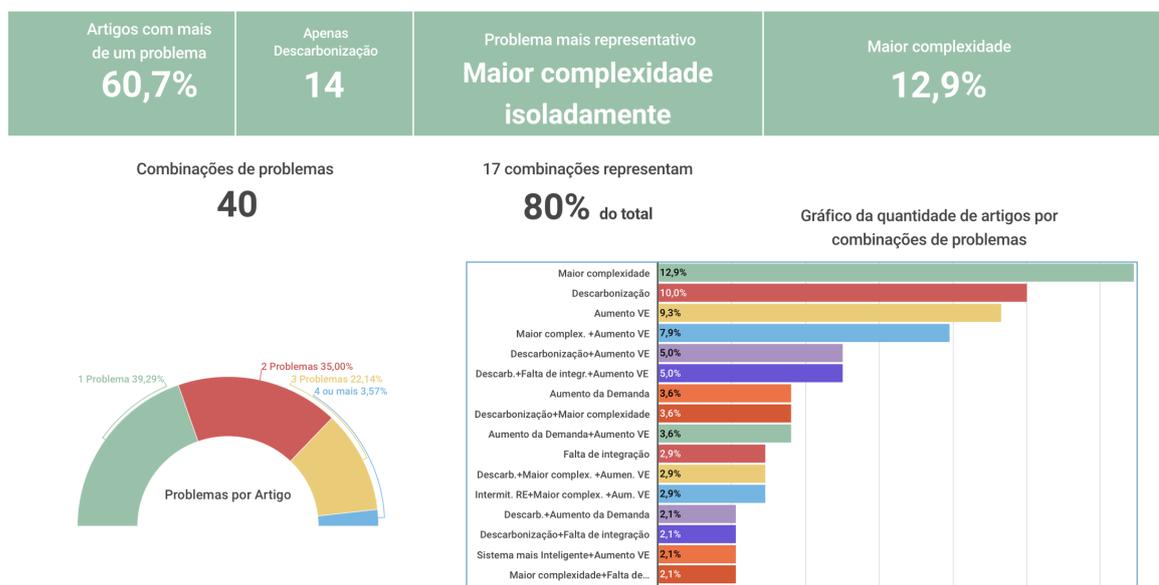


Figura 5.2: Análise da quantidade de problemas apontados em cada artigo e também problemas mais representativos considerando a quantidade de artigos de cada um

Os problemas também foram comparados dois a dois com o objetivo de verificar a existência de alguma tendência nos problemas que foram apontados durante essa dissertação. De uma maneira mais explicativa o que foi feito foi considerar quais artigos tratam de um problema apenas e quais que tratam de dois problemas concomitantemente. Vale explicar que os valores representados aqui da quantidade de artigos que tratam de dois problemas não são exclusivamente dois problemas, ou seja, o artigo que foi contabilizado que trata de Descarbonização e aumento da quantidade de VE's também pode tratar de outros problemas simultaneamente e, com isso, irá ser representado também nos gráficos dos outros problemas. Sendo assim, cada gráfico de um problema terá um somatório de

100% porém a somatória de todos os 8 gráficos tem artigos considerados em dois pontos dependendo se considera 2 ou mais problemas. A Figura 5.3 traz essa análise e é possível perceber a representatividade do problema de um maior número da quantidade de VE's que aparece em relevância em todos os gráficos com exceção do gráfico de um aumento na quantidade de VE's. Isso significa que, em que pese a relevância da representatividade desse problema ele não aparece muito como uma questão isolada, e sim aparece mais acompanhado de outros problemas. Outro problema que aparece também com destaque em todos os gráficos é o de Descarbonização, que reforça o que foi colocado acima relativamente à importância de aspectos ambientais em ditar o futuro do sistema elétrico. Isso está em linha com o que foi decidido na COP26 onde 90% do PIB mundial se comprometeram em zerar as emissões ou deixá-las o mais próximo de zero possível até 2030 [280].

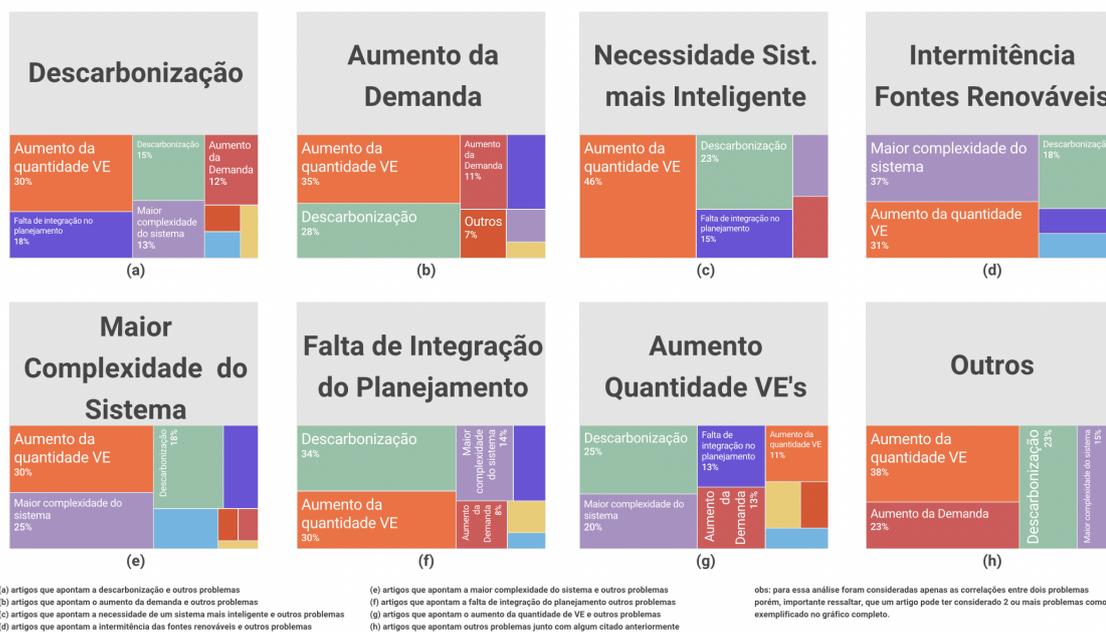


Figura 5.3: Análise dos problemas que foram apontados em cada artigo de maneira conjunta

Em se tratando da categorização pelo tema principal do artigo, pode-se perceber conforme a Figura 5.4 que os temas mais representativos são o Aumento de VE juntamente com V2G. Esses temas aparecem com grande importância uma vez que a possibilidade de se utilizar o VE como fonte e carga é de extrema relevância para o impacto que uma grande quantidade de VE irá ter na rede. Foi demonstrado no Capítulo 4 que a utilização de carregamento inteligente, juntamente com V2G pode fazer com que os VE's quase não

impactem a rede.

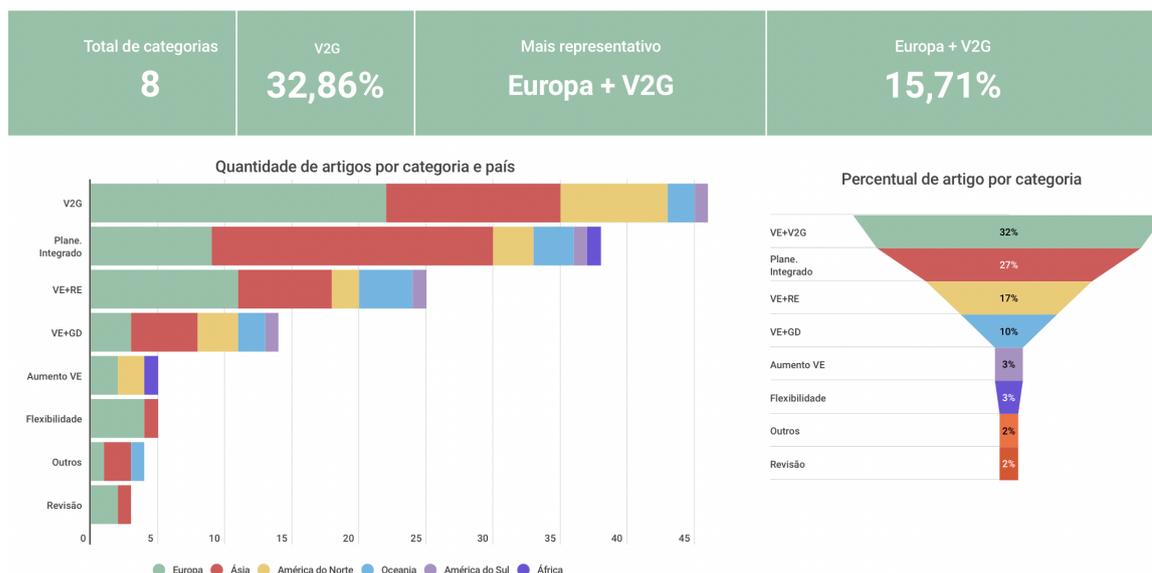


Figura 5.4: Análise dos artigos conforme classificação do tema principal do artigo

Para fortalecer as análises realizadas até aqui foi feito uma revisão bibliométrica utilizando-se o *VosViewer* com o intuito de perceber as linhas de pesquisa com maiores tendências e também a relação entre essas diversas linhas. A Figura 5.7 demonstra os resultados encontrados. A palavra que aparece com maior intensidade é VE o que se justifica uma vez que esse é o tema em comum de todos os artigos. Para conseguir analisar as outras palavras e suas relações foram retiradas da revisão bibliométrica toda palavra e sinônimo relacionado a VE. A Figura 5.8 apresenta os resultados encontrados sem a presença de VE.

Analisando essa nova versão pode-se perceber que cinco palavras aparecem em relevância e todas conectadas entre si, sendo elas: V2G, RE, *charging*, *investment* e *electric power transmission*. Esse resultado corrobora a classificação que foi realizada nesse trabalho já que dois dos temas mais relevantes foram citados aqui. Um ponto interessante dessa análise é que apesar de V2G aparecer em conjunto com *investment* os estudos que consideram os investimentos necessários para possibilitar o V2G ainda são praticamente inexistentes e merecem mais atenção.

Um outro aspecto de destaque é que apesar de se falar tanto de V2G algumas outras medidas que deveriam andar junto com isso para permitir a aplicabilidade de um carregamento inteligente ainda aparecem com pouca relevância, sendo elas GLD e flexibilidade. Isso demonstra que uma boa área de estudo futuro é analisar como que medidas de GLD podem atuar para permitir um carregamento inteligente, podendo ser como V2G ou até

mesmo apenas controlando o momento de recarga.

Em se tratando dos modelos de otimização, analisando a revisão bibliométrica, percebe-se que nenhum modelo se destacou perante os demais, já que nenhum modelo apareceu com um tamanho representativo na imagem. Esse achado aponta para a inexistência de um modelo superior aos demais em se tratando de VE dentro do planejamento da expansão. Sendo assim, uma outra sugestão de trabalho futuro pode ser um trabalho de revisão dos métodos para conseguir descobrir qual método apresenta as maiores vantagens e menores esforços computacionais. Importante ressaltar que em se tratando do foco em métodos o artigo [189] realiza uma comparação de quatro métodos heurísticos e demonstra a eficácia desses métodos em resolver o problema do planejamento da expansão da transmissão, entretanto, mesmo com esse estudo considera-se que ainda existe espaço para um estudo mais abrangente, não só no que tange o planejamento da expansão da distribuição e geração quanto ao que tange a outros métodos e também o planejamento integrado.

Outro aspecto importante de considerar é o ano de publicação dos artigos e quais temas foram mais relevantes em cada um dos anos. A Figura 5.6 demonstra essa análise. Analisando essas imagens percebe-se um aumento das publicações nos anos mais recentes, com o ápice em 2020. Além disso, também percebemos como alguns assuntos se tornaram mais populares nos últimos anos, entre eles tem-se V2G e planejamento integrado. Considerando os resultados encontrados, era esperado que o V2G se tornasse mais popular recentemente, considerando que a tecnologia que permite o seu funcionamento e sua difusão é mais recente. A imagem também mostra que alguns temas não tiveram um grande aumento em volume mas estão com uma presença constante em todos os anos, como por exemplo flexibilidade e aumento VE. Em se tratando do local da publicação podemos verificar que a Europa nos anos recentes sempre aparece com um grande número de publicações e que o Irã, que foi um país que se destacou nessa dissertação, teve um grande número nos últimos 3 anos, representando mais de 55% de todas as suas publicações. Em 5.5 foi analisado as publicações ano a ano analisando separadamente a Ásia e Europa que são continentes bem representativos na quantidade de publicações.

Como uma última análise, foi considerado o país de origem de cada um dos artigos conforme colocado na Figura 5.13. Analisando a Figura 5.13 percebe-se que o país que mais publicou artigos foi o Irã e que a China se encontra em terceiro lugar, esses dois países são considerados subdesenvolvidos e mesmo assim tiveram uma quantidade de publicação representativa. Com isso, uma análise mais minuciosa será realizada desses países.

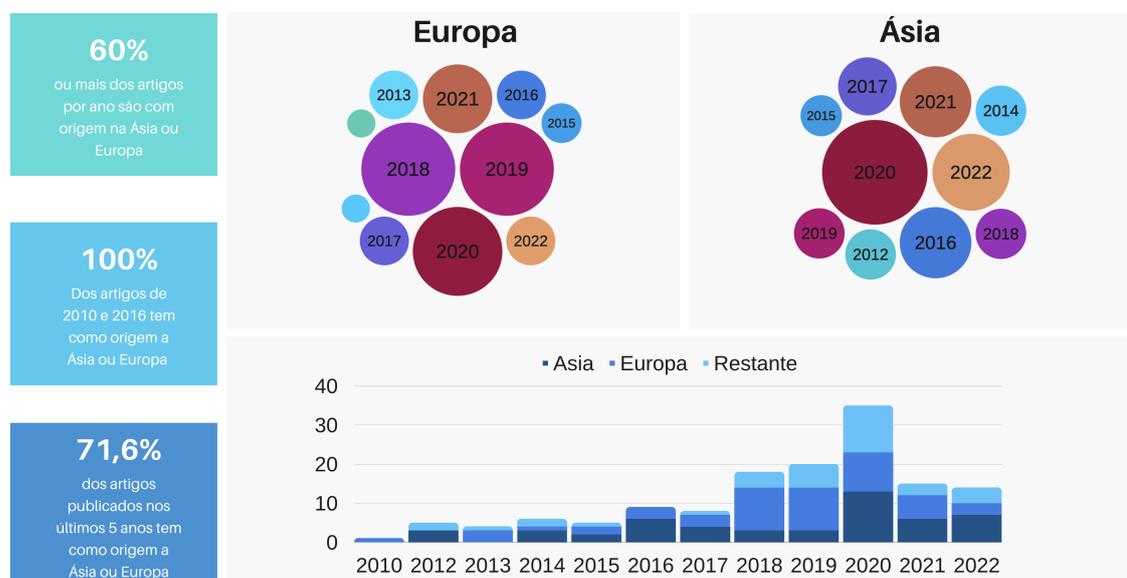


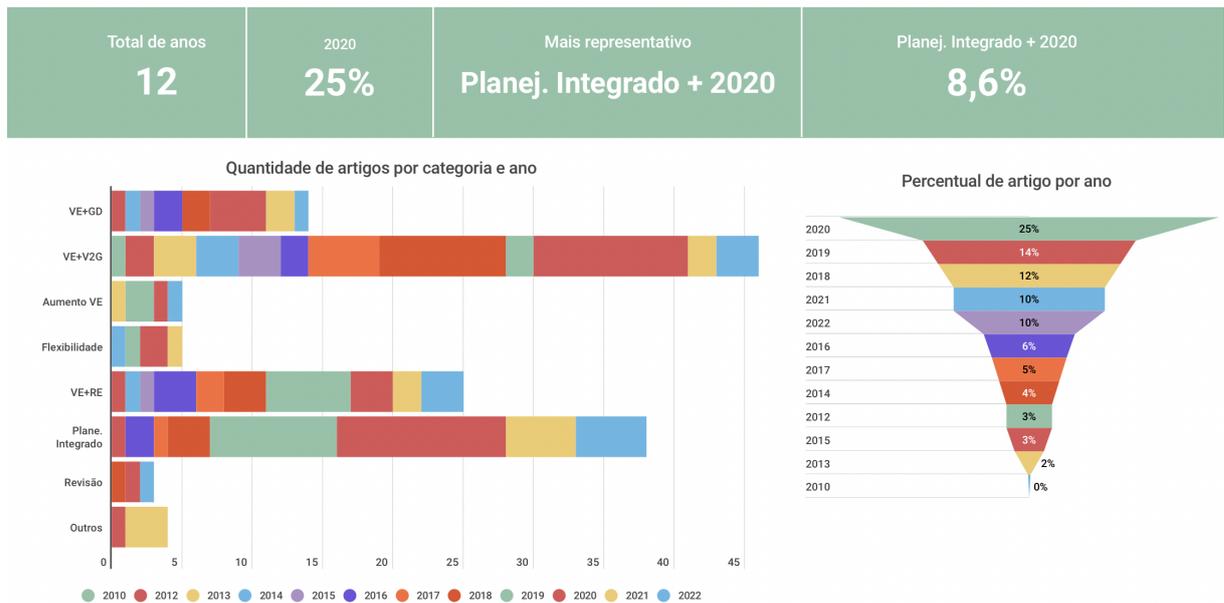
Figura 5.5: Análise das publicações por ano considerando separadamente Europa e Ásia

Devido a grande representatividade do Irã e da China a Figura 5.9 retrata um desmembramento da Ásia considerando separadamente a China e o Irã. Apesar de 9 países da Ásia aparecerem nessa dissertação, a China e o Irã representam pelo menos 80% das publicações desse continente em cada problema, com exceção do problema de aumento da demanda, o qual representa aproximadamente 70%. Além disso, dois problemas aparecem apenas na China e Irã, sendo eles, intermitência das fontes renováveis e necessidade de um sistema mais inteligente.

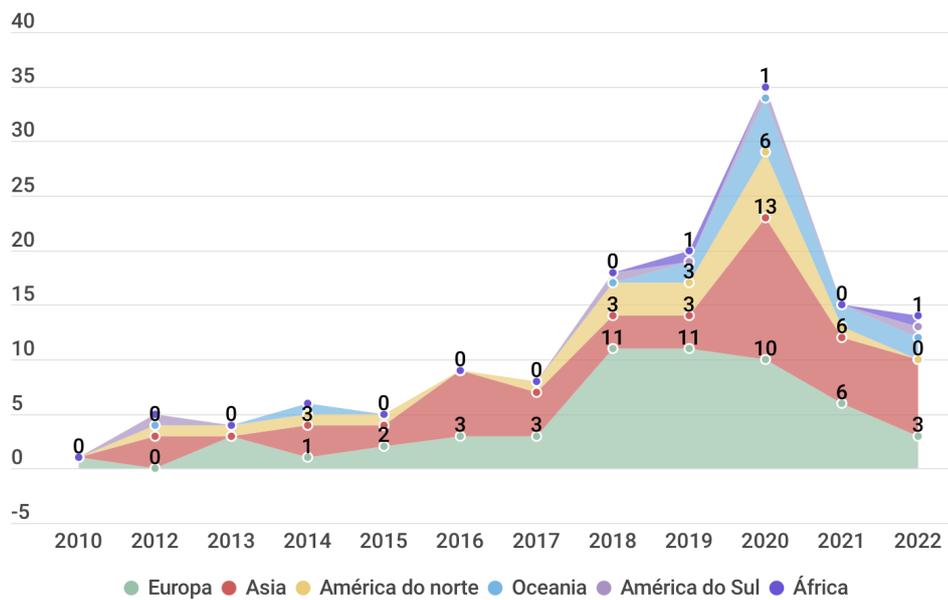
O motivo da quantidade de publicações da China já foi tratado anteriormente e se deve principalmente pelo grande investimento em educação. Já o motivo o qual o Irã foi o país com maior publicação ainda necessita de um pouco mais análise.

Analisando a matriz energética do país conforme demonstrado em 5.11 pode-se perceber que a principal fonte é o gás natural representando 81% [5] e além disso o Irã tem aumentando a sua emissão de CO₂ e não possui políticas relevantes em prática para a descarbonização, o que pode ser visto nas Figuras 5.10 e 5.11. O Irã não possui nenhuma meta de zero emissão, objetivo de longo prazo nem *Nationally Determined Contributions* (NDC) [281]. Além de ter aumentado em 4% a produção de CO₂ o Irã é o sexto maior emissor mundial desse gás, ficando atrás apenas de China, Estados Unidos, Índia, Rússia e Japão [5].

Outro aspecto que poderia justificar o alto número de publicações é a existência de uma forte política pública para incentivar a presença de VE's, porém isso também não foi



(A) Artigos agrupados conforme ano de publicação e tema principal



(B) Artigos agrupados conforme ano de publicação e país de origem

Figura 5.6: Classificação dos artigos conforme Ano - considerando tanto o tema de publicação como o país de origem

encontrado. O governo oferece uma isenção de *Value Added Tax* (VAT), desde que sejam produzidos localmente. Além disso, há também uma redução de tarifas de importação para os VE's [282]. A montadora local KSJ Motors, em 2022, anunciou a produção de um VE o que pode favorecer o mercado de VE [283]. Uma barreira ainda que o Irã enfrenta para a expansão dos VE's é a falta de estações de carregamento possuindo apenas 10

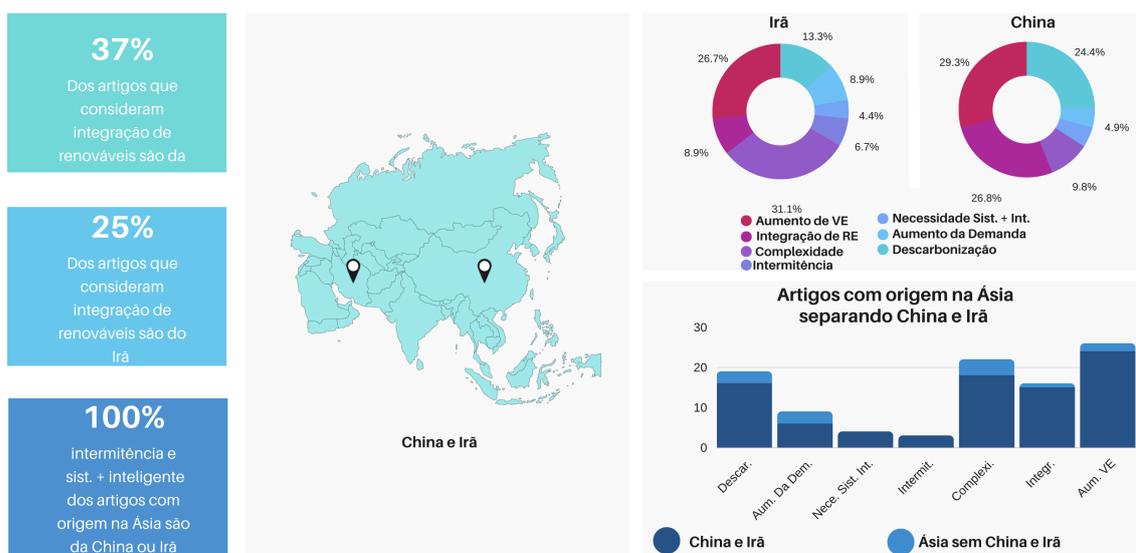


Figura 5.9: Problemas com origem na Ásia separando China e Irã

conforme [284]. A Figura 5.12 demonstra a parcela do mercado que é dos VE's e pode-se perceber que ainda não é muito representativo com grande parte do mercado pertencente aos MCI.

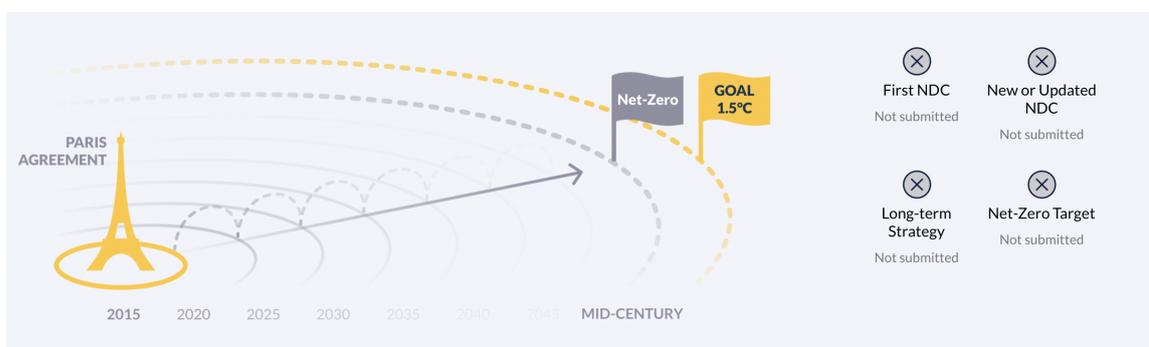


Figura 5.10: Como que o Irã está em relação ao acordo de Paris - Metas e objetivos que foram considerados Fonte: [281]

Uma última análise que pode ser feita em relação ao Irã, na tentativa de se justificar o fato de ser o país mais presente nessa dissertação é relacionado ao investimento em educação no país. O Irã teve em 2016 o fim das sanções impostas pelos Estados Unidos e Europa devido ao acordo de tecnologia nuclear, com isso, houve um maior intercâmbio de informações e pesquisas com o ocidente. Em 2018 os Estados Unidos voltaram a impor as sanções, porém nesse período de 2016 a 2018 consiste em 22% das publicações realizadas pelo Irã. Além disso, após o retorno das sanções americanas o Irã começou a focar e investir bastante em tecnologia e educação com o intuito de suprir os danos causados por essas sanções [285].

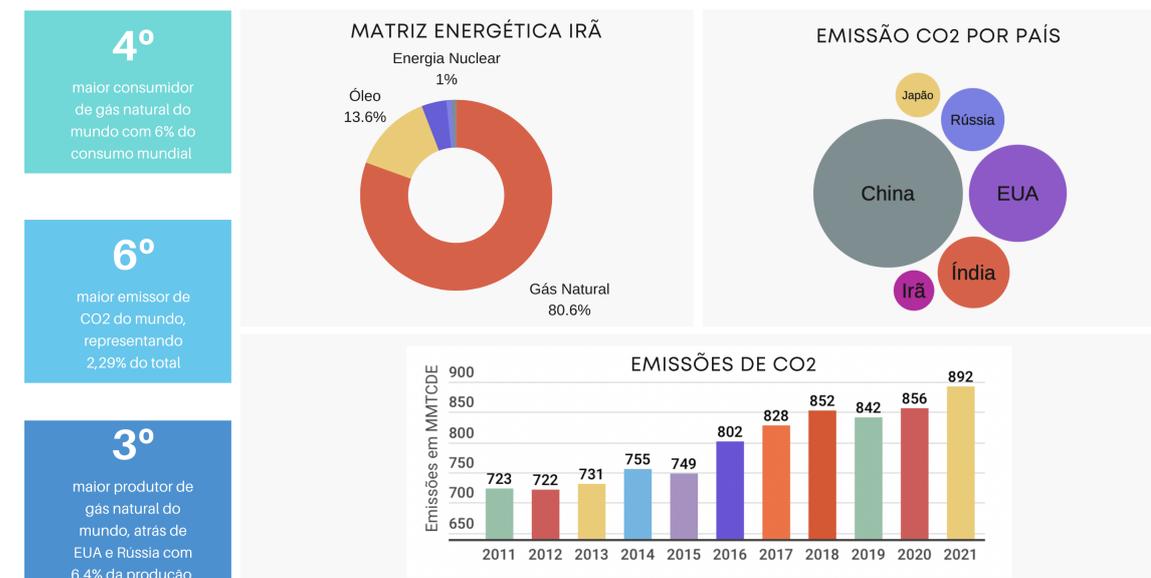
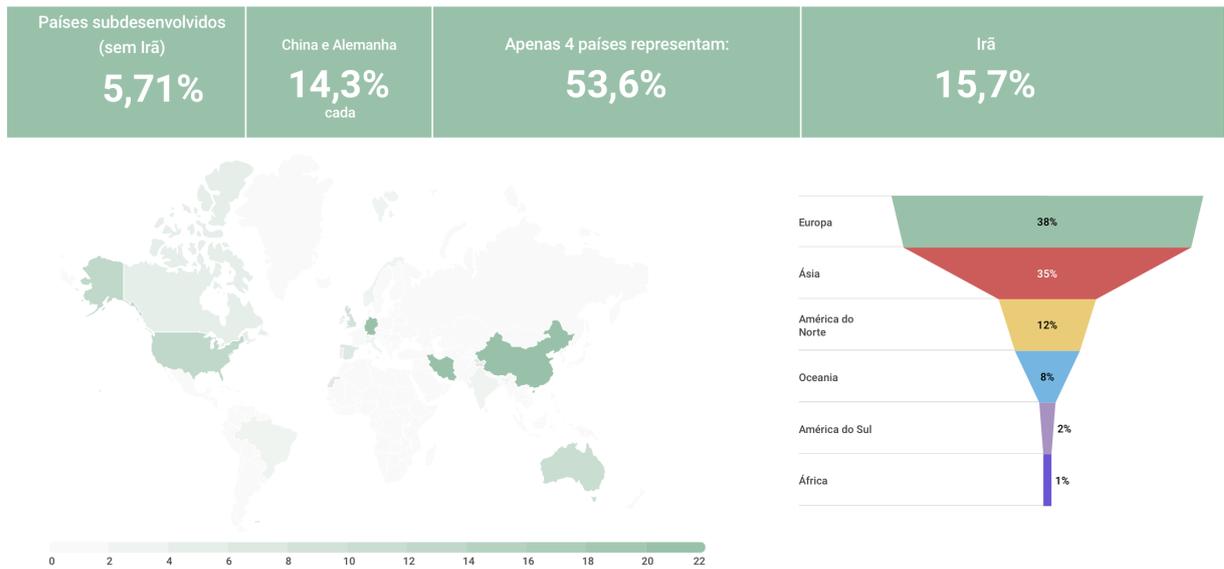


Figura 5.11: Composição da Matriz Energética do Irã e seu consumo de CO₂ em *Million Tonnes Of Carbon Dioxide Equivalent* (MMTCDE) Fonte: [5]

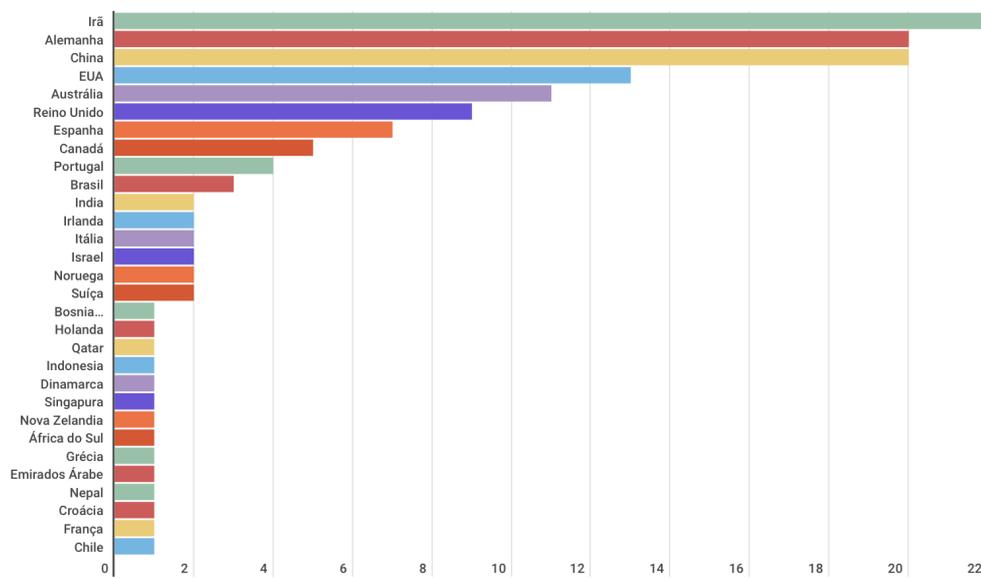


Figura 5.12: Parcela do mercado correspondente aos VE's Fonte: [283]

O Irã é o terceiro país no ranking de inovação devido a quantidade de pessoas presentes nas áreas de ciência e engenharia, além disso, existe um target de investir 4% do PIB em pesquisa e desenvolvimento. Ademais, como muitos estudantes não conseguem emprego ao terminar seu curso eles voltam para universidade para se especializar e essa mão de obra cada vez mais especializada é responsável pela maximização da produção de artigos. Nesse contexto, o Irã mais que triplicou a quantidade de alunos PhD desde 2007 [285]. A Figura 5.14 retrata esse cenário de investimento em educação e no aumento de publicações do Irã.



(A) Representação dos artigos por país, considerando a representação no mapa dos países e consideração por continente



(B) Quantidade de artigos por país representando o quantitativo de cada lugar

Figura 5.13: Classificação dos artigos conforme cada país, considerando os países individualmente e por continente

Após as três categorizações realizadas aqui algumas conclusões importantes podem ser retiradas.

Em que pese o grande volume de artigos, algumas poucas conclusões podem ser retiradas deles. A primeira delas é que os VE's possuem um papel importante em aumentar

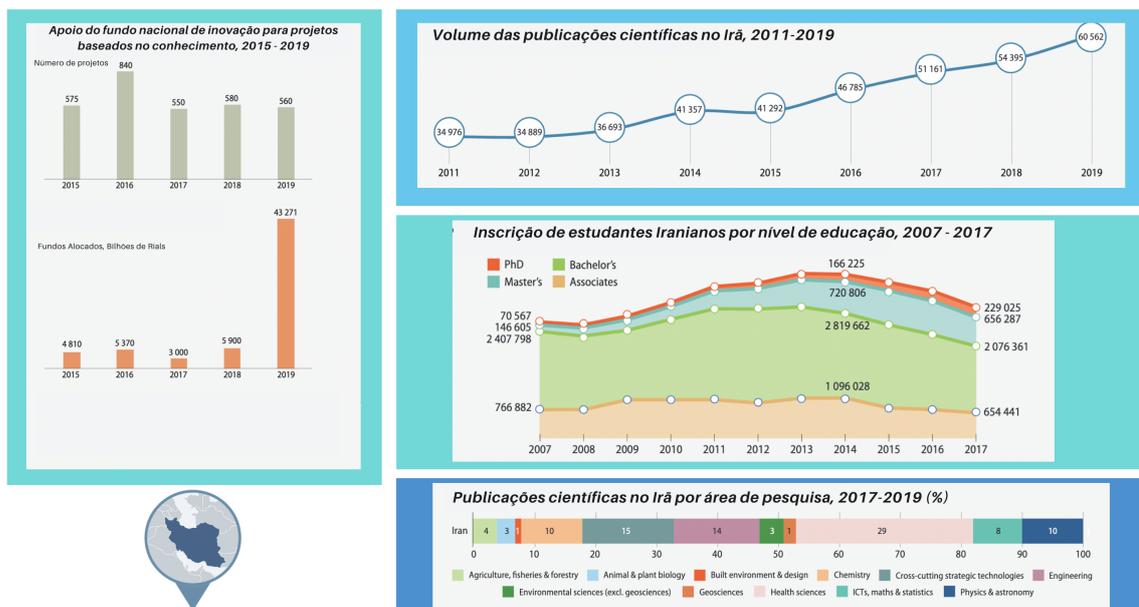


Figura 5.14: Análise do investimento em educação e também da quantidade de publicações do Irã ao longo dos anos

Fonte: [285]

a penetração de energias renováveis, principalmente a eólica. A segunda é que o carregamento inteligente ou controlado possui vantagens para o sistema e deve ser considerado, apesar de que talvez não seja necessário implementar um carregamento 100% inteligente. A terceira é que caso a demanda dos VE's não seja considerada, o sistema, mesmo expandido, pode não conseguir suprir toda a demanda. E por fim, o quarto seria a vantagem do planejamento integrado.

A análise desses artigos também levanta questões importantes no que diz respeito ao futuro do planejamento da expansão e também de *gaps* que foram encontrados.

Apesar do carregamento controlado ou do V2G ser apontado como algo crucial para a melhor penetração dos VE's pouquíssimo se fala da viabilidade de tornar todo um sistema inteligente para conseguir usufruir disso. Ademais, também não se fala nem dos custos atrelados a isso, nem tampouco da disponibilidade tecnológica para tal.

Um dos impactos negativos do V2G já conhecido é a perda de vida útil da bateria e apenas um dos artigos considerou isso no seu planejamento da expansão. É importante também verificar quais outros impactos negativos podem ocorrer caso o sistema faça essa mudança para conseguir suportar o V2G e VE.

Além disso, esse tipo de carregamento necessitaria de uma participação dos consumidores e isso tampouco foi considerado na maioria dos artigos. Alguns colocam a necessi-

dade de oferecer algum tipo de benefício, mas se fala de uma maneira superficial.

Outro ponto crucial que também só foi considerado em um artigo é a dificuldade do planejamento integrado. Esse planejamento exigiria, muitas vezes, a participação de diversos *stakeholders* com interesses diferentes e muitas vezes não é possível um alinhamento entre eles. Para tal, deveria existir algum benefício governamental ou até mesmo algum tipo de imposição, o que não é algo trivial.

Por fim um outro ponto de atenção é como que a maioria dos artigos só faz simulação em sistemas que não representam sistemas reais ou então são sistemas reais, porém representando apenas uma parte, o que coloca em cheque a viabilidade dessa implementação em modelos reais, já que o planejamento geralmente é realizado para o todo. Além disso, a maioria dos artigos são de países desenvolvidos, conforme a Figura 5.13 e não se sabe a real aplicabilidade nos outros países.

Sendo assim, algumas sugestões para trabalhos futuros seriam a de revisitar esses pontos citados acima que dizem respeito a algumas lacunas encontradas. Desta forma, conseguindo assim elaborar um planejamento da expansão que contemple custos e a possibilidade de um sistema inteligente, além de considerar também o comportamento e a vontade das pessoas de participarem desse processo. Além disso, conseguindo de certa forma alguma sinergia entre os *stakeholders* para permitir um planejamento integrado.

O que fica claro analisando todos esses artigos é que apesar de diversos desafios que vão surgir com a penetração dos VE podem ocorrer também diversos benefícios para o sistema caso o planejamento seja feito de forma correta e todas as variáveis consideradas.

Para concluir essa seção uma última análise que pode ser realizada é uma correlação entre os problemas encontrados e as soluções apontadas por cada artigo. A Figura 5.15 exemplifica todos as soluções e os problemas que foram considerados. O mais importante que se pode tirar dessa figura é a relação entre a solução e o problema. O maior percentual encontrado foi de 10,11% para o problema de aumento da quantidade de VE com a solução de um carregamento inteligente, isto está em linha com o que foi exemplificado no Capítulo 4 que demonstrou que o carregamento controlado, principalmente V2G, consegue reduzir os picos e também a demanda e assim aumentar uma penetração de VE. Ou seja, esse problema apontado encontrou uma solução, qual seja, o carregamento inteligente e boa parte dos artigos conseguiram demonstrar isso.

Por fim, destaque-se que outro problema e solução importante a se considerar foi o de um carregamento inteligente com a descarbonização, representando 8,61%. Esse achado

também está em linha com o que foi considerado no Capítulo 4 no qual foi demonstrado que ao utilizar o V2G consegue-se aumentar a penetração de renováveis e com isso ter uma matriz energética menos poluente. Além disso, ao aumentar a penetração de VE, como foi descrito acima, ocorre uma eletrificação do setor de transporte que junto com uma matriz energética mais limpa resulta na descarbonização ou pelo menos em uma redução da emissão de poluentes.

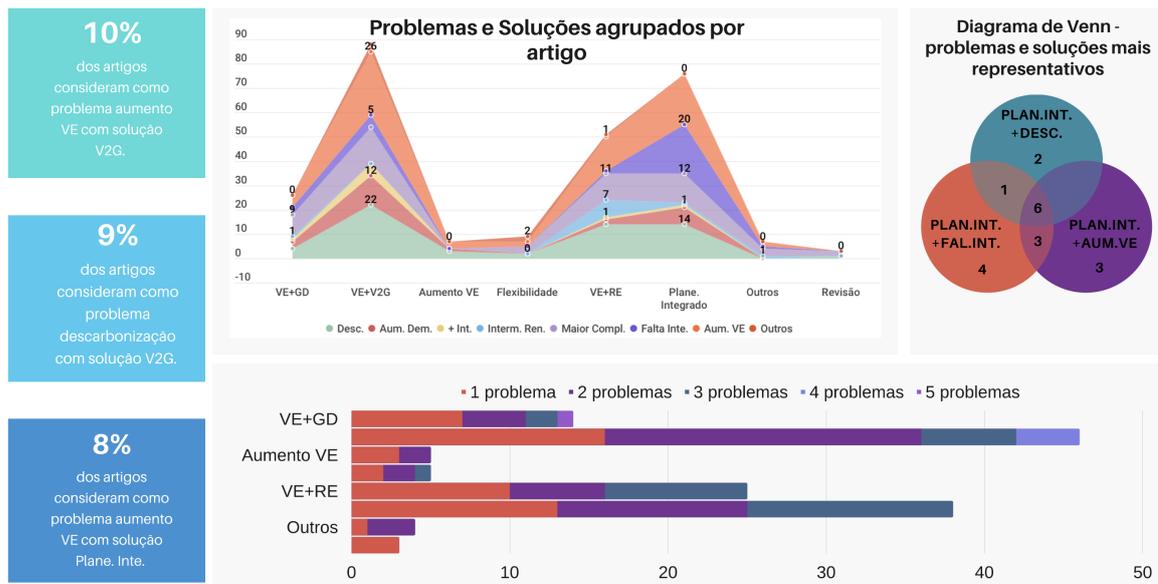


Figura 5.15: Análise correlacionada entre os problemas e quais soluções foram abordadas por artigo

5.1 Áreas Negligenciadas

Após as categorizações que foram realizadas no Capítulo 4 e as análises que foram levantadas nas seções anteriores do Capítulo 5 foram percebidas que algumas áreas foram negligenciadas, possuindo apenas um ou dois estudos considerando esses temas ou até mesmo nenhum artigo tratando desses temas a figura 5.16 demonstra essas áreas.

O V2G ou outra modalidade de carregamento inteligente foi apontado nesse trabalho como uma das grandes áreas de destaque para permitir a penetração de um grande número de VE sem resultar em impactos para o planejamento da expansão, entretanto pouco se falou sobre a viabilidade da implementação desse V2G. Em apenas um trabalho foi considerado que o V2G seria tecnicamente inviável e apenas um outro trabalho considerou todos os custos atrelados para conseguir implementar o V2G. Isso levanta um alerta que uma das grandes soluções ainda não foi efetivamente validada para ser implementada.



Figura 5.16: Áreas negligenciadas na literatura relacionadas a consideração de VE no planejamento da expansão

Além disso, ao considerar o V2G outros dois aspectos precisam ser considerados, o primeiro deles é como que isso irá impactar a vida útil das baterias dos VE's, já que é conhecido que ao fazer o carregamento inteligente a vida útil da bateria irá sofrer. Apenas um estudo considerou os custos atrelados a esse desgaste da bateria. O segundo aspecto é relacionado a adesão dos consumidores a medidas de GLD para conseguir um V2G de maneira efetiva é necessário implementar medidas de GLD e para isso os consumidores precisam aderir a essas medidas. A alternativa mais intuitiva para conseguir essa adesão é oferecer um incentivo financeiro para os consumidores porém esse incentivo irá aumentar os custos do sistema e isso precisa ser considerado no planejamento para analisar a viabilidade dessa solução.

Em se tratando do planejamento integrado, que foi uma outra solução amplamente abordada por diversos autores, apenas um artigo levantou os desafios que esse tipo de planejamento podem ter, sendo o principal deles a cooperação entre setores diferentes para conseguir uma solução ótima total ao invés de soluções individuais melhores. Sendo assim, é necessário mais esforço nessa área para verificar se essa solução seria viável.

Outro aspecto interessante levantado em apenas dois trabalhos que também precisa ser estudado mais a fundo é que talvez não seja necessário uma grande parte do sistema implementar o carregamento inteligente para atingir os maiores benefícios desse tipo de carregamento. Essa possibilidade é de extrema relevância pois caso só uma pequena parcela do sistema precise ser adaptada isso irá impactar diretamente nos custos e o V2G pode se tornar ainda mais viável.

Por fim, um outro assunto que só é abordado em [9, 15] e em um trabalho de revisão [31] é como que as medidas governamentais impactam diretamente nos VE. Nenhum dos trabalhos que tratou do VE dentro do planejamento da expansão considerou esse aspecto. E como foi demonstrado em [31] as normas e políticas são os aspectos que mais conseguem impactar na quantidade de VE, sendo assim é importante considerar esse parâmetro para um estudo mais aprofundado.

Capítulo 6

Conclusão

Esse trabalho apresentou uma RSL considerando a inserção dos VE dentro do planejamento da expansão. Foram realizadas três categorizações distintas considerando o problema que motivou, o principal tema abordado e como que cada trabalho respondeu cada uma das perguntas de pesquisa. Foram encontrados mais de 3.000 artigos através de uma *string* de busca que considerou planejamento da expansão e VE juntamente com diversos sinônimos com o intuito de aumentar a abrangência da pesquisa. Desses artigos encontrados inicialmente mais de 2.700 foram eliminados já na primeira etapa por não tratarem de VE dentro de um planejamento da expansão. Após essa primeira eliminação os artigos foram todos lidos e reclassificados, essa segunda classificação terminou por eliminar mais alguns artigos o que resultou em 166 artigos aceitos. Desses artigos que foram aceitos, 26 compõem bancos de dados que não são de livre acesso ou com acesso liberado através do portal Capes e não foram incluídos ao longo dessa dissertação.

Nesse contexto, essa dissertação categorizou 140 artigos conforme o problema, tema e adequação aos critérios de pesquisa com o intuito de facilitar pesquisadores futuros a encontrar artigos que tratam de temas específicos e também conseguir perceber como que se encontra o avanço de determinado tema. Dentre a categorização do tema principal do artigo foram considerados temas atuais e também relevantes para o futuro e a expansão do sistema elétrico como por exemplo V2G, fontes renováveis e GLD. A escolha das categorias foi realizada devido a maior relevância dentro do trabalho analisado, além disso, do ponto de vista de tema abordado só foi considerado um para cada artigo enquanto o problema que motivou não precisa necessariamente ser único.

Com o intuito de aprofundar ainda mais a análise, após a categorização realizou-se uma análise que considerou correlações entre os problemas, os temas principais e também os países de origem de cada um dos 140 artigos. Depreende-se das análises aqui realizadas

que os países desenvolvidos ainda são bem mais responsáveis por publicações do que os subdesenvolvidos. Entre duas exceções pode-se citar o Irã e a China que juntos representam 30% de todos os artigos que foram considerados nesse trabalho. O motivo que justifica essa exceção é devido ao maior investimento em educação que esses dois países possuem, com o Irã tendo muitos estudantes se especializando cada vez mais, triplicando a quantidade de PhD como pode ser visto no capítulo 5 e aumentando a publicação de artigos, devido a uma falta de oferta de trabalho. Já na China pode-se inferir com base nesse estudo que o motivo é um maior investimento do governo em educação o qual resulta em um número de PhD maior que, inclusive, os do Estados Unidos. Como uma exceção, o problema da maior penetração de fontes renováveis teve uma maior participação dos países subdesenvolvidos devido a quantidade de artigos publicados pelo Brasil que possui um viés forte nesse tema, reforçado pela matriz energética que é predominantemente renovável.

Em se tratando das correlações entre os problemas demonstrou-se nesse trabalho que o problema da descarbonização caminha *pari passu* com o problema da maior quantidade de VE representando 20% do total, assim como o problema da maior necessidade de um sistema inteligente, o qual também aparece junto com uma maior quantidade de VE, representando aproximadamente 4% do total. Essa correlação reitera como que a descarbonização pode ser atingida devido a uma eletrificação da frota de veículos e também a importância de se modernizar o sistema para conseguir incorporar esse aumento de VE juntamente com os seus benefícios para a rede, cite-se como exemplo o deslocamento da carga ao se utilizar V2G. Importante ressaltar que na análise das correlações fica evidente como que o problema do maior aumento de VE é extremamente representativo porém não aparece de uma maneira isolada, sempre aparece quando se considera mais de um problema. Isso permite tirar uma conclusão representativa, apesar de ser um problema relevante ainda mais considerando as metas futuras de diversos países em se considerando a frota de veículos que foram colocados ao longo dessa dissertação, ainda não vem sendo tratado como um problema dessa magnitude, isso indica que um foco para estudos futuros possa ser considerar mais esse problema com a sua devida relevância. Diferentemente desse tema, a descarbonização é tratada tanto de forma conjunta como de forma isolada, o que indica que a academia já enxergou como que os VE's podem ser sim uma alternativa para a redução da emissão de CO₂ o que indica que estudos nesse viés já podem estar mais saturados.

Além disso, demonstrou-se ainda que a maioria dos artigos, mais de 60%, não considera apenas um problema. Com a grande maioria considerando dois problemas e depois três

problemas. Apesar disso, os maiores percentuais encontrados foram para os artigos que consideram apenas um problema, com 12,9% para maior complexidade do sistema, 10% descarbonização e 9,3% aumento da quantidade de VE. Importante ressaltar que esses três problemas, que apresentaram maiores percentuais, foram os problemas mais considerados pela Europa como foi demonstrado no Capítulo 5. Ao analisar a correlação entre dois problemas verificou-se que o problema de uma maior quantidade de VE aparece com relevância em todas as análises, o que demonstra uma tendência dos pesquisadores em acreditar em um futuro com grande parcela de VE e reforça a necessidade de preparar o planejamento da expansão com esse viés.

No que diz respeito ao tema principal do artigo constatou-se uma maior publicação de artigos que tratam de V2G e planejamento integrado nos anos recentes. Diversos estudos demonstraram vantagens financeiras ao se aplicar um planejamento integrado reforçando a tese de que isso pode ser o futuro do planejamento. Da mesma forma que o avanço tecnológico permite que cada vez mais países utilizem o V2G, o que também justifica a relevância que esse tema vem ganhado nos últimos anos.

Analisando todos os problemas e temas principais que foram expostos aqui, além da consideração dos conteúdos dos artigos que compõem essa dissertação foi traçado um diagrama de Ishikawa representado na Figura 6.1 com os principais desafios que os VE's possuem para a sua maior penetração juntamente com os desafios para o planejamento da expansão. Como foi visto nesse trabalho, o carregamento inteligente parece ser necessário para permitir a expansão dos VE além de minimizar os impactos dos VE no planejamento da expansão, com isso, uma das grandes barreiras que os VE precisam superar é a capacidade do sistema conseguir controlar esses carregamentos inteligentes, o que passa em linha em transformar o sistema inteligente e também demonstrar as vantagens para os consumidores em aderirem medidas de GLD e também em participarem do V2G apesar dos impactos que isso pode causar na bateria dos VE's. Além disso, uma outra barreira a se superar é atrelada ao planejamento integrado, no sentido que é necessário conseguir uma cooperação entre os setores. Como uma das barreiras para uma grande penetração dos VE é relacionado a infraestrutura um planejamento integrado entre estações de carregamento e da expansão pode ser benéfico para ambos.

Destaque-se que algumas conclusões podem ser retiradas ao analisar todos os artigos que compõem essa dissertação. A primeira delas sendo, conforme foi citado anteriormente, a vantagem ao considerar um planejamento integrado em se tratando principalmente de aspectos financeiros. Outra conclusão é relacionada as vantagens que o carregamento

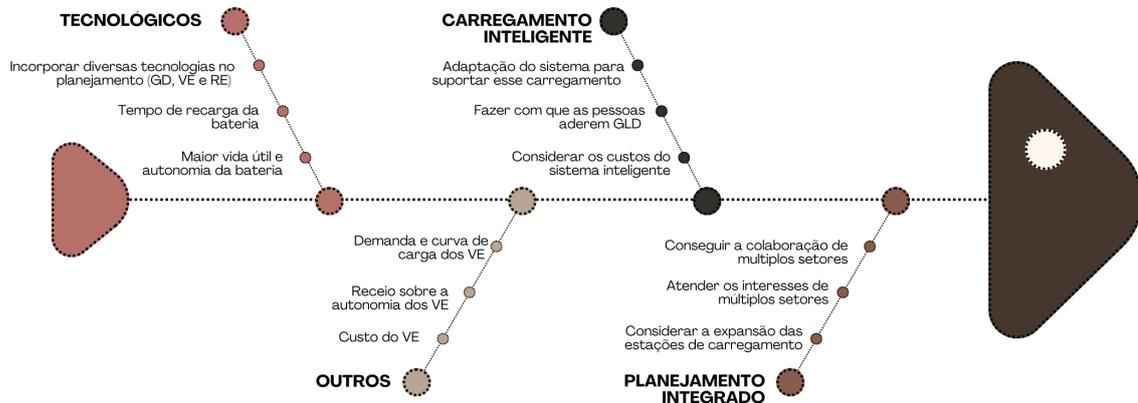


Figura 6.1: Diagrama de Ishikawa com os principais desafios para o planejamento da expansão e para os VE's juntos

inteligente traz para o sistema e um aspecto interessante ainda pouco explorado é que talvez não seja necessário um grande percentual de VE realizando esse carregamento para se obter os benefícios dessa relação. Já no que tange as fontes renováveis, demonstrou-se também como que os VE's ajudam na penetração dessa fonte de energia, em sua grande maioria a eólica, mas podendo ser também a solar, dependendo da característica da curva de carga de cada localidade.

Por fim, essas conclusões levantam questões relacionadas a lacunas encontradas que podem ser sugestões de trabalhos futuros. Muito se tratou dos benefícios do planejamento integrado, mas pouco se falou das dificuldades e problemas desse planejamento, que envolve muitas vezes entidades diferentes e também objetivos diferentes. Faz-se necessário estudar e analisar como realizar esse planejamento integrado na prática, e como fazer com que as diversas entidades contribuam umas com as outras visando possibilitar um ganho maior para o sistema como um todo. Outro problema pouco abordado é o da dificuldade e custo em adaptar-se um sistema para permitir um carregamento controlado ou inteligente. Além desse custo tecnológico também é preciso ponderar o desejo dos consumidores em participar ativamente desse modelo. Uma maneira para aumentar essa participação são os incentivos financeiros, porém, para tal, faz-se necessário analisar os impactos que isso traria para o planejamento da expansão, inclusive no que diz respeito aos custos. O carregamento inteligente abre uma nova possibilidade que é o V2G e a utilização dessa tecnologia também pode trazer consequências negativas para os consumidores, sendo o principal deles os impactos na vida útil das baterias. Os estudos que apontam as vantagens do V2G não consideram esses impactos negativos, ressalta-se que essa premissa

precisa ser considerada com vistas a se verificar a real viabilidade da implementação desse serviço.

Ademais, pode-se elencar alguns pontos que demonstram a relevância e a contribuição do presente trabalho. O primeiro deles o de trazer mais clareza a cerca do planejamento da expansão e como que os VE's estão sendo considerados nesses estudos. E o segundo o fato de que esse trabalho realizou uma pesquisa que nunca antes foi elaborada nessa área e com esses parâmetros mesmo, nem mesmo considerando o contexto mundial de um crescente interesse nos VE. Por fim , o terceiro ponto é o de encontrar os *gaps* na literatura e assim funcionar como um norte para trabalhos futuros na área de VE.

Em se tratando de trabalhos futuros como foi apontado durante esse trabalho as áreas com mais enfoque foram V2G e também planejamento integrado, sendo assim, o interessante seria focar nessas áreas para conseguir verificar a real viabilidade de isso ser uma solução para se atingir uma alta penetração de VE's. As dificuldades na implementação dessas duas áreas foram pouco tratadas na academia, entre as dificuldades podemos citar: o desgaste da bateria ao utilizar V2G, o custo para tornar o sistema inteligente e também a dificuldade de conseguir um planejamento integrado devido aos interesses distintos dos envolvidos.

Referências

- [1] HØYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, Elsevier, v. 16, n. 2, p. 63–71, 2008.
- [2] FOLEY, A.; GALLACHOIR, B. O. Analysis of electric vehicle charging using the traditional generation expansion planning analysis tool wasp-iv. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, SGEPRI, v. 3, n. 2, p. 240–248, 2015.
- [3] IRENA, I. R. E. A. *World energy transitions outlook*. [S.l.]: eBook Partnership, 2022.
- [4] RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. Co and greenhouse gas emissions. *Our World in Data*, 2020. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>.
- [5] P.L.C., B. bp statistical review of world energy. In: BP. *bp Statistical Review of World Energy - 2022 - 71st edition*. [S.l.], 2022. p. 1–60.
- [6] MONICA, C.; DIEGO, G.; MANJOLA, B.; EFISIO, S.; MARILENA, M.; EDWIN, S.; FEDERICO, P.; FABIO, M.-F.; JOS, O.; ROBERTA, Q. Co2 emissions of all world countries. EC: European Commission, 2022.
- [7] SHIRLEY, C.; GECAN, R. Emissions of carbon dioxide in the transportation sector. 2022.
- [8] UNFCCC. The paris agreement. Acesso em 21 de nov. de 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.
- [9] GLOBAL Electric Vehicle Outlook 2022. International Energy Agency, 2022.
- [10] HOUSE, W. Fact sheet: President biden announces steps to drive american leadership forward on clean cars and trucks. *White-House. Accessed*, v. 18, p. 32, 2021.
- [11] CANADA, T. *Building a Green Economy: Government of Canada to Require 100% of Car and Passenger Truck Sales Be Zero-Emission by 2035 in Canada*. [S.l.]: Government of Canada, 2021.
- [12] SOLER, D.; UBILLA, L.; PUDRENCIO, G.; VIAL, C.; LAMBERT, M. J.; PÉREZ, A. Estrategia nacional de electromovilidad. 2022.
- [13] IEA. *Policies Database*. jul. 2023. Url <https://www.iea.org/policies?topic=Electrification>.
- [14] AGENCY, I. E. Global ev policy explorer. Acesso em 19 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-policy-explorer>.
- [15] GLOBAL Electric Vehicle Outlook 2023. International Energy Agency, 2023.

- [16] UHLIG, R.; HARNISCH, S.; STÖTZEL, M.; ZDRALLEK, M.; ARMONEIT, T. Profitability analysis of grid supporting ev charging management. *CIREC-Open Access Proceedings Journal*, IET, v. 2017, n. 1, p. 1945–1948, 2017.
- [17] KAMRAN, M.; NADERI, M. S.; MALLAKI, M.; GHAREHPETIAN, G. Effect of electric vehicle load and charging pattern on generation expansion planning. In: IEEE. *2015 Smart Grid Conference (SGC)*. [S.l.], 2015. p. 28–34.
- [18] ABDELWAHAB, O. M.; SHALABY, A. A.; SHAABAN, M. F. An optimal resource allocation for future parking lots with charger assignment considering uncertainties. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 200, p. 107455, 2021.
- [19] PAWLOWSKI, T.; DINTHER, C. van. Assessing the impact of electric vehicle charging behavior on the distribution grid. 2020.
- [20] SHANG, Y.; LIU, M.; SHAO, Z.; JIAN, L. A centralized vehicle-to-grid scheme with distributed computing capacity engaging internet of smart charging points: Case study. *International Journal of Energy Research*, Wiley Online Library, v. 45, n. 1, p. 841–863, 2021.
- [21] TABARZADI, M.; VAHIDINASAB, V. A comprehensive expansion planning model for smart electric distribution networks. In: IEEE. *2015 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- [22] LIMA, T. D. D.; FRANCO, J. F.; LEZAMA, F.; SOARES, J. A specialized long-term distribution system expansion planning method with the integration of distributed energy resources. *IEEE Access*, IEEE, v. 10, p. 19133–19148, 2022.
- [23] SORTOMME, E.; EL-SHARKAWI, M. A. Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 2, n. 1, p. 131–138, 2010.
- [24] NWULU, N.; GBADAMOSI, S. L.; NWULU, N.; GBADAMOSI, S. L. Transmission network expansion planning. *Optimal Operation and Control of Power Systems Using an Algebraic Modelling Language*, Springer, p. 185–212, 2021.
- [25] SEVDARI, K.; CALEARO, L.; ANDERSEN, P. B.; MARINELLI, M. Ancillary services and electric vehicles: an overview from charging clusters and chargers technology perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 167, p. 112666, 2022.
- [26] SCHARRENBERG, R.; VONK, B.; NGUYEN, P. H. Ev stochastic modelling and its impacts on the dutch distribution network. In: IEEE. *2014 international conference on probabilistic methods applied to power systems (PMAPS)*. [S.l.], 2014. p. 1–6.
- [27] PAUL, J.; BARARI, M. Meta-analysis and traditional systematic literature reviews—what, why, when, where, and how? *Psychology & Marketing*, Wiley Online Library, 2022.
- [28] PAUL, J.; LIM, W. M.; O’CASS, A.; HAO, A. W.; BRESCIANI, S. Scientific procedures and rationales for systematic literature reviews (spar-4-slr). *International Journal of Consumer Studies*, Wiley Online Library, v. 45, n. 4, p. O1–O16, 2021.

- [29] CARD, N. A. *Applied meta-analysis for social science research*. [S.l.]: Guilford Publications, 2015.
- [30] PAUL, J.; CRIADO, A. R. The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, Elsevier, v. 29, n. 4, p. 101717, 2020.
- [31] MUÑOZ-REPISO, J. M. C.; BRAZA, A. S.; DÍAZ, M. T. S. Policy instruments to promote electro-mobility in the eu28: A comprehensive review. *Sustainability*, 10 (7), 2507-1-2507-27., MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), 2018.
- [32] WU, Y. A.; NG, A. W.; YU, Z.; HUANG, J.; MENG, K.; DONG, Z. A review of evolutionary policy incentives for sustainable development of electric vehicles in china: Strategic implications. *Energy Policy*, Elsevier, v. 148, p. 111983, 2021.
- [33] ALI, S. S.; RAWDAH, R.; HASAN, K. N. An overview of electric vehicle charging data acquisition and grid connection standards for power system studies and ev-grid integration. In: IEEE. *2021 31st Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. [S.l.], 2021. p. 1–6.
- [34] ZHENG, J.; MEHNDIRATTA, S.; GUO, J. Y.; LIU, Z. Strategic policies and demonstration program of electric vehicle in china. *Transport Policy*, Elsevier, v. 19, n. 1, p. 17–25, 2012.
- [35] MAHMUD, K.; TOWN, G. E. A review of computer tools for modeling electric vehicle energy requirements and their impact on power distribution networks. *Applied Energy*, Elsevier, v. 172, p. 337–359, 2016.
- [36] ARIF, A.; MILANOVIC, J. Data-driven distribution system expansion planning considering high ev and pv penetration. In: IEEE. *2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*. [S.l.], 2021. p. 01–05.
- [37] VENEGAS, F. G.; PETIT, M.; PEREZ, Y. Active integration of electric vehicles into distribution grids: Barriers and frameworks for flexibility services. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 145, p. 111060, 2021.
- [38] JUAN, A. A.; MENDEZ, C. A.; FAULIN, J.; ARMAS, J. D.; GRASMAN, S. E. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 2, p. 86, 2016.
- [39] JAWAD, S.; LIU, J. Electrical vehicle charging services planning and operation with interdependent power networks and transportation networks: A review of the current scenario and future trends. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 13, p. 3371, 2020.
- [40] HAN, J.; HU, S.; SHAO, H.; AN, J.; YANG, Y.; ZHAI, G.; LIU, X. The development and key technologies of smart distribution network planning converging high penetration level of evs. In: IEEE. *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. [S.l.], 2018. p. 2320–2324.

- [41] AZADFAR, E.; SREERAM, V.; HARRIES, D. The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 42, p. 1065–1076, 2015.
- [42] ADNAN, N.; NORDIN, S. M.; RAHMAN, I. Adoption of phev/ev in malaysia: a critical review on predicting consumer behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 72, p. 849–862, 2017.
- [43] PAGANY, R.; CAMARGO, L. R.; DORNER, W. A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation*, Taylor & Francis, v. 13, n. 6, p. 433–449, 2019.
- [44] KIZHAKKAN, A. R.; RATHORE, A. K.; AWASTHI, A. Review of electric vehicle charging station location planning. In: IEEE. *2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India)*. [S.l.], 2019. p. 1–5.
- [45] DEB, S.; ALAM, S. Comprehensive review of planning models for charging station placement. In: IEEE. *2021 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*. [S.l.], 2021. p. 33–38.
- [46] BILAL, M.; RIZWAN, M. Electric vehicles in a smart grid: a comprehensive survey on optimal location of charging station. *IET Smart Grid*, IET, v. 3, n. 3, p. 267–279, 2020.
- [47] MEYER, D.; WANG, J. Integrating ultra-fast charging stations within the power grids of smart cities: a review. *IET Smart Grid*, IET, v. 1, n. 1, p. 3–10, 2018.
- [48] GHASEMI-MARZBALI, A. Fast-charging station for electric vehicles, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, Elsevier, v. 49, p. 104136, 2022.
- [49] METAIS, M.-O.; JOUINI, O.; PEREZ, Y.; BERRADA, J.; SUOMALAINEN, E. Too much or not enough? planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 153, p. 111719, 2022.
- [50] JANG, Y. J. Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Elsevier, v. 95, p. 844–866, 2018.
- [51] DEB, S.; TAMMI, K.; KALITA, K.; MAHANTA, P. Review of recent trends in charging infrastructure planning for electric vehicles. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, Wiley Online Library, v. 7, n. 6, p. e306, 2018.
- [52] KHADEM, N. K.; NICKKAR, A.; SHIN, H.-S. A review of different charging stations optimal localization models and analysis functions for the electric vehicle charging infrastructure. In: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS RESTON, VA. *International Conference on Transportation and Development 2020*. [S.l.], 2020. p. 262–276.

- [53] MISHRA, S.; VERMA, S.; CHOWDHURY, S.; GAUR, A.; MOHAPATRA, S.; DWIVEDI, G.; VERMA, P. A comprehensive review on developments in electric vehicle charging station infrastructure and present scenario of india. *Sustainability*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 4, p. 2396, 2021.
- [54] SHEN, Z.-J. M.; FENG, B.; MAO, C.; RAN, L. Optimization models for electric vehicle service operations: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, Elsevier, v. 128, p. 462–477, 2019.
- [55] DEB, S. Machine learning for solving charging infrastructure planning: A comprehensive review. In: IEEE. *2021 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*. [S.l.], 2021. p. 16–22.
- [56] XIANG, Y.; HU, S.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LIU, J. Electric vehicles in smart grid: a survey on charging load modelling. *IET Smart Grid*, IET, v. 2, n. 1, p. 25–33, 2019.
- [57] ATALLAH, A. N.; CASTRO, A. A. Revisão sistemática da literatura e metanálise. *Medicina baseada em evidências: fundamentos da pesquisa clínica*. São Paulo: Lemos-Editorial, sn, p. 42–48, 1998.
- [58] SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, SciELO Brasil, v. 11, p. 83–89, 2007.
- [59] CAO, Y.; YANG, S.; MIN, G.; ZHANG, X.; SONG, H.; KAIWARTYA, O.; ASLAM, N. A cost-efficient communication framework for battery-switch-based electric vehicle charging. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 55, n. 5, p. 162–169, 2017.
- [60] WU, H. A survey of battery swapping stations for electric vehicles: Operation modes and decision scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, 2021.
- [61] MA, C.-T. System planning of grid-connected electric vehicle charging stations and key technologies: A review. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 21, p. 4201, 2019.
- [62] SHEPERO, M.; MUNKHAMMAR, J.; WIDÉN, J.; BISHOP, J. D.; BOSTRÖM, T. Modeling of photovoltaic power generation and electric vehicles charging on city-scale: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 89, p. 61–71, 2018.
- [63] RAHMAN, I.; VASANT, P. M.; SINGH, B. S. M.; ABDULLAH-AL-WADUD, M. Optimisation of phev/ev charging infrastructures: a review. *International Journal of Energy Technology and Policy*, Inderscience Publishers Ltd, v. 10, n. 3-4, p. 280–296, 2014.
- [64] MWASILU, F.; JUSTO, J. J.; KIM, E.-K.; DO, T. D.; JUNG, J.-W. Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 34, p. 501–516, 2014.
- [65] KUCUKOGLU, I.; DEWIL, R.; CATTRYSSE, D. The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 161, p. 107650, 2021.

- [66] XIAO, Y.; ZHANG, Y.; KAKU, I.; KANG, R.; PAN, X. Electric vehicle routing problem: A systematic review and a new comprehensive model with nonlinear energy recharging and consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 151, p. 111567, 2021.
- [67] ARIAS-LONDOÑO, A.; MONTOYA, O. D.; GRISALES-NOREÑA, L. F. A chronological literature review of electric vehicle interactions with power distribution systems. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 11, p. 3016, 2020.
- [68] NAUMANEN, M.; UUSITALO, T.; HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E.; HAVE, R. van der. Development strategies for heavy duty electric battery vehicles: Comparison between china, eu, japan and usa. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier, v. 151, p. 104413, 2019.
- [69] SANGUESA, J. A.; TORRES-SANZ, V.; GARRIDO, P.; MARTINEZ, F. J.; MARQUEZ-BARJA, J. M. A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 4, n. 1, p. 372–404, 2021.
- [70] ABDALRAHMAN, A.; ZHUANG, W. A survey on pev charging infrastructure: Impact assessment and planning. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 10, p. 1650, 2017.
- [71] AHMADIAN, A.; MOHAMMADI-IVATLOO, B.; ELKAMEL, A. A review on plug-in electric vehicles: Introduction, current status, and load modeling techniques. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, SGEPRI, v. 8, n. 3, p. 412–425, 2020.
- [72] MUREDDU, M.; DAMIANO, A. Real-time integration of e-mobility data for the implementation of novel energy paradigms. In: IEEE. *2017 14th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC)*. [S.l.], 2017. p. 1–5.
- [73] KHALID, M. R.; KHAN, I. A.; HAMEED, S.; ASGHAR, M. J.; RO, J.-S. A comprehensive review on structural topologies, power levels, energy storage systems, and standards for electric vehicle charging stations and their impacts on grid. *IEEE Access*, IEEE, 2021.
- [74] NEOCHARGE. *Autonomia de um veículo elétrico*. jun. 2022. Url <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/autonomia>.
- [75] LÜ, X.; QU, Y.; WANG, Y.; QIN, C.; LIU, G. A comprehensive review on hybrid power system for pemfc-hev: Issues and strategies. *Energy conversion and Management*, Elsevier, v. 171, p. 1273–1291, 2018.
- [76] BARAN, R. A introdução de veículos elétricos no brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012.
- [77] BRAVO, D. M.; MEIRELLES, P. S.; GIALONARDO, W. Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no brasil. *Blucher Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 24–45, 2014.
- [78] SILVA, A. S. L. D.; CABRAL, J. E. D. O.; SOUSA, A. M. R.; MOURA, A. R. D.; LUNA, R. A. A trajetória da difusão da inovação de veículos elétricos no brasil.

- [79] HALBLEIB, A.; TURNER, M.; NABER, J. Control of battery electric vehicle charging for commercial time of day demand rate payers. In: IEEE. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*. [S.l.], 2012. p. 1–5.
- [80] ENERGY, U. D. of E. E. E. . R. *Alternative Fuels Data Center*. jun. 2022. Url <https://afdc.energy.gov/vehicles/fuelcell.html>.
- [81] NEOCHARGE. *Tipos de Carros Elétricos*. jun. 2022. Url <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>.
- [82] BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.*, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011.
- [83] BASSO, C. O impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema elétrico de potência. Universidade Federal do Pampa, 2011.
- [84] DOMINGUES, J. M.; PECORELLI-PERES, L. A.; BATISTA, M. S.; SENA, M.; VASCONCELLOS, A. P.; ROCHA, L.; AMINDE, N. Eficiência energética, tributação e políticas públicas no brasil: caso do veículo elétrico. *Políticas de protección ambiental en el siglo XXI| bmedidas tributarias, contaminación ambiental y empresa. Barcelona, ed. bJ. M. Bosch Editor*, p. 111–137, 2013.
- [85] (PSD/TO), S. I. Projeto de lei n° 403, de 2022. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/151951>.
- [86] TRANSPORTES, M. dos. Frota de veículos - 2022. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022>.
- [87] ABVE. Vendas de eletrificados leves disparam em julho. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/vendas-de-eletrificados-leves-disparam-em-julho-e-batem-novo-recorde/>.
- [88] ABVE. Eletromobilidade, maio 23: mês de todos os recordes. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/maio-de-2023-mes-de-todos-os-recordes/>.
- [89] ABVE. Mais de 10 mil veículos 100% elétricos em circulação. Acesso em 18 de nov. de 2022. Disponível em: <https://www.abve.org.br/brasil-ja-tem-mais-de-10-mil-veiculos-leves-eletricos-em-circulacao/>.
- [90] ABVE. Brasil já tem 114 modelos de veículos eletrificados. Acesso em 18 de nov. de 2022. Disponível em: <https://www.abve.org.br/brasil-ja-tem-114-modelos-de-veiculos-eletrificados/>.
- [91] TOYOTA. Valor de venda corolla híbrido - agosto 2023. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/modelos/corolla>.

- [92] RENAULT. Valor de venda kwid elétrico - agosto 2023. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/kwid-etech.html?CAMPAIGN=br-pt-r-t-def-model-kwid-etech-go-classic-shop-institucional&ORIGIN=sea_defensive&gclsrc=aw.ds&gad=1&gclid=CjwKCAjwivemBhBhEiwAJxNWN1merskSYancVpH1sR_uPEjj0oIwDXui8cLywZqp0WZesvBoC9_wQAvD_BwE.
- [93] RENAULT. Valor de venda kwid zen - agosto 2023. Acesso em 16 de ago. de 2023. Disponível em: https://www.renault.com.br/veiculos-de-passeio/kwid/versoes-e-precos.html?gradeCode=ENS_MDL2P1SERIELIM1.
- [94] DARGAY, J.; GATELY, D.; SOMMER, M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030. *The energy journal*, International Association for Energy Economics, v. 28, n. 4, 2007.
- [95] CASTRO, J. F.; ROSAS, P. A.; MEDEIROS, L. H.; SILVA, A. M. L. da. Operating reserve assessment in systems with energy storage and electric vehicles. In: IEEE. *2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*. [S.l.], 2020. p. 1–6.
- [96] GARRIDO, G. M.; MIEHLE, D.; LUCKOW, A.; MATTHES, F. A blockchain-based flexibility market platform for ev fleets. In: IEEE. *2020 Clemson University power systems conference (PSC)*. [S.l.], 2020. p. 1–8.
- [97] BUNDESNETZAGENTUR. Monitoring report 2018. p. 173, 2019.
- [98] JOOS, M.; STAFFELL, I. Short-term integration costs of variable renewable energy: Wind curtailment and balancing in britain and germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 86, p. 45–65, 2018.
- [99] JANNATI, M.; FOROUTAN, E.; MOUSAVI, S. M. S.; GRIJALVA, S. An intelligent energy management system to use parking lots as energy storage systems in smoothing short-term power fluctuations of renewable resources. *Journal of Energy Storage*, Elsevier, v. 32, p. 101905, 2020.
- [100] TAO, Y.; QIU, J.; LAI, S.; SUN, X.; ZHAO, J. Adaptive integrated planning of electricity networks and fast charging stations under electric vehicle diffusion. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, 2022.
- [101] TERCAN, S. M.; ELMA, O.; GOKALP, E.; CALI, U. An expansion planning method for extending distributed energy system lifespan with energy storage systems. *Energy Exploration & Exploitation*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 40, n. 2, p. 599–618, 2022.
- [102] GROUP, D. What are ancillary services? Acesso em 22 de nov. de 2022. Disponível em: <https://www.drax.com/power-generation/what-are-ancillary-services/>.
- [103] ALIPOUR, M.; MOHAMMADI-IVATLOO, B.; MORADI-DALVAND, M.; ZARE, K. Stochastic scheduling of aggregators of plug-in electric vehicles for participation in energy and ancillary service markets. *Energy*, Elsevier, v. 118, p. 1168–1179, 2017.

- [104] SALDAÑA, G.; MARTIN, J. I. S.; ZAMORA, I.; ASENSIO, F. J.; OÑEDERRA, O. Electric vehicle into the grid: Charging methodologies aimed at providing ancillary services considering battery degradation. *Energies*, MDPI, v. 12, n. 12, p. 2443, 2019.
- [105] YAO, F.; WANG, J.; WEN, F.; TSENG, C.-L.; ZHAO, X.; WANG, Q. An integrated planning strategy for a power network and the charging infrastructure of electric vehicles for power system resilience enhancement. *Energies*, MDPI, v. 12, n. 20, p. 3918, 2019.
- [106] ZHAO J.; WEN, F. Y. A. Impacts of electric vehicles on power systems versus the dispatching and control problems. *Autom. Electr. Power Syst*, v. 35, p. 2–10, 2011.
- [107] GÓMEZ, J. C.; MORCOS, M. M. Impact of ev battery chargers on the power quality of distribution systems. *IEEE transactions on power delivery*, IEEE, v. 18, n. 3, p. 975–981, 2003.
- [108] BRATI, R.; MARIA, L. Analysis of the impacts of the electrification of the vehicle fleet in the electric power system in curitiba. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, SciELO Brasil, v. 61, 2018.
- [109] TESKE, F.; FEHRLE, A.; PRASS, J.; FRANKE, J. Adapted pricing scheme for the integration of vehicle-to-grid into the energy system. In: IEEE. *2021 11th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*. [S.l.], 2021. p. 1–7.
- [110] PINTÉR, G.; VINCZE, A.; BARANYAI, N. H.; ZSIBORÁCS, H. Boat-to-grid electrical energy storage potentials around the largest lake in central europe. *Applied Sciences*, MDPI, v. 11, n. 16, p. 7178, 2021.
- [111] HEILMANN, C.; WOZABAL, D. How much smart charging is smart? *Applied Energy*, Elsevier, v. 291, p. 116813, 2021.
- [112] BAHERIFARD, M. A.; KAZEMZADEH, R.; YAZDANKHAH, A. S.; MARZBAND, M. Intelligent charging planning for electric vehicle commercial parking lots and its impact on distribution network's imbalance indices. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Elsevier, v. 30, p. 100620, 2022.
- [113] TENA, D. Luca de; PREGGER, T. Impact of electric vehicles on a future renewable energy-based power system in europe with a focus on germany. *International Journal of Energy Research*, Wiley Online Library, v. 42, n. 8, p. 2670–2685, 2018.
- [114] WANG, Z.; WANG, S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems. *IEEE Transactions on power delivery*, IEEE, v. 28, n. 3, p. 1822–1829, 2013.
- [115] HABIB, S.; KHAN, M. M.; ABBAS, F.; TANG, H. Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons. *International Journal of Energy Research*, Wiley Online Library, v. 42, n. 11, p. 3416–3441, 2018.
- [116] HADIAN, E.; AKBARI, H.; FARZINFAR, M.; SAEED, S. Optimal allocation of electric vehicle charging stations with adopted smart charging/discharging schedule. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 196908–196919, 2020.

- [117] BETANCOURT-TORCAT, A.; PODDAR, T.; ALMANSOORI, A. A realistic framework to a greener supply chain for electric vehicles. *International Journal of Energy Research*, Wiley Online Library, v. 43, n. 6, p. 2369–2390, 2019.
- [118] SCHMIDT, J.; BUSSE, S. The value of is to ensure the security of energy supply—the case of electric vehicle charging. 2013.
- [119] BORBA, B. S. M.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: The case of wind generation in northeastern brazil. *Energy*, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 469–481, 2012.
- [120] BIE, R. A. de. Methodology of systematic reviews: an introduction. *Physical Therapy Reviews*, Taylor & Francis, v. 1, n. 1, p. 47–51, 1996.
- [121] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015.
- [122] BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA*, v. 3, n. 2, 2016.
- [123] GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da informação*, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.
- [124] SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual review of psychology*, Annual Reviews, v. 70, p. 747–770, 2019.
- [125] GREWAL, D.; PUCCINELLI, N.; MONROE, K. B. Meta-analysis: integrating accumulated knowledge. *Journal of the Academy of Marketing Science*, Springer, v. 46, n. 1, p. 9–30, 2018.
- [126] LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. *Systematic reviews and meta-analysis*. [S.l.]: Oxford University Press, 2008.
- [127] GEYSKENS, I.; KRISHNAN, R.; STEENKAMP, J.-B. E.; CUNHA, P. V. A review and evaluation of meta-analysis practices in management research. *Journal of Management*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 35, n. 2, p. 393–419, 2009.
- [128] LIPSEY, M. W.; WILSON, D. B. *Practical meta-analysis*. [S.l.]: SAGE publications, Inc, 2001.
- [129] POPE, C.; MAYS, N.; POPAY, J. Synthesizing quantitative and qualitative health research. *Adelaide: Ramsay Books*, 2007.
- [130] CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. *Designing and conducting mixed methods research*. [S.l.]: Sage publications, 2017.
- [131] LAHER, S.; HASSEM, T. Doing systematic reviews in psychology. *South African Journal of Psychology*, SAGE Publishing, v. 50, n. 4, p. 450–468, 2020.

- [132] CHALMERS, I.; HEDGES, L. V.; COOPER, H. A brief history of research synthesis. *Evaluation & the health professions*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 25, n. 1, p. 12–37, 2002.
- [133] GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, Wiley Online Library, v. 26, n. 2, p. 91–108, 2009.
- [134] NEWMAN, M.; GOUGH, D. Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application. *Systematic reviews in educational research*, Springer VS, Wiesbaden, p. 3–22, 2020.
- [135] UMAN, L. S. Systematic reviews and meta-analyses. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry, v. 20, n. 1, p. 57, 2011.
- [136] CHERRY, M.; DICKSON, R. Defining my review question and identifying inclusion and exclusion criteria. *Doing a systematic review: A student's guide*, p. 43–57, 2017.
- [137] JAHAN, N.; NAVEED, S.; ZESHAN, M.; TAHIR, M. A. How to conduct a systematic review: a narrative literature review. *Cureus*, Cureus, v. 8, n. 11, 2016.
- [138] STRECH, D.; SOFAER, N. How to write a systematic review of reasons. *Journal of Medical Ethics*, Institute of Medical Ethics, v. 38, n. 2, p. 121–126, 2012.
- [139] HIGGINS, J. P. green s. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version*, v. 5, n. 0, p. 2011, 2011.
- [140] BOOTH, A.; NOYES, J.; FLEMMING, K.; MOORE, G.; TUNÇALP, Ö.; SHAKIBAZADEH, E. Formulating questions to explore complex interventions within qualitative evidence synthesis. *BMJ global health*, BMJ Specialist Journals, v. 4, n. Suppl 1, p. e001107, 2019.
- [141] ASLAM, S.; EMMANUEL, P. Formulating a researchable question: A critical step for facilitating good clinical research. *Indian journal of sexually transmitted diseases and AIDS*, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 31, n. 1, p. 47, 2010.
- [142] LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GÖTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The prisma statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of clinical epidemiology*, Elsevier, v. 62, n. 10, p. e1–e34, 2009.
- [143] GOUGH, D.; THOMAS, J.; OLIVER, S. Clarifying differences between review designs and methods. *Systematic reviews*, BioMed Central, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2012.
- [144] DEHKORDI, A. H.; MAZAHERI, E.; IBRAHIM, H. A.; DALVAND, S.; GHESHLAGH, R. G. How to write a systematic review: a narrative review. *International Journal of Preventive Medicine*, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 12, 2021.
- [145] PRISMA. Prisma. Acesso em 19 de jan. de 2023. Disponível em: <https://prisma-statement.org/PRISMAStatement/>.

- [146] CASP. Casp systematic review checklist (2018). Acesso em 19 de jan. de 2023. Disponível em: https://casp-uk.net/images/checklist/documents/CASP-Systematic-Review-Checklist/CASP-Systematic-Review-Checklist_2018.pdf.
- [147] HONG, Q. N.; FÀBREGUES, S.; BARTLETT, G.; BOARDMAN, F.; CARGO, M.; DAGENAIS, P.; GAGNON, M.-P.; GRIFFITHS, F.; NICOLAU, B.; O’CATHAIN, A. The mixed methods appraisal tool (mmat) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for information*, IOS Press, v. 34, n. 4, p. 285–291, 2018.
- [148] HIGGINS, J. P.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2019.
- [149] SCHÜNEMANN, H. J.; MOJA, L. Reviews: rapid! rapid! rapid!... and systematic. *Systematic Reviews*, BioMed Central, v. 4, n. 1, p. 1–3, 2015.
- [150] HN, S. M. M.; HEYDARI, S.; MIRSAEEDI, H.; FEREDUNIAN, A.; KIAN, A. R. Optimally operating microgrids in the presence of electric vehicles and renewable energy resources. In: IEEE. *2015 Smart Grid Conference (SGC)*. [S.l.], 2015. p. 66–72.
- [151] ZIMMERLIN, M.; LITTIG, D.; HELD, L.; MUELLER, F.; KARAKUS, C.; SURIYAH, M. R.; LEIBFRIED, T. Optimal and efficient real time coordination of flexibility options in integrated energy systems. In: VDE. *International ETG-Congress 2019; ETG Symposium*. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- [152] AKBARI, T.; TAHERI, H.; ABROSHAN, M.; KAMALI, M. Scenario-based static dg expansion planning for a virtual power plant. *Modelling and Simulations*, p. 263, 2012.
- [153] PFEIFER, A.; DOBRAVEC, V.; PAVLINEK, L.; KRAJAČIĆ, G.; DUIĆ, N. Integration of renewable energy and demand response technologies in interconnected energy systems. *Energy*, Elsevier, v. 161, p. 447–455, 2018.
- [154] MEHRJERDI, H. Dynamic and multi-stage capacity expansion planning in microgrid integrated with electric vehicle charging station. *Journal of Energy Storage*, Elsevier, v. 29, p. 101351, 2020.
- [155] DIAS, A.; CARVALHO, P. M.; ALMEIDA, P.; RAPOPORT, S. Multi-objective distribution planning approach for optimal network investment with ev charging control. In: IEEE. *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- [156] ABDI, H.; MORADI, M.; RASHIDI, R. Hybrid transmission expansion planning and reactive power planning considering the real network uncertainties. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, Wiley Online Library, v. 35, n. 1, p. e2937, 2022.
- [157] FAN, V. H.; DONG, Z.; MENG, K. Integrated distribution expansion planning considering stochastic renewable energy resources and electric vehicles. *Applied Energy*, Elsevier, v. 278, p. 115720, 2020.

- [158] NAVON, A.; YOSEF, G. B.; MACHLEV, R.; SHAPIRA, S.; CHOWDHURY, N. R.; BELIKOV, J.; ORDA, A.; LEVRON, Y. Applications of game theory to design and operation of modern power systems: a comprehensive review. *Energies*, MDPI, v. 13, n. 15, p. 3982, 2020.
- [159] FAN, V. H.; MENG, K.; QIU, J.; DONG, Z. Stochastic distribution expansion planning with wind power generation and electric vehicles considering carbon emissions. In: IEEE. *2020 4th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*. [S.l.], 2020. p. 63–67.
- [160] XIE, S.; HU, Z.; WANG, J. Two-stage robust optimization for expansion planning of active distribution systems coupled with urban transportation networks. *Applied Energy*, Elsevier, v. 261, p. 114412, 2020.
- [161] WANG, S.; LUO, F.; DONG, Z. Y.; RANZI, G. Joint planning of active distribution networks considering renewable power uncertainty. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 110, p. 696–704, 2019.
- [162] KOLTSAKLIS, N. E.; DAGOUMAS, A. S. State-of-the-art generation expansion planning: A review. *Applied energy*, Elsevier, v. 230, p. 563–589, 2018.
- [163] RAMÍREZ, P.; PAPADASKALOPOULOS, D.; STRBAC, G. Impact of electric vehicles flexibility on generation expansion planning. In: IEEE. *IEEE PES ISGT Europe 2013*. [S.l.], 2013. p. 1–5.
- [164] SARID, A.; TZUR, M. The multi-scale generation and transmission expansion model. *Energy*, Elsevier, v. 148, p. 977–991, 2018.
- [165] BORDIN, C.; TOMASGARD, A. Smacs model, a stochastic multihorizon approach for charging sites management, operations, design, and expansion under limited capacity conditions. *Journal of Energy Storage*, Elsevier, v. 26, p. 100824, 2019.
- [166] XIE, S.; HU, Z.; WANG, J. Scenario-based comprehensive expansion planning model for a coupled transportation and active distribution system. *Applied Energy*, Elsevier, v. 255, p. 113782, 2019.
- [167] KORDKHEILI, R. A.; MOHAMMADI, M. Smart scheduling and economic analysis of electric vehicles for peak load shaving considering renewable energy resources. In: IEEE. *2015 Smart Grid Conference (SGC)*. [S.l.], 2015. p. 115–121.
- [168] KAMRUZZAMAN, M.; ZHANG, X.; ABDELMALAK, M.; BENIDRIS, M.; SHI, D. A method to evaluate the maximum hosting capacity of power systems to electric vehicles. In: IEEE. *2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*. [S.l.], 2020. p. 1–6.
- [169] HAN, D.; YAN, Z.; SONG, Y.; YANG, L.; HONG, Y. A robust optimization approach to evaluate the impact of smart grid technologies on generation plans. In: IEEE. *2014 International Conference on Power System Technology*. [S.l.], 2014. p. 1706–1711.
- [170] KHAYYAMIM, T.; NOUPARVAR, B.; SAFAEI, A.; JAHROM, S. N.; GILANI, N. S. A novel scheme for grid interconnection and protection of ev charging stations. In: IEEE. *2020 15th International Conference on Protection and Automation of Power Systems (IPAPS)*. [S.l.], 2020. p. 7–11.

- [171] STAUDT, P.; SCHMIDT, M.; GÄRTTNER, J.; WEINHARDT, C. A decentralized approach towards resolving transmission grid congestion in germany using vehicle-to-grid technology. *Applied energy*, Elsevier, v. 230, p. 1435–1446, 2018.
- [172] MILLS, G.; MACGILL, I. F. Assessing the generation capacity, energy, and ghg emission reduction value of public electric vehicle recharging infrastructure in the australian national electricity market. In: IEEE. *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)*. [S.l.], 2014. p. 1–7.
- [173] NOSKE, T.; HAASE, S.; KALIS, O. Automatic phase switch enables grid-compatible charging at decentral charging points. In: IET. *CIREN 2020 Berlin Workshop (CIREN 2020)*. [S.l.], 2020. v. 2020, p. 361–363.
- [174] WEIS, A.; JARAMILLO, P.; MICHALEK, J. Estimating the potential of controlled plug-in hybrid electric vehicle charging to reduce operational and capacity expansion costs for electric power systems with high wind penetration. *Applied Energy*, Elsevier, v. 115, p. 190–204, 2014.
- [175] WUSSOW, J.; MODICA, G.-L. D.; ENGEL, B. Grid-oriented charging of electric vehicles as approach for increasing penetration in residential areas. In: VDE. *International ETG-Congress 2019; ETG Symposium*. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- [176] COIGNARD, J.; SAXENA, S.; GREENBLATT, J.; WANG, D. Clean vehicles as an enabler for a clean electricity grid. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 13, n. 5, p. 054031, 2018.
- [177] ARIAS, N. B.; TABARES, A.; FRANCO, J. F.; LAVORATO, M.; ROMERO, R. Robust joint expansion planning of electrical distribution systems and ev charging stations. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, IEEE, v. 9, n. 2, p. 884–894, 2017.
- [178] FALAHATI, B.; FU, Y.; DARABI, Z.; FERDOWSI, M. Generation capacity extension in the power system with large-scale phev integration. In: IEEE. *PES T&D 2012*. [S.l.], 2012. p. 1–7.
- [179] TRPOVSKI, A.; BANERJEE, P.; XU, Y.; HAMACHER, T. A hybrid optimization method for distribution system expansion planning with lithium-ion battery energy storage systems. In: IEEE. *2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iS-PEC)*. [S.l.], 2020. p. 2015–2021.
- [180] CAO, K.-K.; PREGGER, T. Grid expansion, power-to-gas and solar power imports-multi-scenario analysis of large infrastructure options for the decarbonization of the. In: VDE. *International ETG-Congress 2019; ETG Symposium*. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- [181] CAÑAS-CARRETÓN, M.; CARRIÓN, M.; IOV, F. Towards renewable-dominated power systems considering long-term uncertainties: Case study of las palmas. *Energies*, MDPI, v. 14, n. 11, p. 3317, 2021.
- [182] CARRIÓN, M.; DOMÍNGUEZ, R.; ZÁRATE-MIÑANO, R. Influence of the controllability of electric vehicles on generation and storage capacity expansion decisions. *Energy*, Elsevier, v. 189, p. 116156, 2019.

- [183] TABANDEH, A.; HOSSAIN, M.; LI, L. Integrated multi-stage and multi-zone distribution network expansion planning with renewable energy sources and hydrogen refuelling stations for fuel cell vehicles. *Applied Energy*, Elsevier, v. 319, p. 119242, 2022.
- [184] SUN, Y. Y. Calculation and analysis of the effect with electric vehicle connected to the distributed system. In: TRANS TECH PUBL. *Applied Mechanics and Materials*. [S.l.], 2014. v. 448, p. 2416–2422.
- [185] ATAT, R.; ISMAIL, M.; SERPEDIN, E.; OVERBYE, T. Dynamic joint allocation of ev charging stations and dgs in spatio-temporal expanding grids. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 7280–7294, 2020.
- [186] MOZAFFARI, M.; ABYANEH, H. A.; JOOSHAKI, M.; MOEINI-AGHTAIE, M. Joint expansion planning studies of ev parking lots placement and distribution network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 16, n. 10, p. 6455–6465, 2020.
- [187] CELLI, G.; MOCCI, S.; PILO, F.; SOMA, G. G.; CICORIA, R.; MAURI, G.; FASCILOLO, E.; FOGLIATA, G. Distribution network planning in presence of fast charging stations for ev. IET, 2013.
- [188] OLIA, S. A. H. S.; JOOSHAKI, M.; MOEINI-AGHTAIE, M.; FOTUHI-FIRUZABAD, M. Developing a multi-objective framework for planning studies of modern distribution networks. In: IEEE. *2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*. [S.l.], 2016. p. 1–6.
- [189] ABDI, H.; MORADI, M.; LUMBRERAS, S. Metaheuristics and transmission expansion planning: A comparative case study. *Energies*, MDPI, v. 14, n. 12, p. 3618, 2021.
- [190] MOELLER, C.; KOTTHAUS, K.; ZDRALLEK, M.; SCHWEIGER, F. Comparison of incentive models for grid-supporting flexibility usage of private charging infrastructure. In: VDE. *ETG Congress 2021*. [S.l.], 2021. p. 1–6.
- [191] MORADIJOZ, M.; HEIDARI, J.; MOGHADDAM, M. P.; HAGHIFAM, M. R. Electric vehicle parking lots as a capacity expansion option in distribution systems: a mixed-integer linear programming-based model. *IET Electrical Systems in Transportation*, Wiley Online Library, v. 10, n. 1, p. 13–22, 2020.
- [192] LOEHR, L.; KELLERMANN, J.; SPREY, J. D.; MOSER, A. Impact of different charging strategies on the grid expansion needs of distribution grids. In: VDE. *NEIS 2018; Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems*. [S.l.], 2018. p. 1–6.
- [193] QUEVEDO, P. M. de; MUÑOZ-DELGADO, G.; CONTRERAS, J. Impact of electric vehicles on the expansion planning of distribution systems considering renewable energy, storage, and charging stations. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 10, n. 1, p. 794–804, 2017.
- [194] JAHROMI, S. N.; ASKARZADEH, A.; ABDOLLAHI, A. Modelling probabilistic transmission expansion planning in the presence of plug-in electric vehicles uncertainty

- by multi-state markov model. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Wiley Online Library, v. 11, n. 7, p. 1716–1725, 2017.
- [195] MOGHADDAM, M. P.; MORADIJOZ, M.; HAGHIFAM, M.-R. Integrated planning of distribution system and gridable parking lots. In: IEEE. *2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- [196] XIANG, Y.; YANG, W.; LIU, J.; LI, F. Multi-objective distribution network expansion incorporating electric vehicle charging stations. *Energies*, MDPI, v. 9, n. 11, p. 909, 2016.
- [197] FAN, V. H.; WANG, S.; MENG, K.; DONG, Z. Y. Optimal shared mobility planning for electric vehicles in the distribution network. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Wiley Online Library, v. 13, n. 11, p. 2257–2267, 2019.
- [198] YAO, W.; CHUNG, C.; WEN, F.; QIN, M.; XUE, Y. Scenario-based comprehensive expansion planning for distribution systems considering integration of plug-in electric vehicles. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, v. 31, n. 1, p. 317–328, 2015.
- [199] GOMES, P. V.; SARAIVA, J. T.; COELHO, M.; DIAS, B.; WILLER, L.; JUNIOR, A. C. Impact of large fleets of plug-in-electric vehicles on transmission systems expansion planning. In: IEEE. *2018 Power Systems Computation Conference (PSCC)*. [S.l.], 2018. p. 1–7.
- [200] FAN, V. H.; MENG, K.; DONG, Z. Integration of electric vehicle load and charging infrastructure in distribution network. In: IEEE. *2021 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*. [S.l.], 2021. p. 1–6.
- [201] WEI, M. Impact of plug-in hybrid electric vehicles on thermal generation expansion with high wind penetration. *Energy Reports*, Elsevier, v. 7, p. 278–285, 2021.
- [202] GOUVEIA, E. M.; COSTA, P. M.; SAGREDO, J.; SOROUDI, A. Transmission expansion planning in presence of electric vehicles at the distribution level. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Wiley Online Library, v. 31, n. 3, p. e12769, 2021.
- [203] IZQUIERDO, E. R.; ÉCIJA, A. M. Arizona long-term electric vehicles highway charging energy demand: An advanced geospatial analysis. In: IEEE. *2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*. [S.l.], 2019. p. 1–5.
- [204] QUEVEDO, P. M. de; MUÑOZ-DELGADO, G.; CONTRERAS, J. Joint expansion planning of distribution networks, ev charging stations and wind power generation under uncertainty. In: IEEE. *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*. [S.l.], 2017. p. 1–5.
- [205] CARVALLO, J. P.; BIELER, S.; COLLINS, M.; MUELLER, J.; GEHBAUER, C.; GOTHAM, D. J.; LARSEN, P. H. A framework to measure the technical, economic, and rate impacts of distributed solar, electric vehicles, and storage. *Applied Energy*, Elsevier, v. 297, p. 117160, 2021.
- [206] ESER, P.; CHOKANI, N.; ABHARI, R. S. Impacts of battery electric vehicles on the central european power system in 2030. In: IEEE. *2016 13th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2016. p. 1–5.

- [207] GOUIN, V.; HERAULT, M.-C. A.; RAISON, B. Stochastic integration of demand response and reconfiguration in distribution network expansion planning. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Wiley Online Library, v. 12, n. 20, p. 4536–4545, 2018.
- [208] ABDI-SIAB, M.; LESANI, H. Two-stage scenario-based dep incorporating pev using benders' decomposition. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Wiley Online Library, v. 14, n. 8, p. 1508–1520, 2020.
- [209] HEMMATI, R.; MEHRJERDI, H. Investment deferral by optimal utilizing vehicle to grid in solar powered active distribution networks. *Journal of energy storage*, Elsevier, v. 30, p. 101512, 2020.
- [210] PRASETYA, S.; LI, L.; HUNTER, G.; ZHU, J. G. Prospect of renewable energy utilization in a indonesian city through microgrid approach. In: IEEE. *2012 22nd Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. [S.l.], 2012. p. 1–6.
- [211] KLEIN, P.; CARTER-BROWN, C.; WRIGHT, J. G.; CALITZ, J. R. Supply and demand side flexibility options for high renewable energy penetration levels in south africa. *SAIEE Africa Research Journal*, South African Institute of Electrical Engineers, v. 110, n. 3, p. 111–124, 2019.
- [212] WANG, X.; SHAHIDEHPOUR, M.; JIANG, C.; LI, Z. Coordinated planning strategy for electric vehicle charging stations and coupled traffic-electric networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, v. 34, n. 1, p. 268–279, 2018.
- [213] MOHSENZADEH, A.; PANG, C.; PAZOUKI, S.; HAGHIFAM, M. Optimal siting and sizing of electric vehicle public charging stations considering smart distribution network reliability. In: IEEE. *2015 North American Power Symposium (NAPS)*. [S.l.], 2015. p. 1–6.
- [214] WEI, W.; WU, L.; WANG, J.; MEI, S. Expansion planning of urban electrified transportation networks: A mixed-integer convex programming approach. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, IEEE, v. 3, n. 1, p. 210–224, 2017.
- [215] EHSAN, A.; YANG, Q. Active distribution system reinforcement planning with ev charging stations—part ii: Numerical results. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, IEEE, v. 11, n. 2, p. 979–987, 2019.
- [216] LIU, X.; HUANG, X.; SUN, B.; PENG, H. Collaborative planning strategy for integrated power distribution systems and centralized ev charging stations. In: IEEE. *2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)*. [S.l.], 2020. p. 1067–1071.
- [217] GUO, L.; WEN, F.; WANG, K. Coordinated planning between charging facilities of electric vehicles and concerned distribution system considering random risk cost. In: IEEE. *2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems (SGES)*. [S.l.], 2020. p. 1027–1032.
- [218] BETANCOURT-TORCAT, A.; CHARRY-SANCHEZ, J.; ALMANSOORI, A.; AL-KATHERI, M.; FLETT, P.; ELKAMEL, A. An integrated electric vehicle network

- planning with economic and ecological assessment: Application to the incipient middle eastern market in transition towards sustainability. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 302, p. 126980, 2021.
- [219] SHAO, C.; LI, K.; HU, Z.; SHAHIDEHPOUR, M. Coordinated planning of electric power and natural gas distribution systems with refueling stations for alternative fuel vehicles in transportation system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, 2022.
- [220] GÖRANSSON, L.; LEHTVEER, M.; NYHOLM, E.; TALJEGARD, M.; WALTER, V. The benefit of collaboration in the north european electricity system transition—system and sector perspectives. *Energies*, MDPI, v. 12, n. 24, p. 4648, 2019.
- [221] MORADIJOZ, M.; MOGHADDAM, M. P.; HAGHIFAM, M.-R. A flexible distribution system expansion planning model: a dynamic bi-level approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 9, n. 6, p. 5867–5877, 2017.
- [222] GU, C.; ZHANG, Y.; WANG, J.; LI, Q. Joint planning of electrical storage and gas storage in power-gas distribution network considering high-penetration electric vehicle and gas vehicle. *Applied Energy*, Elsevier, v. 301, p. 117447, 2021.
- [223] MANRÍQUEZ, F.; SAUMA, E.; AGUADO, J.; TORRE, S. de la; CONTRERAS, J. The impact of electric vehicle charging schemes in power system expansion planning. *Applied Energy*, Elsevier, v. 262, p. 114527, 2020.
- [224] MERZIC, A.; MUSIC, M.; RASCIC, M.; HADZIMEJLIC, N. An integrated analysis for sustainable supply of remote winter tourist centers—a future concept case study. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, v. 24, n. 5, p. 3821–3837, 2016.
- [225] FOLEY, A.; LEAHY, P.; MCKEOGH, E.; GALLACHÓIR, B. Ó. Electric vehicles and displaced gaseous emissions. In: IEEE. *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. [S.l.], 2010. p. 1–6.
- [226] VILLAR, J.; OLAVARRÍA, B.; DOMÉNECH, S.; CAMPOS, F. A. Costs impact of a transition to hydrogen-fueled vehicles on the spanish power sector. *Utilities Policy*, Elsevier, v. 66, p. 101100, 2020.
- [227] ROSE, P. K.; NEUMANN, F. Hydrogen refueling station networks for heavy-duty vehicles in future power systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, v. 83, p. 102358, 2020.
- [228] BARINGO, L.; BOFFINO, L.; OGGIONI, G. Robust expansion planning of a distribution system with electric vehicles, storage and renewable units. *Applied Energy*, Elsevier, v. 265, p. 114679, 2020.
- [229] PRINA, M. G.; LIONETTI, M.; MANZOLINI, G.; SPARBER, W.; MOSER, D. Transition pathways optimization methodology through energyplan software for long-term energy planning. *Applied Energy*, Elsevier, v. 235, p. 356–368, 2019.
- [230] DOWDS, J.; HINES, P. D.; BLUMSACK, S. Estimating the impact of fuel-switching between liquid fuels and electricity under electricity-sector carbon-pricing schemes. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier, v. 47, n. 2, p. 76–88, 2013.

- [231] RATHORE, C.; ROY, R. Impact of wind uncertainty, plug-in-electric vehicles and demand response program on transmission network expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 75, p. 59–73, 2016.
- [232] BROWN, T.; SCHLACHTBERGER, D.; KIES, A.; SCHRAMM, S.; GREINER, M. Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost-optimised, highly renewable european energy system. *Energy*, Elsevier, v. 160, p. 720–739, 2018.
- [233] GYANWALI, K.; BHATTARAI, A.; BAJRACHARYA, T. R.; KOMIYAMA, R.; FUJII, Y. Assessing green energy growth in nepal with a hydropower-hydrogen integrated power grid model. *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier, v. 47, n. 34, p. 15133–15148, 2022.
- [234] ALABI, O.; TURNER, K.; KATRIS, A.; CALVILLO, C. Can network spending to support the shift to electric vehicles deliver wider economy gains? the role of domestic supply chain, price, and real wage effects. *Energy Economics*, Elsevier, v. 110, p. 106001, 2022.
- [235] DIK, A.; OMER, S.; BOUKHANOUF, R. Electric vehicles: V2g for rapid, safe, and green ev penetration. *Energies*, MDPI, v. 15, n. 3, p. 803, 2022.
- [236] LI, B.; CHEN, M.; MA, Z.; HE, G.; DAI, W.; LIU, D.; ZHANG, C.; ZHONG, H. Modeling integrated power and transportation systems: Impacts of power-to-gas on the deep decarbonization. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IEEE, v. 58, n. 2, p. 2677–2693, 2021.
- [237] BASU, M. Heat and power generation augmentation planning of isolated microgrid. *Energy*, Elsevier, v. 223, p. 120062, 2021.
- [238] HAENDEL, M.; STUTE, J. Grid expansion costs considering different price control strategies of power-to-x options based on dynamic tariffs at the low-voltage level. In: IEEE. *2019 16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- [239] MOKHTARI, M. S.; GITIZADEH, M.; LEHTONEN, M. Optimal coordination of thyristor controlled series compensation and transmission expansion planning: Distributionally robust optimization approach. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 196, p. 107189, 2021.
- [240] ZARE, A.; CHUNG, C.; KHORRAMDEL, B.; SAFARI, N.; OMARFARIED, S. A novel unscented transformation-based framework for distribution network expansion planning considering smart ev parking lots. In: IEEE. *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.
- [241] BRACHT, N. van; SKIBA, L.; MOSER, A. Capacity expansion planning revisited: Assessing the impact of electric vehicles on the european power system. In: IEEE. *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.
- [242] AMINI, S.; GHASEMI, S.; GOLPIRA, H.; ANVARI-MOGHADDAM, A. Corona-virus herd immunity optimizer (chio) for transmission expansion planning. In: IEEE. *2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and*

- 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC/I&CPS Europe)*. [S.l.], 2021. p. 1–6.
- [243] RAMÍREZ, P. J.; PAPADASKALOPOULOS, D.; STRBAC, G. Co-optimization of generation expansion planning and electric vehicles flexibility. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 7, n. 3, p. 1609–1619, 2015.
- [244] YAO, X.; FAN, Y.; ZHAO, F.; MA, S.-C. Economic and climate benefits of vehicle-to-grid for low-carbon transitions of power systems: A case study of china’s 2030 renewable energy target. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 330, p. 129833, 2022.
- [245] KELLER, V.; ENGLISH, J.; FERNANDEZ, J.; WADE, C.; FOWLER, M.; SCHOLTYSIK, S.; PALMER-WILSON, K.; DONALD, J.; ROBERTSON, B.; WILD, P. Electrification of road transportation with utility controlled charging: A case study for british columbia with a 93% renewable electricity target. *Applied Energy*, Elsevier, v. 253, p. 113536, 2019.
- [246] KARIMI-ARPAHAHI, S.; JOOSHAKI, M.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; LEHTONEN, M. Flexibility-oriented collaborative planning model for distribution network and ev parking lots considering uncertain behaviour of evs. In: IEEE. *2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*. [S.l.], 2020. p. 1–6.
- [247] LI, M.; LENZEN, M.; WANG, D.; NANSAI, K. Gis-based modelling of electric-vehicle-grid integration in a 100% renewable electricity grid. *Applied Energy*, Elsevier, v. 262, p. 114577, 2020.
- [248] MOTIE, S.; KEYNIA, F.; RANJBAR, M. R.; MALEKI, A. Generation expansion planning by considering energy-efficiency programs in a competitive environment. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 80, p. 109–118, 2016.
- [249] JAVID, A.; GHAFARI, M.; AKBARI, T.; TAHERI, H. Distributed generation expansion based on a multi-objective mathematical programming approach. In: IEEE. *2014 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*. [S.l.], 2014. p. 628–635.
- [250] BOROZAN, S.; GIANNELOS, S.; STRBAC, G. Strategic network expansion planning with electric vehicle smart charging concepts as investment options. *Advances in Applied Energy*, Elsevier, v. 5, p. 100077, 2022.
- [251] KELLER, V.; LYSENG, B.; WADE, C.; SCHOLTYSIK, S.; FOWLER, M.; DONALD, J.; PALMER-WILSON, K.; ROBERTSON, B.; WILD, P.; ROWE, A. Electricity system and emission impact of direct and indirect electrification of heavy-duty transportation. *Energy*, Elsevier, v. 172, p. 740–751, 2019.
- [252] WANG, S.; DONG, Z. Y.; CHEN, C.; FAN, H.; LUO, F. Expansion planning of active distribution networks with multiple distributed energy resources and ev sharing system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 11, n. 1, p. 602–611, 2019.

- [253] MOHSENI, S.; BRENT, A. C.; BURMESTER, D. Community resilience-oriented optimal micro-grid capacity expansion planning: The case of totarabank eco-village, new zealand. *Energies*, MDPI, v. 13, n. 15, p. 3970, 2020.
- [254] BACKE, S.; KORPÅS, M.; TOMASGARD, A. Heat and electric vehicle flexibility in the european power system: A case study of norwegian energy communities. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 125, p. 106479, 2021.
- [255] WU, T.; WEI, X.; ZHANG, X.; WANG, G.; QIU, J.; XIA, S. Carbon-oriented expansion planning of integrated electricity-natural gas systems with ev fast-charging stations. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, IEEE, v. 8, n. 2, p. 2797–2809, 2022.
- [256] VU, T. A stochastic methodology to determine reinforcement cost of power distribution grid for integrating increasing share of renewable energies and electric vehicles. In: IEEE. *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.
- [257] KARIMI-ARPAHAHI, S.; JOOSHAKI, M.; MOEIN-AGHTAIE, M.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; LEHTONEN, M. Considering forecasting errors in flexibility-oriented distribution network expansion planning using the spherical simplex unscented transformation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Wiley Online Library, v. 14, n. 24, p. 5970–5983, 2020.
- [258] GUNKEL, P. A.; BERGAENTZLÉ, C.; JENSEN, I. G.; SCHELLER, F. From passive to active: Flexibility from electric vehicles in the context of transmission system development. *Applied Energy*, Elsevier, v. 277, p. 115526, 2020.
- [259] BROZYNSKI, M. T.; LEIBOWICZ, B. D. Decarbonizing power and transportation at the urban scale: An analysis of the austin, texas community climate plan. *Sustainable cities and society*, Elsevier, v. 43, p. 41–54, 2018.
- [260] XIAO, S.; LEI, X.; HUANG, T.; WANG, X. Coordinated planning of fast charging station and distribution network based on an improved flow capture location model. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, CSEE, 2022.
- [261] ALABI, O.; TURNER, K.; FIGUS, G.; KATRIS, A.; CALVILLO, C. Can spending to upgrade electricity networks to support electric vehicles (evs) roll-outs unlock value in the wider economy? *Energy Policy*, Elsevier, v. 138, p. 111117, 2020.
- [262] KABLI, M.; QUDDUS, M. A.; NURRE, S. G.; MARUFUZZAMAN, M.; USHER, J. M. A stochastic programming approach for electric vehicle charging station expansion plans. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 220, p. 107461, 2020.
- [263] ALAM, M. S.; AREFIFAR, S. A. Hybrid pso-ts based distribution system expansion planning for system performance improvement considering energy management. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 221599–221611, 2020.
- [264] YU, L.; LI, Y.; SHAN, B.; HUANG, G.; XU, L. A scenario-based interval-stochastic basic-possibilistic programming method for planning sustainable energy system under

- uncertainty: A case study of beijing, china. *Journal of cleaner production*, Elsevier, v. 197, p. 1454–1471, 2018.
- [265] HEYMAN, F.; SILVA, J.; MIRANDA, V.; MELO, J.; SOARES, F. J.; PADILHA-FELTRIN, A. Distribution network planning considering technology diffusion dynamics and spatial net-load behavior. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 106, p. 254–265, 2019.
- [266] HAJEBRAHIMI, A.; KAMWA, I.; DELAGE, E.; ABDELAZIZ, M. M. A. Adaptive distributionally robust optimization for electricity and electrified transportation planning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 11, n. 5, p. 4278–4289, 2020.
- [267] KIPPELT, S.; WAGNER, C.; REHTANZ, C. Consideration of new electricity applications in distribution grid expansion planning and the role of flexibility. In: VDE. *International ETG Congress 2017*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- [268] GILS, H. C.; SIMON, S. Carbon neutral archipelago–100% renewable energy supply for the canary islands. *Applied energy*, Elsevier, v. 188, p. 342–355, 2017.
- [269] ABDI-SIAB, M.; LESANI, H. Distribution expansion planning in the presence of plug-in electric vehicle: A bilevel optimization approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 121, p. 106076, 2020.
- [270] SAADATI, R.; SAEBI, J.; JAFARI-NOKANDI, M. Effect of uncertainties on siting and sizing of charging stations and renewable energy resources: A modified capacitated flow-refueling location model. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Elsevier, p. 100759, 2022.
- [271] MCPHERSON, M.; KARNEY, B. A scenario based approach to designing electricity grids with high variable renewable energy penetrations in ontario, canada: Development and application of the silver model. *Energy*, Elsevier, v. 138, p. 185–196, 2017.
- [272] ZENG, B.; FENG, J.; ZHANG, J.; LIU, Z. An optimal integrated planning method for supporting growing penetration of electric vehicles in distribution systems. *Energy*, Elsevier, v. 126, p. 273–284, 2017.
- [273] CASTANON, R.; FERNANDEZ, F. A. C.; MARTINEZ, S. D.; COLLADO, J. V. An electricity generation expansion model with icev and pev investments. In: IEEE. *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.
- [274] GOVERNMENT, C. Canadian net-zero emissions accountability act. Acesso em 21 de nov. de 2022. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/net-zero-emissions-2050/canadian-net-zero-emissions-accountability-act.html>.
- [275] COMMISSION, E. European climate law. Acesso em 21 de nov. de 2022. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en.
- [276] LAZZERONI, P.; CAROLEO, B.; ARNONE, M.; BOTTA, C. A simplified approach to estimate ev charging demand in urban area: An italian case study. *Energies*, MDPI, v. 14, n. 20, p. 6697, 2021.

- [277] UNIDAS, N. População mundial atinge 8 bilhões de pessoas. Acesso em 21 de nov. de 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>.
- [278] MARTIN, H.; BUFFAT, R.; BUCHER, D.; HAMPER, J.; RAUBAL, M. Using rooftop photovoltaic generation to cover individual electric vehicle demand—a detailed case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 157, p. 111969, 2022.
- [279] BRIEF, C. D. China is fast outpacing us stem phd growth. 2021.
- [280] UNIDO, G. do R. *COP26 The Glasgow Climate Pact*. nov. 2021. Url <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230401054904/https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>.
- [281] WATCH, C. *What climate commitments has Iran submitted?* jul. 2023. Url https://www.climatewatchdata.org/countries/IRN?end_year = 2020&show_previous_targets = false&start_year = 1990.
- [282] FUTURE, C. L. T. *ELECTRIC VEHICLE REGULATION AND LAW IN IRAN*. jul. 2023. Url <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-electric-vehicles/iran>.
- [283] INTELLIGENCE, M. *IRAN VEHICLE MARKET SIZE SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS FORECASTS (2023 - 2028)*. jul. 2023. Url <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iran-vehicles-market>.
- [284] ELECTROMAPS. *List of charging stations for electric vehicles in Iran*. jul. 2023. Url <https://www.electromaps.com/en/charging-stations/iran>.
- [285] LEWIS, J.; SCHNEEGANS, S.; STRAZA, T. *UNESCO Science Report: The race against time for smarter development*. [S.l.]: Unesco Publishing, 2021.

APÊNDICE A - Tabela com todos os artigos e seus temas principais e os problemas que motivaram a sua elaboração

Tabela A.1: Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 1

Referência	País	Problemas							Soluções								Planejamento Expansão		
		1	2	3	4	5	5	7	1	2	3	4	5	6	7	8	Geração	Transmissão	Distribuição
[150]	EUA					X					X	X		X					
[167]	Irã			X				X	X			X	X						
[170]	Irã	X						X	X			X							
[175]	Alemanha		X					X				X							
[151]	Alemanha					X				X			X						
[180]	Alemanha	X				X		X	X	X	X		X			X	X		
[168]	EUA			X				X	X			X							
[152]	Irã					X			X	X	X				X				
[184]	China	X				X							X						
[118]	Alemanha					X		X	X		X	X	X			X			
[21]	Irã	X		X				X	X		X	X	X						X
[16]	Alemanha	X	X	X				X	X			X	X				X		
[176]	EUA		X					X	X	X		X	X			X			
[171]	Alemanha	X						X	X			X	X				X		
[212]	China						X	X	X			X							X
[117]	Alemanha	X				X	X	X		X		X				X	X		X
[105]	China					X		X					X			X			
[185]	EUA				X		X	X			X	X				X			
[237]	India		X		X			X		X						X			
[238]	Alemanha				X	X				X	X								X
[224]	Bosnia Herzegovina	X							X		X		X						X
[169]	China			X				X				X				X			
[26]	Holanda							X	X			X							
[215]	Reino Unido	X				X	X			X		X							X
[154]	Qatar				X				X	X							X		
[240]	Canadá	X	X					X	X	X		X	X						X
[242]	Irã	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X		
[243]	Reino Unido	X			X		X		X	X		X	X			X			
[2]	Irlanda	X						X		X		X	X			X			
[246]	Irã			X	X		X	X	X	X		X	X						X

Tabela A.2: Classificação dos artigos conforme o problema e a solução - Parte 2

Referência	País	Problemas							Soluções								Planejamento Expansão		
		1	2	3	4	5	5	7	1	2	3	4	5	6	7	8	Geração	Transmissão	Distribuição
[178]	EUA		X					X		X			X				X		
[172]	Austrália	X						X	X	X			X				X		
[249]	Irã	X	X								X	X					X		
[216]	China	X					X	X	X				X						X
[252]	Austrália					X	X		X		X	X							X
[255]	China	X		X			X		X								X		
[225]	Irlanda	X								X	X			X			X		
[213]	China						X	X	X				X						X
[22]	Brasil				X	X		X			X	X	X				X		
[217]	China	X					X	X	X				X						X
[187]	Itália					X		X		X			X						X
[256]	Alemanha	X			X			X					X						X
[173]	alemanha	X						X					X				X		
[210]	Indonésia		X							X	X	X		X			X		
[188]	Irã					X		X				X	X						X
[100]	Austrália					X	X	X	X				X	X			X	X	
[244]	China	X				X		X	X	X	X		X	X			X	X	
[190]	Alemanha					X		X					X	X					X
[36]	Reino Unido	X				X		X	X		X		X						X
[257]	Irã					X		X	X	X	X	X	X	X					X
[258]	Dinamarca	X					X		X	X	X			X			X	X	
[179]	Singapura		X					X	X				X						X
[226]	Espanha	X							X		X			X			X		
[158]	Israel					X			X					X	X				
[253]	Nova Zelândia					X	X				X			X					X
[261]	Reino Unido							X					X						
[191]	Irã					X		X	X	X			X	X					X
[247]	Austrália				X	X		X	X	X	X		X	X			X		X
[215]	Reino Unido	X					X	X			X		X						X
[262]	EUA		X				X	X	X				X				X		

APÊNDICE B – Tabela com as notas e
respostas de cada artigo que
compõe essa dissertação

Tabela B.1: Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 1

Referência	Perguntas de Pesquisa (Y or N)																Critério de Qualidade (Y, N, P)				Citações	Nota Final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
[150]	Y	N	N/A	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N/A	Y	16	6,5
[167]	N	N/A	N/A	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N/A	N	9	2
[170]	N	N/A	N/A	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	0	6
[175]	N	N/A	N/A	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N/A	Y	4	4
[151]	Y	N	N/A	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N/A	Y	5	5
[180]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N/A	Y	1	10
[168]	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	N	3	3
[152]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	2	9
[184]	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	Y	1	6
[118]	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	20	10,5
[21]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	3	11
[16]	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	11	8,5
[176]	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	65	13
[171]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	54	14
[212]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	100	10
[117]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	12	11,5
[105]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5	7,5
[185]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	9	9,5
[237]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5	10
[238]	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	3	11
[224]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	Y	7	10
[169]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	6	8
[26]	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y		8,5
[215]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	10	12,5
[154]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	49	14
[240]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	8
[242]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y		10
[243]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	64	14
[2]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	20	9,5
[246]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	3	12

Tabela B.2: Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 2

Referência	Perguntas de Pesquisa (Y or N)																Critério de Qualidade (Y, N, P)				Citações	Nota Final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
[178]	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N/A	Y	13	5,5
[172]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	4	10
[249]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	10
[216]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	7
[252]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	53	14
[255]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5	11
[225]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	14	9,5
[213]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y		9
[22]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	2	11,5
[217]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y		8
[187]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	11	7,5
[256]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	5	9
[173]	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y		7
[210]	N	N/A	N/A	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N/A	Y	2	7
[188]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	6	7
[100]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	0	10
[244]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	13	12,5
[190]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N/A	Y		5
[36]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	0	9,5
[257]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5	11,5
[258]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	50	16
[179]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	5	9
[226]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	2	9,5
[158]	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	14	11
[253]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N/A	Y	12	7,5
[261]	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	15	8,5
[191]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y		11,5
[247]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	30	16
[215]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	40	13
[262]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	29	11

Tabela B.3: Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 3

Referência	Perguntas de Pesquisa (Y or N)																Critério de Qualidade (Y, N, P)				Citações	Nota Final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
[19]	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N/A	Y	3	5
[245]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	26	12
[211]	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	Y	6	10
[203]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	1	10
[264]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	15	10,5
[221]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	51	9
[162]	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N/A	N	N	N	Y	Y	Y	Y	214	15
[241]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	10
[17]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	7	7
[214]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	65	11
[267]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	5	9
[268]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	180	14
[230]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	13	9,5
[251]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	33	13
[259]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	38	13
[269]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	13	11,5
[254]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	35	16
[174]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	107	13
[239]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5	8,5
[218]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	4	10
[265]	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	35	9
[248]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	34	12
[233]	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	1	7
[270]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	3	11
[119]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	210	12
[205]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	2	13
[271]	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	41	9
[272]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	37	14
[111]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y		15
[234]	N	N/A	N/A	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y		7

Tabela B.4: Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 4

Referência	Perguntas de Pesquisa (Y or N)																Critério de Qualidade (Y, N, P)				Citações	Nota Final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
[273]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	3	10,5
[219]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y		7
[235]	Y	N	N/A	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N/A	N	N	N	Y	Y	N	Y	6	8
[266]	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	18	14,5
[260]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y		9
[195]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y		10
[196]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	27	10,5
[153]	Y	Y	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	124	13
[207]	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	14	10
[220]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	38	13,5
[223]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	62	15
[208]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	9	12,5
[209]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	22	13
[113]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	48	14
[197]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	10	10
[186]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	37	14
[198]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	104	12
[177]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	99	12
[199]	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	10	12,5
[200]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	6
[155]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	8	8
[250]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	Y	19	13,5
[156]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	Y	4	9
[201]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	2	13
[181]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	6	12,5
[189]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	8	8,5
[202]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	3	8,5
[157]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	37	12
[227]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	60	13
[228]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	42	11

Tabela B.5: Classificação dos artigos conforme respostas as perguntas de pesquisa e critérios de qualidade - Parte 5

Referência	Perguntas de Pesquisa (Y or N)																Critério de Qualidade (Y, N, P)				Citações	Nota Final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
[159]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	9
[160]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	57	14
[263]	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	12	16
[182]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	12	12,5
[192]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	8
[161]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	42	14
[229]	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	104	11
[193]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	186	14
[204]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	7	10
[194]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	39	11,5
[163]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N/A	Y	6	9
[231]	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	66	13
[183]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	11	11
[164]	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	19	10,5
[165]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	19	10,5
[232]	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	515	16
[166]	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	28	13
[222]	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	22	12
[206]	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	N/A	Y	2	9
[236]	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	11	10,5