

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VITOR MORAIS DIAS FERNANDES

**AVANÇO DA MOBILIDADE ELÉTRICA, ALTERAÇÃO NO PERFIL DE CARGA E
SEU IMPACTO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

CURITIBA

2024

VITOR MORAIS DIAS FERNANDES

**AVANÇO DA MOBILIDADE ELÉTRICA, ALTERAÇÃO NO PERFIL DE CARGA E
SEU IMPACTO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

**ADVANCEMENT OF ELECTRIC MOBILITY, CHANGE IN THE LOAD PROFILE
AND ITS IMPACT ON THE DISTRIBUTION NETWORK**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Nastasha Salame da Silva, Dra. Eng.

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VITOR MORAIS DIAS FERNANDES

**AVANÇO DA MOBILIDADE ELÉTRICA, ALTERAÇÃO NO PERFIL DE CARGA E
SEU IMPACTO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica do curso Engenharia
Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28 de fevereiro de 2024.

Nastasha Salame da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Mariano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alvaro Augusto Waldrigues de Almeida
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2024

RESUMO

A crescente necessidade por tecnologias mais sustentáveis tem concentrado no setor de transporte. Os veículos a combustão, ainda predominantes, são grandes emissores de gases poluentes, logo para resolver esse problema é necessário o avanço da mobilidade elétrica em larga escala. A eletrificação do transporte é considerada prioridade em alguns países, especialmente na Europa, visando reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Diante desse cenário, grandes fabricantes de automóveis têm lançado modelos híbridos e totalmente elétricos para atender à crescente demanda. No entanto, os pontos de recarga para veículos elétricos são fundamentais, o crescimento dessa área no Brasil reflete a necessidade de atender à demanda desses novos veículos elétricos que ainda estão ganhando popularidade. Nesse contexto, este trabalho propõe uma análise do impacto decorrente do novo perfil de carga causado pelo carregamento dos veículos elétricos na rede de distribuição de energia. Com isso, serão desenvolvidas duas análises de cenário: uma sobre o impacto do carregamento de veículos elétricos na rede de distribuição no estado de São Paulo e outra para avaliar a viabilidade do uso de veículos elétricos em viagens de longa distância. À medida que a escala de recarregamento de veículos elétricos aumenta, os desafios impostos por esse novo perfil de carga crescem. Isso impacta significativamente tanto na rede de distribuição quanto no sistema de geração de energia. Em um cenário em que 50% dos veículos são puramente elétricos, o estado de São Paulo enfrentaria dificuldades, pois sua rede de distribuição atual não seria capaz de suportar essa nova demanda.

Palavras-chave: Veículo Elétrico; pontos de recarga; Mobilidade Elétrica; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The growing need for more sustainable technologies has been concentrated in the transport sector. Combustion vehicles, still predominant, are major emitters of polluting gases, so to solve this problem it is necessary to advance large-scale electric mobility. The electrification of transport is considered a priority in some countries, especially in Europe, with the aim of reducing greenhouse gas emissions. Given this scenario, major car manufacturers have launched hybrid and fully electric models to meet growing demand. However, charging infrastructure for electric vehicles is fundamental, the growth of this area in Brazil reflects the need to meet the demand for these new electric vehicles that are still gaining popularity. In this context, this work proposes an analysis of the impact resulting from the new load profile caused by charging electric vehicles on the energy distribution network. As a result, two scenario analyzes will be developed: one on the impact of charging electric vehicles on the distribution network in the state of São Paulo and another to assess the feasibility of using electric vehicles on long-distance trips. As the scale of electric vehicle charging increases, the challenges posed by this new charging profile grow. This significantly impacts both the distribution network and the energy generation system. In a scenario where 50% of vehicles are purely electric, the state of São Paulo would face difficulties, as its current infrastructure would not be able to support this new demand.

Keywords: Electric Vehicle; Charging Infrastructure; Electric Mobility; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Previsão do consumo brasileiro de Energia por setor em 2031	11
Figura 2 – Emissões nas atividades do setor de Energia no Brasil (1970 – 2019)	12
Figura 3 – Licenciamento de híbridos e elétricos e participação no licenciamento total.....	16
Figura 4 – Propaganda de carro Elétrico nos EUA em 1908.....	19
Figura 5 – Veículo Elétrico Híbrido	21
Figura 6 – Veículo Elétrico Híbrido Plug In	22
Figura 7 – Veículo Elétrico a bateria.....	23
Figura 8 – Veículo Elétrico a Célula Combustível	24
Figura 9 – Célula de combustível.....	26
Figura 10 – veículo movido a hidrogênio	27
Figura 11 – Ônibus movido a hidrogênio.....	27
Figura 12 – Bateria de Li-Ion de um veículo elétrico	28
Figura 13 – Preço histórico de baterias de Li-Ion (\$/kWh).....	29
Figura 14 – Carregador ultra-rápido da ABB (350 kW de potência).....	31
Figura 15 – Curva de Carga Horária (MWh).....	34
Figura 16 – Sistema Elétrico de distribuição residencial selecionado para o estudo de caso.	38
Figura 17 – Curva de carregamento de uma bateria de lítio-íon	40
Figura 18 – Estado de carga da bateria.....	41
Figura 19 – Potência reativa nas fases e Potência reativa total	41
Figura 20 – Fator de Potência total.....	42
Figura 21 – Maiores gerados de energia elétrica do Estado de São Paulo	46
Figura 22 – Nova Cadeia de Valor dos VEs.....	47
Figura 23 – Posto piloto Shell	48
Figura 24 – Maior estação de recarga no mundo	49
Figura 25 – Estimativas de estações de recarga (pública/semipública).....	51
Figura 26 – Veículos elétricos por ponto de recarga (pública e semipública), entre 2019 e 2023.....	52
Figura 27 - Rede de estações de recarga rápida no Paraná.....	53
Figura 28 - Rede de estações de recarga rápida no Sul e Sudeste	54
Figura 29 – Trajeto de Curitiba para Cascavel.....	61
Figura 30 – Resumo das Informações importantes (Cascavel).....	61
Figura 31 – Trajeto de Curitiba para Campo Mourão	63
Figura 32 – Trajeto de Curitiba para Campo Mourão	64
Figura 33 - Resumo de Informações importantes (Campo Mourão).....	64
Figura 34 - Viagem direta para Campo Mourão	65
Quadro 1 – Níveis de Recarga.....	31
Quadro 2 – Harmônicos Resultantes – Trafo de 75kVA – Inserção de 40% de veículos elétricos	38
Quadro 3 – Harmônicos Resultantes – Trafo de 150kVA – Inserção de 40% de veículos elétricos	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Previsão das montadoras interromperem a produção de carros à combustão	13
Tabela 2 – Quantidade e porcentagem de veículos no Brasil (novembro/23)....	14
Tabela 3 – Veículos elétricos com as maiores autonomias.....	29
Tabela 4 – Resumo informações relevantes para estudo dos cenários.....	43
Tabela 5 – Consumo energético no Estado de São Paulo.....	45
Tabela 6 – Resumo Cenário 1.....	56
Tabela 7 – Resumo Cenário 2.....	58
Tabela 8 – Resumo Cenário 3.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	Veículo Elétrico a bateria
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCEV	Veículo Elétrico a Célula Combustível
GGE	Gases do efeito Estufa
HEV	Veículo Híbrido
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PHEV	Veículo Elétrico Plug In
USP	Universidade de São Paulo
VE	Veículo Elétrico
SEP	Sistema Elétrico de Potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA	13
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS	14
1.4	OBJETIVOS	14
1.4.1	Objetivo Geral.....	14
1.4.2	Objetivo Específicos	15
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	METODOLOGIA DA PESQUISA	17
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS	18
2.1.1	Breve História dos Veículos Elétricos.....	18
2.1.2	Tipos de Veículos Elétricos	20
<u>2.1.2.1</u>	<u>Veículos Elétricos Híbridos</u>	<u>20</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Veículos Elétricos Híbrido plug in</u>	<u>21</u>
<u>2.1.2.3</u>	<u>Veículos Elétricos a bateria</u>	<u>22</u>
<u>2.1.2.4</u>	<u>Veículos Elétricos a Célula Combustível</u>	<u>24</u>
2.1.3	Baterias e Autonomia dos Veículos Elétricos	28
2.1.4	Modos de Recarga	30
2.1.5	Normas Técnicas Aplicáveis	32
<u>2.1.5.1</u>	<u>NTC 902210 – Estações de Recarga de Veículos Elétricos</u>	<u>32</u>
<u>2.1.5.2</u>	<u>NBR 61851 – Sistemas de Recarga Conduativa para Veículos Elétricos</u>	<u>32</u>
3	CENÁRIO BRASIL	34
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.2	Veículos Elétricos na Rede de Distribuição	35
3.2.1	Harmônicos	36
3.2.2	Fator de Potência	39
3.3	Cenários Futuros	42
3.4	Desafios da Mobilidade Elétrica em Larga Escala	46
3.4.1	Atual Cenário de Infraestrutura de Recarga para Veículos Elétricos.....	50
3.4.2	Eletrovia da Copel	53
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	56

4.1	IMPACTO DO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	56
4.1.1	Cenário 1 – 10% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo	56
4.1.2	Cenário 2 – 30% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo	57
4.1.3	Cenário 3 – 50% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo	59
4.2	ESTUDO DOS PONTOS DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO ESTADO DO PARANÁ.....	60
4.2.1	Cenário 1 – Viagem para o Cascavel	60
4.2.2	Cenário 2 – Viagem para Campo Mourão	62
4.3	PLANO DE AÇÃO/PREVISÃO	66
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE 1 – ENERGIA ELÉTRICA – CONSUMO POR REGIÃO ADMINISTRATIVA NO ESTADO DE SÃO PAULO	74
	APÊNDICE 2 – ANÁLISE DETALHADA DOS CENÁRIOS	76

1 INTRODUÇÃO

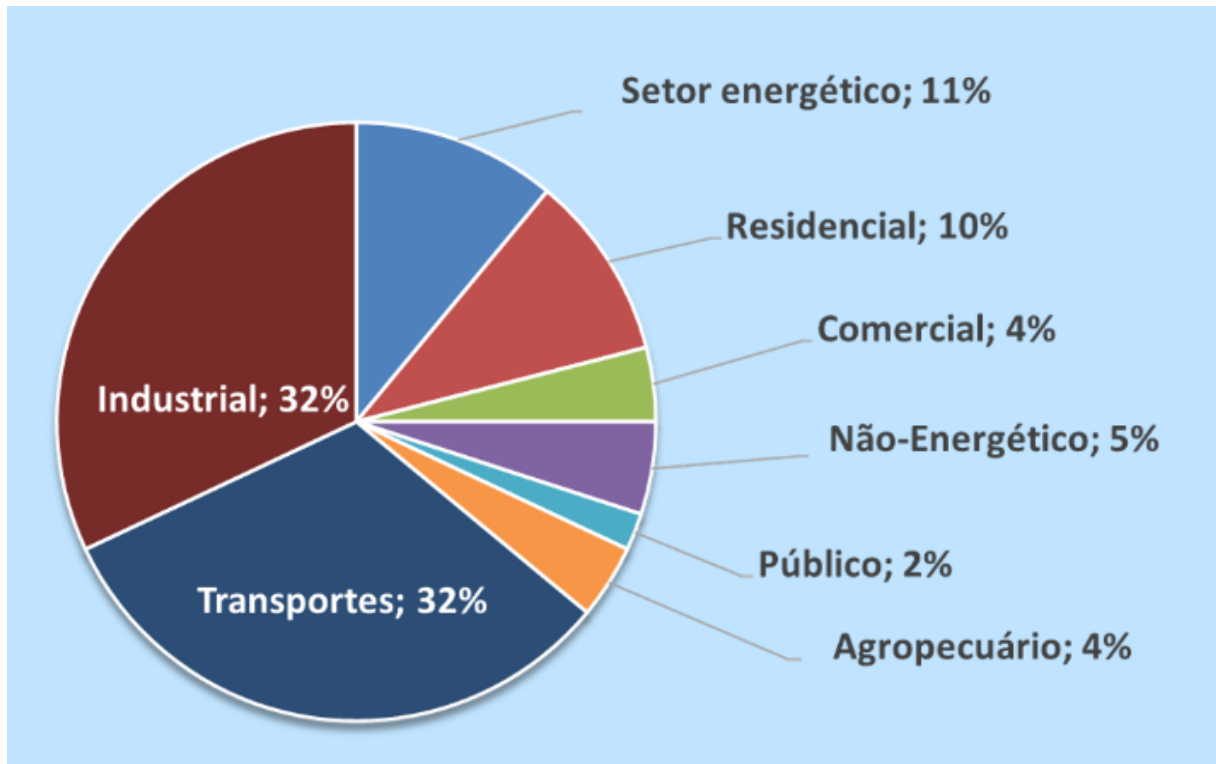
Preocupações relacionadas à diminuição dos impactos ambientais e à redução da dependência de combustíveis fósseis têm impulsionado o avanço de tecnologias mais sustentáveis. Isso não apenas beneficia o desenvolvimento de novas soluções, mas também fortalece aquelas que já se destacam globalmente, como as fontes de energia renovável. Atualmente, uma parcela significativa da população mundial enfrenta níveis elevados de poluentes atmosféricos, provenientes na sua grande maioria do setor de energia. Em áreas com rápido crescimento urbano, o setor de transporte amplia ainda mais a taxa dessas emissões (TOLEDO, 2019).

Nesse contexto, considerando a necessidade crucial de descarbonizar as economias globais e a influência do setor de transporte, o veículo elétrico tem ganhado destaque, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento sustentável (DELGADO, 2017). Além das preocupações ambientais, um estudo realizado no programa PROMOB-e analisou os países líderes na produção e venda de veículos elétricos, identificando motivadores essenciais, como saúde pública, avanço técnico e econômico no setor automobilístico, e oportunidades para o desenvolvimento de setores industriais inovadores (CONSONI, 2018).

Assim, a mobilidade elétrica não apenas endereça questões ambientais, mas também abre novas perspectivas para o desenvolvimento do setor automotivo, do setor elétrico e para a criação de novos modelos de negócios.

Atualmente, o transporte e a mobilidade desempenham um papel significativo nas economias globais e representam atividades indispensáveis no contexto atual. O transporte está presente em praticamente todos os aspectos da convivência em uma sociedade moderna, abrangendo a locomoção pessoal, a de produtos, alimentos, matérias primas e mercadorias em geral. Figura 1 a seguir, fornecida pelo plano decenal de expansão de energia da EPE, ilustra a proporção de energia consumida por cada setor econômico no Brasil em 2031, evidenciando a importância crucial do transporte nesse contexto (VONBUN, 2015).

Figura 1 – Previsão do consumo brasileiro de Energia por setor em 2031



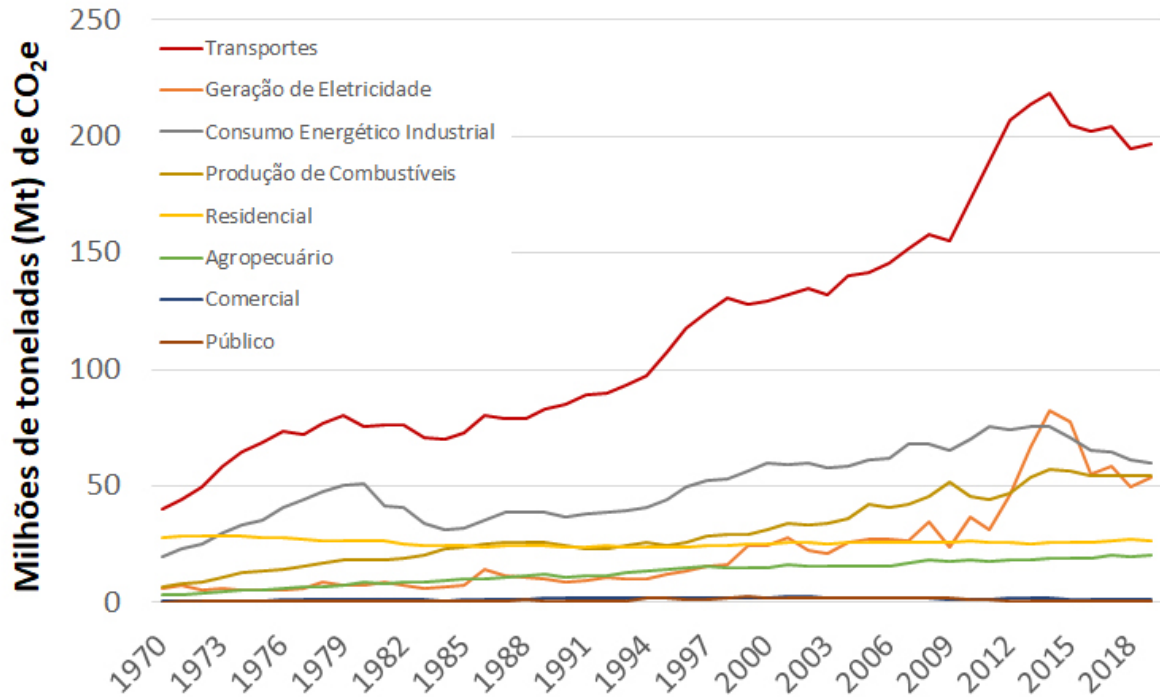
Fonte: EPE (2022)

Além disso, os veículos mais utilizados no sistema de transporte ainda funcionam por meio de motores de combustão, e devido à atual preocupação ambiental relacionada à emissão de gases poluentes, a solução encontrada para diminuir esse impacto é a substituição desses veículos pelos elétricos. Em comparação com os veículos a combustão, os veículos elétricos apresentam uma pegada ambiental significativamente reduzida, surgindo como uma inovação promissora no cenário global de transporte (RIECK; MACHIELSE; DUIN, 2017).

Nesse contexto, devido à necessidade de se reduzir os gases que intensificam o efeito estufa (GEE), a eletrificação dos sistemas de mobilidade urbana tornou-se uma prioridade em muitas nações. Segundo o relatório da 24ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP24) de 2018, o setor de transporte é responsável por 25% das emissões globais de GEE (ANGELO; RITTL, 2019). Este setor tem apresentado o maior crescimento nas emissões de CO₂ desde 2000, esta alta porcentagem é atribuída principalmente aos veículos leves, que representam 45% das emissões, seguidos por caminhões com 21%, navios e aviões, ambos com 11%

(BRITO, 2018). No Brasil, o setor energético é o principal emissor de GEE, sendo que, dentro deste setor, o transporte é o maior contribuinte, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Emissões nas atividades do setor de Energia no Brasil (1970 – 2019)



Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA (2020)

Durante a realização da 21ª Conferência das Nações Únicas sobre as Mudanças Climáticas (COP21) em Paris em 2015, os países participantes elaboraram as chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas, um documento que estabeleceu as metas a serem adotadas para reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Em setembro de 2016, o Brasil concluiu o processo de ratificação desse acordo, transformando as metas de aspirações em compromissos oficiais, agora denominados Contribuições Nacionalmente Determinadas. De acordo com esse documento, O Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030 em comparação aos níveis de 2000. É relevante notar que, mesmo em 2021, essas metas permanecem inalteradas (Ministério do Meio Ambiente, 2021).

Com isso, grandes fabricantes de automóveis estão se comprometendo a interromper a produção de veículos movidos a combustão. O principal objetivo é diminuir os efeitos das mudanças climáticas. Na Tabela 1 está indicado o ano em que

cada fabricante está se comprometendo a interromper as fabricações dos veículos à combustão na Europa.

Tabela 1 – Previsão das montadoras interromperem a produção de carros à combustão

Fabricantes de automóveis	Ano
Volvo (Europa)	2030
Alfa Romeo (Europa)	2027
Audi (Europa)	2033
Bentley (Europa)	2030
Ford (Europa)	2030
GM (Europa)	2035
Honda (Europa)	2025
Hyundai – Kia (Europa)	2035
Jaguar Land Rover (Europa)	2039
Renault (Europa)	2030
Volkswagen (Europa)	2035
Toyota	Não anunciado
Suzuki	Não anunciado
Mazda	Não anunciado

Fonte: Adaptado (Uol InsideEVs, 2023)

Novas áreas relacionadas a veículos elétricos estão crescendo no Brasil para suprir essa demanda de infraestrutura de carregamento. Um exemplo dessa área é o dos equipamentos de recarga para veículos elétricos, responsável por fornecer energia no recarregamento das baterias desses veículos.

Diante desse cenário, este trabalho propõe analisar a rede de distribuição com os veículos elétricos e seu impacto na adoção em larga escala.

1.1 TEMA

O aumento contínuo do número de veículos elétricos em circulação no Brasil, destaca a necessidade de pontos eficiente para a recarga deles.

Dado o significativo consumo de energia por parte dos veículos elétricos (Sawada, 2020). Diante desse cenário, torna-se interessante realizar uma análise da do impacto na rede de distribuição com o carregamento desses veículos. Essa análise envolve o comportamento da nova carga ao ser integrada à rede de distribuição de energia elétrica, avaliando as condições operacionais da rede, principalmente diante de um aumentando considerável da potência de demanda.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O aprofundamento do estudo é feito levando em consideração apenas a frota de veículos leve, na Tabela 2 é possível reparar a sua relevância no cenário brasileiro automobilístico.

Tabela 2 – Quantidade e porcentagem de veículos no Brasil (novembro/23)

Tipo de Veículo	Quantidade de veículos	Porcentagem de veículos
Automóvel	61.654.912	51,89%
Motocicleta	26.832.125	22,58%
Caminhonete	9.476.153	7,79%
Motoneta	5.705.903	4,80%
Camioneta	4.319.758	3,64%
Caminhão	3.082.495	2,59%
Reboque	2.247.069	1,89%
Utilitário	1.562.287	1,31%
Semi-Reboque	1.299.375	1,09%
Caminhão Trator	887.821	0,75%
Ônibus	706.918	0,59%
Ciclomotor	481.504	0,41%
Microônibus	443.428	0,37%
Triciclo	44.276	0,04%
Trator Rodas	38.229	0,03%
Outros	34.372	0,03%

Fonte: Adaptado (Ministério dos Transportes - SENATRAN, 2023)

Assim sendo, pela restrição à frota leve, a delimitação do tema se restringirá exclusivamente para infraestrutura dentro das cidades, voltada principalmente para o sistema de distribuição do estado de São Paulo.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

A substituição da frota de veículos movidos a combustão por veículos elétricos é considerada por muitos como um avanço, eliminando a dependência de combustíveis fósseis e reduzindo a emissão de poluentes. No entanto, surge o questionamento: nossa atual rede de distribuição é capaz de suporta, uma adoção em larga escala de veículos elétricos no longo prazo?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é estudar a alteração de carga com a adoção em larga escala de veículos elétricos e seu impacto na rede de distribuição.

1.4.2 Objetivo Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral deste trabalho, serão adotados os seguintes objetivos específicos:

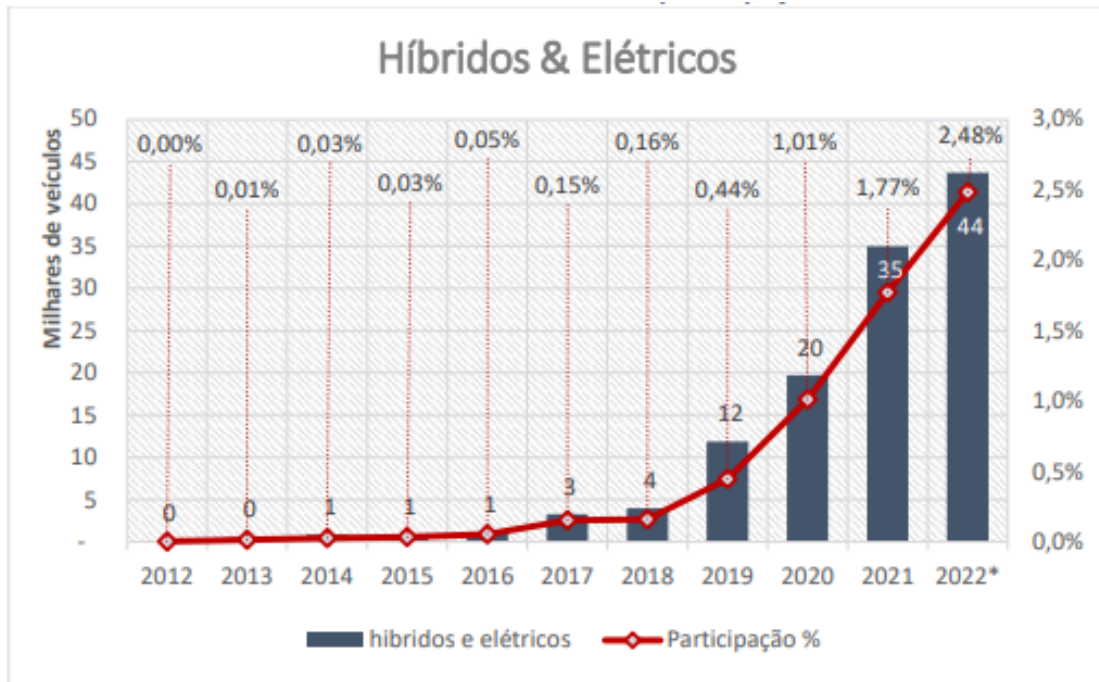
- Investigar o conceito de mobilidade elétrica, incluindo diversos modelos de veículos elétricos e seus padrões;
- Coletar dados sobre o mercado de veículos elétricos, considerando tanto os cenários internacional quanto nacional;
- Avaliar o panorama brasileiro da infraestrutura de recarga, abrangendo tipos, métodos disponíveis e demanda por estação de recarga;
- Discorrer sobre os desafios da mobilidade elétrica quando adotada em larga escala;
- Identificar as oportunidades existentes na área de infraestrutura de recarga, considerando aspectos relevantes para o avanço tecnológico e mercado.

1.5 JUSTIFICATIVA

A justificativa para realizar esse trabalho é fundamentada no atual crescimento da frota de veículos elétricos no Brasil, o que acarretará naturalmente em um aumento na demanda de carga na rede de distribuição das instalações elétricas.

A Figura 3 a progressão anual do licenciamento de veículos híbridos e elétricos, assim como a sua parcela na venda total de veículos leves desde o ano de 2012.

Figura 3 – Licenciamento de híbridos e elétricos e participação no licenciamento total



Fonte: EPE, ANFAVEA (2022)

No ano de 2021, as vendas de veículos híbridos e elétricos apresentaram um notável crescimento, superando significativamente os números de 2020, apesar dos desafios decorrentes da pandemia. O mercado registrou a comercialização de 35 mil unidades, representando um aumento expressivo de 77% em comparação com o ano anterior. Vale destacar que o ano de 2020 já havia apresentado um aumento de 67% em relação a 2019, com 19,7 mil unidades vendidas contra 11,9 mil. Notavelmente, os dados até novembro de 2022 apontam a venda de aproximadamente 44 mil veículos híbridos e elétricos, o que representa um aumento de 25% em relação ao total observado durante todo o ano de 2021. Esse comportamento positivo pode ser atribuído à crescente diversidade de modelos híbridos no mercado, bem como à manutenção do poder de compra de uma pequena parcela da sociedade (EPE, ANFAVEA, 2022).

Para estimular a adoção de veículos elétricos, tanto o governo federal quanto os estaduais estão implementando diversas iniciativas e descontos nos custos desses veículos. Além da Resolução Camex nº 97/2015, a região Sul e Sudeste do Brasil, especificamente no Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, conta com as duas maiores eletrovias do país. De acordo com a Copel (2019), uma dessas eletrovias possibilita atravessar o estado do Paraná sem despesas com combustível, enquanto a outra

conecta os estados de São Paulo e Rio de Janeiro sem custos adicionais com recargas, conforme destacado por Buzatto (2018). Essas medidas visam tornar a transição para veículos elétricos mais acessível e atrativa para a população, contudo, surge o questionamento se essas iniciativas estão realmente estruturadas para suportar uma utilização em larga escala.

1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa que procura descrever e explicar os impactos da adoção massiva de veículos no sistema de distribuição de energia no estado de São Paulo, por meio de uma análise quantitativa e qualitativa. Os procedimentos técnicos utilizados para a consecução da pesquisa foram a pesquisa bibliográfica e documental.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é organizado em 5 capítulos, abordando desde a revisão bibliográfica do tema, até estudos de casos e cenários.

No primeiro capítulo, os objetivos e premissas do estudo é apresentado, além da justificativa pela escolha do tema.

No segundo capítulo é realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, passando pelos principais assuntos que englobam o tema, com a finalidade de preparar o leitor para as análises de cenários e discussões.

Já no capítulo 3 é realizado a metodologia científica do trabalho, enquanto o capítulo 4 é apresentado os resultados dos dois estudos realizados.

Por fim, o capítulo 5 é feita a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos representam uma inovação significativa no setor de transportes, impulsionado pela busca de uma alternativa mais sustentável. Ao contrário dos veículos tradicionais movidos a combustível fóssil, os veículos elétricos são alimentados por baterias recarregáveis e motores elétricos.

2.1.1 Breve História dos Veículos Elétricos

No século XIX, os primeiros protótipos foram surgindo, principalmente na Europa (Reino Unido e Holanda) e nos Estados Unidos. Durante toda a sua história, o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com a evolução da tecnologia das baterias (HOYER, 2008).


Após o surgimento inicial, diversos modelos foram desenvolvidos nos anos seguintes. Entretanto, como as baterias não eram recarregáveis, essa limitação tornava o uso de veículos elétricos pouco prático. O maior avanço ocorreu em 1859, quando o cientista francês Gaston Planté inventou as baterias recarregáveis de chumbo-ácido, eliminando a necessidade de os veículos estarem constantemente conectados à rede, tornando mais viável a sua utilização. Após esse acontecido, em 1881, a inventora Camille Faure aprimorou o modelo, aumentando significativamente a capacidade de recarga das baterias (Iberdrola, 2012). A figura 4 apresenta uma ilustração de um anúncio de carro elétrico nos Estados Unidos durante esse período.

Figura 4 – Propaganda de carro Elétrico nos EUA em 1908

**THE 100-MILE
Fritchle Electric
IS GUARANTEED**

to travel 100 miles to the single charge—over city streets or country roads.

We are now ready to close 1909 Agencies. Write for our proposition.



**VICTORIA PHAETON
S2000**
Complete line includes all styles

CENTRAL GARAGE
1310-12 NEW YORK AVE.
GASOLINE AND ELECTRIC CARS
STORED AND REPAIRED
PHONE, MAIN 8444
WASHINGTON, D. C. December 10, 1908.

TO WHOM IT MAY CONCERN:

This is to certify that we charged Mr. Fritchle's Electric Automobile and assisted in running down the car. When the car left the garage, the odometer registered 2110 miles and when it returned the next day, it registered 2210 miles, showing that 100 miles had been run on one charge. We are positive that the car was not recharged anywhere in the country.

Roll C. Engle, Electrician

The above letter is respectfully submitted as absolute proof of our "100 mile per charge" claim—in this particular instance, however, the mileage having been made by a Fritchle Electric immediately after the completion of an overland tour from Lincoln, Neb. to New York City, thence to Washington, D. C. through hundreds of miles of mud and over the Allegheny mountains.

Art Catalogue showing entire line of open and closed cars mailed on request

The Fritchle Automobile & Battery Co.
1449-1455 Clarkson St., Denver, Colorado

Fonte: Clima Info (2022)

Ainda nesse contexto, a rápida perda de espaço dos automóveis elétricos para os veículos com motor a combustão é atribuída, principalmente, à necessidade dos condutores de realizar viagens mais longas para o interior das cidades. Assim como hoje, a preferência pelo veículo elétrico era mais expressiva nos grandes centros urbanos e para trajetos de curtas distâncias. Além disso, os pontos de recarga de baterias em áreas afastadas dos centros urbanos também desfavoreceram os veículos elétricos em comparação aos movidos a gasolina (Legey; Loureiro, 2011). Os autores destacam que, embora a quantidade inicial de postos de gasolina fosse pequena, o número de pontos de abastecimento cresceu rapidamente, proporcionando todo o suporte necessário para o desenvolvimento dos veículos a combustão interna. Pode-se afirmar esses pontos:

A partir dos anos 1930, os veículos elétricos passaram a ser produzidos em escala cada vez menor, sendo utilizados em algumas cidades dos EUA e Reino Unido, basicamente, para coleta de lixo, serviço de entregas e para distribuição de leite. Foram observados alguns picos de produção nesses dois países durante a primeira e a segunda guerras mundiais, quando o racionamento de gasolina e diesel forçou a busca por fontes de energia alternativas ao petróleo. No Japão do pós-guerra, o carro elétrico tornou-se também bastante popular, por causa do racionamento de combustíveis, mas sua produção foi descontinuada na década de 1950 quando o racionamento cessou. (Legey; Loureiro, 2011, p. 214).

Dessa forma, ao longo dos últimos anos, os veículos elétricos sofreram uma perda significativa de espaço no mercado automobilístico. Principalmente por conta da utilização de veículos se concentrado cada vez mais em deslocamentos curtos e dentro das grandes cidades. Entretanto, é possível reparar, uma mudança no mercado atual, e temos uma provável inversão em relação as tendências do passado. A expectativa é que esse setor continuará a crescer, impulsionado pela redução dos custos de produção e avanços tecnológicos essenciais quando a adoção do mercado for em larga escala.

2.1.2 Tipos de Veículos Elétricos

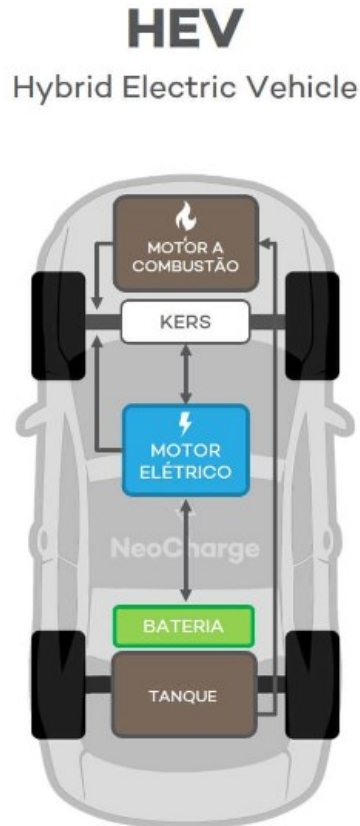
Neste capítulo, são descritos os tipos de veículos elétricos e suas características. Atualmente, existem quatro tipos principais: Veículos elétricos Híbridos, Híbrido plug in, a Bateria e o com célula a combustível.

2.1.2.1 Veículos Elétricos Híbridos

O veículo elétrico híbrido (Hybrid Electric Vehicle - HEV) é composto por um motor a combustão, um motor elétrico e um conjunto de baterias. O motor a combustão opera de forma convencional, utilizando combustíveis como gasolina, álcool ou diesel. Em contrapartida, o motor elétrico é alimentado pelo banco de baterias do veículo (BOSH, 2022).

Esse veículo elétrico não depende de sistemas de recarga externa ou outras fontes elétricas. A recarga do banco de baterias ocorre por meio do sistema de recuperação via frenagem (Kinetic Energy Recovery System – KERS). Este sistema implementado na maioria dos veículos Híbridos e Elétricos, utiliza parte da energia cinética gerada durante a frenagem para recarregar as baterias (Neocharge, 2021). Na Figura 5 pode-se observar a configuração desse veículo.

Figura 5 – Veículo Elétrico Híbrido



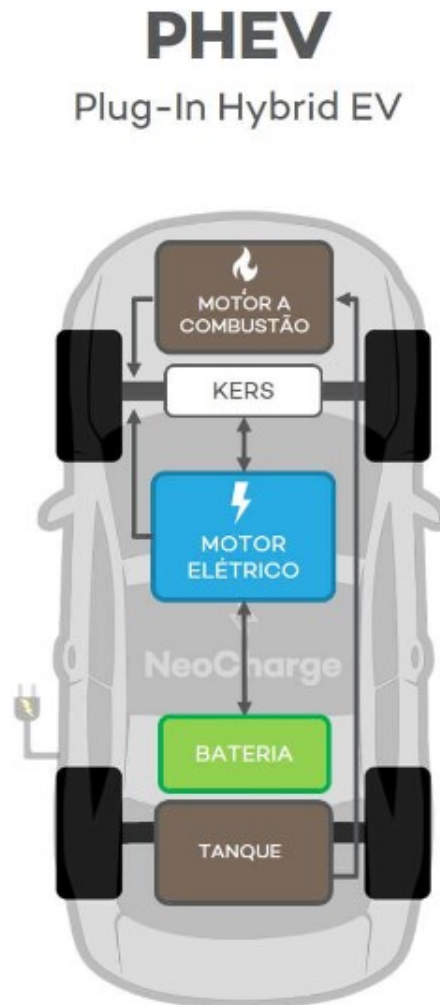
Fonte: NeoCharge, 2021

Neste caso, o motor elétrico desempenha a função de dar a partida e para casos de trânsito lento. Conforme o veículo vai ganhando velocidade, o motor a combustão é acionado, assumindo o lugar. Como ainda utiliza combustível, esse tipo de veículo ainda emite poluentes, mas de uma maneira reduzida, especialmente quando comparados com os veículos convencionais.

2.1.2.2 Veículos Elétricos Híbrido plug in

O veículo elétrico híbrido *plug in* (Plug-In Hybrid EV - PHEV) é bastante similar ao modelo elétrico híbrido, destacando-se pela capacidade de recarregar suas baterias por uma fonte externa. As baterias nos PHEVs ajudam a produzir menos poluentes, quando parado no trânsito, o motor a combustão para automaticamente, dando lugar para o motor elétrico (NeoCharge, 2021). A Figura 6, mostra claramente que a alteração principal em sua configuração é a capacidade de ser recarregado por uma fonte externa.

Figura 6 – Veículo Elétrico Híbrido Plug In



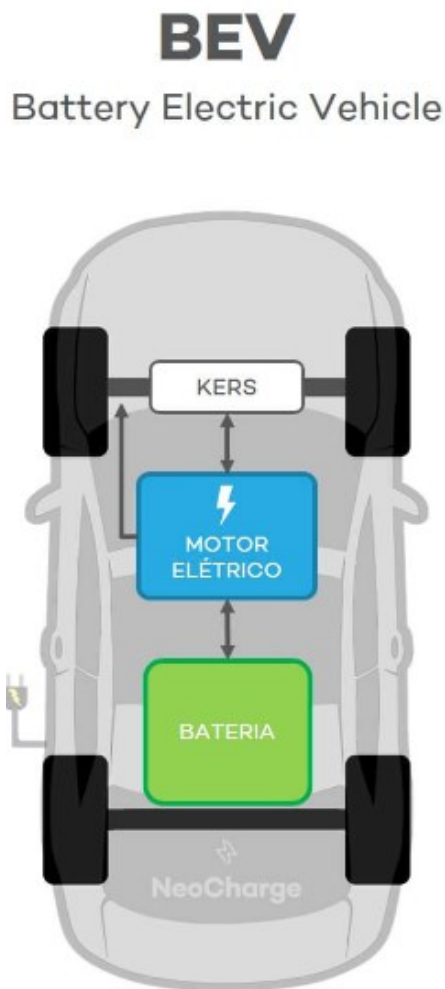
Na maioria dos casos, o veículo opera no modo elétrico até que a bateria se esgote. No entanto, alguns outros modelos alternam para o modo híbrido assim que a velocidade atinge 100 ou 115 km/h. Além disso, esses veículos normalmente possuem modos de condução que permitem ao motorista escolher entre as fontes de energia de acordo com suas condições, evidenciando a flexibilidade do modelo.

2.1.2.3 Veículos Elétricos a bateria

O veículo elétrico a bateria (Battery Electric Vehicle - BEV) é constituída basicamente de um motor elétrico, sistema de carregamento por frenagem (KERS) e baterias. Sua principal inovação é não utilizar combustíveis fósseis, sendo totalmente elétrico. As baterias são recarregadas através do sistema KERS e por uma fonte de alimentação externa. Dentre todos os veículos mencionados até então, este é o único

que depende exclusivamente de energia elétrica para funcionar, sendo considerado o único que não emite gases poluentes e ruídos (AFCD, 2022). Na Figura 7 é possível notar que houve uma alteração na configuração, agora presente apenas o sistema elétrico em operação.

Figura 7 – Veículo Elétrico a bateria



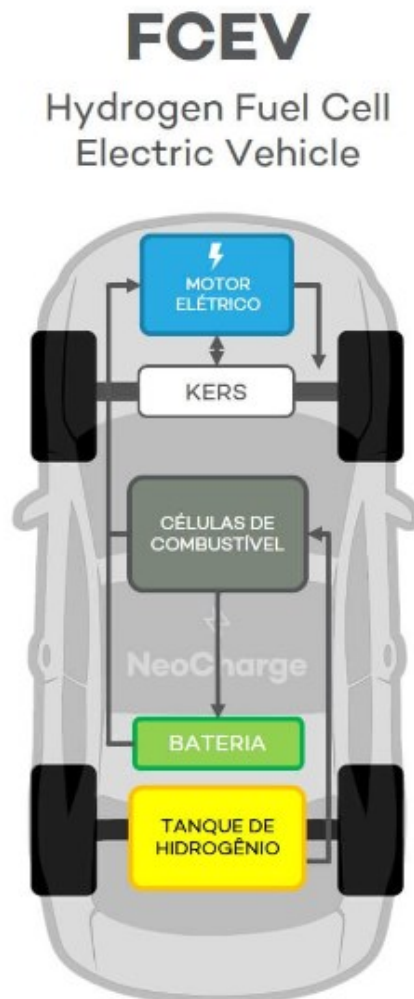
Fonte: NeoCharge, 2021

Atualmente, a principal desvantagem é que eles têm um custo mais elevado em comparação com seus equivalentes híbridos ou a combustão, uma situação que provavelmente evoluirá ao longo do tempo. Além disso, é importante levar em consideração a disponibilidade de pontos de recarga adequado para o seu carregamento, principalmente em viagens mais longas, bem como o tempo de carregamento maior em comparação a um abastecimento de um veículo a combustão.

2.1.2.4 Veículos Elétricos a Célula Combustível

O veículo elétrico a Célula Combustível (Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV) utiliza gás hidrogênio como fonte de combustível, um FCEV utiliza o oxigênio do ar e o hidrogênio do tanque para gerar eletricidade por meio de um dispositivo chamado célula de combustível. Esse tipo de veículo também utiliza o sistema de frenagem para recarga das baterias (sistema KERS), semelhante aos veículos mencionados anteriormente. De modo geral, como mostra a Figura 8, sua configuração é muito semelhante ao veículo totalmente elétrico, com a grande diferença de possuir um tanque de armazenamento de hidrogênio.

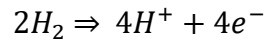
Figura 8 – Veículo Elétrico a Célula Combustível



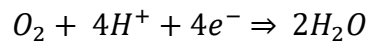
Fonte: NeoCharge, 2021

No dispositivo chamado de célula a combustível ocorre a reações de oxidação em seus eletrodos, que são separados por um eletrólito, produzindo energia elétrica. O oxigênio é reduzido no pólo positivo (cátodo) e o hidrogênio é oxidado no pólo negativo (ânodo). No ânodo, o gás hidrogênio (H_2) é injetado na célula. Esse hidrogênio se dissolve no eletrólito à medida que se move através do ânodo, reagindo para produzir H_2 , liberando elétrons. Depois disso, esses elétrons são transportados pelo circuito externo até o cátodo, onde diminuem o oxigênio, normalmente retirado do bombeamento de ar com a ajuda de um catalisador (Janaina Alves, 2020). As reações que ocorrem no interior da célula de combustível e descritas anteriormente são descritas nas equações a seguir.

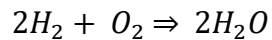
Ânodo (-):



Cátodo (+):

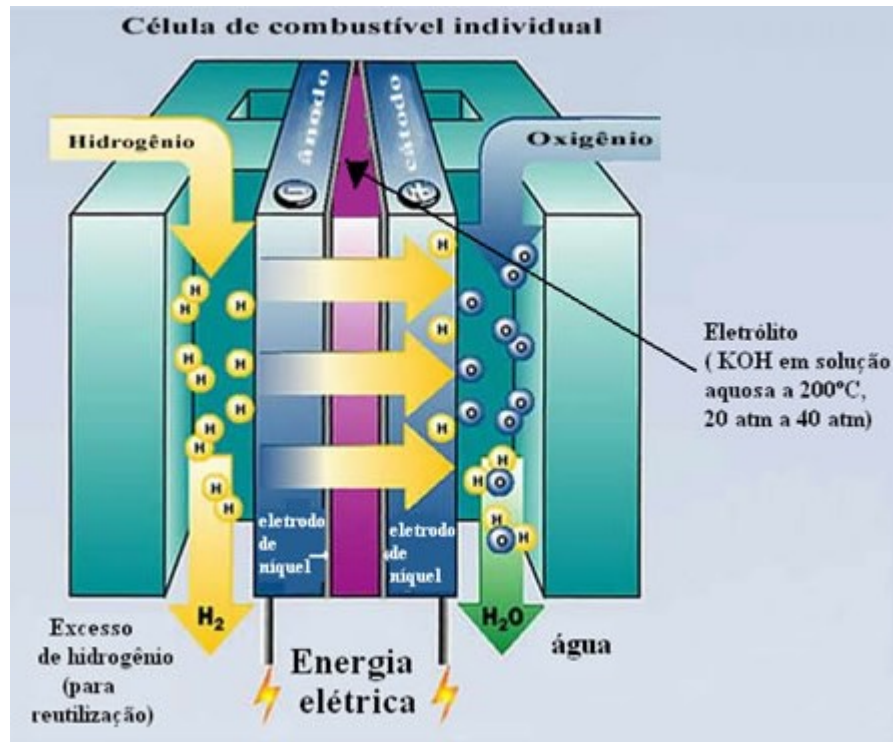


Reação global:



Assim como uma BEV, um FCEV não emite gases poluentes e ruídos, o único resíduo do escapamento é a água. A Figura 9 ilustra o esquemático desse funcionamento.

Figura 9 – Célula de combustível



Fonte: Energia Inteligente (2018)

Diferentemente dos veículos híbridos e totalmente elétricos que estão ganhando espaço no mercado brasileiro, a tecnologia do FCEV ainda está em fase de estudos no Brasil. Em 2023, na Cidade Universitária da USP, em São Paulo, foram iniciadas as obras do primeiro posto experimental de reabastecimento de hidrogênio renovável do mundo com etanol. Com a capacidade e infraestrutura para abastecer três ônibus e um veículo leve, a planta piloto terá 425 metros quadrados e capacidade de produção de 4,5 quilogramas de H₂ por hora (Erika Yamamoto, 2023).

Esse projeto de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) conta com a contribuição de R\$ 50 milhões de reais da Shell Brasil, além de outros parceiros envolvidos no desenvolvimento da estação, como a Hytron, Raízen, Senai Cetiqt e a Universidade de São Paulo por meio do Centro de Pesquisa para Inovação em Gases de Efeito Estufa (Erika Yamamoto, 2023). A figura 10 mostra o veículo movido a hidrogênio.

Figura 10 – veículo movido a hidrogênio



Fonte: Cecília Bastos/USP (2023)

A Figura 11 temos o modelo de ônibus que realizará o transporte de passageiros dentro da cidade universitária de São Paulo.

Figura 11 – Ônibus movido a hidrogênio.



Fonte: Cecília Bastos/USP (2023)

2.1.3 Baterias e Autonomia dos Veículos Elétricos

Na hora de escolher um novo veículo, é comum pensar no tipo de combustível, no tamanho do tanque, na autonomia em quilômetros por litro, na potência e no torque do motor. Com o veículo elétrico não é diferente, esses questionamentos são bem importantes. Contudo, a bateria do veículo vai estar diretamente relacionada com a autonomia, que normalmente é feita de Íons de Lítio (Li-Ion). Na figura 12 é apresentado o projeto de uma bateria de Li-Ion de um veículo elétrico.

Figura 12 – Bateria de Li-Ion de um veículo elétrico



Fonte: NeoCharge, 2021

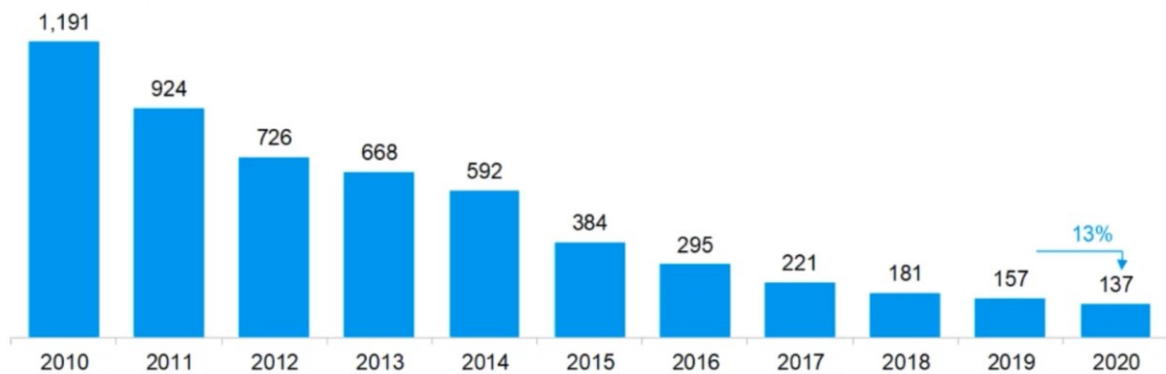
Assim como acontece nos veículos movidos a combustível, a autonomia de veículo elétrico pode variar conforme o seu uso. Atualmente a autonomia média de um veículo elétrico é mais que o suficiente para suprir a maioria dos trajetos diários. A Tabela 3 temos os modelos com as maiores autonomia do mercado outubro de 2023, fatores de excesso de peso, dirigir em alta velocidade, ventos contrários e temperaturas frias podem diminuir o desempenho do veículo elétrico. A autonomia apresentada na Tabela 3 considera o cenário mais positivo, onde o sistema KERS é constantemente utilizado nos trânsitos lentos das grandes cidades para recarregar as baterias, algo que não acontece nas rodovias.

Tabela 3 – Veículos elétricos com as maiores autonomias

Ranking	Modelo	Autonomia
1	BMW iX xDrive50	528 km
2	BMW i7 xDrive60	479 km
3	BMW iX M60	431 km
4	BMW i4 40	422 km
5	Mercedes-Benz EQS 450	411 km
6	Chevrolet Bolt	390 km
7	BMW iX3	381 km
8	Ford Mustantg Mach-E GT	379 km
9	Chevrolet Bolt EUV	377 km
10	Mercedes-Benz AMG EQS 53 M	373 km

Fonte: Gilson Garret (2023)

Neste cenário, uma das razões para o aumento das autonomias nos últimos anos é a redução dos preços das baterias. O custo de uma bateria de veículo elétrico é determinado pela sua capacidade de armazenamento, medida em quilowatts-hora (kWh), que influencia diretamente a autonomia do veículo. Esse preço já foi responsável por mais da metade do custo total de produção do veículo, mas os constantes avanços no mercado de veículos elétricos contribuíram para a diminuição do preço por quilowatt-hora (NeoCharge,2022). Na Figura 13 é mostrado que o preço das baterias caiu 89% na última década, chegando a custar 137\$/kWh em 2020.

Figura 13 – Preço histórico de baterias de Li-Ion (\$/kWh)

Fonte: BloombergNEF (2021)

2.1.4 Modos de Recarga

As baterias dos PHEVs e BEVs podem ser recarregadas de duas formas, por recarga indutiva ou por recarga condutiva. Na recarga indutiva, não são necessárias conexões físicas de cabos entre a bateria do veículo e a rede de energia, em vez disso, ela opera com base no princípio de transferência de energia conhecida como indução eletromagnética. Por outro lado, a recarga condutiva envolve a conexão física do veículo na rede, sendo a abordagem mais comum para veículos elétricos por envolver menos perdas no processo (BORBA, 2019).

Um ponto relevante quando se trata de recarga de veículos elétricos é a potência que será fornecida às baterias pela rede. Essa potência será entregue em função da tensão e corrente da rede na qual o veículo estiver conectado (OSÓRIO, 2013).

Atualmente existem três tipos de recarga:

- Recarga Lenta (monofásica);
- Recarga Rápida (trifásica);
- Recarga Ultra Rápida (trifásica ou corrente contínua).

A recarga lenta é realizada em tomadas residenciais padrão, com a tensão da rede de distribuição trifásica variando conforme os padrões de cada país, sendo 380/220 e 220/127 V no Brasil. Embora esse método possa ser adequado para muitos usuários de veículos híbridos plug-in (PHEV), os usuários de veículos puramente elétricos (BEV) geralmente precisam de recargas de maior potência (BRAJTERMAN, 2016).

Já a recarga rápida envolve uma ligação fase-fase e é subdividida em dois níveis: baixo, com corrente entre 10 e 20 A, e alto, com correntes mais elevadas (no máximo 80 A). Esse método de recarga requer um sistema de distribuição trifásico e pode ser implementado tanto em residências quanto em áreas comerciais. A potência de recarga nesse sistema pode variar entre 10 e 20 kW (BRAJTERMAN, 2016).

Outra recarga é a ultrarrápida, podendo ser realizada em sistemas trifásicos de corrente alternada ou até em sistemas de corrente contínua. Entretanto, requer carregadores externos devido ao seu tamanho e um sistema de resfriamento para lidar com a alta potência envolvida. Esse método de recarga pode se destacar pelo tempo de recarga reduzido, podendo atingir mais de 50 kW. No entanto, apresenta

um índice de perdas que pode chegar a 40%, principalmente devido à energia utilizada nos sistemas de resfriamento da bateria, em comparação com as perdas de apenas 10% nas recargas em tomadas residenciais convencionais (BRAJTERMAN, 2016). A Figura 14 mostra uma ilustração de um carregador ultrarrápido da ABB, custando quase R\$ 1 milhão de reais, o aparelho tem 350 kW de potência.

Figura 14 – Carregador ultra-rápido da ABB (350 kW de potência)



Fonte: Auto Esporte (2020)

Logo, o período necessário para carregar completamente um veículo elétrico varia conforme a potência do sistema de recarga ao qual está conectado e a capacidade de sua bateria. No quadro 1, Borba (2012) dividiu os três níveis de recarga em cinco métodos, apresentando suas respectivas especificações de maneira resumida.

Quadro 1 – Níveis de Recarga

Método	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)
Nível 1	127 CA	10 -20	1,2 – 2,5
Nível 2 (baixo)	220 CA	10 – 20	2,2 – 4,4
Nível 2 (alto)	220 CA	<80	<18
Nível 3 (CA)	<600 trifásico		15 – 96
Nível 3 (CC)	600 CC		<240

Fonte: Borba (2012)

2.1.5 Normas Técnicas Aplicáveis

2.1.5.1 NTC 902210 – Estações de Recarga de Veículos Elétricos

A NTC 902210 foi criada pela Copel e lançada em 2019, sendo considerada relativamente nova. Seu objetivo é fornecer padrões para as conexões de estações de carregamento de veículos elétricos em instalações recém-construídas ou reformadas, a fim de atender a essa demanda. Além disso, a norma contém instruções para cadastramento dessas estações na ANEEL (NTC, 2019). Essa norma é uma ferramenta útil para dimensionamento, pois inclui dados sobre o fator de demanda para o dimensionamento dessas instalações de carregamento.

2.1.5.2 NBR 61851 – Sistemas de Recarga Condutiva para Veículos Elétricos

A NBR IEC 61851 é uma adaptação da norma norte-americana IEC 61851 e está organizada em várias partes, abordando diversos temas relevantes para a instalação de estações de recarga. Incluindo desde as normas padrão até os detalhes sobre conexões e potências, sendo as mais importantes as partes 1, 21, 22 e 23.

A ABNT NBR IEC 61851-1 (2013a), “Sistema de carregamento condutivo para veículos elétricos - Parte 1: Requisitos gerais”, especifica os parâmetros que devem ser atendidos pelos veículos em termos de Equipamentos de Alimentação de Veículos Elétricos, bem como a segurança elétrica dos operadores, do sistema de alimentação e da ligação desses veículos elétricos. Este item é aplicável a sistemas de carregamento de veículos elétricos com tensões contínuas até 1.500 V e tensões alternadas até 1.000 V.

Os requisitos que os veículos elétricos devem atender para serem recarregados de acordo com os padrões estabelecidos estão descritos na ABNT NBR IEC 61851-21 (2013c), “Requisitos para veículos elétricos para conexão condutiva a uma fonte de alimentação CA ou CC”, que inclui informações sobre aterramento e imunidade a interferências.

A ABNT NBR IEC 61851-22 (2013b) concentra-se em estações de carregamento de Corrente Alternada, enquanto a ABNT NBR IEC 61851-23 (2020) aborda estações de carregamento de Corrente Contínua para veículos elétricos. Os requisitos mínimos para a operação destas estações estão descritos nestes regulamentos, juntamente com os níveis de tensão permitidos, precauções de segurança, valores de corrente e outras informações pertinentes.

Conhecer essas especificações é crucial para determinar quais normativas os veículos precisam atender.

Concluindo, desde o início do século XIX até os avanços mais recentes, os veículos elétricos têm sido uma opção mais prática para diminuir a quantidade de poluentes gerados pelos automóveis à combustão. A combinação de maior autonomia, menores custos de bateria e o desenvolvimento de regulamentações apontam para um futuro viável para esta tecnologia, sendo essencial na mudança para modelos de transporte mais sustentáveis.

A dedicação a iniciativas inovadoras como os postos de abastecimento de hidrogênio, mostra que a mobilidade elétrica caminha para uma posição de destaque. Os veículos movidos a Célula Combustível podem ser uma possível solução para a mobilidade elétrica, como pontua o atual CEO da Raízen:

Há uma grande oportunidade de no futuro, os carros elétricos serem abastecidos por hidrogênio gerado nos próprios postos a partir desse etanol. Vamos solucionar o desafio logístico do transporte de hidrogênio e aumentar a eficiência dos carros elétricos. (Ricardo Mussa, 2024).

Em pouco tempo será possível uma adoção em larga escala em âmbito nacional e mundial.

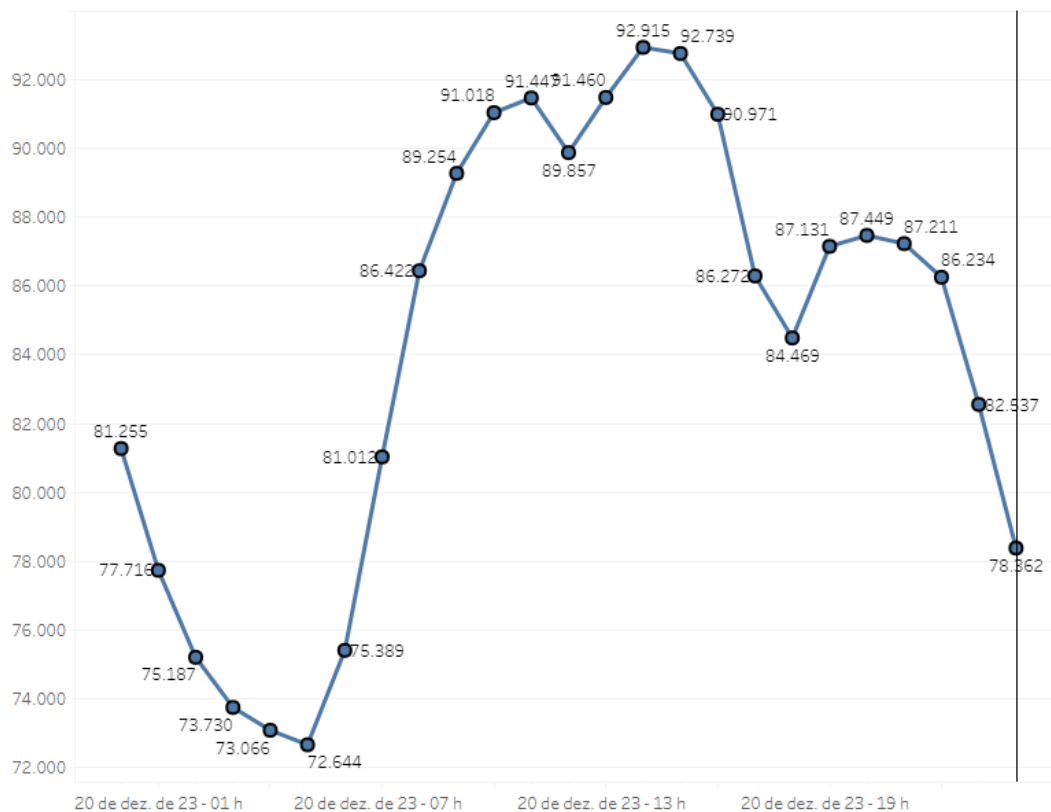
3 CENÁRIO BRASIL

3.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia foram criados há décadas e têm sido mantidos com cuidado para taxas de crescimento orgânico e reforçados para expansões quando necessárias. No entanto, o acréscimo de cargas adicionais com padrões de consumo distintos dos já existentes, resulta no aumento das necessidades energéticas durante os horários de pico do sistema. Desta forma, as redes de distribuição não foram projetadas para responder a uma parte da demanda de energia, principalmente em horários de pico. Com isso, a adoção de veículos elétricos em larga escala pode ser uma ameaça para infraestrutura brasileira da rede elétrica.

A Figura 15 mostra a curva de carga horária do Brasil. O período das 8h às 22h tem a maior demanda, com pico às 14h e o segundo maior pico às 19h. Esse segundo maior pico é influenciado principalmente pela carga residencial, por conta da maioria das pessoas retornarem para casa após o período de trabalho.

Figura 15 – Curva de Carga Horária (MWh)



Fonte: ONS (2023)

Para o carregamento ideal dos veículos elétricos, é necessário que o proprietário o conecte a rede nos intervalos de menores demandas. Entretanto, o perfil consumidor ainda não está preocupado com essas questões, carregando o veículo na maioria das vezes à noite ou quando surge oportunidades durante o dia, como afirma a Glaucia Roveri, Gerente de Desenvolvimento e Infraestrutura de EVs da GM América do Sul:

Carregar um carro elétrico é tão prático quanto um smartphone, e a maioria das pessoas faz isso durante à noite, enquanto descansa. Muitos aproveitam para fazer recargas de oportunidade no meio do dia ou quando saem da rotina, como numa viagem (Glaucia Roveri, 2022).

O perfil de recarga conhecido como "perfil de oportunidade" geralmente envolve o carregamento de veículos em pontos comerciais e de conveniência, frequentemente localizados em grandes centros de compras, como shoppings e supermercados. Os usuários desse perfil aproveitam o tempo de compras ou momentos de lazer para carregar seus veículos. Atualmente, muitos desses estabelecimentos oferecem recarga gratuita, pois os usuários tendem a gastar durante a visita. No entanto, com o aumento do uso de energia elétrica para carregamento de veículos, esse cenário deve mudar.

Outro perfil analisado neste estudo são os usuários que optam pela recarga residencial. Neste caso, o carregamento ocorre na própria residência do usuário, seja em casa ou apartamento, geralmente o período noturno e ou madrugada, quando o veículo está estacionado na garagem.

Nos dias de hoje, esse comportamento não impacta de forma relevante a infraestrutura de carregamento, mas no futuro pode ser tornar um problema. Um ponto importante é a urgência para realizar a recarga, em um cenário com mais veículos conectados à rede, vai ser necessário limitar a quantidade de potência demandada pelo processo de carregamento nos intervalos de pico de demanda.

3.2 Veículos Elétricos na Rede de Distribuição

O planejador do crescimento da rede de distribuição deve ficar atento a mudanças no comportamento de consumo de energia, principalmente com o surgimento de novas tecnologias com grandes potenciais de demanda de energia por parte do sistema elétrico (PINTO, 2017). Como é o caso dos carregadores dos VE conectados em níveis de média e baixa tensão.

A introdução desses VE é responsável por introduzir gradativamente uma nova demanda de energia no sistema, refletida pelo aumento das estações de carregamento, tanto pública quanto privada. O local onde são instaladas as estações de carregamento refletem em diferentes impactos na rede. Em uma adoção em maior escala, o carregamento residencial divide a demanda de uma forma mais ampla, enquanto nas estações públicas esse incremento é concentrado em alguns pontos específicos da rede. Dessa forma, a infraestrutura pode ser afetada de diversas formas, pois as redes de distribuição devem atender a demanda conforme as necessidades dos usuários.

Com o aumento da popularidade dos VE, a tendência é que a curva de carga sofra uma alteração, gerando desafios operacionais e de planejamento para infraestrutura da rede elétrica. Considerando que o consumo de energia de VE em determinadas horas do dia pode exceder significativamente o de uma residência no mesmo período (BOTELHO, 2020).

As concessionárias de distribuição são as mais atingidas por esses problemas na operação da rede, entre os principais desafios estão: sobrecargas, operações fora dos limites técnicos e aumento das perdas de energia (PINTO, 2017). Acarretando na decadência da qualidade do serviço prestado, alguns ofensores nas instalações das bases de recargas que podem ocasionar problemas significativo se negligenciados são: Harmônicos e Fator de Potência.

3.2.1 Harmônicos

Nos últimos anos, teve um aumento significativo na utilização de dispositivos eletrônicos conectados nas instalações elétrica, afetando diretamente a qualidade da energia. Componentes senoidais de tensões e correntes com frequências múltiplas da fundamental da rede são conhecidos como harmônicos. Cargas não lineares fazem com que o valor senoidal puro seja distorcido, o que pode causar ruído em equipamentos extremamente sensíveis, como dispositivos de comunicação, reduzir o fator de potência e causar alterações na transferência de energia (IEEE, 1989).

Para finalidade de comparação, o chuveiro elétrico é um dos equipamentos que mais consome energia em uma residência, podendo chegar facilmente a 7 kW de potência, similar aos dos carregadores dos VE. Entretanto, o chuveiro é uma carga puramente resistiva (linear). Já o carregador opera como um conversor de corrente

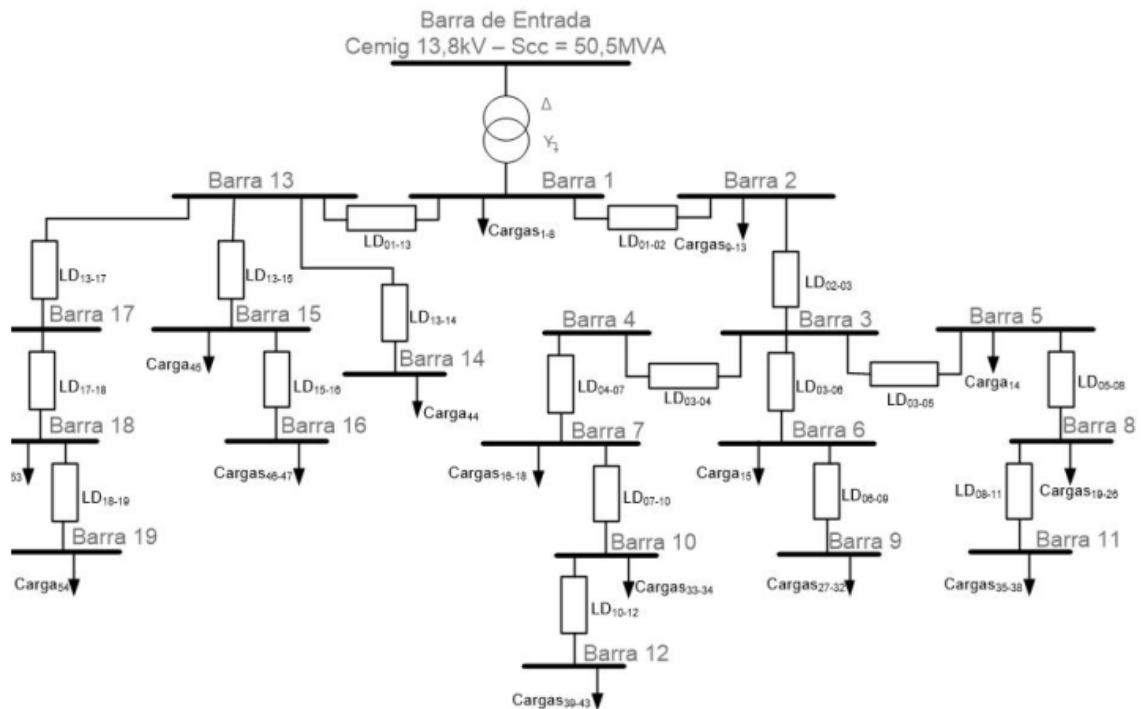
alternada para corrente contínua, com reguladores de tensão e corrente tornando a carga mais indutiva.

Para garantir os melhores padrões de geração, transmissão e funcionamento dos sistemas de energia, é preciso se preocupar com as componentes harmônicas presente nas instalações elétricas. Por conta disso, cientista das Universidades de Uberlândia e de Goiás desenvolveram uma pesquisa sobre as distorções harmônicas na recarga de veículos elétricos, o estudo "*Análise do impacto da inserção de veículos elétricos em sistemas elétricos de distribuição, focando distorções harmônicas de tensão*" (BELCHIOR et al, 2020).

De forma geral, os resultados apontam que os carregadores dos veículos elétricos não ultrapassam os limites de distorção harmônica (segundo especificação da norma IEC 61000-3-4), apenas nos cenários em que a rede opera dentro dos seus valores nominais. Entretanto, o estudo evidenciou que quando ocorre uma sobrecarga no transformador, a situação se inverte, o nível de distorção harmônica fica acima dos limites estabelecido pela norma. Algo bem possível de acontecer com a inserção de veículos elétricos na rede (BELCHIOR et al, 2020).

As simulações no estudo tiveram como foco verificar as distorções harmônicas presentes no barramento de Baixa de Potência (220V fase-fase), junto ao transformador de distribuição, apresentado na Figura 16. Considerando a autonomia dos VE de 160 km, com tempo médio de recarga de 8 horas e potência média de carregamento de 3,75kW.

Figura 16 – Sistema Elétrico de distribuição residencial selecionado para o estudo de caso.



Fonte: BELCHIOR *et al* (2020)

Para fim de simulação, os autores utilizaram como ferramenta para essa pesquisa o *SimPowerSystem* e o *Matlab/Simulink*. No quadro 2, DTT representa a Distorção Total de Tensão Harmônica.

Quadro 2 – Harmônicos Resultantes – Trafo de 75kVA – Inserção de 40% de veículos elétricos

Ordens Harmônicas	Distorções de Tensão (%)		
	Potência no Trafo = 96,5 kVA		
	Fase A	Fase B	Fase C
3	3,7%	3,66%	6,8%
5	4,43%	3,41%	1,35%
7	2,24%	1,53%	0,95%
9	1,3%	0,38%	1,11%
V _{FUND}	123,1 V	123,2 V	122,4 V
DTT ₁	5,93%	5,44%	3,67%
DTT ₃	3,92%	3,68%	6,89%
DTT%	7,1%	6,56%	7,8%

Fonte: BELCHIOR *et al* (2020)

Para o caso de estudo apresentado, o cenário ficou preocupante quando os autores consideraram 40% dos veículos como elétricos. Para corrigir o problema, os autores substituíram o Trafo por um de 150 kVA, o novo resultado apresentado no

quadro 3. Logo, é notório no estudo a correlação da sobrecarga no Trafo com a impedância harmônica da rede e do nível de distorção de corrente.

Quadro 3 – Harmônicos Resultantes – Trafo de 150kVA – Inserção de 40% de veículos elétricos

Inserção de 40% de veículos elétricos			
Ordens Harmônicas	Distorções de Tensão (%)		
	Potência no Trafo = 97,3 kVA		
	Fase A	Fase B	Fase C
3	2,86%	0,96%	4,46%
5	2,74%	1,64%	1,14%
7	0,95%	0,85%	0,12%
9	0,8%	0,23%	0,68%
V_{FUND}	125,2 V	125,3 V	124,9 V
DTT_1	4,4%	4,22%	3,53%
DTT_3	2,97%	0,99%	4,51%
$DTT\%$	5,31%	4,33%	5,72%

Fonte: BELCHIOR *et al* (2020)

Percebe-se, a necessidade das concessionárias continuarem o monitoramento dos seus transformadores, uma vez que com a crescente adoção de VE no mercado automotivo resultará em mudanças significativas nas curvas de cargas das redes de distribuição, podendo levar à violação dos limites de distorção harmônica de tensão e afetar o funcionamento adequado do serviço de distribuição.

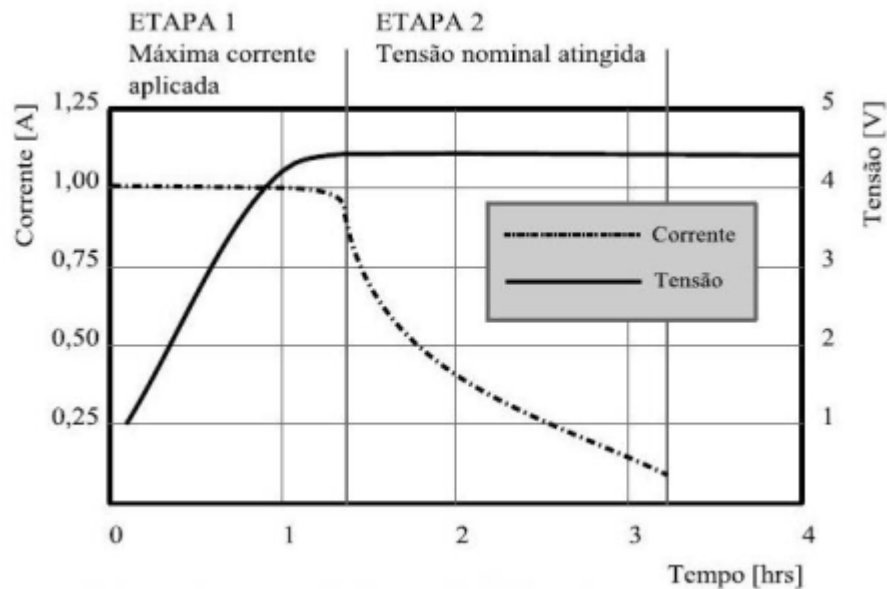
3.2.2 Fator de Potência

Conforme discutido anteriormente, o aumento gradual dos pontos de carregamento de VE levanta preocupações sobre o impacto da utilização de forma massiva. A maioria das estações de recargas levam em consideração apenas a potência ativa, não especificando a potência reativa. O fator de potência da carga é influenciado por diversos fatores, incluindo a porcentagem da bateria, capacidade do carregador e da bateria, os quais também variam durante o processo de recarga.

Uma consideração interessante é compreender o princípio básico da curva de carregamento da bateria de Lítio-Ion, apresentado na Figura 17. Em resumo, o processo de carregamento consiste em duas etapas: inicialmente, a corrente aplicada na bateria aumenta gradativamente até atingir a tensão nominal da bateria. Em seguida, inicia-se a segunda etapa, na qual a tensão é regulada acima do valor nominal e a corrente diminuí conforme a bateria se aproxima da carga máxima. Essa

transição entre etapas geralmente ocorre após a bateria atingir 80% de sua capacidade total, visando reduzir o estresse sobre a bateria durante o processo do seu carregamento (BELCHIOR *et al*, 2020).

Figura 17 – Curva de carregamento de uma bateria de lítio-íon

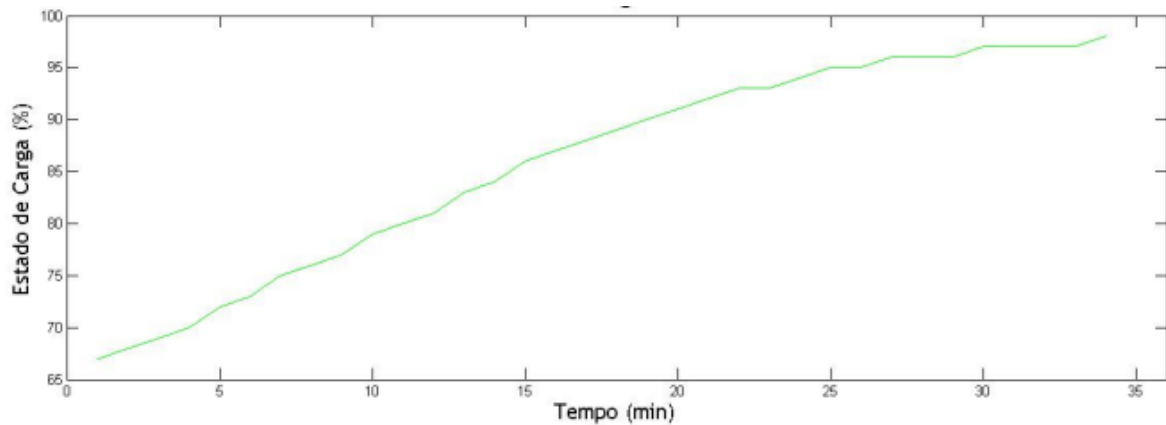


Fonte: BELCHIOR *et al* (2020)

Para explorar mais esse processo, Rita Pinto (2015) conduziu um estudo intitulado “Análise dos perfis de carregamento de veículos elétricos numa estação de carregamento” que está alinhado com as expectativas deste capítulo.

Em um dos cenários, com duração de aproximadamente de 35 minutos, o veículo elétrico carrega 32% da bateria do veículo, a Figura 18 mostra o comportamento do carregamento. Pode-se observar que a carga começa a ficar mais lenta após o 90% da carga total.

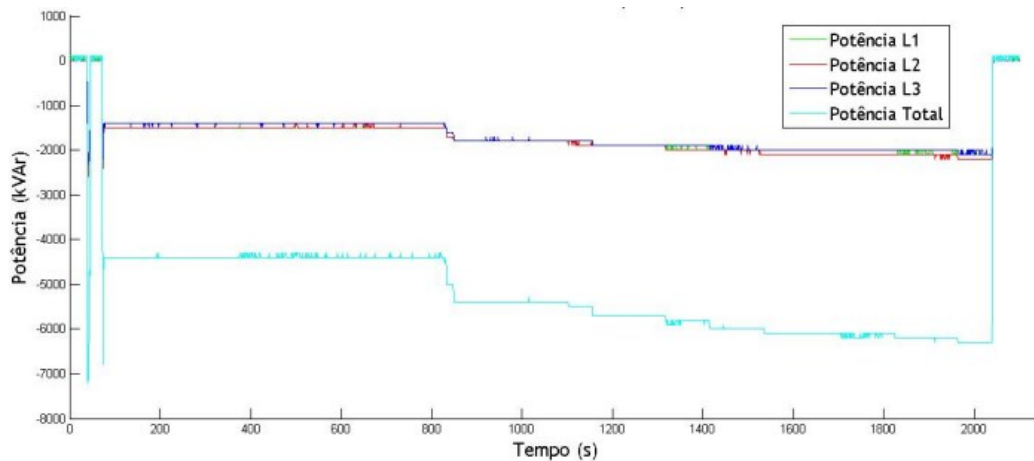
Figura 18 – Estado de carga da bateria



Fonte: Rita Pinto (2015)

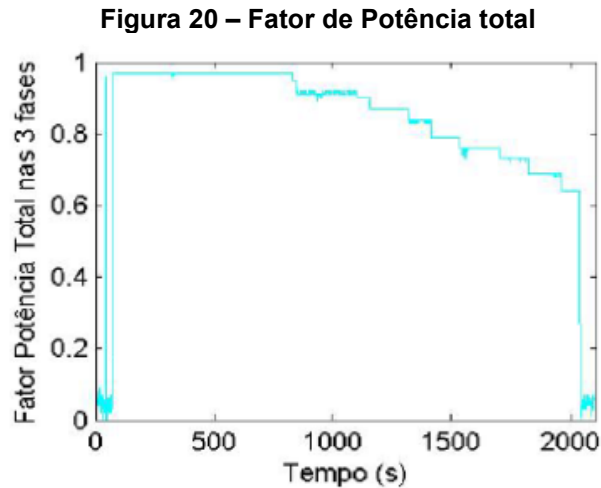
No segundo cenário, apresentado na Figura 19, apresenta o comportamento da potência reativa (kVAR) no carregamento de uma carga completa. Percebe-se que a potência reativa no sistema desce para valores negativos, esse comportamento diminuí o fator de potência.

Figura 19 – Potência reativa nas fases e Potência reativa total



Fonte: Rita Pinto (2015)

Nesse contexto, a Figura 20 representa o comportamento do fator de potência durante uma recarga de bateria do VE. É notório o decaimento do fator de potência durante a primeira fase de carregamento da bateria.



Fonte: LEHTONEN *et al* (2013)

Em suma, embora o comportamento durante o período de recarga seja geralmente uniforme, ocorre uma mudança quando essas baterias estão próximas de atingir sua capacidade máxima, principalmente a partir dos 90%. O planejador de demanda deve levar em consideração esse comportamento específico em seus projetos de demandas futuras do sistema de distribuição, uma vez que o carregamento em larga escala desses veículos causa um impacto significativo no sistema.

3.3 Cenários Futuros

Como essa é uma análise dos cenários futuros, não se sabe quais tecnologias vão ser utilizadas nos veículos elétricos, o próprio veículo e sua bateria devem funcionar de forma mais eficiente. Portanto, as informações utilizadas são as disponíveis atualmente no mercado brasileiro.

Segundo a Gazeta do Povo (2019), o brasileiro dirige em média 35,3 km por dia, ou 12,9 mil km por ano, considerando todos os modelos da categoria de veículos leves.

O ano de 2023 foi um destaque para a eletromobilidade no Brasil, as vendas de veículos elétricos bateram recordes com 93.927 emplacamentos. Atualmente, a fabricante BYD vem ganhando destaque no mercado brasileiro de veículos elétricos. Nesse período, o veículo puramente elétrico mais vendido no Brasil foi o modelo Dolphin GS 180EV da fabricante BYD, com 5.971 veículos emplacados nesse período

(mais de 6% de todas as vendas) (Associação Brasileira de Veículo Elétrico – ABVE, 2024).

Sobre o carregamento, o Dolphin vem com um carregador portátil de fábrica, podendo ser conectado na instalação doméstica, nessa configuração a potência máxima de saída é de 2,8 kW. Mas, nos carregadores públicos, ele pode ser carregado com uma potência máxima de 7kW em AC. Já nos carregadores ultrarrápidos em DC a potência pode chegar a 60 kW, carregando 80% da bateria em 35 minutos.

Por conta disso, o modelo utilizado para as projeções de demanda futura na análise será um similar à desse modelo, equipado com uma e uma bateria de capacidade de armazenamento de energia de 82,56 kWh. Consumindo a uma taxa de 0,22194 kWh por quilômetro percorrido e possuindo uma autonomia de 372 km (considerando o melhor cenário de percurso).

O armazenamento de energia das baterias dos veículos elétricos são frequentemente medidas em kWh (quilowatt-hora) porque essa unidade representa a quantidade de energia que a bateria pode armazenar e fornecer ao veículo. O kWh descreve a capacidade da bateria em fornecer potência ao longo do tempo. Por exemplo, uma bateria de 82,56 kWh pode fornecer 1 quilowatt de potência por 82,56 horas ou 41,28 quilowatts de potência em 2 hora, dependendo do consumo do veículo elétrico nesse intervalo de tempo. Essa medida é crucial para os consumidores entenderem a capacidade da bateria em alimentar o veículo elétrico e para comparar diferentes modelos em termos de autonomia e capacidade de armazenamento de energia (Iberdrola, 2023).

Na Tabela 4 apresenta o resumo das informações relevantes para as análises dos cenários.

Tabela 4 – Resumo informações relevantes para estudo dos cenários

Perdas no Carregamento (%)	Energia necessária para bateria (kWh)	Distância diária (km/dia)	Demanda de recarga		Tempo de recarga	
			Carga lenta (kW)	Carga rápida (kW)	Lenta (hora)	Rápida (hora)
10	82,56	35,3	2,8	7,0	3,1	1,2

Fonte: O autor

Considerando um percurso diário de 35,3 km, é consumido apenas 9,46% da capacidade da bateria. Com isso, diariamente o proprietário vai ter que se preocupar em fazer uma carga de 7,83 kWh. Essa carga será suprida de forma diferente para cada perfil de consumidores, podendo ser em momentos oportunos durante o dia em carregadores públicos ou em casa durante a noite.

Para determinar o tempo de carregamento, calcula-se a relação entre a energia necessária para a bateria e a potência do carregador. O veículo elétrico do estudo, tem uma energia necessária de 82,56 kWh, percorrendo 35,3 km por dia, consome em média 7,83 kWh da capacidade da bateria diariamente, já que a autonomia da bateria com carga completa é de 372 km. Para recarregar sua bateria, utiliza-se um carregador de 2,8 kW, fazendo essa relação e considerando 10% de perdas no carregamento, o tempo médio de recarga é de 3,1 horas, conforme a equação 1 abaixo:

$$\text{Tempo de Recarga} = \frac{\text{Energia necessária bateria (kWh)}}{0,9 * \text{Potência do carregador (kW)}} = \frac{7,83 \text{ (kWh)}}{0,9 * 2,8 \text{ (kW)}} = 3,1 \text{ horas} \quad (1)$$

Entretanto, se há 3 mil veículos elétricos, cada veículo elétrico precisará recarregar o seu consumo de 7,83 kWh diariamente. Dessa forma, o consumo total será a relação entre a quantidade de veículos e a energia necessária para cada bateria, conforme a equação 2 a seguir:

$$\text{Necessidade de carga total} = \text{Qtd VE} * \text{Energia necessária bateria (kWh)} = 23.490 \text{ kWh} \quad (2)$$

Para determinar o pico de potência, é necessário a relação entre a necessidade total da carga do cenário e o tempo de recarga apresentada anteriormente. A equação 3 a seguir exemplifica esse cálculo:

$$\text{Pico de Potência} = \frac{\text{Necessidade de carga total (MWh)}}{\text{Tempo de Recarga (h)}} = \frac{23.490 \text{ (kWh)}}{3,1 \text{ (h)}} = 7.577 \text{ kWp} \quad (3)$$

Na sequência, serão analisados três cenários, abordando a substituição da frota existente de veículos a combustão por veículos elétricos em proporções variadas: 10%, 30% e 50% da frota total de veículos leves do estado de São Paulo.

Todo o estudo tem como premissa todas as metodologias apresentadas anteriormente, com o intuito de investigar os possíveis impactos na rede de distribuição elétrica e no comportamento da curva de carga apresentada na Figura 18.

Dentro desse cenário, a Tabela 5 apresenta os valores utilizados na análise do impacto gerado pelo novo perfil de carga devido à adoção em cada cenário de veículos elétricos. Os valores detalhados por região administrativa podem ser encontrados no apêndice 1.

Tabela 5 – Consumo energético no Estado de São Paulo

Estado	Número de Consumidores	Consumo Energia Elétrica no ano (MWh)	Consumo Energia Elétrica por dia (MWh)
São Paulo	20.388.799	136.429.154	373.778

Fonte: Adaptado (Governo do estado de São Paulo, 2023)

A Figura 21 apresenta as principais usinas geradoras de energia elétrica no estado de São Paulo. Nota-se que as 10 maiores representam mais de 60% da geração do Estado, destacando a significativa importância dos rios Paraná, Grande, Paranapanema e Tietê.

Figura 21 – Maiores gerados de energia elétrica do Estado de São Paulo

	Nome da Usina <i>Power Plant Name</i>	Fonte de Energia <i>Energy Source</i>	Energia Gerada em 2022 (GWh) <i>Energy generated in 2022 (GWh)</i>	Rio <i>River</i>
1	Ilha Solteira	Hidráulica / <i>Hydro</i>	10.058,71	Paraná
2	Porto Primavera	Hidráulica / <i>Hydro</i>	6.733,95	Paraná
3	Jupia	Hidráulica / <i>Hydro</i>	5.826,84	Paraná
4	Estreito (Furnas)	Hidráulica / <i>Hydro</i>	3.061,38	Grande
5	Capivara	Hidráulica / <i>Hydro</i>	2.269,93	Paranapanema
6	Jaguara	Hidráulica / <i>Hydro</i>	2.166,11	Grande
7	Volta Grande (ENEL)	Hidráulica / <i>Hydro</i>	1.454,25	Grande
8	Rosana	Hidráulica / <i>Hydro</i>	1.329,41	Paranapanema
9	Taquaruçu	Hidráulica / <i>Hydro</i>	1.296,25	Paranapanema
10	Nova Avanhandava	Hidráulica / <i>Hydro</i>	920,81	Tietê
11	Igarapava	Hidráulica / <i>Hydro</i>	910,43	Grande
12	Cubatão	Térmica a Gás / <i>Thermal (Gas)</i>	895,72	-
13	Bracell Linha 2	Térmica a Biomassa / <i>Thermal (Biomass)</i>	886,72	-
14	Chavantes	Hidráulica / <i>Hydro</i>	721,13	Paranapanema
15	Promissão	Hidráulica / <i>Hydro</i>	686,14	Tietê
16	Três Irmãos	Hidráulica / <i>Hydro</i>	630,63	Tietê
17	Henry Borden	Hidráulica / <i>Hydro</i>	529,17	das Pedras
18	Ibitinga	Hidráulica / <i>Hydro</i>	527,43	Tietê
19	Bariri	Hidráulica / <i>Hydro</i>	455,60	Tietê
20	Euclides da Cunha	Hidráulica / <i>Hydro</i>	386,46	Pardo
21	Barra Bonita	Hidráulica / <i>Hydro</i>	335,46	Tietê
22	Paraibuna	Hidráulica / <i>Hydro</i>	320,65	Paraíba do Sul
23	Canoas I	Hidráulica / <i>Hydro</i>	299,29	Paranapanema
24	Graminha / Caconde	Hidráulica / <i>Hydro</i>	296,64	Pardo
25	Cocal II	Térmica a Biomassa / <i>Thermal (Biomass)</i>	271,11	-

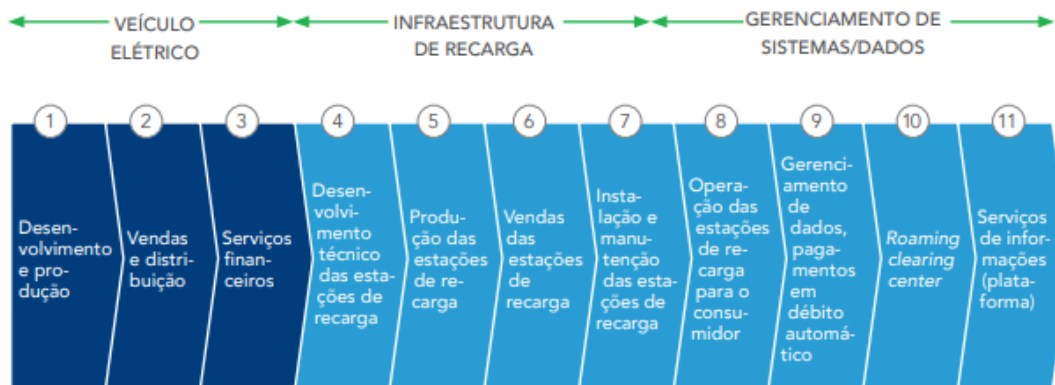
Fonte: Governo do estado de São Paulo (2023)

O sistema de geração do estado de São Paulo será usado como referência no estudo do aumento adicional de geração que o novo perfil de carga causará em cada cenário.

3.4 Desafios da Mobilidade Elétrica em Larga Escala

Os veículos elétricos estão transformando a indústria automobilística, obrigando-a a cativar novos modelos de negócios. Essa transformação exige uma cadeia de valor muito mais abrangente do que a observada nos veículos convencionais a combustão interna, o que resulta no surgimento de novas oportunidades de negócios. Além da fabricação propriamente dita, a cadeia de valor se estende para outras áreas, como a infraestrutura de recarga e gerenciamento de sistemas e dados, como ilustrado na Figura 22 (FGV, 2017).

Figura 22 – Nova Cadeia de Valor dos VEs



Fonte: FGV (2017)

Segundo a FGV (2017), os negócios essenciais para o desenvolvimento da mobilidade elétrica são os seguintes:

- Veículo Elétrico: desenvolvimento, produção, distribuição e serviços financeiros;
- Infraestrutura de Recarga: desenvolvimento, produção, venda e manutenção de estações de recarga;
- Gerenciamento de Sistemas/Dados: Operação das estações, gerenciamento de dados, pagamentos automáticos, serviços de nuvem, segurança dos dados e desenvolvimento de plataformas de acesso ao serviço.

Percebe-se que a transição para a mobilidade elétrica não se limita apenas à produção e vendas dos veículos elétricos. Outros setores de negócios precisam se desenvolver para dar mais viabilidade na utilização dessa nova tecnologia. Consequentemente, as empresas do setor de combustíveis terão que se adaptar ao novo cenário, oferecendo novas soluções de abastecimentos. Já que os postos de combustíveis poderão ser substituídos por locais equipados apenas com pontos de estações de recarga.

A Gigantesca petrolífera Shell já está em processo de transição, possuindo oito mil pontos de recarga no exterior. No início de 2022, a Shell lançou um projeto piloto de um posto 100% voltado para o público de veículos elétricos. Este projeto converteu um posto de combustível em Londres, Reino Unido, como ilustra a Figura

23. No local das bombas de combustíveis, foram instalados nove pontos de estações ultrarrápidas, capazes de fornecer até 175 kW de potência (Shell, 2022).

Figura 23 – Posto piloto Shell



Fonte: MinasPetro (2022)

No Brasil, a expansão da infraestrutura de carregamento elétrico é impulsionada principalmente pelas fabricantes de automóveis, que realizam parcerias com locais como shoppings para disponibilizar pontos de carregamento aos seus clientes. Entretanto, com o intuito de redefinir o futuro, a empresa Raízen, representante da marca Shell no Brasil, lidera um investimento de R\$10 milhões na startup brasileira Tupinambá Energia. Esta empresa é focada na operação de postos de recarga, fornecendo carregadores, softwares, aplicativos e serviços relacionados à recarga de veículos elétricos (MinasPetro, 2022).

Dessa forma, a Raízen Power, empresa do grupo Raízen, estabeleceu uma parceria estratégica com a BYD para impulsionar a mobilidade elétrica no Brasil. O acordo entre as duas empresas tem como objetivo expandir significativamente a rede pública de carregadores elétricos nas principais cidades do país, com a construção de cerca de 600 novos hubs de recarga, totalizando mais de 18 MW de potência instalada para recarregar veículos elétricos em âmbito nacional. Os projetos serão implementados a partir de 2024 nas cidades de São Paulo - SP, Rio de Janeiro - RJ,

Belo Horizonte - BH, Brasília - DF, Curitiba - PR, Florianópolis - SC, Salvador - BA e Belém – PA (Raízen, 2024). A Shell é um importante player engajado nessa transição para mobilidade elétrica, como destaca István Kapitány, vice-presidente Executivo Global de Mobilidade da Shell:

Nenhuma empresa pode impulsionar a mobilidade elétrica sozinha. Isso exigirá uma colaboração sem precedentes entre a indústria, o governo e os clientes. Este último acordo é um ótimo exemplo de como estamos conseguindo isso com a ajuda de nossos parceiros atuais, Raízen e BYD. Nosso relacionamento com a BYD, por exemplo, começou na China e na Europa e agora estamos ansiosos para, juntos, desempenhar a nossa parte no crescimento da adoção de veículos elétricos no Brasil, tornando a recarga o mais conveniente e agradável possível. (István Kapitány, 2024).

Em setembro de 2023, a Shenzhen Shell e a BYD inauguram a maior estação de carregamento de veículos elétricos do mundo, localizada na cidade de Shenzhen, na China, contando com 258 carregadores rápidos, conforme apresentado na Figura 24 (Raízen, 2024).

Figura 24 – Maior estação de recarga no mundo



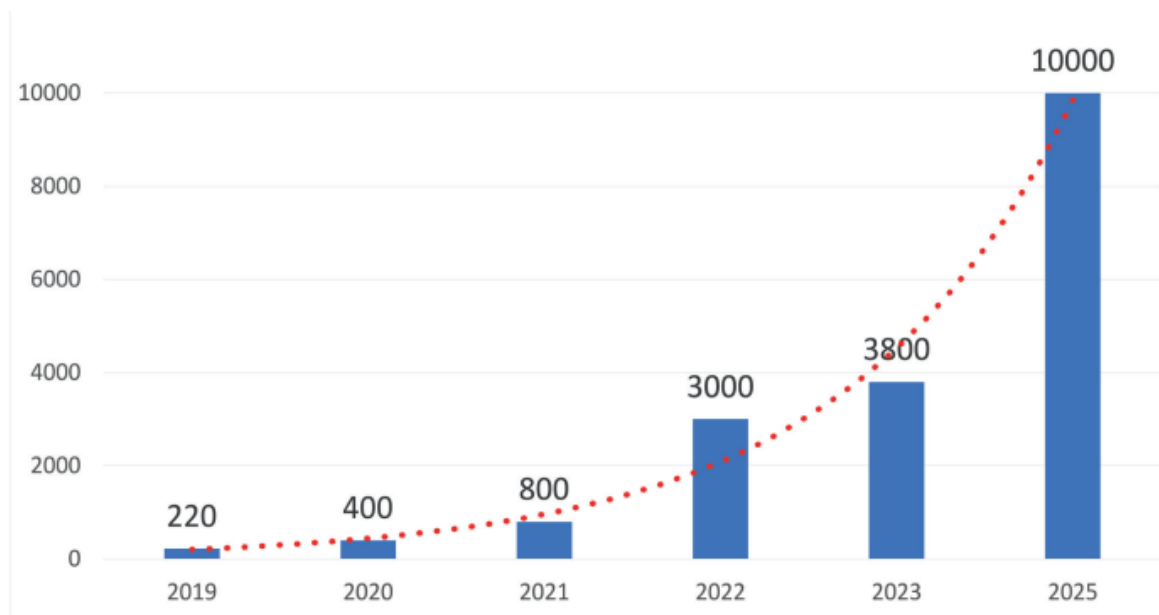
Fonte: Auto Esporte (2023)

Neste contexto, a Raízen Power deseja se destacar no mercado brasileiro de eletromobilidade, mirando alcançar aproximadamente 25% de participação de mercado nesse segmento. Além disso, a empresa planeja conquistar uma fatia de 10% no mercado livre de energia, expandindo consideravelmente seus projetos de geração distribuída (Raízen, 2024).

3.4.1 Atual Cenário de Infraestrutura de Recarga para Veículos Elétricos

A infraestrutura de recarga para veículos elétricos tem registrado um notável crescimento nos últimos anos no Brasil. Esse avanço é resultado de uma série de fatores que contribuíram para o avanço da mobilidade elétrica no país, incluindo o aumento da frota de VEs, a crescente demanda por mais estações de recarga, o surgimento de empresas especializadas em infraestrutura de recarga e implementação de sistemas de cobrança pelo serviço de recarga.

Em 2022, foi observado um crescimento significativo, com o número de estações rápidas e semirrápidas em operação atingindo aproximadamente 3 mil unidades, como pode ser observado na Figura 25 (VENDITTI, 2023). Esse aumento está diretamente correlacionado com a expansão do mercado de veículos elétricos, e com a percepção dos estabelecimentos comerciais sobre o valor agregado que essa infraestrutura pode proporcionar aos seus respectivos negócios, como discutido nos capítulos anteriores.

Figura 25 – Estimativas de estações de recarga (pública/semipública)

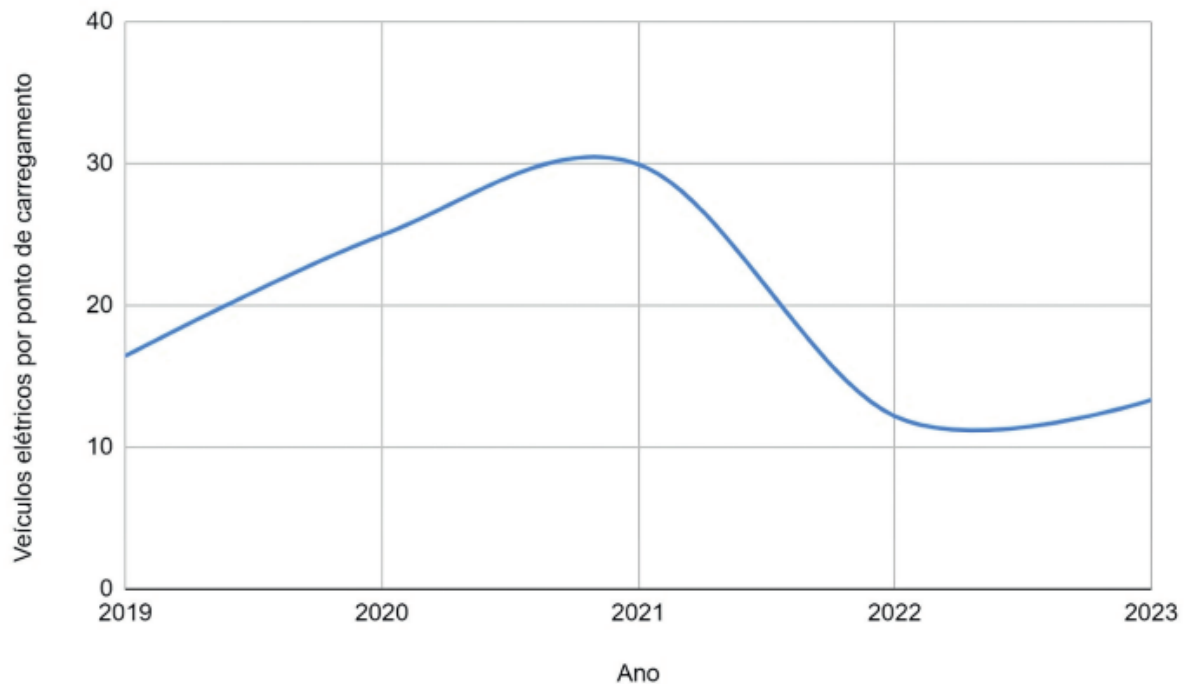
Fonte: Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - PNME (2023)

Atualmente, aproximadamente 3,8 mil estações de recarga estão em operação no Brasil, com projeção indicando que até 2025 esse número alcance 10 mil unidades em funcionamento (VENDITTI, 2023). O contínuo desenvolvimento desses pontos de recarga é de suma importância para a popularização dos veículos elétricos, pois à medida que presença desses veículos no mercado cresce, as estações de recarga pública se tornam fundamentais para sustentar sua adoção em larga escala, especialmente em regiões mais distantes da capital, onde o acesso à recarga pode ser limitado.

Por outro ponto de vista, de acordo com a Diretiva de Infraestrutura de Combustíveis Alternativos (2023), a recomendação padrão é de 10 veículos elétricos para cada ponto de recarga. No entanto, essa proporção pode variar entre países, como nos Estados Unidos, onde boa parte das famílias têm a possibilidade de instalar estações de recarga em suas residências, resultando em uma taxa de veículos elétricos por equipamento de 24 (PNME, 2023).

No Brasil, quando se analisa exclusivamente as estações públicas e semipúblicas, houve um aumento na relação de VE/estação até 2021, impulsionado principalmente pelo crescimento da frota de veículos. Contudo, em 2022 essa razão reduziu drasticamente, principalmente pelo avanço da quantidade de equipamentos, conforme indicado no gráfico da Figura 26.

Figura 26 – Veículos elétricos por ponto de recarga (pública e semipública), entre 2019 e 2023



Fonte: Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - PNME (2023)

Porém, a taxa volta a crescer em 2023, tendo em vista o aumento nas vendas de veículos elétricos nesse período.

Além das estações de recarga localizadas nas áreas urbanas, uma parte considerável dessa infraestrutura deve se estender às estradas e rodovias do interior, dada a sua importância no fluxo de mercadorias e pessoas. Já existe vários equipamentos instalados em corredores estratégicos, principalmente estações rápidas de recarga, com potência variando entre 50kW e 100kW. Com o objetivo de promover o uso de veículos elétricos em viagens de longa distância, diversas empresas, universidades, institutos e administração pública se unem para desenvolver projetos e expandir as infraestruturas necessárias (PNME, 2023).

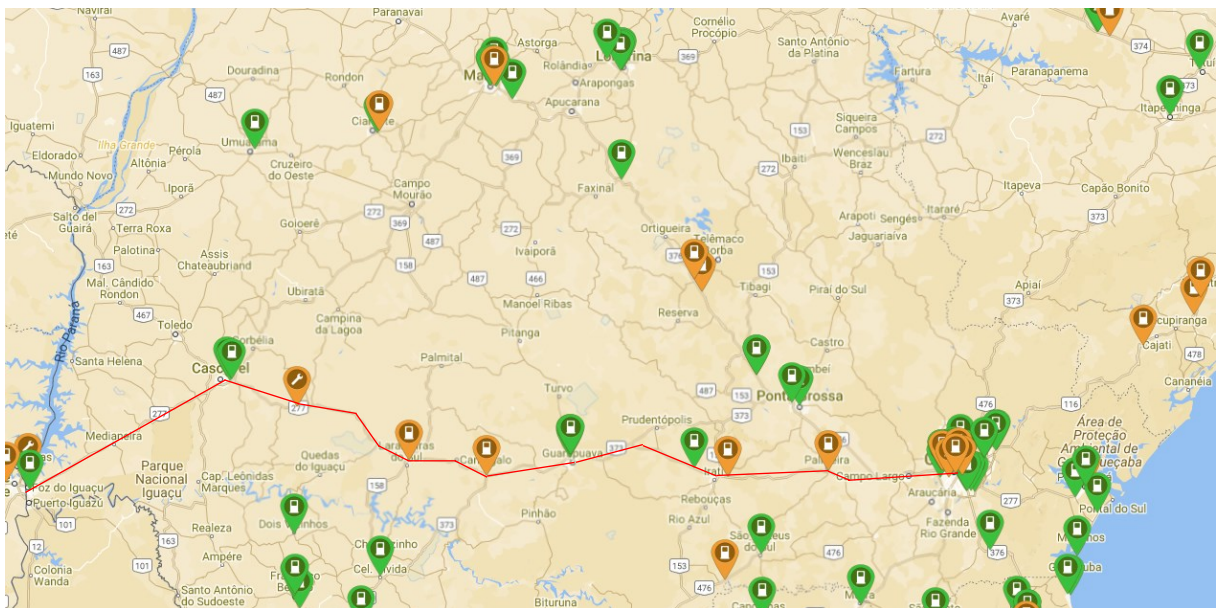
Nesse contexto, um dos principais catalizadores desse tipo de iniciativa foi o Programa de Pesquisa (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que estabeleceu a obrigatoriedade para empresas que possuem concessão nos setores de geração, transmissão e distribuição de energia de investir, anualmente, um pequeno percentual definido de sua receita operacional líquida (ROL). Com isso, concessionárias de energia (Celesc, Copel, EDP, CEE Equatorial, Neoenergia, entre outras) optaram por projetos nesse âmbito (PNME, 2023).

As estradas estratégicas estão equipadas com infraestrutura em diversos estados, sobretudo na região sul e sudeste do país. Entre elas, a que mais se destaca na região sul, especificamente no Paraná, é a eletrovia da Copel.

3.4.2 Eletrovia da Copel

A eletrovia da Copel foi inaugurada no final de 2018, oferecendo 12 pontos de recarregamento ao longo da rodovia BR-277, conectando o extremo leste ao extremo oeste do Paraná (PNME, 2023). Essa iniciativa resultou de uma parceria entre a Companhia Paranaense de Energia (Copel) e a Itaipu Binacional, com um investimento total de R\$ 5,5 milhões no projeto (PARANÁ, 2022). A distribuição das estações de recarga no Paraná pode ser visualizada na Figura 27.

Figura 27 - Rede de estações de recarga rápida no Paraná



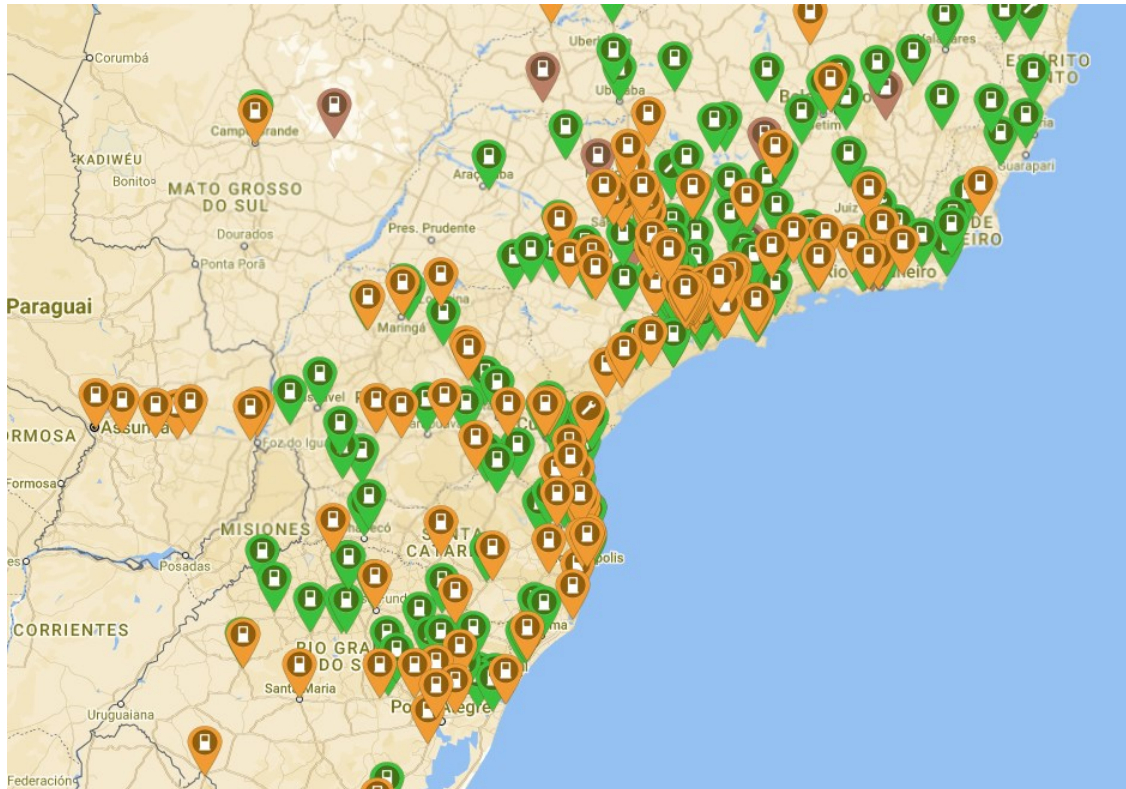
Fonte: Plataforma PlugShare (2024)

A linha vermelha da figura representa a eletrovia da Copel, ela atualmente conecta a cidade de Foz de Iguaçu à capital Curitiba. Ao longo do percurso, os motoristas encontram 8 pontos de recarga, dos quais 4 oferecem recarga rápida (em laranja) e 3 recargas lenta. Em viagens longas, uma cobertura maior de infraestrutura com carregamento rápido é mais vantajosa para os motoristas.

Na Figura 28 é evidente a carência de infraestrutura para carregamento de veículos elétricos em cidades do interior, principalmente no estado do Paraná. No

próximo capítulo é conduzido um estudo simulando duas viagens no estado do Paraná, com o objetivo de avaliar a viabilidade desse percurso para o interior do estado.

Figura 28 - Rede de estações de recarga rápida no Sul e Sudeste



Fonte: Plataforma PlugShare (2024)

Ao contrário dos veículos a combustão, em que viagens longas são mais simples, é essencial planejar com antecedência ao viajar com um veículo elétrico para evitar ficar sem bateria durante o percurso. Neste estudo, serão utilizadas duas ferramentas populares entre os proprietários de veículos elétricos: o *PlugShare*, que mapeia todos os pontos disponíveis para carregamento, e o *A Better Routeplanner (ABRP)*. Segundo Márcio (2023), o último é o mais comumente utilizado na prática, funcionando de maneira semelhante ao aplicativo *Waze*. Além de definir a melhor rota, o ABRP permite que os usuários selecionem o modelo do seu veículo, a porcentagem de bateria desejada ao chegar no destino, calculando os pontos disponíveis para realizar as paradas na sua viagem.

Outro dado relevante mensurado pelo aplicativo é o consumo de energia do veículo durante todo o trajeto. Como os eletropostos da Copel ainda não cobram pela recarga, não haverá custo adicional. No entanto, de acordo com Fontana (2023), o

valor médio cobrado em pontos de recarga é de R\$1,90 por kWh consumido. No estudo, será considerado um modelo popular de veículo a combustão, que consome em média 14,6 km/l de gasolina na estrada (Hyundai, 2024). O preço médio da gasolina a R\$5,77 no Paraná (Petrobras, 2024). A equação 4 abaixo exemplifica o cálculo realizado para determinar o custo associado ao veículo a gasolina:

$$\text{Custo da Viagem (R\$)} = \frac{\text{Distância da Viagem (km)} * \text{Custo da Gasolina } \left(\frac{\text{R\$}}{\text{l}}\right)}{\text{Consumo do carro } \left(\frac{\text{km}}{\text{l}}\right)} \quad (4)$$

Com essa informação do custo da gasolina, será possível realizar uma comparação direta de custo-benefício entre abastecer um veículo a gasolina e recarregar um veículo elétrico.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 IMPACTO DO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Para examinar o impacto do carregamento de veículos elétricos na rede de distribuição, será feita uma análise em três cenários distintos, considerando 10%, 30% e 50% da frota composta por veículos elétricos. Delimitando o impacto da adição dessa nova carga em relação à rede de distribuição e, conseqüentemente, no sistema de geração do estado de São Paulo.

Para esta análise, será utilizada as especificações de veículos elétricos mencionadas no capítulo anterior.

4.1.1 Cenário 1 – 10% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo

Com o intuito de demonstrar o impacto na rede de distribuição elétrica na adoção em larga escala, o primeiro cenário quantificará o impacto de 10% da frota sendo composta por veículos elétricos. Para esse fim, a análise leva em consideração as informações do IBGE (2023) que a frota de veículos leves no estado de São Paulo é de 19.632.285 veículos, neste cenário é considerado que 10% desse total é de veículos elétricos.

Na Tabela 6 é apresentado o impacto do carregamento desses veículos na rede de distribuição de forma resumida, no apêndice 2 encontra-se todos os valores detalhados. Além do modo de carga lenta descrita anteriormente, o cenário também inclui os impactos do modo de carregamento rápido, com uma potência de 7 kW.

Tabela 6 – Resumo Cenário 1

Número de Veículos Elétricos	Demanda diária de carga (MWh)	Pico de Potência por modo de carregamento		Tempo de Carregamento	
		Lenta (MW)	Rápida (MW)	Lenta (horas)	Rápida (horas)
1.963.229	15.381	4.947	12.368	3,1	1,2

Fonte: O autor

Ao comparar as informações da Tabela 5 com a Tabela 6, é evidente que, nesse cenário, o consumo diário de energia elétrica aumentará em 4% com o acréscimo da demanda diária nesse cenário, esse novo perfil de carga não compromete a rede de distribuição do estado de São Paulo.

O comportamento da curva de carga do estado de São Paulo é similar ao da figura 15, nele é possível reparar que o período de menor demanda da rede de distribuição acontece durante o período da madrugada, das 23h às 6h. O menor impacto na rede de distribuição é associado ao perfil de carga de quem carrega o veículo elétrico em casa durante a madrugada, já que nesse caso a potência conectada à rede é menor (carga lenta). Segundo este estudo, o carregamento lento geraria um pico de carga de 4.947 MW por cerca de 3 horas, sem gerar danos para a rede de distribuição.

De todos os cenários analisados, este é o mais otimista com relação ao pico de potência na rede de distribuição. Caso seja empregado o método de recarregamento rápido, 7kW, geraria um pico de carga de 12.368 MW durante 1 hora e 12 minutos. Por se tratar de um carregamento rápido, ela seria utilizada pelo público que carrega seu veículo em momentos de oportunidades durante o dia. Isto é, essa carga seria introduzida na rede de distribuição quando seu uso já é naturalmente elevado. Em comparação com o consumo de energia que a rede de distribuição precisa distribuir no estado de São Paulo, conforme indicado na Tabela 5, o aumento da carga desses carregadores, mesmo durante um curto período, não causaria grandes problemas para a rede de distribuição.

4.1.2 Cenário 2 – 30% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo

Nesse processo, levando em consideração que 30% dos veículos leves do estado de São Paulo sejam puramente elétricos, esse segundo cenário se torna um tanto mais desafiador. Com o triplo da quantidade de veículos do cenário anterior, o carregamento rápido começa a apresentar problemas para a rede de distribuição.

A Tabela 7 apresenta os dados referente a este cenário. Vale ressaltar que foram utilizadas as mesmas premissas do cenário anterior para a elaboração dos cálculos.

Tabela 7 – Resumo Cenário 2

Número de Veículos Elétricos	Demanda diária de carga (MWh)	Pico de Potência por modo de carregamento		Tempo de Carregamento	
		Lenta (MW)	Rápida (MW)	Lenta (horas)	Rápida (horas)
5.889.686	46.142	14.842	37.105	3,1	1,2

Fonte: O autor

Ao comparar as informações da Tabela 7 com a Tabela 5, é evidente que, nesse cenário, o consumo diário de energia elétrica aumentará em 12% com o acréscimo da demanda diária dos veículos elétricos, esse novo perfil de carga pode comprometer a rede de distribuição.

Como explicado anteriormente, a menor demanda na rede de distribuição ocorre durante a madrugada, especialmente com o uso do carregador de carga lenta. Os 14.142 MW conectados à rede de distribuição por cerca de 3 horas não causam um impacto significativo, principalmente porque a rede de distribuição está projetada para suportar valores muito mais elevados durante o período de pico na parte da tarde.

Entretanto, ao considerar o carregamento rápido, uma demanda de potência mais alta é necessária em um período curto, que representa um desafio para a rede de distribuição. Se todos os veículos elétricos forem conectados nesse modo de carregamento, a rede de distribuição do estado de São Paulo precisaria fornecer 37.105 MW de potência por cerca de 1 hora e 12 minutos, representando um acréscimo significativo de carga para a rede de distribuição. Com esse novo perfil de carga, torna-se inviável aplicar esse método de carregamento em larga escala para veículos elétricos na rede de distribuição do estado de São Paulo. Em momentos específicos, pode ocorrer um pico de carga que acarretaria sérios problemas para a rede de distribuição, incluindo queda de tensão, perda de eficiência, risco de cortes de carga e sobrecargas de equipamentos.

Além disso, o sistema de geração do estado de São Paulo não comporta esse novo perfil de carga, segundo o governo do estado de São Paulo (2023), atualmente o estado gera apenas 45% da energia necessária para atender a sua demanda, apontando a grande necessidade de importação de outros estados (55%), com o aumento da adoção de veículos elétricos no estado, a dependência das fontes de geração de outros estados ficará ainda maior.

4.1.3 Cenário 3 – 50% da frota sendo elétrico no estado de São Paulo

Levando em consideração que metade dos veículos são puramente elétricos, este é o cenário mais desafiador. Embora essa proporção pareça improvável, os esforços para reduzir a dependência de combustíveis fósseis podem torná-la uma realidade.

Os dados para este estudo são apresentados na Tabela 8, seguindo as mesmas premissas dos estudos anteriores.

Tabela 8 – Resumo Cenário 3

Número de Veículos Elétricos	Demanda diária de carga (MWh)	Pico de Potência por modo de carregamento		Tempo de Carregamento	
		Lenta (MW)	Rápida (MW)	Lenta (horas)	Rápida (horas)
9.816.143	76.903	24.737	61.842	3,1	1,2

Fonte: O autor

Ao comparar as informações da Tabela 8 com a Tabela 6, é evidente que, nesse cenário, o consumo diário de energia elétrica aumentará em 20% com o acréscimo da demanda diária nesse cenário. Esse novo perfil de carga compromete a rede de distribuição do estado de São Paulo.

Continuando a correlação dos dados da tabela resumo do cenário (Tabela 8) em conjunto com a curva de carga que impacta diretamente a rede de distribuição, torna-se evidente que o modo de carga lenta enfrenta desafios significativos para integrar essa carga à rede de distribuição elétrica. Os 24.737 MW conectados na rede ao longo de 3 horas geram impactos relevantes na rede de distribuição, tornando esse modo impraticável, mesmo durante a madrugada. Esse novo perfil de carga ultrapassa consideravelmente a capacidade para a qual o sistema está projetado para operar, demandando uma atualização urgente da rede de distribuição para suportar a adoção em larga escala dos veículos elétricos.

Adicionalmente, considerando que o modo de recarga rápida se tornou inviável no cenário 2, permanece igualmente inviável no cenário atual, assim como o modo de recarga lenta. Esse novo perfil de carga é inviável para a atual rede de distribuição e o sistema de geração de energia do estado de São Paulo, aumentando a sua dependência da geração de energia de outros estados e, conseqüentemente, do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Conforme evidenciado neste estudo, a transição para a mobilidade elétrica apresenta desafios significativos para a atual rede de distribuição e o sistema de geração de energia elétrica do estado de São Paulo. Analisando cenários que variam desde 10% até 50% da frota sendo composta por veículos elétricos, percebe-se que tanto o carregamento lento quanto o rápido impõem desafios adicionais ao sistema elétrico de distribuição. Mesmo no cenário mais otimista, a demanda gerada pelos veículos elétricos durante os horários de pico desafia a capacidade da rede de distribuição existente, evidenciando a necessidade de modernização de toda a rede de distribuição antes de acontecer essa transição para a mobilidade elétrica.

4.2 ESTUDO DOS PONTOS DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO ESTADO DO PARANÁ

Dentro das principais cidades do Brasil é possível encontrar uma boa distribuição de pontos para recarregar um veículo elétrico. Entretanto, a situação se torna mais desafiadora ao realizar viagens longas para o interior do estado. Além disso, é importante notar que a autonomia dos veículos tende a ser menor em estradas, visto que o sistema de recarga da bateria por meio da frenagem é menos utilizado. Por conta disso, foram desenvolvidos dois cenários para estudo, ambos partindo de Curitiba, um com destino a Cascavel e outro para Campo Mourão.

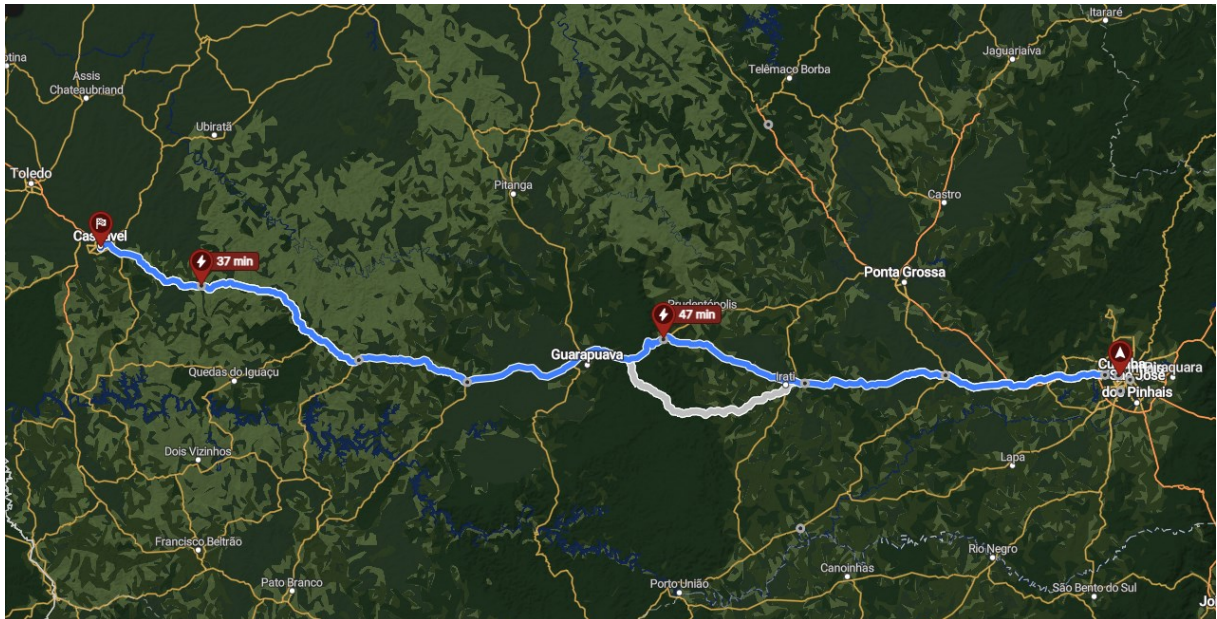
O estudo considera algumas premissas fundamentais: o itinerário mais rápido para a viagem, o veículo elétrico partindo de Curitiba com a bateria totalmente carregada e, por questões de segurança, deve chegar ao destino com pelo menos 50% da carga. Além disso, é considerado que o veículo deva chegar ao ponto de recarga com no mínimo 15% de carga na bateria. Todas essas configurações foram realizadas no aplicativo ABRP antes de apresentar os resultados.

4.2.1 Cenário 1 – Viagem para o Cascavel

Este é o cenário em que se utiliza os pontos de recarga da eletrovia da Copel, localizada ao longo da BR 277, o principal corredor que atravessa o estado do Paraná.

Na Figura 29 é mostrado o trajeto que é percorrido entre a cidade de Curitiba e Cascavel.

Figura 29 – Trajeto de Curitiba para Cascavel



Fonte: A Better Routeplanner – ABRP, 2024

Durante a viagem, observa-se que o itinerário gerado pelo ABRP inclui duas paradas para recarga da bateria, uma antes da cidade de Guarapuava e outra pouco antes do destino final em Cascavel. O resumo de todas as informações relacionadas ao planejamento da viagem é apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Resumo das Informações importantes (Cascavel)

Localização	Chegada SoC	Partida SoC	Custo	Charge Card	Distância	Condução	Chegada	Partida
📍 Curitiba, PR, Brasil		100%			209 km	2 h 25 min		10:00
⚡ Copel Eletroposto Serra Do Relógio [Copel]	32%	93%	0.0		237 km	2 h 49 min	12:25	13:17
⚡ Restaurante Choupana [Copel]	15%	67%	0.0		52 km	37 min	16:06	16:48
📍 Cascavel, PR, Brasil	50%				0 m		17:24	
🔋 69,9 kWh, 140 Wh/km					498 km	5 h 51 min	7 h 24 min	

Fonte: A Better Routeplanner – ABRP, 2024

Portanto, partindo de Curitiba às 10 horas da manhã, está previsto uma parada às 12h30 no eletroposto Serra do Relógio (Copel). Neste local, o veículo será carregado por 52 minutos até atingir 93% da capacidade de sua bateria. Antes de chegar ao destino, o aplicativo recomenda realizar uma outra recarga, com duração

de 42 minutos, para carregar a bateria até 67% da capacidade. Isso permitirá chegar à Cascavel com pelo menos 50% da capacidade da bateria.

No total, ao percorrer quase 500 km, o tempo de viagem será de 7 horas e 24 minutos, com 1 hora e 23 minutos dedicados exclusivamente para recarga do veículo. Se fosse utilizado um veículo a combustão, a viagem levaria apenas 5 horas e 51 minutos, o tempo efetivamente gasto em deslocamento. Possivelmente, durante o período de recarga da bateria, o motorista poderia aproveitar para fazer uma pausa para refeição e outras atividades.

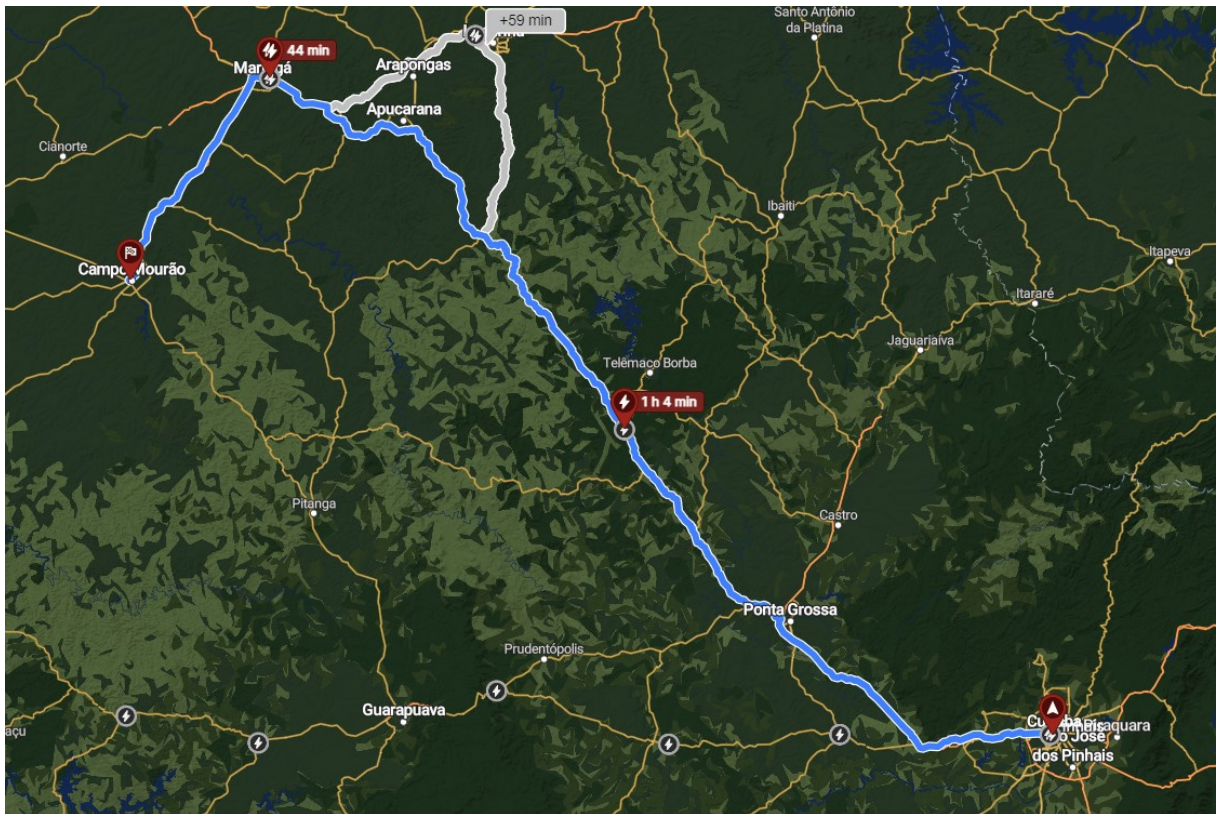
O aplicativo também registra o consumo de energia do veículo ao longo do percurso, totalizando 70 kWh. Como a Copel ainda não cobra o carregamento em seus pontos da eletrovia, não há despesas adicionais. No entanto, considerando um modelo popular de veículo a gasolina, o preço médio da gasolina no Paraná e a fórmula 4 mencionado anteriormente, a mesma viagem com esse veículo custaria aproximadamente R\$197, significativamente mais caro do que escolher a opção elétrica.

Entretanto, esse menor custo envolve riscos, especialmente com a crescente adoção de veículos elétricos. Ao chegar ao ponto de recarga planejado, ele pode estar em uso ou até mesmo passando por manutenção. Portanto, é crucial fazer um planejamento cuidadoso para evitar chegar sem carga nos pontos de recarga, especialmente enquanto os pontos de recarga ainda não estão totalmente desenvolvidos para suportar uma ampla adoção de veículos elétricos.

4.2.2 Cenário 2 – Viagem para Campo Mourão

Este cenário é um pouco mais desafiador do que o anterior, como não tem a eletrovia da Copel, os pontos de recarga até o destino são mais limitados. Neste caso, não é viável seguir diretamente para a cidade de Campo Mourão; o motorista precisa ir até Maringá para recarregar seu veículo antes de continuar até o destino. Os pontos de recarga ao longo desse trajeto podem ser observados na Figura 31.

Figura 32 – Trajeto de Curitiba para Campo Mourão



Fonte: A Better Routeplanner – ABRP, 2024

O resumo de todas as informações relacionadas ao planejamento da viagem é apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Resumo de Informações importantes (Campo Mourão)

Localização	Chegada SoC	Partida SoC	Custo	Charge Card	Distância	Condução	Chegada	Partida
📍 Curitiba, PR, Brasil		100%			211 km	2 h 24 min		10:00
⚡ EzVolt Volvo - Restaurante Soledade 2 - Imbaú [EZVolt]	26%	86%	0.0		211 km	2 h 26 min	12:24	13:33
⚡ Audi Center Maringá	15%	84%	0.0		93 km	1 h 9 min	16:00	16:49
📍 Campo Mourão, PR, Brasil	50%				0 m		17:59	
🔋 76,3 kWh, 148 Wh/km					514 km	6 h 1 min	7 h 59 min	

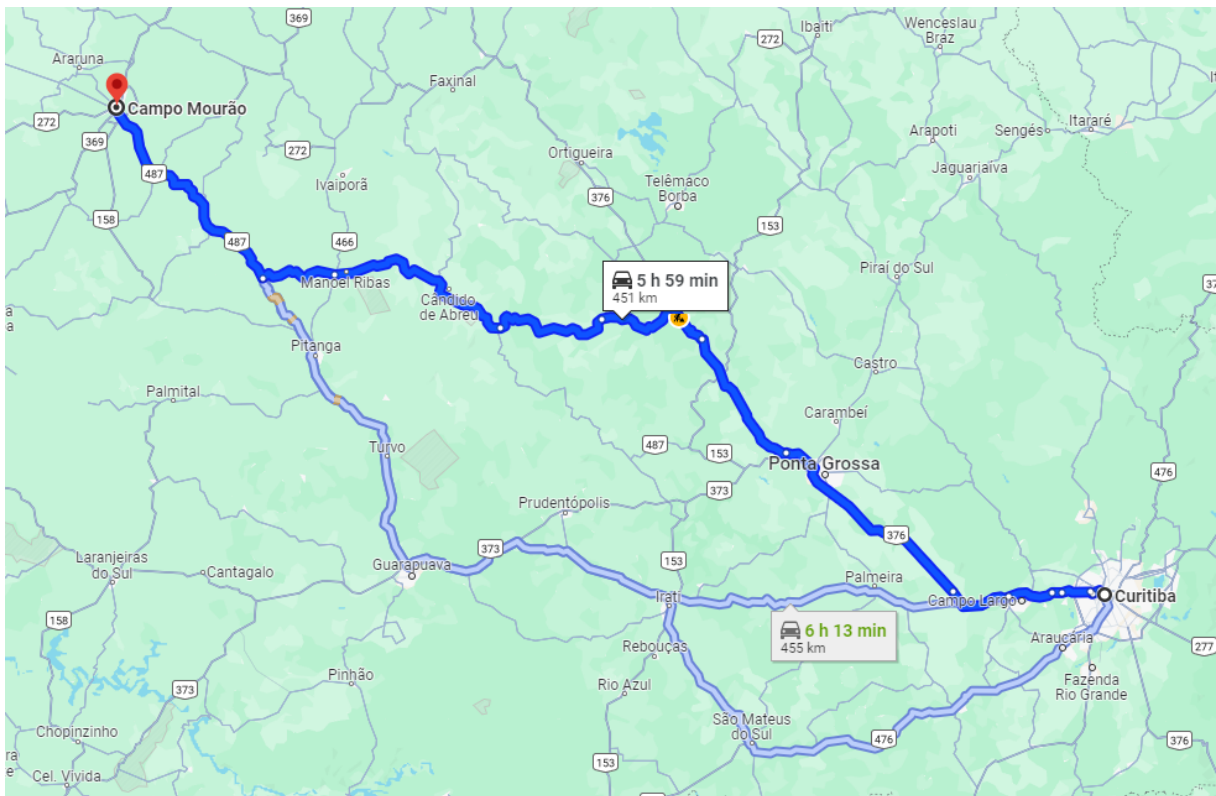
Fonte: A Better Routeplanner – ABRP, 2024

Portanto, partindo de Curitiba às 10 horas da manhã, está previsto uma parada às 12h24 no Restaurante Soledade 2 próximo de Imbaú. Neste local, o veículo será carregado por 1 hora e 9 minutos até atingir 86% da capacidade de sua bateria. Antes de chegar ao destino, o aplicativo recomenda realizar uma outra recarga, com

duração de 49 minutos, para carregar a bateria até 84% da capacidade. Isso permitirá chegar à Campo Mourão com pelo menos 50% da capacidade da bateria, como nesta cidade ainda não ponto de recarga, essa terá que suprir sua volta para Maringá.

No total, ao percorrer quase 515 km, o tempo de viagem será de 8 horas, com 1 hora e 47 minutos dedicados exclusivamente para recarga do veículo. Se fosse utilizado um veículo a combustão, ele teria postos de combustível permitindo sua ida diretamente para a cidade final, resultando em uma viagem de 6 horas e percorrendo 451 km, como apresentado na Figura 34. Reduzindo toda a viagem em 2 horas, tornando a viagem muito mais viável e confortável.

Figura 34 - Viagem direta para Campo Mourão



Fonte: Google Maps, 2024

Por fim, o aplicativo mensura o consumo de energia do veículo durante todo o trajeto, que chega a aproximadamente 76 kWh. O primeiro ponto de recarga no restaurante é gratuito o carregamento. No entanto, na última parada, segundo o aplicativo PlugShare (2024), a concessionária da Audi cobra um valor de R\$ 3,50 por kWh consumido na recarga. Com isso, a viagem custaria em torno de R\$103,25 para recarregar 30 kWh no último ponto.

Nesse processo, considerando o modelo popular de veículo a combustão e o preço da gasolina do cenário anterior, a mesma viagem custaria cerca de R\$178,25. Com uma diferença de apenas R\$75 e uma redução de 2 horas na viagem, o veículo a combustão é o mais viável para realizar essa viagem. Ademais, há risco de retornar da cidade de Campo Moura sem carga na bateria e de encontrar pontos de recargas ocupados ou em manutenção em Maringá.

Portanto, é evidente que a viabilidade de utilizar o veículo elétrico ou a combustão depende do cenário. Além disso, nas cidades, é possível encontrar vários pontos de recarga, o que não acontece nos centros urbanos do interior e nas rodovias. Para que a adoção em larga escala se concretize, é crucial o avanço dos pontos de recarga para o interior do país, caso contrário, essa limitação pode impedir uma maior adesão por parte de novos usuários.

4.3 PLANO DE AÇÃO/PREVISÃO

A estratégias como tarifação diferenciada e incentivos para o carregamento em horários de menor demanda, além do monitoramento contínuo da rede, como medidas essenciais para enfrentar os desafios impostos pela mobilidade elétrica. Diante desse novo desafio, a transição para os veículos elétricos não apenas redefine a forma como nos deslocamos, mas também representa uma oportunidade para repensar e fortalecer a rede de distribuição elétrica, preparando-a para atender às demandas de uma sociedade mais sustentável e conectada.

Logo, considerando as projeções futuras descrita nos cenários anteriores, fica evidente que a atual rede de distribuição do estado de São Paulo não está preparada para suportar mais de 30% dos veículos em circulação sendo totalmente elétricos. Com uma adoção em larga escala, como 50%, a rede de distribuição enfrenta desafios significativos para lidar com o novo perfil de carga durante o carregamento dos veículos elétricos. Isso pode resultar em instabilidade da rede, oscilação de frequência, desequilíbrio das tensões, perda de eficiência e sobrecarga de equipamentos, como transformadores, cabos e disjuntores. Em casos mais extremos, essa sobrecarga pode levar a falhas generalizadas, levando a apagões e interrupções no fornecimento de energia. Portanto, é essencial entender o impacto na rede de distribuição elétrica com uma adoção em larga escala de veículos elétricos, assim podendo implementar mudanças para evitar problemas operacionais e garantindo a confiabilidade da rede.

Além disso, a recarga é um dos principais desafios para a adoção em larga escala de veículos elétricos no Brasil. O principal plano de ação nesse aspecto é expandir a disponibilidade de recarga fora de grandes centros urbanos, pois os motoristas de veículos elétricos enfrentam dificuldades para encontrar estações de recarga em suas rotas durante viagens mais longas.

Estudos nesse campo são importantes para indicar que a rede de distribuição atual não está preparada para suportar a adoção em larga escala de veículos elétricos. Isso ressalta a possibilidade de ser o principal obstáculo, uma vez que os usuários de veículos elétricos precisam de pontos de recarga confiáveis para adoção em maior escala, pois ninguém deseja ficar com a bateria descarregada durante uma viagem.

5 CONCLUSÃO

O estudo foi motivado pela crescente presença dos veículos elétricos no cenário nacional. Este trabalho de conclusão de curso teve como propósito apresentar análises e cenários detalhados para explorar os desafios relacionados com a implementação em larga escala dessa tecnologia.

Observando uma tendência de redução do uso de veículos movido a combustíveis fósseis e um aumento na adoção de veículos elétricos, denominado como transição para a mobilidade elétrica. Essa mudança é impulsionada principalmente pelos acordos climáticos governamentais, que resultam em incentivos fiscais para empresas e isenção de taxas de licenciamento para os proprietários dos veículos elétricos.

O mercado e a indústria automobilística têm se desenvolvendo e aprimorando de soluções para eletrificar a frota de veículos tanto no Brasil quanto no mundo. Não apenas montadoras, mas também outros players de diferentes setores, como é o caso da Petroleira Shell, que busca soluções para continuar abastecendo a frota automobilística em uma utilização em larga escala.

Portanto, é imprescindível que o desenvolvimento dos pontos de carregamento acompanhe o ritmo das vendas dos veículos elétricos. Caso contrário, será necessário enfrentar uma baixa relação entre veículos e pontos de carregamento, o que resultaria em uma menor adoção dessa nova tecnologia e desencorajaria novos usuários a aderirem a ela. Isso poderia até mesmo nos fazer retroceder ao modelo de veículos a combustão, como já aconteceu no passado.

Por fim, após a apresentação dos dados relevantes para o estudo, foram conduzidos dois estudos, o primeiro para avaliar o impacto da alteração do perfil de carga no estado de São Paulo e o segundo para analisar a viabilidade do uso dos pontos de recarga no estado do Paraná.

No primeiro estudo, os três cenários variaram desde uma proporção inicialmente baixa, com 10% da frota composta por veículos elétricos, até um cenário mais extremo, embora plausível em uma implementação em larga escala, com 50% dos veículos sendo totalmente elétricos. De forma analítica, foi possível compreender o impacto potencial de cada caso da alteração do perfil de carga, especialmente quando essa nova demanda se soma com a já existente na curva de carga. Se o sistema de distribuição não for planejado adequadamente prevendo essa carga futura,

há riscos significativos de queda de tensão, perda de eficiência, possibilidade de apagões e sobrecargas em equipamentos.

Além disso, dois cenários foram abordados para avaliar a utilização dos pontos de recarga existentes. A eletrovia presente no estado do Paraná desempenha um papel crucial na viabilidade das viagens de longa distância com veículos elétricos. No entanto, o interior do estado e, de fato, do Brasil, ainda carecem de pontos de recarga. Um dos principais obstáculos para adoção em larga escala, no passado, foi a impossibilidade de realizar viagens mais longas com esses veículos, devido a inconveniência de possuir dois veículos para diferentes soluções, estrada e rodovia.

Por fim, como sugestão a trabalhos futuros, a integração entre a tecnologia de geração distribuída (GD) com os pontos de recarga pode ser um campo promissor de estudo. A expansão da geração distribuída pode impactar positivamente o aumento no consumo de energia devido à carga adicional dos veículos elétricos. Em resumo, a geração distribuída e os pontos de recarga de veículos elétricos estão interligados em sua dependência de uma rede de distribuição eficiente e na localização estratégica de instalações. A abordagem integrada dessas duas tecnologias pode contribuir significativamente para a transição do Brasil para um sistema de energia mais limpo, eficiente e sustentável.

REFERÊNCIAS

ABRP. **A Better Routeplanner**. fev. 2024. Disponível em: <https://abetterrouteplanner.com/>. Acesso em 27 fev. 2024

ANFAVEA. **Demanda de energia dos veículos leves: 2024-2033**. dez. 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-694/NT-EPE-DPG-SDB-2023-04_Demanda_Ve%C3%ADculos_Leves_2024-2033.pdf. Acesso em 14 fev. 2024

ANGELO, C.; RITTL, C. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2018**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Brasil, nov. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. **2023 bate todas as previsões**. jan. 2024. Disponível em: <http://www.abve.org.br/2023-supera-todas-as-previsoes-94-mil-eletrificados/>. Acesso em 25 jan. 2024

AUTO ESPORTE. **recarregador mais rápido do Brasil será instalado em cidade que tem três carros elétricos**. jun. 2020. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2020/06/exclusivo-recarregador-mais-rapido-do-brasil-sera-instalado-em-cidade-que-tem-tres-carros-eletricos.ghtml>. Acesso em 12 jan. 2024

BELCHIOR, S, R,S. et al. **Análise do impacto de inserção de veículos elétricos de distribuição, focando distorções de tensão**. Goiás, 2020

BLOOMBERG. **O Futuro do Mercado de Armazenamento de Energia**. set. 2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/webinar/bnef-the-global-energy-storage-market/>. Acesso em 18 jan. 2024

BORBA, B.S.M.C. 2012. **Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético - COPPE – UFRJ.

BOTELHO, Vinícius. 2020. **análise do impacto da infraestrutura de recarga de veículos elétricos no planejamento da expansão dos sistemas de distribuição**. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Universidade de Juiz de Fora – UFJF, 2020

BRAJTERMAN, Olivia. 2016. **Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro**. Tese Dissertação (Mestre em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético - COPPE – UFRJ.

BRITO, D. **Efeito estufa: transporte responde por 25% das emissões globais**. Agência Brasil, dez. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais>. Acesso em: 11 jan. 2024

CONSONI, F. L. et al. **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos**. Brasília DF: Ministério da Indústria, Comercio Exterior e Serviços MDIC, 2018

DELGADO, F. et al. **Carros Elétricos**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2017

ENERGIA INTELIGENTE. **Como funciona: Pilha de Hidrogênio**. out. 2018. Disponível em: <https://energiainteligenteufjf.com.br/como-funciona/como-funciona-pilha-de-hidrogenio/>. Acesso em 17 jan. 2024

EPE. **Planejamento Energético e a EPE**. out. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/planejamento-energetico-e-a-epe>. Acesso em 09 fev. 2024

ERIKA, Y. **Cidade Universitária terá a primeira estação de hidrogênio renovável a partir do etanol do mundo**. ago. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/institucional/cidade-universitaria-tera-a-primeira-estacao-de-hidrogenio-renovavel-a-partir-do-etanol-do-mundo/>. Acesso em 21 jan. 2024.

FGV. **Carros Elétricos**. mai. 2017. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos>. Acesso em 12 fev. 2024

GAZETA DO POVO. **Pesquisa revela a média anual de km rodado de carro pelo brasileiro**. abr. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/automoveis/km-rodado-ano-carro-motorista-brasil/>. Acesso em 25 jan. 2024

GILSON GARRET. **Os 10 carros elétricos com maior autonomia, segundo o Inmetro**. out. 2023. Disponível em: <https://exame.com/casual/os-10-carros-eletricos-com-maior-autonomia-segundo-o-inmetro/>. Acesso em 29 jan. 2024

IBERDROLA. **Dimensões das baterias: sua importância e sua influência no desempenho**. mai. 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/tamanho-baterias>. Acesso em 03 mar. 2024

IBERDROLA. **O veículo elétrico: uma viagem por mais de 200 anos de história**. Fev. 20xx. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-carro-eletrico>. Acesso em 15 jan. 2024

IBERDROLA. **O veículo elétrico: uma viagem por mais de 200 anos de história**. out. 20?. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-carro-eletrico>. Acesso em 19 jan. 2024.

IEMA. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. dez. 2020. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufanos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso em 03 fev. 2024

JANAINA, A. **O que é célula a combustível?**. out. 2020. Disponível em: <http://www.usp.br/portaliobiosistemas/?p=4316>. Acesso em 19 jan. 2024.

Jardesin Márcio. **Conheça excelentes aplicativos CarPlay para veículos elétricos**. set. 2023. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/conheca-excelentes-aplicativos-carplay-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em 13 fev. 2024

LEGEY, R. B; LOUREIRO, L.F. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. Mar. 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1489>. Acesso em 15 jan. 2024

MINASPETRO. **Postos tradicionais no Brasil se preparam para os carros elétricos**. mai. 2022. Disponível em: <https://minaspetro.com.br/blog/2022/05/25/postos-tradicionais-no-brasil-se-preparam-para-os-carros-eletricos/>. Acesso em 12 fev. 2024

MINASPETRO. **Postos tradicionais no Brasil se preparam para os carros elétricos**. mai. 2022. Disponível em: <https://minaspetro.com.br/blog/2022/05/25/postos-tradicionais-no-brasil-se-preparam-para-os-carros-eletricos/>. Acesso em 09 fev. 2024

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Fev. 2019. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em 11 jan. 2024

NEOCHARGE. **Bateria de um veículo elétrico**. Jul. 2021. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>. Acesso em 15 jan. 2024

NEOCHARGE. **Conheça os tipos de Carros Elétricos**. out. 2021. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em 20 jan. 2024.

ONS. **Curva de carga horária**. jan. 2024. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/curva_carga_horaria.aspx. Acesso em 27 jan. 2024

OSÓRIO, Victor Alberto Garcia. 2013. **Carregamento ótimo de veículos elétricos considerando as restrições das redes de distribuição de média tensão**. Tese Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica, Ilha Solteira, 2013.

PARANA. **Copel amplia eletrovia para recarga de veículos elétricos até Londrina e Joinville**. fev. 2024. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Copel-amplia-eletrovia-para-recarga-de-veiculos-eletricos-ate-Londrina-e-Joinville>. Acesso em 12 fev. 2024

PETROBRAS. **Como são os preços Gasolina**. fev. 2024. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/gasolina/pr>. Acesso em 13 fev. 2024

PINTO, R. **Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Elétricos numa Estação de Carregamento**. Dissertação (Grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2015

PLUGSHARE. **Plug Share**. fev. 2024. Disponível em: <https://www.plugshare.com/br>. Acesso em 27 fev. 2024

PNME. **3º anuário brasileiro da mobilidade elétrica**. fev. 2024. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/3o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica-pnme/>. Acesso em 12 fev. 2024

RAÍZEN. **Raízen Power e BYD firmam parceria estratégica para impulsionar a mobilidade elétrica sustentável no Brasil**. fev. 2024. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-power-e-byd-firmam-parceria-estrategica-para-impulsionar-a-mobilidade-eletrica-sustentavel-no-brasil>. Acesso em 12 fev. 2024

RIECK, F. G.; MACHIELSE, C.; DUIN, J. van. *The future of mobility*. 2017.

SAWADA, S. Y. E COL. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2020**. Jan. 2020. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf>. Acesso em 13 jan. 2024

SENATRAN. **Estatísticas - Frota de Veículos - SENATRAN**. fev. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em 01 fev. 2024

TOLEDO, A. L. L. **Emissões de gases de efeito estufa da mobilidade urbana: o caso de Natal**. 2019. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

UOL INSIDEEVS. **Quais montadoras vão produzir somente carros elétricos até 2040**. nov. 2023. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/660736/montadoras-produzir-carros-combustao-2040/>. Acesso em 15 fev. 2024

VENDITTIM, M. S. **Carro elétrico: parcerias elevam número de postos de recarga no Brasil**. out. 2023. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/mobilidade-eletrica-parcerias-elevam-numero-de-postos-de-recarga-no-brasil/>. Acesso em 12 fev. 2024

VONBUN, C. *Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos Plug-in: Uma revisão da literatura*. 2015

**APÊNDICE 1 – ENERGIA ELÉTRICA – CONSUMO POR REGIÃO
ADMINISTRATIVA NO ESTADO DE SÃO PAULO**

CONSUMO POR REGIÃO ADMINISTRATIVA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Consumo

Região Administrativa	RESIDENCIAL		COMERCIAL		RURAL		INDUSTRIAL		ILUMINAÇÃO PÚBLICA		PODER PÚBLICO**		SERVIÇO PÚBLICO***		CONSUMO PRÓPRIO		TOTAL		Part. %
	N.C.*	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	
RMSP	8.514.197	19.181.853.454	498.674	15.238.348.095	4.608	50.065.720	31.887	12.260.104.323	4.228	957.065.502	20.299	1.207.261.466	2.177	2.831.285.275	447	74.300.356	9.076.517	51.800.284.192	38,0
Campinas	2.959.121	6.834.681.246	192.643	5.033.495.111	47.130	698.667.924	22.546	15.632.319.964	4.549	629.525.552	17.140	413.268.910	2.825	747.149.668	302	17.335.295	3.246.256	30.006.443.670	22,0
Sorocaba	1.105.589	2.464.353.264	51.977	1.171.823.321	29.881	352.562.921	5.383	9.371.775.685	1.527	217.458.854	6.642	145.738.098	1.395	425.551.064	120	3.019.066	1.202.514	14.152.282.273	10,4
São José dos Campos	1.080.614	2.364.573.495	96.884	1.361.990.857	13.641	76.086.677	4.162	4.417.747.833	3.098	164.793.329	8.104	192.127.195	1.380	202.613.767	129	3.843.171	1.208.012	8.783.776.323	6,4
Santos	974.372	2.116.375.321	56.419	1.420.472.959	536	18.850.649	2.072	2.152.637.717	1.267	156.581.633	4.340	103.720.641	586	163.827.323	58	2.931.049	1.039.650	6.135.397.292	4,5
Ribeirão Preto	588.183	1.426.369.521	33.262	818.613.823	6.144	96.810.373	2.794	1.066.252.009	727	134.804.858	3.625	120.785.055	567	263.700.654	55	1.744.754	635.357	3.929.081.047	2,9
São José do Rio Preto	695.702	1.588.764.981	50.921	893.841.151	34.546	334.974.100	4.812	713.839.018	1.767	183.937.842	7.153	122.424.236	1.678	153.815.941	90	2.585.030	796.669	3.994.182.297	2,9
Central	455.016	961.844.841	24.101	463.673.591	8.842	218.340.902	2.935	1.348.615.931	580	105.753.242	3.315	87.057.158	551	162.168.405	52	1.688.827	495.392	3.349.142.898	2,5
Bauru	478.033	1.053.076.865	23.624	511.530.595	10.830	122.808.431	2.313	1.042.981.257	690	123.111.934	3.760	81.080.891	658	139.283.321	60	1.678.313	519.968	3.075.551.607	2,3
Marília	402.943	843.476.276	27.190	376.279.706	13.758	173.581.862	2.207	640.399.813	664	107.531.781	4.322	73.278.107	683	128.446.117	84	1.658.101	451.851	2.344.651.763	1,7
Araçatuba	335.094	768.437.989	20.920	328.467.750	15.980	123.534.797	2.018	416.713.827	907	73.701.455	3.302	68.339.423	580	74.313.697	45	1.364.649	378.846	1.854.873.585	1,4
Presidente Prudente	347.609	721.853.127	31.852	469.073.471	25.706	136.618.928	1.814	249.999.952	563	91.415.113	4.176	74.998.409	714	89.767.166	70	2.228.766	412.504	1.835.954.931	1,3
Franca	320.524	697.793.134	14.867	259.017.893	6.495	101.738.489	2.469	468.796.474	331	72.471.578	2.124	36.042.663	369	131.850.139	36	972.013	347.215	1.768.682.383	1,3
Itapeva	191.711	312.431.994	14.021	170.130.074	19.026	147.322.403	964	672.338.335	577	40.733.996	2.352	20.416.205	515	35.334.635	41	776.500	229.207	1.399.484.142	1,0
Barretos	188.645	427.516.465	8.870	233.048.919	7.021	196.201.234	722	377.149.385	368	58.042.053	1.853	33.800.863	362	50.006.066	25	875.463	207.866	1.376.640.448	1,0
Registro	119.864	205.059.033	8.945	93.685.366	9.555	28.955.272	442	236.370.577	316	23.070.111	1.471	20.730.082	361	14.417.936	21	437.563	140.975	622.725.939	0,5
Estado de São Paulo	18.757.217	41.968.461.005	1.155.170	28.843.492.682	253.699	2.877.120.682	89.540	51.068.042.100	22.159	3.139.998.831	93.978	2.801.069.402	15.401	5.613.531.173	1.635	117.438.916	20.388.799	136.429.154.793	100

Fonte: Concessionárias do Setor

* Número de Consumidores

** Unidades de Administração Direta

*** Água, Esgoto e Saneamento

APÊNDICE 2 – ANÁLISE DETALHADA DOS CENÁRIOS

ANÁLISE DETALHADA DOS CENÁRIOS

Na análise detalhada, foram considerados em todos os cenários um total de 19.632.285 veículos, um armazenamento de energia total da bateria de 82,56 kWh, uma autonomia máxima da bateria de 372 km, uma potência do carregador lenta de 2,8 kW e uma potência do carregador rápido de 7,0 kW. Com base nessas premissas, os 3 cenários foram calculados.

Cenários	%	Número de VE do cenário	Fluxo de Potência	Pico de Potência		Tempo de Carregamento	
			Necessidade de Carregamento diário de todos os veículos (MWh)	Lenta (MW)	Rápida (MW)	Lenta (horas)	Rápida (horas)
1	10%	1.963.229	15.381	4.947	12.368	3,1	1,2
2	30%	5.889.686	46.142	14.842	37.105	3,1	1,2
3	50%	9.816.143	76.903	24.737	61.842	3,1	1,2