

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FEELT – FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CRISTIANO AUGUSTO PACHECO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE ESTAÇÕES
DE CARREGAMENTO RÁPIDO PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS EM UNIVERSIDADES**

Uberlândia
2025

CRISTIANO AUGUSTO PACHECO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE ESTAÇÕES
DE CARREGAMENTO RÁPIDO PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS EM UNIVERSIDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Eletrônica Industrial,
Sistemas e Controles Eletrônicos.

Orientador: Gustavo Brito de Lima

Uberlândia

2025

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO RÁPIDO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS EM UNIVERSIDADES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Eletrônica Industrial,
Sistemas e Controles Eletrônicos.

Uberlândia, 14 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Gustavo Brito de Lima – Doutor (UFU)

Paulo Henrique Oliveira Rezende – Doutor (UFU)

Gabriel Machado Bernardes – Mestrando (UFU)

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a soma de esforços e o apoio de muitas pessoas que contribuíram para que este momento fosse possível. Por isso, dedico este espaço para expressar minha gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus por tornar possível este momento e por ter me dado forças nos momentos mais difíceis, não só durante esse período acadêmico, mas ao longo de toda a minha vida.

À minha família, que sempre me apoiou e incentivou nessa longa e desgastante batalha para a conclusão da graduação, expresso minha eterna gratidão — em especial aos meus pais. Ao meu pai, que, mesmo com semblante fechado, sempre esteve presente e me apoiou em todas as situações; e à minha mãe, que, nas nossas conversas ao telefone, sempre me deu forças nos momentos mais complicados, sofreu comigo e por mim, mas também torceu e comemorou cada conquista. Ao meu irmão Eduardo, que, além do incentivo, ainda me auxiliou em diversas questões acadêmicas, inclusive neste trabalho.

À minha esposa Mariana, que foi um grande presente que a universidade me proporcionou, e que me acompanhou por todos os altos e baixos durante esse período. Inabalável, sempre me motivou a continuar caminhando e, juntamente com os anteriormente citados, é uma das verdadeiras responsáveis por essa conquista.

À FEELT pela disponibilização dos laboratórios e por toda a equipe técnica e de secretaria, cuja competência foi crucial e ajudou a superar as dificuldades encontradas ao longo do curso e durante a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Gustavo, pela paciência diante dos atrasos que enfrentei e por ter se mantido sempre disposto a me orientar, conduzindo-me da melhor forma possível até a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre os estudos de Francescatto e Roos (2019) e Dallepiane (2021) sobre a implantação de infraestrutura para veículos elétricos em instituições de ensino superior. Francescatto e Roos (2019) adotaram uma abordagem econômico-financeira, utilizando o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para avaliar 60 cenários distintos, considerando variações tarifárias e padrões de uso. Já Dallepiane (2021) ampliou o enfoque, incorporando critérios ambientais e operacionais por meio do Índice de Custo de Mitigação (CoM), que quantifica economicamente a redução de emissões. Os resultados indicam que a escolha de estações de recarga deve considerar múltiplos fatores. Enquanto o modelo BOSCH EV800 apresentou menor custo inicial (CAUE de R\$ 92.715,49), o Evlink Parking, com maior investimento (CAUE de R\$ 164.802,86), revelou melhor desempenho a longo prazo, com menor custo por quilowatt-hora (R\$ 0,73 contra R\$ 1,08 do BOSCH) e superior eficiência ambiental. Assim, soluções com maior investimento inicial podem ser mais vantajosas ao se considerar o ciclo de vida dos projetos. A pesquisa evidencia também a necessidade de adaptação às características de cada instituição. Em universidades públicas, a análise do CAUE e dos cenários tarifários é essencial para otimizar recursos, enquanto em instituições privadas a utilização do CoM permite alinhar responsabilidade ambiental com retorno financeiro. Recomenda-se que a implantação de infraestrutura de recarga seja precedida por uma análise detalhada da frota e dos padrões de uso, um dimensionamento adequado da infraestrutura elétrica, a priorização de recargas fora dos horários de ponta e a adoção gradual de soluções a partir de projetos-piloto. Conclui-se que a integração das metodologias analisadas representa um caminho sólido para a transição energética no transporte universitário.

Palavras-chave: Veículos Elétricos; Infraestrutura De Recarga; Viabilidade Econômica; Sustentabilidade Universitária; Eficiência Energética; Gestão De Frotas; Políticas Institucionais; Planejamento Energético.

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis between the works of Francescatto and Roos (2019) and Dallepiane (2021) regarding the implementation of electric vehicle charging infrastructure in higher education institutions. Francescatto and Roos (2019) adopted an economic-financial approach, using the Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) method to evaluate 60 different scenarios, considering tariff variations and usage patterns. Dallepiane (2021) expanded the scope by incorporating environmental and operational criteria through the Mitigation Cost Index (MCI), which economically quantifies emission reductions. The results indicate that the selection of charging stations must consider multiple factors. While the BOSCH EV800 model showed lower initial costs (EUAC of R\$ 92,715.49), the Evlink Parking, with higher investment (EUAC of R\$ 164,802.86), demonstrated better long-term performance, with lower cost per kilowatt-hour (R\$ 0.73 compared to R\$ 1.08 for BOSCH) and superior environmental efficiency. Thus, solutions with higher initial investment may prove more advantageous when considering the project's life cycle. The research also highlights the need to adapt to each institution's specific characteristics. In public universities, EUAC analysis and tariff scenarios are essential for resource optimization, while in private institutions, the use of MCI allows aligning environmental responsibility with financial returns. It is recommended that the implementation of charging infrastructure be preceded by a detailed analysis of the fleet and usage patterns, proper sizing of electrical infrastructure, prioritization of off-peak charging, and gradual adoption of solutions through pilot projects. The study concludes that integrating the analyzed methodologies provides a solid path for the energy transition in university transportation.

Keywords: Electric Vehicles; Charging Infrastructure; Economic Feasibility; University Sustainability; Energy Efficiency; Fleet Management; Institutional Policies; Energy Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Emissores de GEE no setor de energia brasileiro	11
Figura 2- Estados com isenção ou desconto no IPVA para VEs.....	12
Figura 3 - Evolução do Estoque Global de Veículos Elétricos.	20
Figura 4 - Alíquotas de IPI sobre veículos elétricos e híbridos.	26
Figura 5 - Emissão de CO ₂ da matriz energética brasileira.	28
Figura 6- Parâmetros econômicos considerados no estudo de viabilidade de estações de recarga rápida na Alemanha.....	30
Figura 7- Trajeto do ônibus interno na Instituição.	36
Figura 8- Economia total obtida no ano de 2019 e 2020.....	39
Figura 9- Demanda de Energia registrada – 2019/2020.	49
Figura 10- Demanda de Energia registrada – 05/11/2019.....	49
Figura 11- Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira verde)	52
Figura 12- Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira vermelha patamar 2).	54
Figura 13- R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira verde.....	55
Figura 14- R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira vermelha patamar 2.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações Técnicas e Comerciais de Modelos de Veículos Elétricos Disponíveis no Mercado Brasileiro.....	27
Tabela 2 - Indicadores financeiros (VPL e TIR) para estações de 3,3 kW e 7,2 kW.....	30
Tabela 3 - Dados dos Veículos Abastecidos por Diesel.....	35
Tabela 4 - Dados dos Veículos Abastecidos por Gasolina.....	35
Tabela 5 - Despesas com Abastecimentos.....	38
Tabela 6 - Despesas com Manutenções.....	40
Tabela 7 - Custo de Mitigação.....	42
Tabela 8 - Características dos Modelos Elétricos Propostos para Substituição.....	43
Tabela 9 - Proposta de Substituição de Frota.	44
Tabela 10 - Dados técnicos dos modelos de Nível 2.....	45
Tabela 11 - Distribuição dos turnos do estacionamento.....	46
Tabela 12 - Custos dos equipamentos adicionados os impostos e as despesas de instalação.....	47
Tabela 13 - Custos de manutenção e a depreciação anual dos modelos.....	47
Tabela 14 - Características dos Custo de Recargas.....	51

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV - Battery Electric Vehicle (Veículo Elétrico a Bateria)
BYD - Build Your Dreams
CAUE - Custo Anual Uniforme Equivalente
CARB - California Air Resources Board
CoM - Custo de Mitigação
COP - Conferência das Partes (Conference of the Parties)
CO₂ - Dióxido de Carbono
DDR - Disjuntor Diferencial Residual
DOE - Department of Energy (Estados Unidos)
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EVCS - Electric Vehicle Charging Station (Estação de Recarga para Veículos Elétricos)
FEELT - Faculdade de Engenharia Elétrica
GEE - Gases de Efeito Estufa
IEA - International Energy Agency
IPCA - Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPVA - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
kWh - Quilowatt-hora
kW - Quilowatt
PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Veículo Híbrido Plug-in)
PNME - Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica
PWM - Modulação por Largura de Pulso
SAVE - Sistema de Alimentação para Veículos Elétricos
TIR - Taxa Interna de Retorno
TMA - Taxa Mínima de Atratividade
UFU - Universidade Federal de Uberlândia
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas
V2G - Vehicle-to-Grid
VE - Veículo Elétrico
VPL - Valor Presente Líquido
WEG - WEG Electric Mobility (WEMOB)
WRI - World Resources Institute

SUMÁRIO

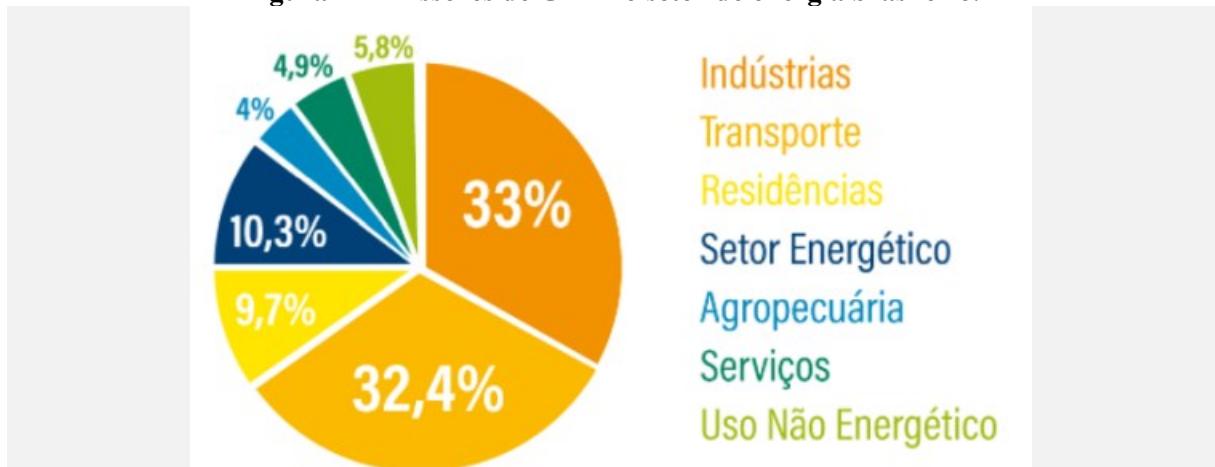
1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos.....	12
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Estrutura do Trabalho	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	História dos Veículos Elétricos.....	17
2.2	Estações De Recarga De Veículos Elétricos.....	21
2.3	Políticas Públicas para Veículos Elétricos no Brasil.....	25
2.4	Gestão de Transporte e Meio Ambiente	27
2.5	Estudos econômicos aplicados envolvendo estações de recargas.....	29
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
4.	PESQUISAS SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR.....	34
4.1	Análise de viabilidade econômica para introdução de veículos elétricos no transporte de um campus universitário (Dallepiane, 2021)	34
4.2	Análise de Viabilidade Econômica das Estações de Recarga para a UFSM - Francescatto e Roos (2019)	45
5.	RESULTADOS E ANÁLISE.....	48
5.1	Análise de Impacto da Inserção de Veículos Elétricos na Demanda de Energia e Viabilidade de Recargas Simultâneas - Dallepiane (2021).....	48
5.2	Análise do CAUE e do R\$/kWh para a Avaliação da Viabilidade Econômica de Estações de Recarga - Francescatto e Roos (2019)	52
5.3	Análise Comparativa Crítica: Dallepiane (2021) e Francescatto e Roos (2019)	57
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
	REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

O crescimento nas vendas de veículos totalmente elétricos tem impulsionado transformações significativas no setor de transporte, refletindo a busca por alternativas mais sustentáveis e eficientes para a mobilidade urbana. Esse avanço, no entanto, demanda a ampliação da infraestrutura de recarga, especialmente em ambientes residenciais, como condomínios, onde a instalação de estações enfrenta obstáculos técnicos, regulatórios e econômicos.

A eletrificação da mobilidade urbana tem sido priorizada globalmente como estratégia para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Apesar do setor de produção de energia ser o seguimento líder na emissão desses gases, pela queima de carvão, petróleo e gás natural, e os transportes ocuparem apenas o quarto lugar, Angelo e Rittl (2019) destacam que em áreas urbanas esse setor responde por aproximadamente 25% das emissões mundiais de GEE, conforme dados apresentados na 24^a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP24). Brito (2018) complementa essa análise, apontando que esse setor foi o que registrou o maior aumento nas emissões de CO₂ desde o ano 2000. No contexto brasileiro, o World Resources Institute (WRI, 2018) destaca um cenário diferente, pelo fato da nossa produção de energia elétrica ser provida largamente por fontes renováveis, o setor industrial é o principal emissor de GEE (Figura 1), acompanhado do transporte, sendo o maior contribuidor os veículos leves, representando 45% do total, seguidos por caminhões (21%), navios (11%) e aviões (11%).

Figura 1- Emissores de GEE no setor de energia brasileiro.

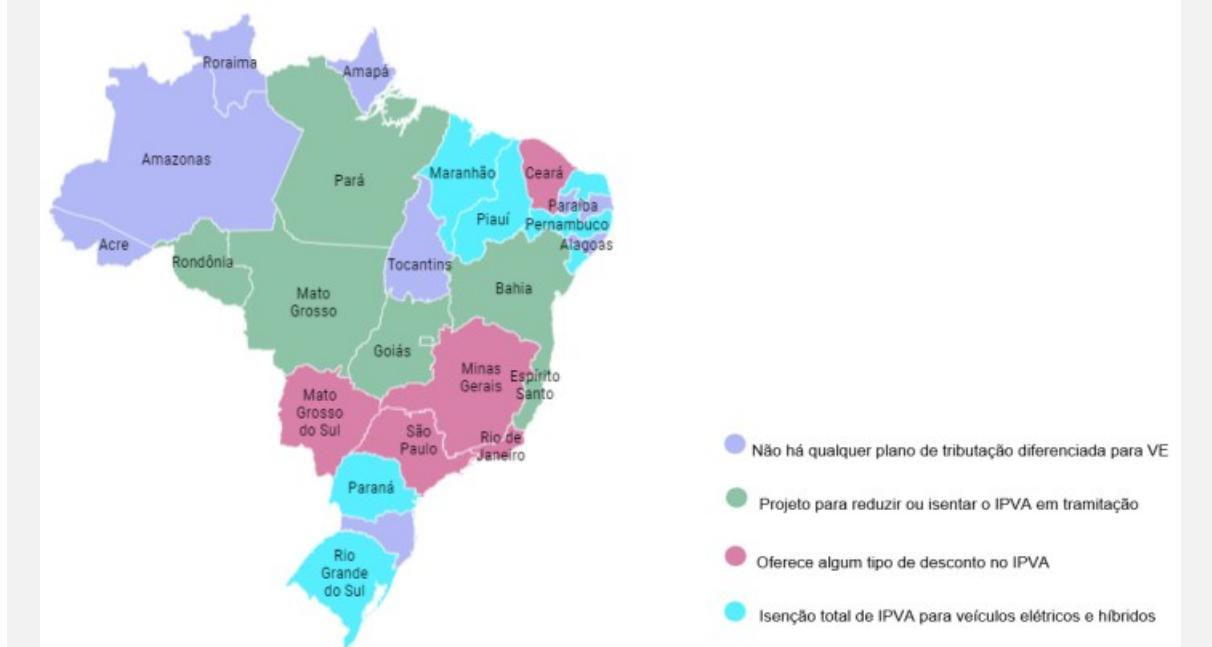


Fonte: WRI (2018).

O compromisso do Brasil com a redução de emissões foi formalizado após a ratificação do Acordo de Paris (COP21), em 2016, no qual o país assumiu metas específicas: redução de 37% até 2025 e 43% até 2030, tomando como base os níveis de 2005 (Brasil, 2015a). Embora essas metas permaneçam vigentes, as ações direcionadas ao transporte não incluem incentivos expressivos à adoção de veículos elétricos (VEs). Apesar disso, medidas pontuais foram adotadas, como a redução da alíquota de importação para VEs de 35% para 0% (Resolução Camex nº 97/2015), condicionada a uma autonomia mínima de 80 km por carga (Brasil, 2015b). Para veículos híbridos, as alíquotas caíram para até 7%, podendo chegar a zero conforme a eficiência energética.

No âmbito estadual, alguns governos (Figura 2) têm incentivado a aquisição de VEs por meio da isenção do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA). Conforme Schaun (2020), estados como Maranhão, Paraná, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e o Distrito Federal, além de municípios como Indaiatuba, São Bernardo do Campo e Sorocaba, adotaram essa política, embora não haja uma regulamentação federal que a universalize.

Figura 2- Estados com isenção ou desconto no IPVA para VEs.



Fonte: Automotive Business (2021).

1.1 Objetivos

Diante do crescimento contínuo da demanda por veículos elétricos e da busca global

por soluções de mobilidade mais sustentáveis, torna-se imprescindível o desenvolvimento de uma infraestrutura adequada — sendo as estações de recarga parte essencial desse processo. Além disso, observa-se a necessidade de expandir a rede de pontos de recarga privados, que, de modo geral, apresentam características semelhantes aos postos de combustíveis tradicionais, tanto em relação ao espaço físico quanto à quantidade de equipamentos, já que os carregadores do tipo totem possuem proporções próximas às das bombas convencionais.

Para viabilizar a implementação dessas estações, é fundamental considerar diversos aspectos, como os custos envolvidos na instalação e manutenção, o volume de veículos elétricos circulando no mercado nacional, o valor da energia elétrica, as políticas públicas de incentivo e a crescente demanda por recarga. Diante desse cenário, o objetivo geral deste estudo é avaliar a viabilidade econômica e estratégica do investimento em estações de recarga privadas para veículos elétricos, considerando variáveis como o custo de implantação, manutenção, demanda crescente por recarga, políticas públicas de incentivo e a perspectiva de uma futura transição das frotas de veículos de aplicativos, atualmente movidos a combustão, para modelos elétricos no Brasil.

Este estudo busca avaliar a viabilidade econômica da substituição de veículos tradicionais, movidos a combustão, por alternativas elétricas no âmbito de um campus universitário. Por meio de um estudo de caso abrangente, serão analisados os impactos financeiros dessa transição no transporte pessoal, coletivo e de carga, com o intuito de fornecer subsídios estratégicos para uma decisão embasada. Além de mensurar custos e benefícios diretos, a pesquisa visa identificar potenciais economias a médio e longo prazo, contribuindo para discussões sobre sustentabilidade e eficiência operacional no ambiente acadêmico.

1.1.1 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em realizar um levantamento detalhado das metodologias empregadas nos estudos selecionados, analisando criticamente os parâmetros econômicos utilizados, como custos de instalação, manutenção, energia e equipamentos, além da aplicação de indicadores financeiros como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Também busca-se examinar a abordagem técnico-operacional adotada, identificando as estratégias de análise

de rotas, perfis de transporte e substituição de frota. Outro objetivo é avaliar como cada estudo considerou a variável ambiental, especialmente no caso em que foi utilizado o Índice de Custo de Mitigação (CoM), para compreender a integração de aspectos sustentáveis na análise de viabilidade. Por fim, pretende-se comparar de forma crítica as duas metodologias, apontando convergências, divergências e lições aprendidas que possam contribuir para futuras implantações de infraestrutura de recarga de veículos elétricos em instituições de ensino superior.

1.2 Justificativa

O cenário da mobilidade elétrica no Brasil vem apresentando avanços significativos, com iniciativas concretas em diversas regiões. Estados como o Distrito Federal, São Paulo e Rio de Janeiro já implementaram projetos operacionais com ônibus elétricos no transporte público, demonstrando a viabilidade técnica dessa tecnologia no contexto urbano brasileiro (MOBILIZE, 2019). No âmbito das instituições de ensino superior, destaca-se a iniciativa pioneira da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que incorporou um ônibus elétrico em sua frota de circulação interna, reforçando o compromisso das universidades com a sustentabilidade ambiental (UNICAMP, 2020).

Paralelamente, instituições acadêmicas vêm desenvolvendo pesquisas fundamentais para o avanço da mobilidade elétrica no país. Um exemplo notável é o trabalho realizado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que em parceria com a Copel Distribuidora do Paraná, desenvolve pesquisas no âmbito do projeto de P&D da Chamada P022 da ANEEL (2018), com foco específico na gestão de eletrovias e infraestrutura de recarga. Essas iniciativas evidenciam o potencial da mobilidade elétrica como vetor de desenvolvimento econômico e tecnológico para o país.

Do ponto de vista ambiental, a transição para veículos elétricos apresenta benefícios significativos. Como demonstrado por Baldissera (2016), a substituição dos combustíveis fósseis por eletricidade no transporte pode contribuir substancialmente para a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos, reduzindo as emissões de poluentes atmosféricos. No entanto, a consolidação dessa transição requer a superação de desafios em múltiplas dimensões, desde a análise econômica até os aspectos técnicos e logísticos.

A dimensão econômica exige estudos detalhados de viabilidade financeira, considerando os impactos nos custos operacionais e no faturamento das empresas. Do ponto de vista técnico, é fundamental planejar adequadamente a demanda energética, considerando os padrões de recarga e seus efeitos sobre a rede elétrica. Já na esfera logística, a implantação

de infraestrutura adequada de recarga e a adaptação das frotas exigem um planejamento estratégico minucioso.

Este trabalho busca contribuir para esse debate, analisando os diversos aspectos envolvidos na transição para veículos elétricos e incentivando empresas e instituições públicas e privadas a considerarem a adoção dessa tecnologia em suas operações. A eletrificação das frotas representa um passo fundamental na transição energética do setor de transportes, alinhando-se às necessidades globais de redução de emissões e promoção da sustentabilidade ambiental. O conhecimento adquirido por meio dos projetos inovadores em desenvolvimento no território nacional fornece subsídios fundamentais para a ampliação dessa tecnologia em âmbito nacional.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este estudo está organizado em seis capítulos que apresentam uma progressão lógica da fundamentação teórica à análise aplicada. O primeiro capítulo introduz o tema, destacando sua relevância no contexto atual da mobilidade sustentável em instituições de ensino superior. Apresenta os objetivos gerais e específicos da pesquisa, além de explicitar a metodologia e estrutura adotadas para o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo constrói o referencial teórico necessário, abordando quatro eixos principais: a evolução histórica dos veículos elétricos e suas tecnologias, os diferentes tipos de infraestrutura de recarga disponíveis, as políticas públicas brasileiras relacionadas à mobilidade elétrica, e os impactos ambientais do transporte convencional versus as vantagens dos veículos elétricos. Complementa esta base teórica com uma revisão de estudos econômicos aplicados à implantação de estações de recarga.

No terceiro capítulo são detalhados os procedimentos metodológicos adotados para a análise comparativa dos estudos de caso que compõem esta pesquisa. O quarto capítulo aprofunda-se na análise de dois estudos complementares sobre viabilidade econômica: primeiro examina a pesquisa de Dallepiane (2021) sobre a introdução de veículos elétricos em um campus universitário específico, em seguida analisa o trabalho de Francescatto e Roos (2019) que avaliou estações de recarga na Universidade Federal de Santa Maria.

O quinto capítulo apresenta e discute os principais resultados encontrados, organizados em três blocos principais: inicialmente analisa o impacto na demanda energética e a viabilidade de recargas simultâneas com base nos dados de Dallepiane (2021); em seguida examina os resultados de Francescatto e Roos (2019) sobre custos operacionais e eficiência energética;

finalmente, oferece uma análise comparativa crítica que integra e contrasta os achados dos dois estudos.

O sexto e último capítulo sintetiza as conclusões do trabalho, destacando as principais contribuições para o campo de estudo. Apresenta recomendações práticas para instituições de ensino superior que pretendam implementar infraestrutura de recarga para veículos elétricos, além de apontar direções promissoras para pesquisas futuras nesta área.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico se desenvolve em quatro subseções cruciais para a compreensão da mobilidade elétrica e a análise de investimentos em infraestrutura de recarga privada. Inicialmente, explora a história e o desenvolvimento dos veículos elétricos, desde suas origens até o contexto atual, destacando os avanços tecnológicos e os fatores que impulsionaram seu ressurgimento. Em seguida, detalha as estações de recarga para veículos elétricos, abordando seus tipos, níveis de potência e a infraestrutura necessária para seu funcionamento eficiente e seguro. A terceira subseção apresenta estudos aplicados relevantes que utilizam a Engenharia Econômica para avaliar a viabilidade financeira de projetos de estações de recarga em diferentes contextos geoeconômicos. Por fim, a seção sobre fundamentos de Engenharia Econômica oferece os princípios e as ferramentas analíticas essenciais para a avaliação econômica de investimentos, como o cálculo de indicadores de viabilidade. O objetivo deste referencial é, portanto, fornecer um embasamento conceitual e contextual completo, integrando aspectos históricos, tecnológicos, mercadológicos e econômicos para sustentar a análise proposta sobre a viabilidade de estações de recarga privadas.

2.1 História dos Veículos Elétricos

O desenvolvimento dos veículos elétricos remonta ao século XIX e, conforme apontado por Hoyer (2008), sua evolução sempre esteve diretamente ligada aos avanços tecnológicos nas baterias, componentes essenciais para o funcionamento desses automóveis. Já no início do século XX, mais especificamente em 1903, a cidade de Nova Iorque possuía uma frota de aproximadamente quatro mil veículos registrados, sendo que, segundo Struben e Sterman (2008), a distribuição era composta por 53% de carros a vapor, 27% movidos a gasolina e 20% elétricos. No entanto, apesar de os veículos elétricos terem atingido um pico de cerca de 30 mil unidades em 1912, a popularização dos automóveis a gasolina avançava em ritmo acelerado, alcançando números trinta vezes superiores aos elétricos naquele mesmo período.

Essa rápida expansão dos modelos a combustão, entre os anos de 1899 e 1909, foi destacada por Cowan e Hultén (1996), que observaram um crescimento superior a 120 vezes nas vendas de veículos a gasolina nos Estados Unidos, enquanto as vendas de carros elétricos pouco mais que dobraram. Diversos fatores contribuíram para essa queda no interesse pelos

elétricos, como aponta a Annual Energy Review (DOE, 2009): o modelo de produção em massa, introduzido por Henry Ford, reduziu drasticamente o custo final dos automóveis a gasolina, tornando-os mais acessíveis ao público; a invenção da partida elétrica em 1912 eliminou a necessidade do incômodo acionamento manual por manivela nos motores a combustão; as novas rodovias construídas durante a década de 1920 exigiam veículos com maior autonomia, algo que os elétricos ainda não conseguiam oferecer; e, somado a isso, a descoberta de grandes reservas de petróleo no Texas contribuiu para a queda no preço da gasolina, tornando esse combustível ainda mais atraente para os consumidores. Somente a partir da década de 1960, quando surgiram as primeiras discussões ambientais sobre a poluição atmosférica — impulsionadas, segundo Baran (2012), pela ausência de filtros catalisadores e pelo uso indiscriminado de chumbo como aditivo na gasolina —, os veículos elétricos voltaram a despertar o interesse das montadoras como uma alternativa menos poluente.

Esse movimento ganhou força no final dos anos 1980, período em que o conceito de desenvolvimento sustentável começou a moldar as decisões políticas e industriais, influenciando diretamente o setor de transportes. Em 1990, a Califórnia saiu na frente ao adotar metas de emissão zero através da regulamentação imposta pelo California Air Resources Board (CARB), que previa limites progressivamente mais rigorosos até 2003, uma iniciativa que também inspirou outros estados norte-americanos, como Nova Iorque e Massachusetts, a adotarem políticas semelhantes. Na Europa, em 1992, a União Europeia reforçou essa agenda ao destacar a mobilidade sustentável e reconhecer os veículos elétricos como peças-chave na construção de um sistema de transporte ambientalmente responsável, como analisado por Legey e Baran (2011).

2.1.1 *Veículos Elétricos*

O setor automobilístico enfrenta atualmente uma profunda reestruturação, impulsionada pela necessidade de maior eficiência energética, redução de poluição sonora e diminuição de impactos ambientais. Esse cenário vem acelerando a expansão dos veículos elétricos (VEs), posicionados como alternativa viável para substituição dos modelos convencionais a combustão (CONSONI *et al.*, 2018).

Tecnicamente, os VEs são definidos como veículos propulsionados por motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis ou outros sistemas de armazenamento energético. Conforme normatizado pela ABNT (2013), sua operação depende de fontes

externas de energia, conectadas através de estações de recarga especializadas que fornecem corrente alternada ou contínua, além de gerenciar sistemas de controle e comunicação.

O componente crítico dessa tecnologia reside nos sistemas de armazenamento energético. As baterias, conforme Baldissera (2016), apresentam variáveis decisórias complexas que incluem: custo, densidade energética, densidade de potência e ciclos de vida útil. Apesar dos avanços, esses elementos ainda representam desafios tecnológicos significativos devido a seu elevado custo, peso e volume - parâmetros que diretamente influenciam a autonomia veicular.

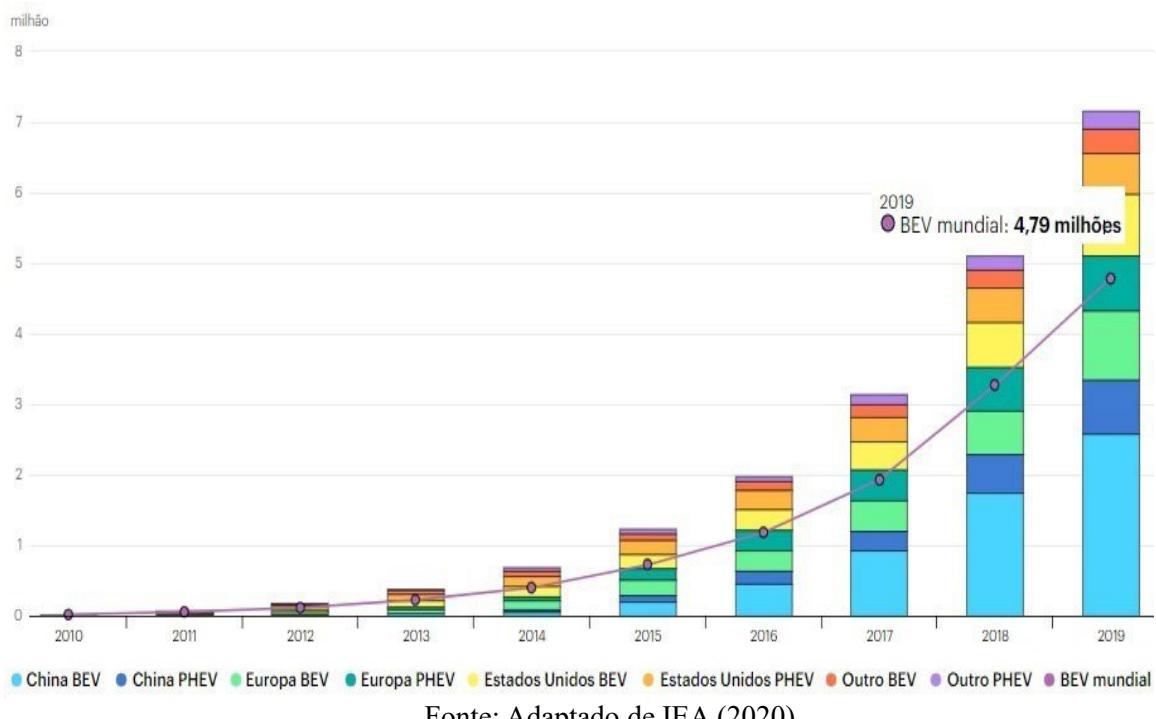
Os sistemas de recarga se dividem em duas categorias principais (Sausen, 2017):

- Carregadores *on-board* (embarcados), predominantes em veículos comerciais para recarga lenta
- Carregadores *off-board* (externos), utilizados em estações de recarga rápida de alta potência

As vantagens operacionais dos VEs são notórias: menor impacto acústico, maior eficiência energética e redução nos custos de operação e manutenção quando comparados aos veículos convencionais (EPE, 2019a). Esses benefícios, aliados ao potencial de integração com fontes renováveis de energia, posicionam a mobilidade elétrica como pilar fundamental para uma economia sustentável.

Apesar de representarem ainda parcela modesta do mercado global, os VEs apresentam crescimento exponencial. Dados da IEA (2020) revelam que as vendas de modelos puramente elétricos (BEV) atingiram 1,52 milhão de unidades em 2019, com um estoque acumulado de 7,2 milhões de veículos (incluindo híbridos plug-in) entre 2010 e 2019 - tendência claramente ilustrada na Figura 3. Esse movimento consolida a mobilidade elétrica como alternativa viável no transporte moderno, embora desafios tecnológicos e de infraestrutura ainda precisem ser superados para sua adoção em massa (CONSONI et al., 2018).

Figura 3 - Evolução do Estoque Global de Veículos Elétricos.



A mobilidade elétrica apresenta duas configurações tecnológicas principais: os veículos elétricos puros (BEV), que utilizam exclusivamente propulsão elétrica com armazenamento em baterias internas, e os híbridos plug-in (PHEV), que combinam motores a combustão com sistemas elétricos recarregáveis, permitindo tanto operação totalmente elétrica quanto em modo híbrido (PNME, 2021). Esta dualidade tecnológica reflete diferentes estratégias de transição energética no setor de transportes.

No contexto brasileiro, a crescente adoção de veículos elétricos impõe desafios significativos à infraestrutura energética. Como destacado por Peng *et al.* (2019), a eletrificação do transporte tende a alterar substancialmente os padrões de demanda energética, exigindo adaptações na capacidade de geração e distribuição para manter a estabilidade do sistema elétrico. Baldisserra (2016) complementa essa análise ao enfatizar a necessidade de desenvolver simultaneamente três eixos fundamentais: (1) adequação técnica da rede elétrica, (2) expansão da infraestrutura de recarga, e (3) criação de políticas públicas efetivas para estimular o mercado.

O papel dos governos nessa transição é crucial, conforme evidenciado pela IEA (2020). Medidas como incentivos fiscais, descontos em pedágios e a criação de zonas de baixa emissão têm se mostrado eficazes em outros países para estimular a adoção de veículos elétricos. No entanto, como alerta Baldisserra (2016), o crescimento desordenado da frota

elétrica pode levar a picos de demanda noturna, exigindo sistemas inteligentes de gestão de carga.

Do ponto de vista operacional, Dulău e Bică (2020) demonstram que a penetração moderada de veículos elétricos tem impacto limitado na rede, mas o carregamento simultâneo em grande escala pode comprometer a qualidade do fornecimento e reduzir a vida útil dos equipamentos. Economicamente, embora o custo inicial dos VEs ainda seja elevado - principalmente devido ao preço das baterias (IWAN *et al.*, 2019) -, estudos demonstram que a economia em combustível e manutenção (JAC MOTORS, 2021) pode compensar esse investimento ao longo do ciclo de vida do veículo.

A experiência internacional, como o caso suíço analisado por Brückmann, Willibald e Blanco (2021), revela que a adoção de veículos elétricos está fortemente associada a fatores como renda dos consumidores e disponibilidade de infraestrutura de recarga rápida. Esse cenário sugere que a transição para a mobilidade elétrica no Brasil exigirá não apenas avanços tecnológicos, mas também modelos de negócios inovadores e políticas públicas bem estruturadas para superar as atuais barreiras de adoção.

2.2 Estações De Recarga De Veículos Elétricos

Esse subtópico visa abordar de maneira geral a história da eletroquímica e como se deram os avanços no ramo de armazenamento de energia ao longo dos anos tanto para os modelos primários quanto para os modelos secundários de baterias.

2.2.1 *Baterias*

A eficiência e o desempenho dos veículos elétricos (VEs) estão diretamente relacionados às características de suas baterias, principalmente no que diz respeito à capacidade de potência (kW) e à energia armazenada (kWh). Nos veículos elétricos a bateria (BEVs), o tradicional motor a combustão é substituído por um motor elétrico, alimentado por um conjunto de baterias de tração – geralmente de íons de lítio – que armazenam a energia necessária para propulsor o veículo. Quando o acelerador é acionado, a energia é instantaneamente direcionada ao motor, convertendo-se em movimento de forma mais eficiente e suave em comparação aos veículos convencionais.

Um dos diferenciais tecnológicos dos VEs é o sistema de frenagem regenerativa (KERS – *Kinetic Energy Recovery System*), que transforma a energia cinética, normalmente dissipada em forma de calor durante a desaceleração, em eletricidade recarregada na bateria. Esse

mecanismo não apenas aumenta a autonomia do veículo, mas também reduz o desgaste dos freios convencionais. Quando a bateria atinge um nível baixo de carga, sua recarga é feita por meio da rede elétrica, seja através de uma tomada residencial, um *wallbox* dedicado ou estações de carregamento público.

No caso dos veículos híbridos plug-in (PHEVs), a arquitetura combina um motor elétrico com um motor a combustão interna. A bateria, embora de menor capacidade que a dos BEVs, permite um funcionamento prioritariamente elétrico até que sua carga se esgote, quando então o sistema alterna automaticamente para o modo combustível. Contudo, o condutor pode selecionar manualmente o modo de operação mais adequado. Além da recarga convencional por fonte externa, as baterias dos PHEVs também são recarregadas pela frenagem regenerativa e, em alguns modelos, pelo próprio motor a combustão, que atua como um gerador auxiliar. Essa flexibilidade confere aos híbridos plug-in uma autonomia significativamente maior do que a dos veículos totalmente elétricos, especialmente em trajetos longos.

Quanto ao processo de recarga, tanto os BEVs quanto os PHEVs utilizam predominantemente corrente alternada (CA) em carregadores domésticos ou *wallboxes*, com conectores padronizados. No entanto, estações de carga rápida (DC) operam em corrente contínua, exigindo plugues específicos e proporcionando tempos de recarga drasticamente reduzidos. A escolha do veículo, portanto, define não apenas a experiência de condução, mas também a infraestrutura de recarga mais adequada, influenciando diretamente na conveniência e no custo operacional do usuário.

Essas particularidades técnicas destacam a importância de uma análise criteriosa sobre a infraestrutura de recarga em condomínios, considerando as diferentes necessidades entre modelos totalmente elétricos e híbridos, bem como os requisitos de potência e conectividade envolvidos.

2.2.2 *Modos de Recarga*

O processo de recarga de veículos elétricos (VEs) pode ocorrer através de diferentes modalidades, definidas principalmente pelo tipo de corrente elétrica utilizada (contínua ou alternada) e pela infraestrutura necessária. A norma ABNT NBR IEC 61851-1 (2013) estabelece quatro modos distintos de recarga, cada um com características técnicas e aplicações específicas.

O Modo 1 representa a forma mais básica de carregamento, onde o VE é conectado diretamente a uma tomada convencional residencial ou industrial. Apesar de sua simplicidade, esta modalidade exige obrigatoriamente um sistema de aterramento adequado

e recomenda-se a instalação de disjuntor diferencial residual (DDR) para garantir a segurança do circuito (ARIOLI, 2016; GRASSI; RECH, 2018; TEIXEIRA, 2021). Com limitações de 16A em sistemas monofásicos (250V) ou 480V em trifásicos, este método apresenta tempo de carga consideravelmente prolongado e riscos de superaquecimento, motivo pelo qual vários países, incluindo os Estados Unidos, restringem ou proíbem seu uso (ARIOLI, 2016; TEIXEIRA, 2021).

Avançando em complexidade, o Modo 2 mantém a conexão em tomadas convencionais, mas incorpora um Sistema de Alimentação para Veículos Elétricos (SAVE) com funções adicionais de segurança. Este sistema inclui proteção contra choques elétricos e um sinal PWM (Modulação por Largura de Pulso) que permite comunicação entre a infraestrutura e o VE (ARIOLI, 2016; GRASSI; RECH, 2018). Apesar de suportar teoricamente até 32A, na prática a corrente fica limitada a 10-16A (2,4-3,8kW), sendo esta a solução frequentemente fornecida pelos fabricantes para situações emergenciais (TEIXEIRA, 2021).

O Modo 3 destaca-se como a opção mais segura e atualmente predominante no mercado. Utilizando um SAVE permanentemente conectado à rede elétrica, este sistema incorpora múltiplas camadas de proteção, incluindo verificação de aterramento, monitoramento de isolamento e prevenção de desconexão acidental (ARIOLI, 2016; GRASSI; RECH, 2018). Com capacidade para operar em regimes semi-rápidos (1-4 horas), pode fornecer até 63A em sistemas trifásicos (480V), atingindo potências de 22kW ou mesmo 43kW em configurações específicas (GRASSI; RECH, 2018). Sua versatilidade e segurança justificam sua ampla adoção em residências e locais públicos.

Para necessidades mais exigentes, o Modo 4 emprega carregadores externos de corrente contínua (CC), capazes de fornecer potências que variam de 50kW a impressionantes 400kW (GRASSI; RECH, 2018). Esta tecnologia, que demanda infraestrutura especializada, é particularmente adequada para estações de recarga rápida em rodovias, onde o tempo de parada é crítico (TEIXEIRA, 2021). O sistema de gerenciamento integrado ao veículo ajusta dinamicamente os parâmetros de carga conforme o estado da bateria (SoC), garantindo eficiência e preservação do componente.

Esta classificação normativa reflete a evolução tecnológica do setor, oferecendo soluções adaptáveis desde o uso residencial até aplicações comerciais de alta potência. A seleção do modo adequado deve considerar não apenas aspectos técnicos, mas também questões de segurança, custo e disponibilidade de infraestrutura, fatores essenciais para a expansão da mobilidade elétrica.

2.2.3 *Estações de recarga de veículos elétricos*

As estações de recarga para veículos elétricos (EVCS) ocupam uma posição estratégica no avanço da mobilidade elétrica, exercendo uma função que vai além do simples fornecimento de energia, já que estão diretamente ligadas tanto à integração eficiente dos veículos à rede elétrica quanto à qualidade da experiência de uso, como destacam González, Siavichay e Espinoza (2019) e Sbordone *et al.* (2014). Diversos estudos apontam que a infraestrutura de recarga adequada representa um dos fatores mais determinantes para a adesão em larga escala aos veículos elétricos, muitas vezes superando preocupações clássicas como a autonomia das baterias ou o custo de aquisição, conforme evidenciado por Zhang *et al.* (2018) e Neaimeh *et al.* (2017).

Sob uma perspectiva técnica, Sbordone *et al.* (2014) também chamam atenção para três funções indispensáveis que essas estações devem atender: fornecer energia de forma segura e eficiente, monitorar continuamente o status de carregamento e ser compatíveis com diferentes modelos de veículos e especificações de baterias — essa adaptabilidade, segundo Lokesh e Min (2017), é essencial não só para otimizar o tempo de recarga, mas também para proteger e prolongar a vida útil das baterias, que é diretamente afetada pelo modo como o processo de recarga é conduzido.

Em relação às suas características operacionais, González, Siavichay e Espinoza (2019) organizam as estações de recarga em três níveis, variando de acordo com sua potência e tempo de abastecimento: o Nível 1, conhecido como recarga lenta, é indicado para uso residencial, possui potência limitada a 3,7 kW e demanda longos períodos (entre 6 e 24 horas) para completar o carregamento; o Nível 2, que oferece uma solução intermediária, utiliza tensões de até 240V e potências de até 22 kW, sendo muito comum em ambientes domésticos preparados e em espaços corporativos, já que permite tempos de recarga bem mais curtos, geralmente inferiores a seis horas; e o Nível 3, popularmente chamado de recarga rápida, opera em corrente contínua e atinge potências que podem superar os 240 kW, viabilizando o carregamento de um veículo em menos de 30 minutos, o que o torna ideal para postos públicos e rodoviários.

No Brasil, o processo de ampliação dessa infraestrutura vem acompanhando o ritmo global, como demonstram iniciativas como a implementação da primeira eletrovia interestadual conectando São Paulo ao Rio de Janeiro, com pontos de recarga a cada 100 km, relatada pela ABVE (2018), e a instalação de oito eletropostos ao longo da BR-277, mencionada por Oliveira (2018), iniciativas que buscam tornar viável o uso de veículos elétricos também em trajetos de

longa distância. Esse avanço evidencia uma compreensão crescente de que as estações de recarga não representam apenas um suporte técnico ao transporte, mas sim uma peça-chave na indução da transição energética e na construção de um modelo de mobilidade sustentável. À medida que a tecnologia evolui, com o surgimento de estações de ultrarrecarga — capazes de operar acima de 350 kW — e de sistemas inteligentes de gestão energética, espera-se que as barreiras que ainda limitam a ampla adoção dos veículos elétricos sejam progressivamente superadas, reforçando sua posição como alternativa principal no futuro da mobilidade urbana e rodoviária.

2.3 Políticas Públicas para Veículos Elétricos no Brasil

O marco regulatório brasileiro para veículos elétricos (VEs) teve avanços significativos com a Resolução Normativa ANEEL nº 819/2018, que estabelece diretrizes para a integração segura de infraestrutura de recarga à rede elétrica. Esta regulamentação define procedimentos técnicos e comerciais para operadores de estações de recarga, incluindo concessionárias de distribuição e outros agentes do mercado (ANEEL, 2018). Um aspecto crítico da norma é a exigência de comunicação prévia à distribuidora quando a instalação demandar novo ponto de conexão, alteração de tensão ou aumento de carga. A resolução ainda especifica que a capacidade instalada deve considerar o carregamento simultâneo de múltiplos veículos, permitindo a livre iniciativa comercial com preços estabelecidos pelo mercado.

Complementarmente, a ANEEL fomentou pesquisas estratégicas através da Chamada P&D 022/2018, visando demonstrar a viabilidade técnico-econômica de novos modelos de negócios em mobilidade elétrica (ANEEL, 2019). No âmbito fiscal, o Decreto Presidencial nº 9.442/2018 reduziu significativamente as alíquotas do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para veículos sustentáveis, anteriormente de 25% para todos os veículos eletrificados, entre 7% podendo chegar até 20% nos híbridos, dependendo de parâmetros de peso e eficiência energética, e para os elétricos puros podendo chegar a 18%, criando incentivos diretos à aquisição.

Figura 4 – Alíquotas de IPI sobre veículos elétricos e híbridos.

CÓDIGO DA TIPI	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (EE) (MJ/km)	MASSA EM ORDEM DE MARCHA (MOM) (kg)					
		MOM ≤ 1400		1400 < MOM ≤ 1700		MOM > 1700	
		Flex	Gasol.	Flex	Gasol.	Flex	Gasol.
8703.40.00 e 8703.60.00 HÍBRIDOS	EE ≤ 1,10	7%	9%	8%	10%	9%	11%
	1,10 < EE ≤ 1,68	10%	12%	11%	13%	13%	15%
	EE > 1,68	15%	17%	17%	19%	18%	20%
8703.80.00 ELÉTRICOS	EE ≤ 0,66	7%		8%		9%	
	0,66 < EE ≤ 1,35	10%		12%		14%	
	EE > 1,35	14%		16%		18%	

Fonte: Anfavea, 2018.

Paralelamente, a Lei nº 13.755/2018 instituiu o Programa Rota 2030 como política industrial setorial de longo prazo, incorporando metas ambiciosas de eficiência energética e sustentabilidade ambiental. Este programa busca alinhar competitividade industrial com inovação tecnológica, especialmente no desenvolvimento de sistemas de transporte mais limpos e eficientes. Juntos, estes instrumentos normativos formam um ecossistema regulatório que busca estimular tanto a oferta quanto a demanda por mobilidade elétrica no país, abordando desde aspectos técnicos da infraestrutura até incentivos fiscais e industriais.

2.3.1 Análise das Tendências do Mercado Brasileiro de Carros Elétricos

A evolução tecnológica dos veículos elétricos (VEs) tem propiciado uma significativa diversificação em suas configurações técnicas, englobando distintos sistemas de motorização, padrões de carregamento e especificações operacionais. Conforme destacado por Baldissera (2016), essa variabilidade tecnológica decorre da adaptação estratégica dos fabricantes às demandas específicas de cada mercado regional e às particularidades operacionais de cada modelo comercializado.

Essa diferenciação tecnológica gera impactos diretos em quatro dimensões críticas:

1. **Operacional:** variando conforme a capacidade de carga e autonomia
2. **Qualitativa:** relacionada aos materiais e sistemas empregados
3. **Eficiência energética:** com diferenças significativas entre modelos

4. Estrutura de custos: especialmente nos valores de aquisição

A Tabela 1 sintetiza esta diversificação, apresentando um panorama dos principais modelos de VEs atualmente disponíveis para comercialização no mercado brasileiro, permitindo uma análise comparativa desses parâmetros técnicos e econômicos.

Tabela 1 - Especificações Técnicas e Comerciais de Modelos de Veículos Elétricos Disponíveis no Mercado Brasileiro.

Tipo de Veículo	Marca	Modelo	Bateria (KWh)	Autonomia (Km)	Consumo (kWh/km)
Furgão	Renault	KANGOO Z.E	33	200	0,1650
Furgão	JAC MOTORS	iEV750V	92	235	0,3915
Carro	Nissan	Leaf	40	272	0,1471
Carro	Chevrolet	Bolt EV	66	416	0,1587
Carro	JAC MOTORS	iEV20	41	400	0,1025
Carro	JAC MOTORS	iEV40	40	300	0,1333
Carro	JAC MOTORS	iEV330P	67	320	0,2094
Caminhão	JAC MOTORS	iEV1200T	97	200	0,4850
Micro-ônibus	Volare	Access-e	162	250	0,648
Ônibus	BYD	D9A 20.410	324	250	1,296

Fonte: Adaptado De Jac Motors (2021); Byd (2021); Renault (2021); Chevrolet (2021); E Nissan (2021).

2.4 Gestão de Transporte e Meio Ambiente

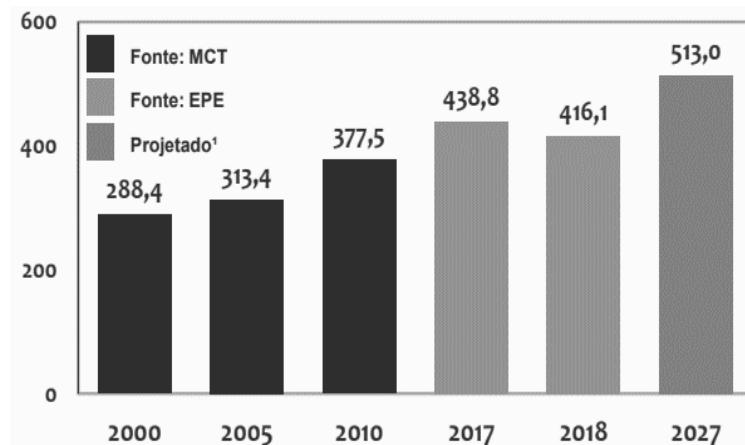
O setor de transporte representa um dos principais vetores de consumo energético no Brasil, respondendo por expressivos 33% da demanda total de energia, com predominância do modal rodoviário (EPE, 2019c). Essa demanda é influenciada por um complexo conjunto de fatores macroeconômicos e sociais, incluindo: padrões de consumo da população, volume de produção industrial, variações do PIB, diretrizes ambientais, desenvolvimento da infraestrutura logística e adoção de novas tecnologias - elementos que simultaneamente impulsionam a atividade transportadora e o crescimento econômico nacional.

Do ponto de vista econômico, o transporte configura-se como componente estratégico tanto para o desenvolvimento nacional quanto para a qualidade de vida urbana. Conforme Ballou (2011), os custos de transporte representam parcela significativa dos gastos logísticos totais, sendo que sistemas de transporte eficientes exercem triplo impacto positivo: (1) aumento da competitividade de mercado, (2) redução de custos operacionais empresariais e (3) diminuição de preços ao consumidor final. Pozo (2019) complementa essa análise, destacando que os gastos com transporte correspondem tipicamente a 60-67% dos custos logísticos totais,

sendo sua gestão otimizada fundamental para determinar a seleção de modais, planejamento de rotas e aproveitamento da capacidade veicular - aspectos que devem ser dimensionados conforme o porte e natureza de cada operação logística.

No âmbito ambiental, o setor apresenta significativos desafios, sendo responsável por parcela considerável das emissões poluentes atmosféricas. O crescimento contínuo da frota de veículos a combustão interna e o consequente aumento no consumo de derivados de petróleo têm contribuído para a escalada nas emissões de dióxido de carbono (CO₂). Assim, conforme ilustrado na Figura 4, é possível verificar sua evolução através da projeção da emissão de CO₂ associada à matriz energética brasileira (EPE, 2019b), evidenciando a relação direta entre o consumo de combustíveis fósseis no transporte e o aumento das emissões poluentes. Esta tendência ascendente reforça a urgência na adoção de alternativas tecnológicas mais limpas e eficientes no segmento de transportes, com destaque para a eletromobilidade como estratégia de descarbonização.

Figura 5 - Emissão de CO₂ da matriz energética brasileira.



Fonte: Adaptado de (EPE, 2019b).

A poluição atmosférica decorrente das emissões veiculares tem se configurado como um grave problema ambiental, particularmente em centros urbanos de alta densidade populacional (LI, KHAJEPOUR e SONG, 2019). Nesse contexto, a mobilidade elétrica surge como alternativa tecnológica promissora, apresentando maior eficiência energética por dispensar a combustão direta de derivados de petróleo e, consequentemente, contribuindo para políticas de transporte sustentável e redução das emissões de CO₂ em áreas urbanas (COLMENAR *et al.*, 2019).

O crescente desenvolvimento do mercado de veículos elétricos (VEs) tem despertado o interesse tanto de formuladores de políticas públicas quanto de consumidores, principalmente

devido ao seu duplo benefício ambiental: redução de gases de efeito estufa e diminuição da poluição sonora (RIETMANN, HÜGLER e LIEVEN, 2020). Esses autores destacam que os ganhos ambientais são maximizados quando a adoção de VEs é acompanhada por investimentos em fontes renováveis de geração elétrica.

Para quantificar os benefícios ambientais da transição energética, o presente estudo adota o índice de Custo de Mitigação (CoM), metodologia desenvolvida por Berhorst *et al.* (2018) que permite mensurar economicamente a redução de emissões obtida pela substituição de combustíveis fósseis por eletricidade no transporte. O CoM, expresso em R\$ por massa de CO₂, é calculado conforme a Equação 1 (BERHORST *et al.*, 2018) e pode apresentar dois cenários distintos: valores negativos indicam economia financeira associada à redução de emissões, enquanto valores positivos representam o custo necessário para evitar a emissão de cada unidade de CO₂.

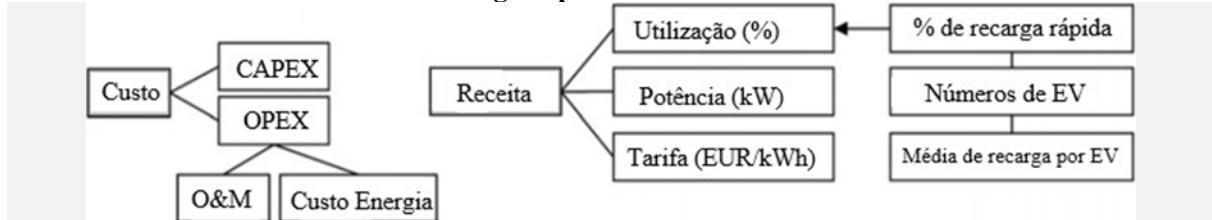
$$CoM = \frac{(custo\ de\ carga\ da\ bateria\ residencial - custo\ do\ tanque\ de\ diesel)\left[\frac{R\$}{tanque}\right]}{(emissão\ do\ tanque\ de\ diesel - emissão\ da\ carga\ da\ bateria\ residencial)\left[\frac{kgCO_2}{tanque}\right]} \quad (1)$$

2.5 Estudos econômicos aplicados envolvendo estações de recargas

A análise econômica de estações de recarga para veículos elétricos representa uma etapa essencial no processo de planejamento de soluções de infraestrutura voltadas à mobilidade elétrica, permitindo avaliar a atratividade e a sustentabilidade financeira desses empreendimentos em diferentes cenários. Diversos autores vêm utilizando métodos clássicos da Engenharia Econômica para mensurar a viabilidade desses investimentos, fornecendo dados relevantes que orientam políticas públicas e decisões privadas. No cenário europeu, Schroeder e Traber (2012) realizaram uma investigação detalhada sobre o retorno financeiro de estações de recarga rápida na Alemanha, baseando-se no Retorno sobre Investimento (ROI), que mede a eficiência financeira do investimento, expressando a relação percentual entre o ganho financeiro obtido e o custo do investimento. Concluindo que, nas condições analisadas, o elevado custo inicial de aproximadamente 95 mil euros comprometia a viabilidade econômica do projeto, evidenciada por um ROI insuficiente, o que ressalta como o volume de uso e os custos fixos influenciam diretamente no desempenho do investimento. A Figura 5 apresenta os principais parâmetros econômicos considerados por Schroeder e Traber (2012) em sua análise de viabilidade para estações de recarga rápida na Alemanha. Entre os fatores críticos

examinados destacam-se:

Figura 6- Parâmetros econômicos considerados no estudo de viabilidade de estações de recarga rápida na Alemanha.



Fonte: Adaptado de Schroeder e Traber (2012).

Em um contexto diferente, o estudo elaborado pela New York State Energy Research and Development Authority (2015) apresentou resultados mais otimistas ao analisar estações de recarga de nível 2 em Nova Iorque. Utilizando indicadores como payback simples, que corresponde ao período necessário para recuperar o capital investido, e Valor Presente Líquido (VPL), em que é calculado o valor atual dos fluxos de caixa futuros, e resultando um valor positivo indica a viabilidade financeira do projeto. Os autores apontaram que, diante de um crescimento de 12% ao ano no uso das estações, uma taxa de atratividade de 7% e um horizonte de 20 anos, o investimento seria financeiramente vantajoso, com um VPL positivo de US\$ 7.482 e um tempo de retorno de 8,71 anos, reforçando como condições de mercado favoráveis podem modificar a perspectiva econômica do empreendimento.

Já Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2014) direcionaram sua análise para o mercado grego, avaliando estações com potências de 3,3 kW e 7,2 kW, comparando modelos de operação de cinco e seis dias por semana. Por meio de indicadores como VPL e Taxa Interna de Retorno (TIR), indicando a rentabilidade percentual anual esperada do projeto, os autores mostraram que a configuração tecnológica e o padrão de uso semanal exercem forte influência no retorno do investimento, destacando a importância da escolha adequada do modelo de operação para otimizar a rentabilidade. Os resultados, consolidados na Tabela 2, revelaram diferenças significativas na viabilidade financeira entre os modelos analisados.

Tabela 2 - Indicadores financeiros (VPL e TIR) para estações de 3,3 kW e 7,2 kW.

Potência do Carregador	Segunda – Sexta		Segunda - Sábado	
	TIR	VPL	TIR	VPL
3,3 kW	11,7%	1.055 €	22,4%	4.473 €
7,2 kW	13,3%	1.453 €	24,9%	5.180 €

Fonte: Adaptado de Vagropoulos *et al.* (2014).

Na China, Liu *et al.* (2016) investigaram um modelo híbrido de estações, composto por carregadores rápidos e de nível 2, analisando o desempenho financeiro por meio de diferentes métricas — VPL, ROI, TIR e payback — e observaram que, embora o investimento fosse viável, os resultados indicavam um retorno a longo prazo, com payback de aproximadamente 15,8 anos, um ROI de 7,55% e uma TIR de 3,78% ao ano.

Esses estudos evidenciam que o sucesso financeiro das estações de recarga depende de múltiplos fatores, como a escolha da tecnologia, o contexto geoeconômico, o modelo de operação e a escala de implantação. Além disso, a diversidade de indicadores utilizados, como VPL, TIR, ROI e payback, reforça a necessidade de uma abordagem analítica ampla, que considere o valor do dinheiro ao longo do tempo e ofereça uma avaliação completa e fundamentada, especialmente em um setor que ainda está em fase de maturação econômica.

2.5.1 *Engenharia Econômica*

A Engenharia Econômica exerce um papel central na tomada de decisões relacionadas a investimentos e à gestão de projetos, estruturando-se como um processo sistemático que envolve desde a formulação clara do problema até a escolha da alternativa mais vantajosa sob o ponto de vista financeiro. De acordo com Hess *et al.* (1992), esse processo contempla etapas como a identificação das alternativas tecnicamente viáveis, a avaliação quantitativa das diferenças futuras, o uso de diagramas para representar fluxos financeiros, além da aplicação de critérios de decisão que possibilitam selecionar a opção de menor custo ou de maior retorno. Além disso, o estudo não se limita apenas aos dados numéricos, incluindo também a análise qualitativa de aspectos imponderáveis que podem influenciar o resultado final.

Neste sentido, a Engenharia Econômica se posiciona como uma ferramenta essencial que impacta diretamente o sucesso e a viabilidade de projetos de investimento, conforme destacam Blank e Tarquin (2008), ao afirmarem que suas técnicas estão profundamente ligadas às escolhas que moldam o desenvolvimento de soluções sustentáveis e financeiramente sólidas.

Entre os diversos métodos utilizados nesse campo, o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) se destaca por sua clareza de interpretação e pela capacidade de facilitar comparações, tanto em situações que envolvem análise de custos quanto de receitas. Hess *et al.* (1992) observam que essa metodologia frequentemente apresenta vantagens sobre outros métodos de avaliação, especialmente pela simplicidade de aplicação em estudos que exigem análise comparativa entre alternativas de investimento. A Equação 2 utilizada para o cálculo

do *CAUE*, apresentada por Hirschfeld (1979), considera diferentes componentes, como o custo inicial do equipamento (P), as anuidades equivalentes derivadas deste custo aplicadas a uma taxa de juros (A_P), o valor residual ao final da vida útil do equipamento (F), com suas respectivas anuidades (A_F), e a soma de eventuais custos adicionais uniformes que possam ocorrer ao longo do tempo de operação.

$$\mathbf{CAUE} = [A_P - A_F] + \sum_1^m A_i \quad (2)$$

Esse método permite que diferentes fluxos de caixa sejam convertidos em um valor anual equivalente, simplificando o processo de comparação e auxiliando os tomadores de decisão a escolherem a alternativa economicamente mais eficiente.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho realiza uma análise crítica comparativa de dois estudos emblemáticos sobre a implantação de pontos de recarga para veículos elétricos em instituições de ensino superior. O primeiro estudo, desenvolvido por Francescatto e Roos (2019) na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), adotou uma abordagem focada na viabilidade econômica, utilizando parâmetros como custos energéticos, investimento em equipamentos, despesas de instalação e manutenção, além de indicadores financeiros como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e correção monetária pelo IPCA. Os pesquisadores modelaram 60 cenários distintos, combinando variáveis tarifárias, horários de operação e modelos de equipamentos, utilizando o método do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para suas análises.

O segundo estudo, conduzido por Dallepiane (2021) em uma instituição privada do Rio Grande do Sul, desenvolveu uma metodologia em três etapas sequenciais: (1) análise operacional das rotas e perfis de transporte existentes; (2) avaliação técnico-econômica comparando veículos convencionais e elétricos; e (3) proposta concreta de substituição de frota com análise de impacto energético. Diferentemente do primeiro estudo, Dallepiane incorporou além dos aspectos econômicos, uma avaliação ambiental através do Índice de Custo de Mitigação (CoM), ampliando o escopo da análise.

Esta análise comparativa permitirá identificar convergências e divergências metodológicas entre os estudos, avaliando como diferentes abordagens (uma mais econômico-financeira e outra mais operacional-integrada) podem contribuir para a tomada de decisão sobre implantação de infraestrutura de recarga em ambientes universitários. Particular atenção será dada à aplicabilidade dos resultados em diferentes contextos institucionais (universidade pública versus instituição privada), considerando suas particularidades operacionais e financeiras.

4. PESQUISAS SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Com base nos estudos de caso apresentados, esta seção se organiza em duas subseções principais. A primeira subseção explora a metodologia e as conclusões do estudo de Dallepiane (2021), destacando sua análise em múltiplas etapas e a inclusão da avaliação ambiental. A segunda subseção detalha a análise metodológica e os resultados do estudo conduzido por Francescato e Roos (2019) na UFSM, com foco em sua abordagem econômica e nos cenários modelados. O objetivo desta seção é fornecer uma análise comparativa aprofundada das diferentes abordagens utilizadas para avaliar a viabilidade da implantação de infraestrutura de recarga de veículos elétricos em instituições de ensino superior, preparando o terreno para a discussão crítica e a identificação de insights relevantes para futuras pesquisas e implementações.

4.1 Análise de viabilidade econômica para introdução de veículos elétricos no transporte de um campus universitário (Dallepiane, 2021)

O presente estudo de caso analisou a frota veicular de uma instituição privada de ensino superior que utiliza predominantemente o modal rodoviário para suas operações de transporte. Conforme os dados coletados, a frota institucional é composta por 25 veículos, incluindo automóveis, furgões, um caminhão a diesel e um micro-ônibus de propriedade da instituição. Complementando essa estrutura, há ainda um ônibus a diesel operado por empresa terceirizada, responsável pelo transporte interno no campus.

Para fins de análise, os veículos foram categorizados conforme seu tipo de combustível, os modelos movidos a diesel estão detalhados na Tabela 3:

Tabela 3 - Dados dos Veículos Abastecidos por Diesel.

Diesel	
Caminhão	8-140 2p
Micro-ônibus	VOLARE (Executivo A6/V6)
Carro	S10 Blazer Executive 2.8 4x4 TDI
Furgão	Sprinter 311- Longo 2.2
Furgão	Ducato Maxi. Long. 2.3 T.Alto ME
Furgão	Ducato Cargo Curto 2.3 ME
Ônibus	Ônibus 44 lugares

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Aqueles abastecidos com gasolina constam na Tabela 4:

Tabela 4 - Dados dos Veículos Abastecidos por Gasolina.

Gasolina			
Carro	Elba 1.6i.e/Top/CSL/ 1.6i.e/1.5 2p e 4p	Carro	Spacefox TL MBV
Carro	Gol (novo) 1.6 Mi Total Flex 8V 4p	Carro	Montana LS2
Carro	Gol (novo) 1.6 Mi Total Flex 8V 4p	Carro	Onix 10MT JOYE
Carro	Gol (novo) 1.6 Mi Total Flex 8V 4p	Carro	Onix 10MT JOYE
Carro	Fusion SEL 2.5 16V 173cv Aut.	Carro	Prisma 1.4MT LT
Carro	VERSA SL 1.6 16V Flex Fuel 4p Mec.	Furgão	Fiorino Furgão Endurance
Carro	SPACEFOX 1.6/ 1.6 Trend Total Flex 8V 4p	Furgão	Fiorino Furgão Endurance
Carro	VERSA SV 1.6 16V Flex Fuel 4p Mec.	Carro	Strada Endurance
Carro	Fiorino Furgão EVO 1.4 Flex 8V 2p	Carro	Strada dupla 1.4
Carro	VERSA SV 1.6 16V Flex Fuel 4p Mec.		

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Cabe destacar que quatro veículos adquiridos no final do período de análise (dois Fiorino Furgão Endurance, uma Strada Endurance e uma Strada Dupla 1.4) não apresentam dados históricos completos de manutenção e abastecimento. Por este motivo, estes modelos serão considerados apenas na fase de proposição de substituição da frota, não integrando as análises de custos operacionais históricos.

Esta caracterização detalhada da frota atual serve como base fundamental para a subsequente análise comparativa entre os veículos convencionais e as alternativas elétricas, permitindo uma avaliação precisa dos potenciais ganhos operacionais, econômicos e ambientais da transição para a mobilidade elétrica.

A análise dos padrões de deslocamento da frota institucional, conforme dados do setor de logística, revela que as operações são predominantemente realizadas em trajetos urbanos no município sede ou em deslocamentos intermunicipais de curta distância para cidades vizinhas. Todos os percursos caracterizam-se por serem operações diurnas, com

partida e retorno ao campus na mesma jornada, apresentando um padrão operacional regular e previsível que se mostra particularmente adequado para a adoção de veículos elétricos.

A utilização dos veículos varia conforme a demanda das atividades acadêmicas e administrativas, resultando em períodos de ociosidade que, paradoxalmente, representam uma vantagem estratégica para a transição energética. O sistema de agendamento prévio de veículos, já implementado pela instituição, permite um gerenciamento otimizado dos ciclos de recarga, enquanto a predominância de trajetos curtos - geralmente inferiores a 100 km por dia - se adequa perfeitamente à autonomia dos modelos elétricos atualmente disponíveis no mercado. Adicionalmente, a centralização das operações no campus facilita significativamente a implantação de infraestrutura de recarga dedicada, eliminando uma das principais barreiras à adoção desta tecnologia.

No que diz respeito especificamente ao serviço de transporte interno por ônibus, os dados operacionais indicam a realização de 23 percursos diários de segunda a sexta-feira, complementados por 8 percursos aos sábados, totalizando 123 voltas semanais. Considerando que cada volta compreende 3,2 km, a distância total semanal percorrida é de 393,6 km. Esses números demonstram que a substituição por um ônibus elétrico com autonomia de 250 km demandaria apenas duas recargas semanais, preferencialmente realizadas no período noturno para aproveitamento de tarifas energéticas mais vantajosas. É importante ressaltar que, por se tratar de serviço terceirizado, a análise limita-se aos trajetos internos no campus de Passo Fundo, conforme detalhado na Figura 6, não considerando eventuais deslocamentos externos que possam ocorrer.

Figura 7- Trajeto do ônibus interno na Instituição.



Fonte: Dallepiane (2021).

A transição para veículos elétricos nesta operação específica traria benefícios mensuráveis em várias dimensões: eliminação completa das emissões locais, redução dos custos operacionais por quilômetro rodado, diminuição da poluição sonora - aspecto particularmente relevante em ambiente acadêmico - e possibilidade de alinhamento dos ciclos de recarga com períodos de tarifa energética reduzida. Esta análise detalhada dos padrões operacionais não apenas comprova a viabilidade técnica da substituição da frota convencional, mas também evidencia os múltiplos benefícios da eletrificação no contexto institucional, preparando o terreno para a subsequente avaliação financeira detalhada que considerará os custos de aquisição, implantação da infraestrutura necessária e operação dos veículos elétricos.

Para avaliar a viabilidade econômica da transição energética, realizou-se um levantamento detalhado das despesas com combustíveis (gasolina e diesel) da frota institucional nos anos de 2019 e 2020. Esses dados históricos serviram como base para uma análise comparativa dos custos operacionais entre os veículos convencionais e seus equivalentes elétricos disponíveis no mercado brasileiro.

O estudo considerou todos os veículos dedicados ao transporte pessoal, coletivo e de cargas no campus universitário, selecionando para cada um modelos elétricos com características técnicas similares. Para o cálculo dos custos de operação dos veículos elétricos, adotou-se o valor médio de R\$ 0,709 por kWh, conforme registrado na fatura de energia elétrica da instituição (cliente livre). Paralelamente, os custos com combustíveis fósseis foram calculados com base nos preços praticados nos postos locais durante o período analisado.

Os resultados desse comparativo, apresentados na Tabela 5, demonstram claramente a vantagem econômica dos veículos elétricos em termos de custo por quilômetro rodado.

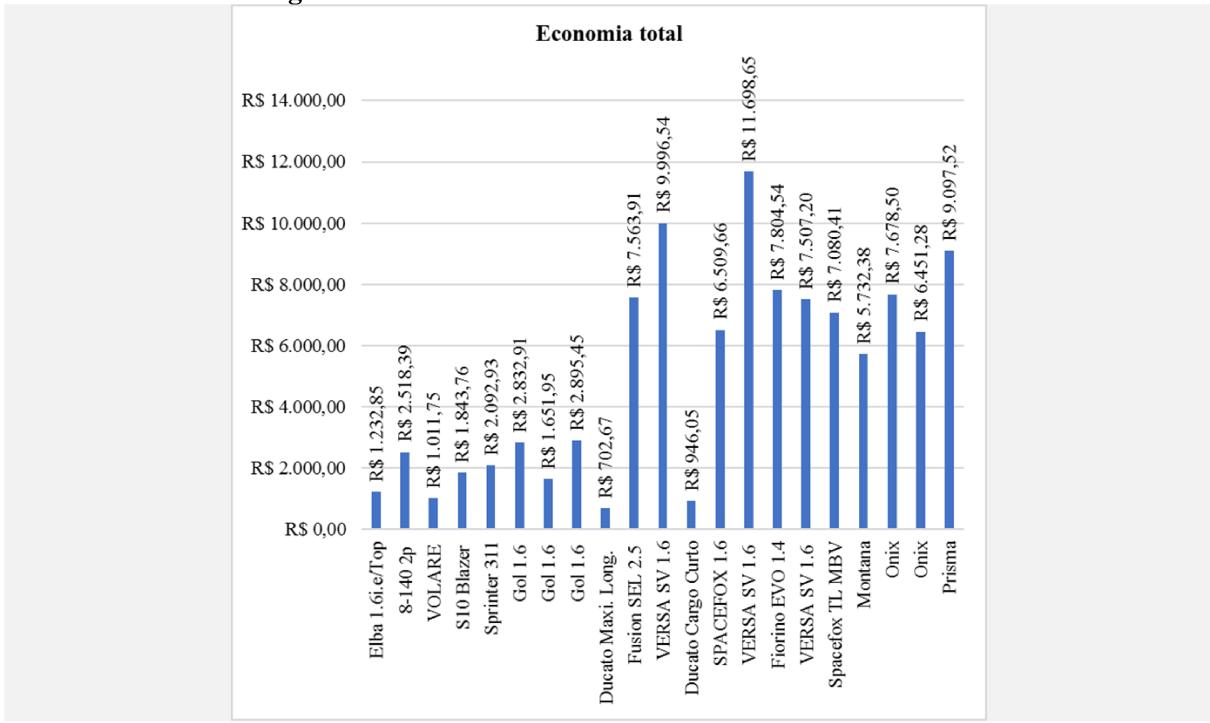
Tabela 5 - Despesas com Abastecimentos.

Dados dos Veículos		Modelo Combustão			Modelo Elétrico		
Un	Veículos	km Rodado	Abastecimento km Rodado	Média Consumo	Veículos	Recargas km Rodado	Média Consumo
		(km)	Combustível R\$	km/L		Eletricidade R\$	km/kWh
1	Elba 1.6i.e/CSL	4195	R\$ 1.629,42	12	iEV40	R\$ 396,57	7,5
2	8-140 2p	7453	R\$ 5.083,52	4,88	iEV1200T	R\$ 2.565,13	2,06
3	VOLARE (A6/V6)	5406	R\$ 3.484,56	5,43	Access-e	R\$ 2.472,81	1,55
4	S10 Blazer	11063	R\$ 3.484,69	10,784	iEV330P	R\$ 1.640,93	4,78
5	Sprinter 311	11547	R\$ 5.290,91	7,48	iEV750V	R\$ 3.197,98	2,56
6	Gol 1.6	12446	R\$ 4.233,58	13,47	BOLT EV	R\$ 1.400,67	6,3
7	Gol 1.6	7658	R\$ 2.513,78	13,78	BOLT EV	R\$ 861,83	6,3
8	Gol 1.6	12490	R\$ 4.301,07	13,26	BOLT EV	R\$ 1.405,62	6,3
9	Ducato Max. Long.	7426	R\$ 2.759,25	9,5	iEV750V	R\$ 2.056,58	2,56
10	Fusion SEL 2.5	22190	R\$ 9.877,54	9,79	Leaf	R\$ 2.313,63	6,8
11	VERSA SV 1.6	46597	R\$ 14.854,96	13,67	Leaf	R\$ 4.858,42	6,8
12	Ducato Cargo 2.3	10055	R\$ 3.730,81	9,49	iEV750V	R\$ 2.784,76	2,56
13	SPACEFOX 1.6	21898	R\$ 8.579,75	11,08	iEV40	R\$ 2.070,09	7,5
14	VERSA SV 1.6	52269	R\$ 17.148,46	13,4	Leaf	R\$ 5.449,81	6,8
15	Fiorino EVO 1.4	16668	R\$ 9.754,64	7,56	KANGOO Z.E.	R\$ 1.950,10	6,06
16	VERSA SV 1.6	33.672	R\$ 11.018,00	13,90	Leaf	R\$ 3.510,80	6,8
17	Spacefox TL	24481	R\$ 9.394,68	11,32	iEV40	R\$ 2.314,27	7,5
18	Montana	19466	R\$ 8.009,84	11,2	KANGOO Z.E.	R\$ 2.277,46	6,06
19	Onix	26606	R\$ 9.613,24	12,9	iEV20	R\$ 1.934,74	9,75
20	Onix	22354	R\$ 8.076,80	12,9	iEV20	R\$ 1.625,52	9,75
21	Prisma	34101	R\$ 12.321,16	13,1	iEV40	R\$ 3.223,64	7,5
Total		R\$ 155.160,66		Total		R\$ 50.311,38	

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

A Figura 8 complementa essa análise, projetando a economia acumulada que seria obtida com a substituição da frota, calculada a partir da diferença entre os custos de abastecimento dos modelos convencionais e elétricos.

Figura 8 - Economia total obtida no ano de 2019 e 2020.



Fonte: Dallepiane (2021).

Os dados coletados evidenciam a viabilidade econômica da substituição progressiva da frota atual por veículos elétricos, particularmente nos segmentos de transporte pessoal e de cargas leves. Essa transição não apenas reduziria significativamente os custos operacionais da instituição, como também traria benefícios ambientais importantes, alinhando-se às políticas de sustentabilidade cada vez mais relevantes no âmbito acadêmico.

Vale ressaltar que essa análise considera especificamente os custos diretos de abastecimento/recarga, sendo necessário complementá-la com estudos sobre os investimentos iniciais requeridos (aquisição de veículos e infraestrutura de recarga) para uma avaliação econômica completa da transição. Contudo, os resultados já indicam um potencial significativo de economia operacional com a adoção da mobilidade elétrica no contexto universitário.

A avaliação dos custos operacionais da frota institucional nos anos de 2019 e 2020 revelou uma economia potencial significativa com a adoção de veículos elétricos (VEs). Os dados demonstram que a substituição da frota convencional por modelos elétricos permitiria uma redução total de R\$ 104.849,28 em gastos com combustível, representando uma economia expressiva de 67,57% em relação aos custos históricos registrados.

No caso específico do serviço de transporte interno por ônibus, atualmente terceirizado e operado com veículo a diesel, a instituição arca com um custo médio mensal

de R\$ 12.998,08 para a realização de 538 percursos, totalizando 1.721,6 km mensais no campus universitário. A simulação com um ônibus elétrico de 250 km de autonomia indica que o mesmo trajeto demandaria apenas R\$ 1.581,94 mensais em recargas energéticas, considerando o custo médio do kWh na região.

Além da expressiva economia com abastecimento, os VEs apresentam vantagens econômicas adicionais nos custos de manutenção. Conforme destacado pela Jac Motors (2020), a ausência de diversos componentes presentes nos veículos convencionais - como câmbio, radiador, filtros de ar e óleo, velas, correias e bicos injetores - resulta em despesas de manutenção substancialmente menores.

Para quantificar essa diferença, realizou-se um levantamento detalhado dos custos de manutenção registrados pela instituição no biênio 2019-2020. A Tabela 6 consolida os resultados dessa análise, considerando especificamente os componentes que seriam eliminados com a adoção de VEs. Os dados evidenciam que, além da economia de 67,57% com combustível, a instituição obteria reduções adicionais significativas nos custos de manutenção, reforçando a viabilidade econômica da transição para a mobilidade elétrica.

Tabela 6 - Despesas com Manutenções.

Nº	Veículos da Frota da Instituição	Manutenção (\$)
1	Elba 1.6i.e/Top/CSL	R\$ 585,00
2	8-140 2p	R\$ 4.300,00
3	VOLARE (Executivo A6/V6)	R\$ 2.300,00
4	S10 Blazer Executive 2.8 4x4	R\$ 3.200,00
5	Sprinter 311 Furgão Longo 2.2	R\$ 2.380,00
6	Gol 1.6 Mi Total Flex	R\$ 3.100,00
7	Gol 1.6 Mi Total Flex	R\$ 568,00
8	Gol 1.6 Mi Total Flex	R\$ 630,00
9	Ducato Maxi. Long. 2.3 T. Alto	R\$ 1.190,00
10	Fusion SEL 2.5	R\$ 2.300,00
11	VERSA SL 1.6	R\$ 1.670,00
12	Ducato Cargo Curto 2.3	R\$ 1.350,00
13	SPACEFOX 1.6/ 1.6 Trend	R\$ 2.610,00
14	VERSA SV 1.6	R\$ 1.405,00
15	Fiorino Furgão EVO 1.4	R\$ 860,00
16	VERSA SV 1.6	R\$ 1.555,00
17	Spacefox TL MBV	R\$ 2.300,00
18	Montana	R\$ 900,00
19	Onix	R\$ 1.630,00
20	Onix	R\$ 1.210,00
21	Prisma	R\$ 2.455,00
TOTAL DE DESPESAS		R\$ 38.498,00

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Vale ressaltar que, no caso do ônibus interno, por se tratar de serviço terceirizado, a análise limitou-se aos valores contratuais, não considerando eventuais diferenças nos custos de manutenção do veículo, que ficam a cargo da empresa prestadora do serviço. Contudo, mesmo nessa condição específica, os resultados demonstram o potencial de economia que a eletrificação da frota pode proporcionar à instituição.

O estudo adotou a metodologia de cálculo do Custo de Mitigação (CoM) proposta por Berhorst *et al.* (2018), utilizando a Equação 1 para expressar os resultados em $\frac{R\$}{massa}$ de CO₂ mitigada. Esse indicador possibilitou a quantificação econômica da redução das emissões de carbono alcançada com a substituição de veículos convencionais, movidos a gasolina e diesel, por veículos elétricos (VEs), considerando especificamente as emissões no ciclo "tanque à roda" (*tank-to-wheel*).

Para a aplicação da metodologia, foram estabelecidos os seguintes parâmetros de emissão: intensidade de carbono da eletricidade de 0,2 kg CO₂/kWh (Berhorst *et al.*, 2018), emissões de 2,603 kg CO₂ por litro de diesel e de 2,212 kg CO₂ por litro de gasolina (MMA, 2013).

A análise foi conduzida individualmente para cada modelo de veículo da frota, levando em consideração suas especificações técnicas relativas à autonomia e à eficiência energética. Essa abordagem detalhada mostrou-se necessária diante da variação significativa nos resultados do CoM entre os diferentes modelos, como apresentado na Tabela 7. A metodologia aplicada permitiu avaliar com precisão o custo-benefício ambiental da substituição, considerando as particularidades operacionais de cada veículo. Os resultados obtidos forneceram subsídios relevantes para a tomada de decisão, integrando critérios econômicos e ambientais na análise da viabilidade da renovação da frota.

Tabela 7 - Custo de Mitigação.

Dados Veículos Elétricos				Dados Veículos a Combustão				
Veículo	Bateria kWh	Autonomia km	Custo R\$	Eficiência média km.L	Volume de tanque L.tanque	Valor do tanque R\$.tanque	Custo de Mitigação R\$.kgCO2	Redução Emissão kg.CO2
KANGOO Z.E	33	200	R\$ 0,12	7,56	26	127	- 1,99	58,52
KANGOO Z.E	33	200	R\$ 0,12	11,2	18	86	- 1,89	39,50
iEV750V	92	235	R\$ 0,27	7,48	31	110	- 0,70	81,78
iEV750V	92	235	R\$ 0,27	9,5	25	86	- 0,46	64,39
iEV750V	92	235	R\$ 0,27	9,49	25	87	- 0,46	64,46
Leaf	40	272	R\$ 0,10	9,79	28	133	- 1,96	61,46
Leaf	40	272	R\$ 0,10	13,67	20	95	- 1,86	44,01
Leaf	40	272	R\$ 0,10	13,4	20	97	- 1,87	44,90
Leaf	40	272	R\$ 0,10	13,9	20	94	- 1,85	43,29
Bolt EV	66	416	R\$ 0,11	13,47	31	148	- 1,84	68,31
Bolt EV	66	416	R\$ 0,11	13,78	30	145	- 1,83	66,78
Bolt EV	66	416	R\$ 0,11	13,26	31	150	- 1,84	69,40
iEV20	41	400	R\$ 0,07	12,9	31	149	- 1,98	68,59
iEV20	41	400	R\$ 0,07	12,9	31	149	- 1,98	68,59
iEV40	40	300	R\$ 0,09	12	25	120	- 1,93	55,30
iEV40	40	300	R\$ 0,09	11,08	27	130	- 1,95	59,89
iEV40	40	300	R\$ 0,09	11,32	27	127	- 1,95	58,62
iEV40	40	300	R\$ 0,09	13,1	23	110	- 1,91	50,66
iEV330P	67	320	R\$ 0,15	10,784	30	104	- 0,81	77,24
iEV1200T	97	200	R\$ 0,34	4,88	41	143	- 0,76	106,68
Access-e	162	250	R\$ 0,46	5,43	46	161	- 0,41	119,84
D9A 20.410	324	250	R\$ 0,92	3,5	71	250	- 0,11	185,93

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Os resultados obtidos no cálculo do Custo de Mitigação (CoM) apresentaram valores consistentemente negativos, com uma média de -R\$ 1,00 por kg de CO₂ evitado, conforme metodologia proposta por Berhorst *et al.* (2018). Esse resultado demonstra que a substituição dos veículos convencionais por elétricos não apenas reduz as emissões de carbono, mas também gera economia financeira para a instituição. Na prática, cada quilograma de CO₂ que deixou de ser emitido na atmosfera representou uma economia média de R\$ 1,00 nos custos operacionais, considerando o ciclo completo de operação dos veículos.

Essa vantagem econômica associada à redução de emissões decorre principalmente da maior eficiência energética dos veículos elétricos, que convertem cerca de 77% da energia elétrica em movimento, contra apenas 12-30% nos motores a combustão interna, além dos menores custos com manutenção devido à simplicidade mecânica dos VEs.

O estudo constatou ainda que essa relação custo-benefício se mantém positiva mesmo considerando as variações específicas de cada modelo veicular e seus respectivos padrões de uso, conforme demonstrado na análise detalhada por categoria de veículo. Esses achados corroboram pesquisas internacionais que identificam a mobilidade elétrica como uma das soluções mais custo-efetivas para a descarbonização do setor de transportes, particularmente em frotas institucionais com padrões de deslocamento previsíveis e curtas distâncias, como é o caso do campus universitário estudado. A combinação de benefícios ambientais e econômicos revelada pelos resultados do CoM fortalece o argumento técnico e financeiro para a transição energética da frota analisada.

Com o intuito de identificar os veículos elétricos mais adequados às necessidades da instituição, procedeu-se a um levantamento dos modelos disponíveis no mercado brasileiro. Essa análise considerou as especificidades técnicas de cada veículo, com foco na capacidade da bateria, na autonomia proporcionada e no consumo energético declarado pelos fabricantes. As informações detalhadas, compiladas e apresentadas na Tabela 8, permitiram delinear um panorama comparativo entre os modelos, culminando na identificação daqueles que melhor se alinham com os requisitos operacionais e de sustentabilidade da instituição. Essa etapa de seleção, baseada em dados técnicos concretos, constituiu um passo fundamental para a tomada de decisão informada sobre a adoção de uma frota elétrica.

Tabela 8 - Características dos Modelos Elétricos Propostos para Substituição.

Tipo de Veículo	Marca	Modelo	Bateria (KWh)	Autonomia (Km)	Consumo (kWh/km)
Furgão	Renault	KANGOO Z.E	33	200	0,1650
Furgão	JAC MOTORS	iEV750V	92	235	0,3915
Carro	Nissan	Leaf	40	272	0,1471
Carro	Chevrolet	Bolt EV	66	416	0,1587
Carro	JAC MOTORS	iEV20	41	400	0,1025
Carro	JAC MOTORS	iEV40	40	300	0,1333
Carro	JAC MOTORS	iEV330P	67	320	0,2094
Caminhão	JAC MOTORS	iEV1200T	97	200	0,4850
Micro-ônibus	Volare	Access-e	162	250	0,648
Ônibus	BYD	D9A 20.410	324	250	1,296

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Na sequência desta análise, e com o objetivo de compreender as implicações da integração de uma frota de veículos elétricos à rotina da instituição, elaborou-se uma proposta de substituição da frota existente, considerando o número total de veículos atualmente em operação. A Tabela 9 detalha essa proposta, especificando para cada modelo

selecionado a quantidade sugerida, o tipo de plugue de carregamento compatível, a potência do carregador a ser utilizado e o tempo estimado para a recarga completa da bateria.

Tabela 9 - Proposta de Substituição de Frota.

Tipo de Veículo	Marca	Modelo	Quantidade Proposta	Plugue	Estação de Carregamento (kW)	Tempo de Recarga (h)
Furgão	Renault	KANGOO Z.E	4	T2	7,4	5:13
Furgão	JAC MOTORS	iEV750V	3	T2	7,4	12:43
Carro	Nissan	Leaf	4	T1	7,4	8:21
Carro	Chevrolet	Bolt EV	3	T2	7,4	9:47
Carro	JAC MOTORS	iEV20	2	GB/T	7,4	6:20
Carro	JAC MOTORS	iEV40	4	T2	7,4	6:06
Carro	JAC MOTORS	iEV330P	3	GB/T	7,4	10:15
Caminhão	JAC MOTORS	iEV1200T	1	T2	7,4	13:00
Micro-ônibus	Volare	Access-e	1	T2	80 (2 x 40)	3:00
Ônibus	BYD	D9A 20.410	1	T2	80 (2 x 40)	5:00

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

Para atender às necessidades de recarga da frota elétrica planejada, selecionou-se o carregador Wall Box da WEG (2021) como solução principal para os veículos menores. Este equipamento possui características técnicas adequadas para a operação institucional, com potência de 7,4 kW, tensão de 220V e corrente alternada de 32A, utilizando o padrão de plugue Tipo T2. No caso específico de veículos com conector GB/T, prevê-se a utilização de adaptadores para compatibilização com a infraestrutura instalada, garantindo a flexibilidade necessária para atender diferentes modelos de automóveis, furgões e caminhões elétricos.

Para os veículos de maior porte - micro-ônibus e ônibus elétricos - optou-se pelo carregador de alta potência BYD EVA 080 K101 (BYD, 2021). Este equipamento possui capacidade de 80 kW e conta com duas entradas do padrão T2, permitindo recargas rápidas e eficientes desses veículos que demandam maior capacidade energética. A seleção desses dois modelos de carregadores considerou não apenas as especificações técnicas dos veículos da frota, mas também critérios de eficiência energética, disponibilidade de assistência técnica no mercado nacional e compatibilidade com os sistemas elétricos existentes na instituição.

Essa solução mista - combinando carregadores de média e alta potência - demonstra-se adequada para atender às diferentes demandas da frota institucional, garantindo tempos de recarga compatíveis com os padrões de uso identificados no estudo operacional, enquanto otimiza os investimentos em infraestrutura. A escolha de equipamentos de fabricantes

consolidados no mercado, como WEG e BYD, assegura ainda a confiabilidade e durabilidade do sistema de recarga, fatores essenciais para a operação contínua dos veículos elétricos.

4.2 Análise de Viabilidade Econômica das Estações de Recarga para a UFSM - Francescatto e Roos (2019)

O estudo realizado por Francescatto e Roos (2019) estabelece uma abordagem metodológica para avaliação de estações de recarga de veículos elétricos que foi aplicada na presente análise. A pesquisa considerou diversos parâmetros técnicos e econômicos fundamentais, incluindo as especificações técnicas dos equipamentos, a estrutura tarifária de energia elétrica vigente, os mecanismos de correção monetária e a Taxa Mínima de Atratividade como referencial para avaliação de investimentos. Estes elementos estão detalhadamente apresentados no Tabela 10, que contém os dados comparativos dos cinco modelos de estações de recarga selecionados para este estudo.

Tabela 10 - Dados técnicos dos modelos de Nível 2.

Modelos Nível 2	Potência (kW)	Conectores	Corrente (A)	Voltagem (V)
	AC	AC	AC	AC
EVLunics Basic+	22	SAE J1772 e Mennekes	32	240
ChargePoint CT4025	7,2	SAE J1772	30	240
Evlink Parking	22	Mennekes	32	230 a 400
BOSCH EV800	7,2	SAE J1772	12 a 32	95 a 264
POWERCHARGE P30DPN	9,6	SAE J1772	16 a 40	208 a 240

Fonte: Adaptado de Francescatto e Roos (2019).

A metodologia empregada permite uma avaliação abrangente que vai além dos custos diretos de aquisição e instalação, incorporando também a análise de indicadores econômicos estratégicos como o Custo Anual Uniforme Equivalente e o custo por quilowatt-hora fornecido. Esta abordagem sistemática possibilita identificar as soluções mais adequadas para diferentes contextos de aplicação, levando em conta três aspectos fundamentais: as características técnicas requeridas pela frota elétrica, a capacidade da infraestrutura energética já instalada na instituição e os padrões de utilização típicos do ambiente universitário.

A escolha das estações de recarga em um estacionamento universitário deve

considerar essencialmente o perfil diversificado dos usuários que frequentam a instituição. Professores, funcionários técnico-administrativos e estudantes apresentam padrões distintos de permanência no campus, o que impacta diretamente o tempo de ocupação das vagas com recarga. Neste contexto, a análise dos fluxos de circulação revelou a necessidade de segmentar a operação em três turnos distintos - manhã, tarde e integral - conforme demonstrado no Tabela 11. Esta abordagem leva em conta que docentes em regime de tempo integral tendem a permanecer no campus por períodos mais prolongados, enquanto estudantes em aulas pontuais utilizam o estacionamento de forma mais esporádica.

Tabela 11 - Distribuição dos turnos do estacionamento.

Turnos	Horário de Funcionamento	Total de Horas
Manhã	6h30min até 12h30min	6 horas
Tarde	12h30 min até 18h30min	6 horas
Integral	6h30min até 20h30min	14 horas

Fonte: Adaptado de Francescatto e Roos (2019).

A adequação aos diferentes perfis de usuários, conforme discutido por Roos (2020), é fundamental para otimizar a utilização da infraestrutura, evitando tanto a ociosidade quanto a saturação das estações. O modelo proposto busca equilibrar a capacidade instalada com os padrões reais de uso, garantindo que professores em regime parcial, estudantes com aulas concentradas em determinados turnos e funcionários com jornada completa possam usufruir adequadamente dos pontos de recarga. Esta solução operacional reflete a complexidade inerente aos ambientes universitários, onde a infraestrutura para mobilidade elétrica deve ser planejada considerando as particularidades da comunidade acadêmica e seus diversos ritmos de atividades.

A determinação dos parâmetros econômicos necessários para o cálculo do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) dos equipamentos de recarga foi realizada mediante consulta direta aos fabricantes das estações selecionadas. Este levantamento minucioso permitiu compilar todos os componentes de custo associados a cada modelo de estação, desde o investimento inicial até as despesas operacionais e de manutenção ao longo da vida útil do equipamento, conforme detalhado nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Custos dos equipamentos adicionados os impostos e as despesas de instalação.

Fabricante	Modelo	Custo do Equipamento	Custo de Instalação
ABB	EVLunics Basic+	R\$ 28.080,00	R\$ 45.078,11
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R\$ 47.421,90	R\$ 27.046,86
Evlink	Evlink Parking	R\$ 35.218,81	R\$ 45.078,11
Bosch	BOSCH EV800	R\$ 25.915,80	R\$ 27.046,86
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R\$ 35.386,92	R\$ 27.046,86

Fonte: Adaptado de Francescatto e Roos (2019).

Tabela 13 - Custos de manutenção e a depreciação anual dos modelos.

Fabricante	Modelo	Custo de Manutenção	Depreciação anual
ABB	EVLunics Basic+	R\$ 7.315,81	R\$ 2.400,00
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R\$ 7.446,88	R\$ 3.095,31
Evlink	Evlink Parking	R\$ 8.029,69	R\$ 3.010,16
Bosch	BOSCH EV800	R\$ 5.296,27	R\$ 1.707,15
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R\$ 6.243,38	R\$ 2.331,04

Fonte: Adaptado de Francescatto e Roos (2019).

Com base nesses dados, o estudo avança para a fase de análise de viabilidade econômica, onde será calculado o CAUE para cada alternativa, considerando o valor presente dos fluxos de caixa futuros, a vida útil estimada dos equipamentos e os custos operacionais projetados. Esta abordagem metodológica, alinhada com as práticas recomendadas por Francescatto e Roos (2019), permitirá uma comparação sistemática entre os diferentes modelos de estações de recarga, visando identificar a solução mais adequada para as necessidades específicas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A análise considerará não apenas os aspectos financeiros, mas também a capacidade técnica e a adequação operacional de cada alternativa, garantindo que a decisão final esteja embasada em critérios técnicos e econômicos robustos.

5. RESULTADOS E ANÁLISE

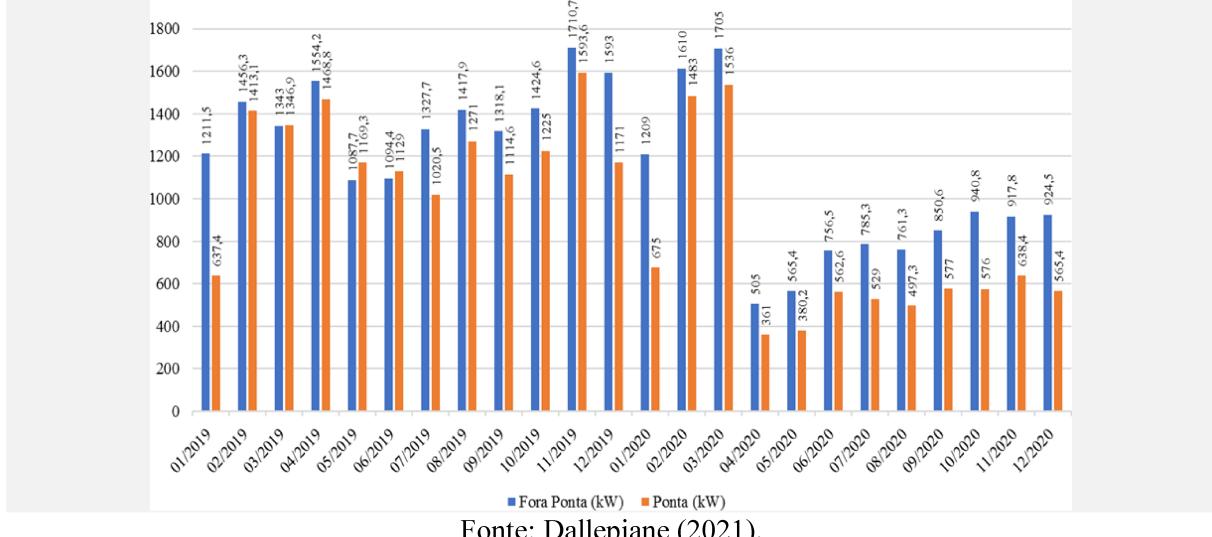
Neste capítulo, são apresentados e analisados os principais resultados obtidos a partir da comparação entre os dois estudos de caso selecionados, que investigam a viabilidade de implantação de infraestrutura de recarga para veículos elétricos em instituições de ensino superior. O estudo de Francescatto e Roos (2019) concentrou-se em uma avaliação econômico-financeira detalhada, enquanto o trabalho de Dallepiane (2021) ampliou o escopo da análise ao incluir dimensões operacionais e ambientais. A análise comparativa permitiu identificar pontos de convergência, como o foco na racionalização de custos e na estruturação da infraestrutura, e também divergências metodológicas relevantes, especialmente no tratamento de variáveis ambientais e na abordagem técnica da substituição veicular. As seções a seguir apresentam os resultados de cada estudo e discutem suas implicações no contexto acadêmico, buscando contribuir para a formulação de estratégias mais integradas e sustentáveis de mobilidade elétrica nas universidades.

5.1 Análise de Impacto da Inserção de Veículos Elétricos na Demanda de Energia e Viabilidade de Recargas Simultâneas - Dallepiane (2021)

A implantação de veículos elétricos (VEs) na frota institucional requer uma análise cuidadosa do impacto na demanda energética, particularmente quanto à possibilidade de recargas simultâneas. O estudo projetou a instalação de 12 carregadores de 7,4 kW e 1 carregador de 80 kW (com duas entradas de 40 kW) em corrente alternada, totalizando uma carga instalada de 168,8 kW. Essa configuração foi dimensionada considerando a análise do setor de logística, que identificou que a frota não atinge 100% de ocupação diária, permitindo que aproximadamente 50% dos veículos sejam recarregados simultaneamente, prioritariamente no período noturno.

A instituição, enquadrada como cliente livre no subgrupo A4 comercial (modalidade tarifária horária verde), possui demanda contratada de 1.800 kW para os períodos de ponta e fora de ponta. A simulação do comportamento da demanda energética, ilustrada na Figura 8, revelou que o maior registro mensal ocorreu em novembro de 2019, com 1.710,7 kW. A análise demonstra que a adição da carga dos carregadores de VEs ao consumo atual resultaria na ultrapassagem do limite da demanda contratada, exigindo um reajuste na capacidade de fornecimento para acomodar a nova infraestrutura de recarga sem comprometer a operação existente.

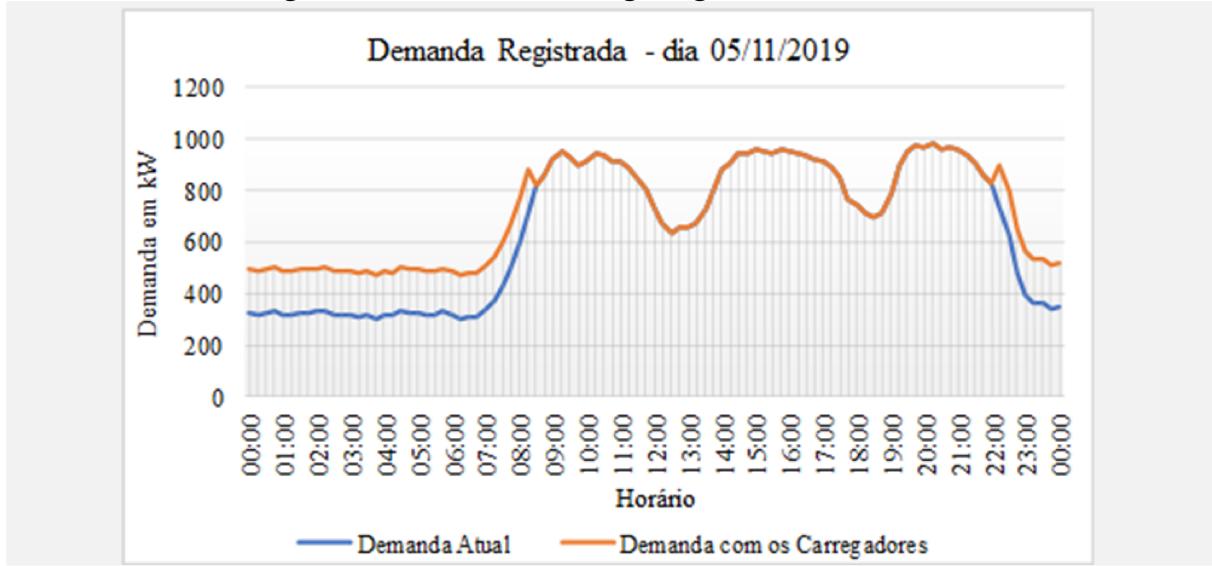
Figura 9- Demanda de Energia registrada – 2019/2020.
Demanda de Energia - 2019/2020



Fonte: Dallepiane (2021).

Para determinar o período mais adequado para as recargas da frota elétrica, foi realizada uma simulação detalhada do comportamento da demanda energética ao longo de um dia típico de operação. O estudo utilizou registros históricos de consumo horário da instituição, referentes ao período anterior à pandemia de COVID-19, sobrepondo a esses dados a demanda adicional gerada pela operação simultânea dos carregadores projetados. A análise, ilustrada pela curva de demanda na Figura 9, permitiu identificar janelas estratégicas para a realização das recargas, minimizando o impacto sobre a infraestrutura elétrica existente.

Figura 10- Demanda de Energia registrada – 05/11/2019.



Fonte: Dallepiane (2021).

A metodologia adotada consistiu na comparação sistemática entre a demanda base registrada em cada hora do dia e o consumo projetado com a adição da carga dos equipamentos de recarga. Os resultados indicaram que o período noturno e os horários de menor atividade institucional apresentam capacidade ociosa suficiente para absorver a operação dos carregadores sem a necessidade de ampliação imediata da demanda contratada, corroborando estudos como o de Peng *et al.* (2019), que ressaltam a importância do gerenciamento inteligente da carga para viabilizar economicamente a transição para frotas elétricas. A utilização de dados anteriores à pandemia garantiu que a análise refletisse padrões regulares de consumo, não afetados pelas alterações operacionais decorrentes das medidas de distanciamento social, assegurando assim que as projeções permaneçam válidas mesmo com a plena retomada das atividades presenciais.

A análise do perfil de demanda energética institucional identificou o período noturno (entre 22h30 e 8h30) como a janela mais adequada para a realização das recargas, permitindo a utilização simultânea de todos os carregadores projetados sem comprometer a capacidade contratada. Embora o dimensionamento inicial tenha considerado a recarga de apenas 50% da frota simultaneamente, a avaliação detalhada da curva diária de demanda revela a possibilidade de realizar recargas pontuais durante o dia, desde que devidamente gerenciadas para não ultrapassar os limites contratuais.

Um aspecto particularmente relevante diz respeito à operação dos veículos de maior porte (ônibus e micro-ônibus), cuja recarga no carregador de 80 kW pode ser programada para os finais de semana, período em que a demanda institucional é significativamente menor. Essa estratégia de gestão inteligente da carga permite otimizar o uso da infraestrutura elétrica existente, conforme destacado por Peng *et al.* (2019) em estudos sobre a integração de frotas elétricas em ambientes institucionais.

Para a análise financeira, considerou-se o custo médio da energia de R\$ 0,709 por kWh, valor que incorpora tanto os preços do mercado livre quanto os encargos da concessionária para os períodos de ponta e fora de ponta. A Tabela 14 apresenta uma detalhada projeção dos custos de recarga para cada modelo de veículo elétrico selecionado na proposta de substituição da frota, oferecendo uma visão abrangente do impacto financeiro da transição energética.

Tabela 14 - Características dos Custo de Recargas.

Tipo de Veículo	Marca	Modelo	Custo do kWh (R\$) / km	Custo da Recarga (R\$)
Furgão	Renault	KANGOO Z.E	0,12	23,40
Furgão	JAC MOTORS	iEV750V	0,27	65,23
Carro	Nissan	Leaf	0,10	28,36
Carro	Chevrolet	Bolt EV	0,11	46,79
Carro	JAC MOTORS	iEV20	0,07	29,07
Carro	JAC MOTORS	iEV40	0,09	28,36
Carro	JAC MOTORS	iEV330P	0,15	47,50
Caminhão	JAC MOTORS	iEV1200T	0,34	68,77
Micro-ônibus	Volare	Access-e	0,46	114,86
Ônibus	BYD	D9A 20.410	0,92	229,72

Fonte: Adaptado de Dallepiane (2021).

A análise dos resultados demonstra que a implantação de veículos elétricos na frota institucional apresenta viabilidade técnica e econômica quando acompanhada de um planejamento estratégico de recarga. O estudo identificou que o período noturno (22h30 às 8h30) oferece as condições ideais para recargas, permitindo a utilização de toda a capacidade instalada dos 12 carregadores de 7,4 kW e do carregador rápido de 80 kW sem comprometer a demanda contratada de 1.800 kW. Esta conclusão está em consonância com as recomendações de Peng *et al.* (2019), que destacam a importância do carregamento fora dos horários de pico para otimizar a infraestrutura existente.

Os resultados revelam que, mesmo considerando a recarga simultânea de 50% da frota, a curva de demanda energética permite operações pontuais durante o dia sem ultrapassar os limites contratuais. Particularmente significativo é o potencial de recarregar os veículos de maior porte (ônibus e micro-ônibus) nos finais de semana, quando a demanda institucional é reduzida em aproximadamente 40% comparado aos dias úteis, conforme dados históricos analisados.

Economicamente, a adoção da frota elétrica mostra-se vantajosa, com custo médio de recarga de R\$ 50.311,38, considerando valor do quilowatt-hora de R\$ 0,709/kWh, resultando em uma economia de R\$ 104.849,28 anuais apenas em custos de abastecimento, sem considerar as reduções em manutenção que, segundo Jac Motors (2020), podem chegar a 35% devido à menor complexidade mecânica dos VEs.

O Índice de Custo de Mitigação (CoM) negativo de -R\$ 1,00/kgCO₂, calculado conforme metodologia de Berhorst *et al.* (2018), evidencia que a transição gera simultaneamente benefícios econômicos e ambientais. Este resultado é particularmente

relevante para instituições de ensino, que têm papel estratégico na promoção de práticas sustentáveis.

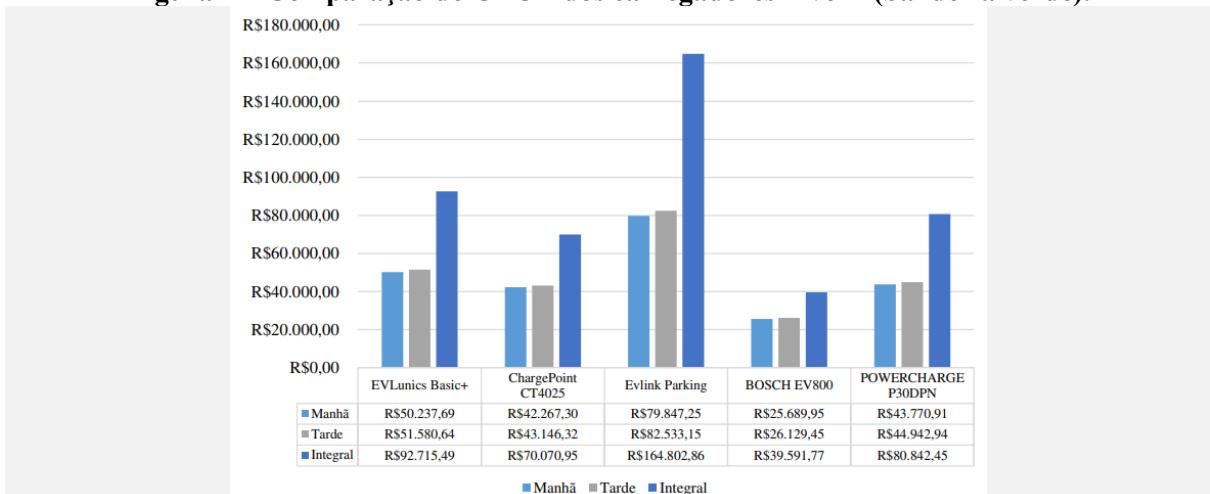
A análise integrada dos aspectos técnicos, operacionais e econômicos confirma que a implantação planejada da infraestrutura de recarga, com gestão inteligente dos horários de carregamento, permite a transição para a mobilidade elétrica sem necessidade de ampliação imediata da capacidade contratada, representando uma solução custo-efetiva para a descarbonização do transporte institucional.

5.2 Análise do CAUE e do R\$/kWh para a Avaliação da Viabilidade Econômica de Estações de Recarga - Francescatto e Roos (2019)

O processo de avaliação econômica inicia-se com a compilação sistemática de dados técnicos e financeiros relativos aos modelos de estações de recarga selecionados, organizados conforme os cenários operacionais previamente estabelecidos na seção metodológica. A aplicação do método do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) mostrou-se particularmente adequada para este estudo, permitindo a comparação direta entre as 60 alternativas analisadas por meio da construção de fluxos de caixa individualizados para cada cenário.

A análise dos resultados concentrou-se nas bandeiras tarifárias verde e vermelha patamar 2, que representam respectivamente os extremos mínimo e máximo do CAUE, conforme demonstrado na Figura 10. Esta opção metodológica justifica-se pela estabilidade observada nos valores intermediários correspondentes às bandeiras amarela e vermelha patamar 1, que não apresentaram variações significativas em relação aos cenários limítrofes.

Figura 11- Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira verde).



Fonte: Francescatto e Roos (2019).

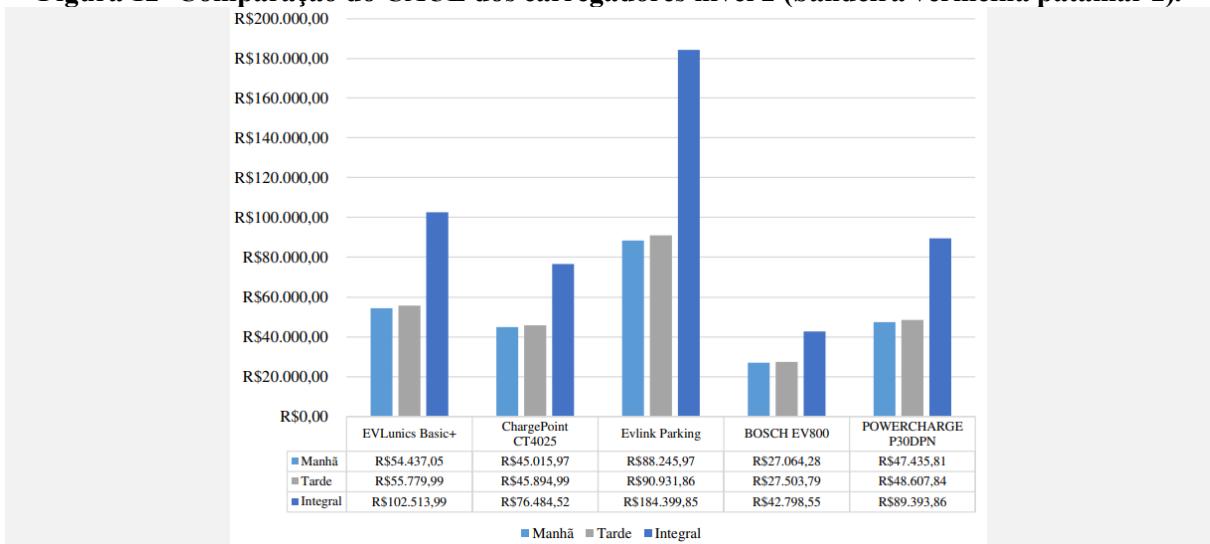
O cálculo do custo por quilowatt-hora (R\$/kWh) foi obtido mediante a relação entre o CAUE de cada equipamento e seu consumo energético anual projetado. A uniformidade observada no comportamento deste indicador entre os diferentes modelos reforçou a decisão de apresentar apenas os resultados correspondentes às bandeiras tarifárias extremas, que encapsulam adequadamente a variação total dos parâmetros econômicos avaliados.

Esta abordagem analítica, fundamentada nos princípios de engenharia econômica (FRANCESCATTO; ROOS, 2019), permitiu identificar claramente as soluções mais vantajosas para a instituição, considerando tanto a sensibilidade aos regimes tarifários quanto a eficiência energética dos diferentes modelos de estações de recarga disponíveis no mercado. Os resultados obtidos fornecem subsídios robustos para a tomada de decisão quanto aos investimentos em infraestrutura para mobilidade elétrica no ambiente universitário.

A avaliação detalhada dos diferentes modelos de estações de recarga nível 2 revelou disparidades significativas em seus custos operacionais anuais (CAUE). A estação Evlink Parking apresentou o valor mais elevado (R\$ 164.802,86) em regime de operação integral, decorrente de sua configuração técnica mais robusta com potência de 22 kW e capacidade para dois veículos simultâneos. Em contraste, o modelo EVLunics Basic+, apesar da mesma potência, registrou um CAUE substancialmente menor (R\$ 92.715,49) por atender apenas um veículo por vez. A análise evidenciou uma relação inversa entre potência e viabilidade econômica, com os equipamentos de menor potência (7,2 kW a 9,6 kW) apresentando custos significativamente reduzidos - o BOSCH EV800 (7,2 kW) mostrou-se como o mais econômico, enquanto o POWERCHARGE P30DPN (9,6 kW) destacou-se como solução ideal ao combinar capacidade para dois veículos com um CAUE 51% inferior ao modelo mais potente. Esses resultados reforçam as recomendações de Francescatto e Roos (2019) sobre a importância de avaliações abrangentes que considerem não apenas o investimento inicial, mas também eficiência operacional e custo total de propriedade, aspectos fundamentais para instituições universitárias que necessitam de soluções equilibradas entre capacidade de atendimento, consumo energético e sustentabilidade financeira em longo prazo.

A Figura 11 apresenta a comparação detalhada entre os modelos de nível 2 considerando a bandeira tarifária vermelha patamar 2, demonstrando visualmente as variações de custo entre as diferentes configurações técnicas.

Figura 12- Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira vermelha patamar 2).

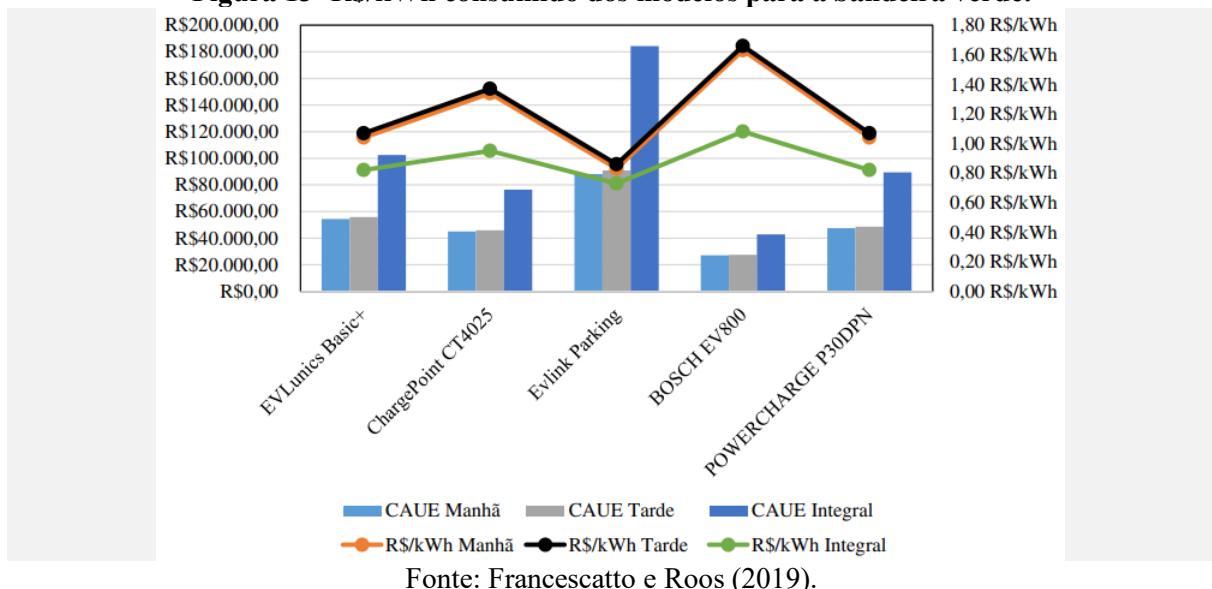


Fonte: Francescatto e Roos (2019).

Além da comparação dos custos anuais, o estudo avaliou o valor gasto por quilowatt-hora consumido nos diferentes modelos de pontos de recarga. Este cálculo, feito a partir da divisão entre o custo anual equivalente e o consumo de energia de cada equipamento, revelou os valores extremos - tanto os mais altos quanto os mais baixos - para cada tipo de estação. A pesquisa considerou duas situações tarifárias distintas: a bandeira verde (condições normais) e a bandeira vermelha patamar 2 (custos mais elevados).

Os resultados apresentados na Figura 12, referentes à bandeira verde, mostram diferenças consideráveis no custo por quilowatt-hora entre os vários modelos analisados. Estas variações estão diretamente ligadas ao desempenho energético e à capacidade de operação de cada equipamento. Esta forma de análise, seguindo o método de Francescatto e Roos (2019), ajuda a entender melhor como as características técnicas influenciam nos gastos com energia ao longo do tempo. Dessa maneira, é possível escolher os equipamentos não só pelo preço de compra, mas também pelo seu rendimento energético durante toda a vida útil.

Figura 13- R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira verde.

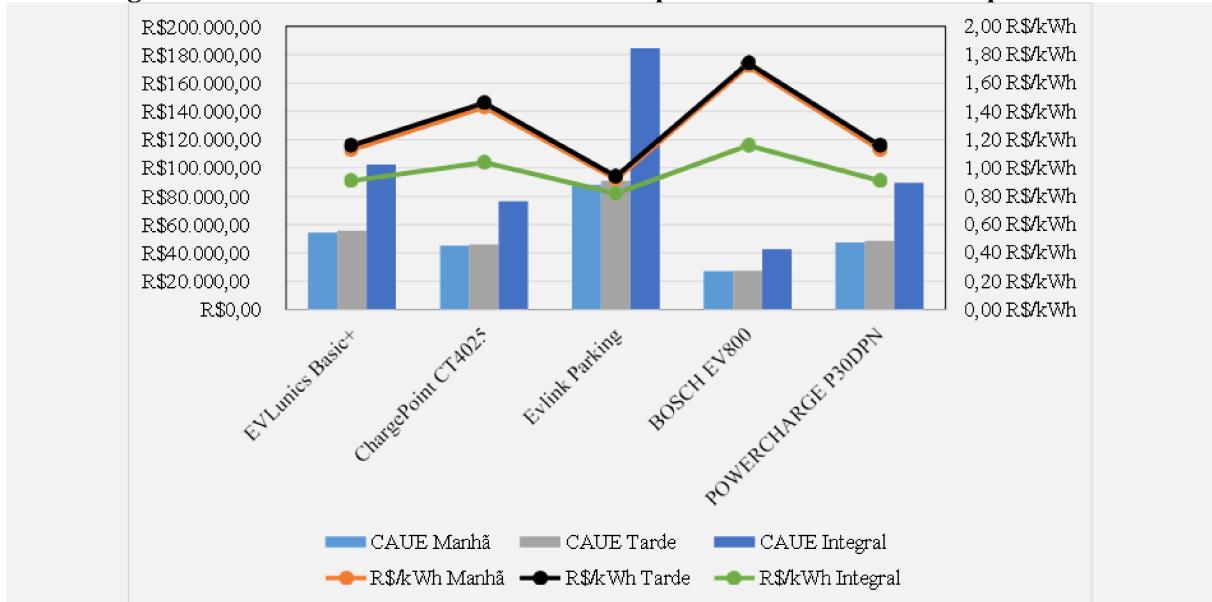


Fonte: Francescatto e Roos (2019).

A avaliação dos dados revela que os cenários matutino e vespertino apresentam valores similares de custo por quilowatt-hora (R\$/kWh) para todos os modelos analisados, dado que compartilham a mesma duração de funcionamento. Entretanto, o período vespertino registra um custo ligeiramente superior devido à incidência da tarifa de ponta. O cenário de operação integral demonstra a maior eficiência econômica, com os menores valores de R\$/kWh, evidenciando que a ampliação do tempo de operação reduz o custo unitário da energia.

Esta relação inversa entre o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) e o R\$/kWh decorre do aumento proporcionalmente maior no consumo energético em relação ao incremento do CAUE quando se estende o horário de funcionamento. Entre os modelos avaliados, o Evlink Parking apresenta o melhor desempenho, com custo mínimo de R\$ 0,73 por kWh no período integral, enquanto o BOSCH EV800 registra o valor mais elevado (R\$ 1,08/kWh). A Figura 13 apresenta os resultados equivalentes para a bandeira tarifária vermelha patamar 2, mantendo a mesma relação entre tempo de operação e eficiência econômica.

Figura 14- R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira vermelha patamar 2.



Fonte: Francescatto e Roos (2019).

Os resultados demonstram que os equipamentos mantêm suas posições relativas quanto aos valores extremos de custo por quilowatt-hora (R\$/kWh) ao passar da bandeira verde para a vermelha patamar 2, porém com elevação generalizada nos custos energéticos. Esse comportamento ocorre porque o consumo anual de energia permanece constante, enquanto o Custo Anual Uniforme Equivalente aumenta devido ao acréscimo de R\$ 0,06 por kWh na modalidade tarifária mais elevada.

A avaliação econômica revela que o modelo BOSCH EV800, embora apresente o menor Custo Anual Uniforme Equivalente, registra o maior custo por quilowatt-hora (R\$ 1,08), refletindo suas limitações técnicas como potência reduzida (7,2 kW) e capacidade para apenas um veículo. Em contrapartida, o Evlink Parking, com maior Custo Anual Uniforme Equivalente, oferece o menor custo por quilowatt-hora (R\$ 0,73), resultado de sua maior capacidade técnica, incluindo potência elevada (22 kW) e possibilidade de atender dois veículos simultaneamente.

Conforme demonstrado por Francescatto e Roos (2019), a seleção de estações de recarga deve considerar múltiplos critérios, incluindo não apenas os custos iniciais, mas também a relação entre eficiência energética e capacidade técnica, adequação às demandas operacionais e desempenho a longo prazo. A Figura 13 ilustra como a alteração tarifária afeta cada modelo de forma distinta, mantendo as relações de eficiência energética observadas anteriormente, o que reforça a importância de análises abrangentes que integrem aspectos econômicos e técnicos para decisões de investimento em infraestrutura de recarga veicular.

5.3 Análise Comparativa Crítica: Dallepiane (2021) e Francescatto e Roos (2019)

Os trabalhos de Dallepiane (2021) e Francescatto e Roos (2019) oferecem perspectivas complementares para avaliação da viabilidade de infraestrutura de recarga veicular em ambientes universitários. Ambos os estudos destacam a importância da gestão da demanda energética e da análise de custo-benefício como elementos centrais para implantação eficiente de estações de recarga. No entanto, apresentam diferenças metodológicas significativas em suas abordagens.

Francescatto e Roos (2019) desenvolveram uma análise focada principalmente nos aspectos econômicos e financeiros, com ênfase na modelagem de diferentes cenários tarifários e aplicação detalhada do método do Custo Anual Uniforme Equivalente. Seu estudo, realizado na Universidade Federal de Santa Maria, priorizou a avaliação quantitativa de parâmetros como investimento inicial, custos operacionais e indicadores de retorno financeiro.

Por outro lado, Dallepiane (2021), em estudo realizado em instituição privada, adotou uma abordagem mais ampla que integrou três dimensões principais: análise operacional, avaliação técnico-econômica e impacto ambiental. Esta metodologia inovadora incorporou o Índice de Custo de Mitigação, permitindo quantificar economicamente a redução de emissões de poluentes alcançada com a adoção de veículos elétricos.

A comparação entre os estudos revela que a abordagem financeira de Francescatto e Roos (2019) ganha maior profundidade estratégica quando combinada com a perspectiva sistêmica de Dallepiane (2021). Enquanto o primeiro fornece ferramentas precisas para avaliação de investimentos, o segundo amplia o escopo para incluir variáveis ambientais e operacionais que complementam a análise puramente financeira.

Esta complementaridade fica evidente ao examinar os resultados do Índice de Custo de Mitigação no estudo de Dallepiane (2021), que demonstra como a redução de emissões pode representar economia financeira adicional. Já a análise de Francescatto e Roos (2019) oferece base sólida para decisões considerando diferentes cenários tarifários e padrões de uso.

As diferenças metodológicas entre os estudos ressaltam a necessidade de abordagens multidimensionais para projetos de infraestrutura de recarga. A integração das perspectivas dos dois trabalhos sugere um modelo de avaliação mais completo que considera simultaneamente: aspectos financeiros, características operacionais reais, impactos ambientais e particularidades institucionais.

Esta análise comparativa indica que avaliações de viabilidade para infraestrutura de recarga em universidades devem combinar métodos quantitativos rigorosos com análise de impactos ambientais e operacionais. Tal integração permite decisões mais fundamentadas que equilibrem retorno financeiro, eficiência operacional e sustentabilidade ambiental, adaptando-se às características específicas de cada instituição, seja pública ou privada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa entre os estudos de Francescatto e Roos (2019) e Dallepiane (2021) revela que a implantação de infraestrutura para veículos elétricos em universidades demanda uma avaliação multidimensional. Enquanto o primeiro estudo destacou aspectos econômicos através da análise de custos anuais equivalentes, mostrando como diferentes modelos de estações apresentam trade-offs entre investimento inicial e custos operacionais, o segundo incorporou critérios ambientais e operacionais, demonstrando que soluções com maior capacidade técnica podem oferecer melhores resultados no longo prazo. Juntos, esses trabalhos evidenciam que a seleção de equipamentos deve equilibrar fatores financeiros, eficiência energética e impactos ambientais.

Os resultados demonstram que abordagens aparentemente contraditórias podem ser complementares na prática. O modelo BOSCH EV800, com menor custo inicial, mas maior gasto energético, contrasta com o Evlink Parking, que exige maior investimento inicial, mas apresenta melhor desempenho operacional e ambiental. Essa análise ressalta a importância de considerar o ciclo de vida completo dos projetos, onde soluções com custo inicial mais elevado podem se mostrar mais vantajosas ao longo do tempo. A experiência em diferentes instituições (pública e privada) reforça a necessidade de adaptar as soluções às características específicas de cada campus, incluindo padrões de uso e capacidade da infraestrutura existente.

Para instituições que planejam essa transição, recomenda-se adotar uma abordagem integrada que combine as metodologias testadas nos dois estudos. A análise conjunta de aspectos financeiros e ambientais, considerando as particularidades de cada universidade, mostra-se essencial para garantir a sustentabilidade dos projetos. A transição para veículos elétricos representa uma oportunidade estratégica para as instituições de ensino, desde que baseada em estudos técnicos robustos e planejamento cuidadoso, alinhando inovação tecnológica com responsabilidade socioambiental.

6.1 Previsão para Trabalhos Futuros

Como sugestões de desenvolvimento para trabalhos futuros, propõe-se alguns tópicos considerados promissores:

- Análise da integração entre estações de recarga veicular e sistemas de geração de energia renovável (como painéis solares), visando maximizar a

sustentabilidade energética.

- Estudo comparativo de diferentes estratégias de gestão da demanda energética em redes elétricas com múltiplas estações de recarga.
- Avaliação do ciclo de vida (ACV) de estações de recarga para veículos elétricos, considerando impactos ambientais e econômicos em diferentes contextos institucionais.
- Investigação do impacto da eletrificação da frota institucional em relação a qualidade de energia.
- Desenvolvimento de modelos de otimização para localização e dimensionamento de pontos de recarga em campi universitários, levando em conta perfis de uso e crescimento futuro da frota elétrica.
- Análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas bidirecionais (V2G - Vehicle-to-Grid), visando o uso de veículos elétricos como suporte à rede elétrica.
- Proposta de estudo da infraestrutura de recarga veicular no campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, com análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental, além dos impactos na rede, visando a criação de um modelo replicável para outras unidades.
- Análise dos impactos futuros de um aumento no consumo de energia elétrica e seus efeitos diretos e indiretos, como a necessidade do aumento da produção, assim como um provável encarecimento do quilowatt-hora ao consumidor final.

REFERÊNCIAS

- ABNT, 2020. ABNT. NBR IEC 61851-23 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 22: Estação de recarga em corrente contínua para veículos elétricos.** Rio de Janeiro, 2020.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **CHAMADA NO 022/2018 Projeto Estratégico: “Desenvolvimento De Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente”.** Brasília, 2019. Disponível em: <http://rise.org.br/wp-content/uploads/2019/04/EditalFINAL_Chamada-22.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 819, 19 de junho de 2018.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, s.l., 2018. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/noticias/carros-hibridos-e-eletricos-pagarao-ipi-de-7-a-20>>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- 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.
- ARIOLI, Vitor Torquato. **Análise De Impactos Técnicos Provocados Pela Penetração Massiva De Veículos Elétricos Em Redes De 65 Distribuição De Energia Elétrica.** Campinas, 2016 Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica E Computação) - Universidade Estadual de Campinas.
- BALDISSERA, L.B. **Análise do Impacto da Utilização do Transporte Elétrico Coletivo no Sistema Elétrico de Distribuição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.
- BALLOU, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 616 p.
- BERHORST, N. L. et al. **Matriz energética mais limpa: Sugestão de reestruturação para o parque gerador brasileiro a partir de índices econômicos energéticos.** MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL: Educação, Gestão e Tecnologias Ambientais, 66 - 91. Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR,2018.
- BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering Economy.** 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- BRASIL, 2015a. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3fzyRzm> Acesso em: 20 mar. 2025.
- BRASIL, 2015b. Ministério da Economia. **Camex aprova redução da alíquota do Imposto de Importação para carros elétricos e movidos à células de 66 combustível.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.camex.gov.br/noticiasda-camex/262-camex-aprova-reducao-da-aliquota-do-imposto-de-importacao-paracarros-eletricos-e-movidos-a-celulas->

decombustivel#:~:text=do%20menu%20principal-,Camex%20aprova%20redu%C3%A7%C3%A3o%20da%20al%C3%ADquota%20do%20Imposto%20de%20Importa%C3%A7%C3%A3o%20para,movidos%20a%20c%C3%A9lulas%20de%20combust%C3%ADvel. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012.** Brasília, DF, 2013. Disponível em:
https://www.google.com/search?q=http://antigo.antt.gov.br/index.php/content/view/32492/2Inventario_Nacional_de_Emissoes_Atmosfericas. Acesso em: 26 abr. 2025.

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: 20 mar. 2025.

BRÜCKMANN, G.; WILLIBALD, F.; BLANCO, V. **Battery Electric Vehicle adoption in regions without strong policies.** Transportation Research Part D – Elsevier. V 90. ISSN 1361 – 9209. 2021.

BUSINESS, A. **Carros elétricos e híbridos: quais estados têm isenção ou desconto de IPVA?** 23 Mar. 2021. Disponível em:
<Https://www.automotivebusiness.com.br/inovacao/674/carros-eletrificados-quais-estados-tem-isencao-ou-desconto-de-ipva>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BYD Brasil. Produtos e Soluções. 2021. Disponível em: <<https://www.byd.ind.br/>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CHEVROLET. Elétricos. 2021. Disponível em: <<https://www.chevrolet.com.br/eletro/bolt-ev>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

COLMENAR, A. S. et al. **Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario.** Energy, Elsevier, 183, p. 61-74. ISSN 0360-5442. 2019.

CONSONI, L. F. et al. **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos - PROMOB-e.** Brasília, 2018.

COWAN, R.; HULTÉN, S. **Escaping lock-in: the case of electric vehicle.** Technological Forecasting and Social Change, v. 53, n. 1, p. 61-79, set. 1996.

DALLEPIANE, Patrícia Gomes. **Análise de viabilidade econômica no setor de transporte com a introdução de veículos elétricos em um campus universitário.** 2021. 51 f. Trabalho Final de Graduação (Engenheiro de Produção). Curso de Engenharia de Produção. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021.

DE OLIVEIRA; Lediane, A.; JERONIMO; Michele, B.; JUSTUS JUNIOR, Zanderlei, C. **ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS.** 2021. 71f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

DULĂU, L.; BICĂ, D. **Effects of Electric Vehicles on Power Networks.** Procedia Manufacturing, v. 46, p. 370–377. ISSN: 2351-9789. 2020.

ELETRA. **Tecnologia de Tração Elétrica.** Elétrico Puro. Disponível em: <<https://www.eletrabus.com.br/>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE - **Avaliação de Ônibus Elétricos Urbanos Municipais - Guia prático para uso da ferramenta EPE.** Brasília, 2019a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BEN - Balanço Energético Nacional.** Rio de Janeiro, 2019b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Brasília, 2019c.

FRANCESCATTO, M.; ROOS, C. **Viabilidade econômica de estações de recarga de veículos elétricos: foco em equipamentos de carregamento rápido.** 2019. Disponível em: <http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10122019_101000_5da1d288ba556.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

FRANCESCATTO, Matheus Binotto; ROOS, Cristiano. **Viabilidade Econômica de Estações de Recarga de Veículos Elétricos / Technical and Economic Feasibility in the use of Electric Vehicle Charging Station.** In: 8º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINOVAR, 2019, Santa Maria/RS. Anais... Santa Maria/RS, 2019. Área: Inovação | Tema: Temas Emergentes em Inovação.

GONZÁLEZ, L.; SIAVICHAY, E.; ESPINOZA, J. **Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 107, p. 309-318, 2019.

GRASSI, F.; RECH, C. **Estudo Normativo De Sistemas De Recarga Condutiva Modo 2 Para Veículos Elétricos.** 2018.

HESS, G; MARQUES, J.L; PAES, L.C.R; PUCCINI, A. **Engenharia Econômica.** 21. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. EIA DOE. **Annual Energy Review,** 2009. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.php>. Acesso em: 7 fev. 2025.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica.** 1. Ed. São Paulo: Atlas, 1979.

HOYER, K. G. **The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars.** Utilities Policy. S/l: Elsevier, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?** França, 2020.

IWAN, S. et al. **Electric mobility in European urban freight and logistics – status and attempts of improvement.** Transportation Research Procedia, 39, 112–123. ISSN 2352-1465. 2019.

JAC MOTORS. **Caminhão Elétrico iEV1200T.** 2021. Disponível em:

<<https://www.jacmotors.com.br/veiculos/electricos-detalhes/iev1200t>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LEGEY, L. F. L.; BARAN, R. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC. BNDES Setorial, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.

LI, Z.; KHAJEPOUR, A.; SONG, J. A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. Energy, Elsevier, 182, p.824-839. ISSN: 0360-5442. 2019.

LIU, C.; LI, B.; WANG, Yunlong; XIA, L.; YU, L.; DING, N.; MA, X. F. Research on economic evaluation method of electric vehicle charging station. *Anais...* [S.l.]: Atlantis Press, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2991/mmme-16.2016.129>. Acesso em: 14 abr. 2025.

LOKESH, Bheema; TAY, June. A framework for electric vehicle (EV) charging in Singapore. *Energy Procedia*, v. 143, p. 15-20, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.641>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MOBILIZE – Mobilidade Urbana Sustentável. Ônibus elétricos já estão em operação no Brasil e no mundo. 2019. Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/noticias/11683/onibus-eletricos-ja-estao-em-operacao-nobrasil-e-no-mundo-veja-onde.html>> Acesso em: 14 abr. 2025.

NEAIMEH, Myriam; SALISBURY, Shawn D.; HILL, Graeme A.; BLYTHE, Philip T.; SCOFFIELD, Don R.; FRANCFORT, James E. Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric vehicles. *Energy Policy*, v. 108, p. 474-486, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.033>. Acesso em: 14 abr. 2025.

NISSAN. Modelos. 2021. Disponível em: <<https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html>> Acesso em: 14 abr. 2025.

NYSERDA – New York State Energy Research and Development Authority. Review of New York State Electric Vehicle Charging Station Market and Policy, Finance, and Market Development Solutions. Nova Iorque, 2015. 92 p.

OLIVEIRA, R. Paraná ganha primeira rodovia com pontos de recarga para elétricos. Paraná, 2018. Disponível em: <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/parana-ganha-primeirarodovia-com-pontos-de-recarga-para-eletricos/>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

PENG, F. et al. Evaluating Strategies for Decarbonising the Transport Sector in Great Britain. Publicado IEEE Milan PowerTech. ISBN eletrônico: 978-1-5386-4722-6. Milão – Itália, 2019.

PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA - PNME. 1º Anuário brasileiro da mobilidade elétrica. Brasília e Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.pnme.org.br/biblioteca/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica/>> Acesso em: 14 abr. 2025.

POZO, H. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: uma introdução. 2. ed.

Atlas - ISBN: 978-85-97-02321-3. São Paulo, 2019.

RENAULT. Veículos Elétricos. 2021. Disponível em: <<https://www.renault.com.br/>> Acesso em: 14 abr. 2025.

SAUSEN, J. P. Análise do carregamento de veículos elétricos na curva de carga do transformador de distribuição. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2017.

Sbordone, Danilo & Bertini, Ilaria & Pietra, B. & Falvo, M. & Genovese, Antonino & Martirano, L.. (2015). **EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm.** Electric Power Systems Research. 120.10.1016/j.epsr.2014.07.033.

SCHAUN, A. Auto Esporte. **Carros elétricos e híbridos pagam IPVA?** 10 jul. 2020. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2020/07/carros-eletrose-hibridos-pagam-ipva.ghtml>. Acesso em: 21 abr. 2025.

STRUBEN, J.; STERMAN, J. D. Transition challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems. Environment and Planning B: Planning and Design, v. 35, n. 6, p. 1070-1097, 1 jan. 2008.

TEIXEIRA, W. W. Investigação do impacto da recarga de veículos elétricos na qualidade de energia de redes de distribuição de energia elétrica via análise de dados de medição. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2021.

UNICAMP. Ônibus elétrico começa a circular na Unicamp. 2020. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2020/09/15/onibus-eletrico-comeca-circular-na-unicamp>> Acesso em: 21 abr. 2025.

VAGROPOULOS, Stylianos; KLEIDARAS, Alexandros; BAKIRTZIS, Anastasios. **Financial viability of investments on electric vehicle charging stations in workplaces with parking lots under flat rate retail tariff schemes.** *Anais...* [S.l.]: IEEE, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/UPEC.2014.6934747>. Acesso em: 14 abr. 2025.

VOLKSWAGEN. Caminhões Elétricos. 2021. Disponível em: <<https://www.vwco.com.br/news/151>> Acesso em: 20 mar. 2025.

WEG. Estação de Recarga para Veículos Elétricos. Jaraguá do Sul, 2021. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Infraestrutura-para-Mobilidade-EI%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-EI%C3%A9tricos-%281%C2%AA-Gera%C3%A7%C3%A3o%29/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos- EI%C3%A9tricos-%281%C2%AA-Gera%C3%A7%C3%A3o%29/p/MKT_WDC_BRAZIL_RE_ELECTRIC_VEHICLE>. Acesso em: 20 mar. 2025.

WRI, 2018. O papel do setor industrial nas emissões de energia do Brasil. 10 Abr. 2018. Disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/03/o-papel-do-setor-industrial-nas-emissões-de-energia-do-brasil>. Acesso em: 20 mar. 2025.

Zhang, Qi & Li, Hailong & Zhu, Lijing & Campana, Pietro Elia & Lu, Huihui & Wallin, Fredrik & Sun, Qie, 2018. "**Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV – A review,**" Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 94(C), pages 500-509.