

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Belisario Antonio Thomé

**VEÍCULOS ELÉTRICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS:
METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO GRADUAL DA FROTA A
COMBUSTÃO POR VEÍCULOS ELÉTRICOS**

**Santa Maria, RS
2021**

Belisario Antonio Thomé

**VEÍCULOS ELÉTRICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS:
METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO GRADUAL DA FROTA A COMBUSTÃO
POR VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luciane Neves Canha

Santa Maria, RS
2021

Thomé, Belisario Antonio
VEÍCULOS ELÉTRICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS: METODOLOGIA PARA
SUBSTITUIÇÃO GRADUAL DA FROTA A COMBUSTÃO POR VEÍCULOS
ELÉTRICOS / Belisario Antonio Thomé.- 2021.
74 p.; 30 cm

Orientadora: Luciane Neves Canha
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2021

1. Veículos elétricos 2. Sistemas de distribuição de
energia elétrica 3. Impactos técnicos I. Canha, Luciane
Neves II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Belisario Antonio Thomé. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.
Endereço Eletrônico: belisario.thome@gmail.com

Belisario Antonio Thomé

**VEÍCULOS ELÉTRICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS:
METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO GRADUAL DA FROTA A COMBUSTÃO
POR VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Aprovado em 28 de agosto de 2021:



Luciane Neves Canha, Dra. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientadora)



Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. (UFSM) - Videoconferência



Lucas Feksa Ramos, Dr. (UNIR) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha esposa e filhos, pelo incentivo de retornar a Universidade para cursar o Mestrado.

Ao Professor Daniel Pinheiro Bernardon pelo incentivo e apoio, inicialmente como aluno especial e durante todo o período de realização do curso. Seu apoio foi muito importante.

A professora Luciane Neves Canha por transmitir sua experiência e conhecimento profissional, que além de ter sido minha primeira professora no Mestrado, foi incansável como Orientadora nas suas indicações para a realização do meu trabalho.

Ao meu amigo e colega de curso, Pedro Montani, companheiro das viagens para Santa Maria e dos trabalhos das disciplinas.

Aos jovens colegas de sala de aula que compartilhei algumas horas de estudo e troca de experiências. Foi inspirador retornar à Universidade quase 4 décadas após a formatura e observar o nível de conhecimento destes jovens Engenheiros.

Aos professores da banca pelas contribuições de melhorias para a redação final deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria pela excelência dos professores e da Instituição. Tenho muito orgulho de ser aluno da USFM.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho.

RESUMO

VEÍCULOS ELÉTRICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS: METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO GRADUAL DA FROTA A COMBUSTÃO POR VEÍCULOS ELÉTRICOS

AUTOR: Belisario Antonio Thomé
ORIENTADORA: Luciane Neves Canha

O mercado de veículos elétricos no Brasil ainda é insignificante quando comparado com a frota existente em países da Europa, China e Estados Unidos, onde o crescimento tem sido significativo nos últimos anos. O Brasil é um importante mercado automotivo e poderia ser representativo em termos de oportunidades para investidores nacionais e estrangeiros, se uma política de adoção de veículos elétricos fosse adotada no futuro tendo em vista que um dos fatores limitantes para o crescimento desse mercado está relacionado com o elevado preço do veículo elétrico (VE) no país. No que toca à aquisição de VE, os órgãos públicos possuem o benefício de usufruir de isenções fiscais, reduzindo o custo de aquisição e proporcionando uma economia significativa com abastecimento e manutenção de suas frotas de veículos com motor a combustão interna, com a substituição por veículos elétricos. A Principal motivação para o estudo de caso é a oportunidade de redução de gastos fixos dos Órgãos Públicos. A análise de viabilidade deste estudo de caso demonstra, pela comparação entre veículos a combustão e elétricos, os elementos para decisão de eletrificação da frota existente, com uma redução expressiva de despesas com combustíveis. O estudo aborda o caso da frota veicular da ALA 4 - Unidade da Base Aérea de Santa Maria, na qual se avalia a transição de uma frota movida a combustão interna para a elétrica, considerando apenas os aspectos energéticos. A partir do levantamento de dados destes veículos no período de janeiro a dezembro de 2019 será apresentado o comparativo de custos de abastecimento com diesel e gasolina com os custos para recarga das baterias dos veículos elétricos na rede elétrica da Base Militar. Serão apresentadas duas possibilidades para a recarga dos VE. A primeira, através da energia elétrica fornecida pela Distribuidora e a segunda utilizando a energia gerada pela planta fotovoltaica existente na Unidade Militar. A redução de despesas mensais com combustíveis, decorrentes da substituição da frota por VE, são expressivas em ambos os cenários, comparado com os custos de abastecimento dos veículos a combustão da frota atual, com gasolina e diesel.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Sistemas de distribuição de energia elétrica. Impactos técnicos.

ABSTRACT

ELECTRIC VEHICLES AND GOVERNMENT OFFICES: A METHODOLOGY FOR THE GRADUAL TRANSITION OF INTERNAL COMBUSTION FLEET TO AN ELECTRIC FLEET

AUTHOR: Belisario Antonio Thomé

ADVISOR: Luciane Neves Canha

The market for electric vehicles (EV) in Brazil is still insignificant when compared to the existing fleet in countries in Europe, China and the United States, where there has been significant growth in recent years. Brazil represents an important automotive market, and it could be very significant in what concerns to opportunities for national and foreign investors, if a policy for electric vehicles were planned in the future, considering that one of the limiting factors for the growth of this market is related to the high price of the electric vehicle in the country. In what concerns the acquisition of EV, public agencies have the advantage of tax exemptions, which reduces the acquisition cost and provides significant savings with supply and maintenance when compared to their fleet of vehicles with internal combustion engines, when replaced by electric vehicles. The main motivation for this case study is the opportunity to reduce the fixed expenses of Public Agencies. The feasibility analysis of this case study demonstrates, by comparing combustion and electric vehicles, identifying the elements that can contribute to the decision regarding the replacement of the existing fleet, a significant saving in fuel expenses. The study addresses the case of the vehicle fleet of ALA 4 - Unit of the Air Base of Santa Maria, in which the transition from a fleet powered by internal combustion to an electric one is evaluated, considering only the energy aspects. Based on the data collected from these vehicles in the period from January to December 2019, a comparison between the costs of fueling diesel and gasoline with the costs for recharging the batteries of electric vehicles in the Military Base's electrical network will be presented. Two possibilities for recharging EVs will be presented as well. The first, through the electricity supplied by the Distributor and the second using the energy generated by the photovoltaic plant in the Military Unit. The reduction in expenses with the replacement of the fleet by EV are expressive in both scenarios, compared to the costs of supplying the internal combustion vehicles of the current fleet, with gasoline and diesel.

Keywords: Electric vehicles. Distribution systems. Electricity distribution systems. Technical impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões na atividade de transportes em 2019.....	18
Figura 2 - Emissões do setor de Energia em 2019 com destaque para a atividade de transportes.....	19
Figura 3 - Estimativa de emissões de GEE no ciclo de vida de veículos elétricos.	19
Figura 4 - Evolução da composição da oferta interna de energia.....	20
Figura 5 - Participação dos modos na atividade e demanda energética do transporte de cargas (PDE 2029).....	21
Figura 6 - Participação dos modos na atividade e consumo energético do transporte de passageiros (PDE 2029).	21
Figura 7 - Licenciamento total de novos veículos elétricos	23
Figura 8 - Sistemas elétricos: presente e futuro.....	25
Figura 9 - Simulações de impacto da recarga de VE no sistema elétrico.....	26
Figura 10 - Frota de VEs com cenário básico e alternativo.....	26
Figura 11 - Análise comparativa de impacto no sistema elétrico.....	27
Figura 12 - Redução de investimentos na adequação da rede de Distribuição.....	30
Figura 13 - Distribuição dos limites de geração	30
Figura 14 - Critérios técnicos mais restritivos.....	31
Figura 15 - Porcentagem de redes com violação por necessidade de reforço	32
Figura 16 - Interpolação de investimentos em adequação nas redes de distribuição	32
Figura 17 - Tecnologias para armazenamento de energia	36
Figura 18 - Redução estimada do preço das baterias de íon-lítio.....	37
Figura 19 - Evolução global do armazenamento de energia elétrica.....	38
Figura 20 - Armazenamento de energia – Potencial de aplicação no sistema elétrico.....	39
Figura 21 - Tipos de veículos mais populares no mercado	40
Figura 22 - Conector SAE J1772 Tipo 1	41
Figura 23 - Conector IEC 62196 Tipo 2.....	42
Figura 24 - Conector GB/T.....	42
Figura 25 - Conector SAE J1772 DC Combo 1 Tipo 1.....	43
Figura 26 - Conector EU DC CCS Combo 2 Tipo 2.....	43
Figura 27 - Conector Chademo Yazaki	44
Figura 28 - Conector Tesla	44
Figura 29 - Fluxograma do processo	46
Figura 30 - Planejamento da geração FV [kWh] – 2020.....	51
Figura 31 - Economia anual com veículos elétricos – Cenário Base	64
Figura 32 - Economia com recarga dos VEs com uso de energia Solar.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quilometragem média anual por grupo de veículos.....	52
Tabela 2 - Consumo médio por veículo.....	53
Tabela 3 - Consumo médio de combustível por veículo	53
Tabela 4 - Consumo médio de combustível por veículo	54
Tabela 5 - Consumo médio de combustível por veículo	55
Tabela 6 - Consumo médio de combustível por veículo	55
Tabela 7 - Custos de abastecimento médio anual.....	56
Tabela 8 - Frota de veículos da Base Aérea compatíveis com similares elétricos	57
Tabela 9 - Modelos comerciais para recarga de baterias de VEs	58
Tabela 10 - Quilometragem média diária dos veículos e recarga de baterias	58
Tabela 11 - Tempo médio de recarga dos VEs.....	59
Tabela 12 - Grupo Ambulância	60
Tabela 13 - Grupo Automóvel.....	60
Tabela 14 - Grupo Carga	61
Tabela 15 - Grupo Passageiros	61
Tabela 16 - Grupo Utilitários.....	61
Tabela 17 – Resultados.....	62
Tabela 18 – Resultados.....	62
Tabela 19 - Dimensionamento do sistema baterias para armazenamento de Energia Elétrica	63
Tabela 20 - Custos dos Combustíveis.....	65
Tabela 21 - Custos das revisões.....	65
Tabela 22 - Rendimento dos veículos.....	66
Tabela 23 - Tabela FIPE ago/2021 Veículos.....	66
Tabela 24 - Custo médio da manutenção de VCI – Frota atual.....	66
Tabela 25 - Payback da substituição do automóvel UNO 2008	67
Tabela 26 - Payback da substituição da Picape L200 2009.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores

BEV – Battery Electric Vehicle

BNEF – Serviço da Bloomberg em pesquisa primária sobre energia limpa, transporte avançado, indústria digital, materiais inovadores e commodities

CA – Corrente Alternada

CARSHARING – Compartilhamento de carro

CC – Corrente Contínua

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ESS – Energy Storage System

FGV – Fundação Getulio Vargas

FV – Fotovoltaica

GD – Geração Distribuída

GEE – Gases Causadores do Efeito Estufa

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

HEV – Hybrid Electric Vehicles

HEVP – Hybrid Electric Vehicles Plug-in

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEC – International Electrotechnic Commission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

ISI – Instituto Fraunhofer de Pesquisa de Sistema de Inovação da Alemanha

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

MME – Ministério de Minas e Energia

MP – Material Particulado

MW – Megawatt

MCI – Motor de Combustão Interna

NOX – Óxidos de Nitrogênio

OPEX – Operational Expenditure
PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles
PIB – Produto Interno Bruto
PV – Fotovoltaica
RD – Rede de Distribuição
RD – Resposta da Demanda
RED – Recursos Elétricos Distribuídos
RENAVAM – Registro Nacional de Veículo Automotor
RGE – Rio Grande Energia
SAE – Society of Automotive Engineers
SUV – Sport Utility Vehicle
VCI – Veículo de Combustão Interna
VE – Veículo Elétrico
VC – Veículo a Combustão
VEB – Veículo Elétrico a Bateria
VEHP – Veículo Elétrico Híbrido do tipo Plug-in
V2G – Vehicle-to-Grid
V2H/V2B – Vehicle-to-Home/Vehicle-to-Building

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CARACTERIZAÇÃO.....	12
1.2	PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES RELACIONADOS AO TEMA.....	14
1.3	MOTIVAÇÃO.....	15
1.4	OBJETIVOS.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
3.1	GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	34
3.2	ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	35
3.3	TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	40
3.4	CONECTORES PARA RECARGA DE VES.....	41
4	METODOLOGIA	46
4.1	FROTA ATUAL.....	46
4.2	GRUPOS DE VEÍCULOS.....	47
4.3	FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	47
4.4	ESTAÇÕES DE RECARGA.....	47
4.5	CENÁRIOS.....	47
4.6	ELETRIFICAÇÃO DA FROTA.....	48
4.7	FATORES RELEVANTES DE GOVERNANÇA.....	48
5	ESTUDO DE CASO	50
5.1	CONTRATO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	50
5.2	FROTA DE VEÍCULOS ATUAL DA BASE AÉREA.....	52
5.3	QUILOMETRAGEM MÉDIA ANUAL POR TIPO DE VEÍCULO.....	52
5.4	CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS.....	53
5.5	CUSTOS DE ABASTECIMENTO POR TIPO DE VEÍCULO.....	56
5.6	VEÍCULOS ELÉTRICOS SIMILARES.....	56
5.7	TIPOS DE CARREGADORES PARA BATERIAS DE VEs.....	57
5.8	PONTOS DE RECARGA.....	58
5.9	SUBSTITUIÇÃO DA FROTA POR VEs.....	60
5.10	CENÁRIO BASE – RECARGA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS COM FORNECIMENTO DA DISTRIBUIDORA.....	60
5.11	CENÁRIO FV - RECARGA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS COM ENERGIA DA PLANTA SOLAR.....	62
5.12	RECARGA DOS VES COM ENERGIA ARMAZENADA EM SISTEMA DE BATERIAS - ESS.....	62
5.13	RESULTADOS OBTIDOS.....	63
5.13.1	Cenário base - Recarga do veículo elétrico com fornecimento da distribuidora ..	63
5.13.2	Cenário FV - Recarga dos veículos elétricos com energia da planta solar	64
5.14	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
6	CONCLUSÃO	69
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO

O setor de transporte provoca impactos na transição energética que começa a se consolidar no mundo com os veículos elétricos. Há certa preocupação na busca por segurança energética, assegurando o atendimento da demanda, sustentabilidade socioambiental, principalmente no que se refere à prevenção das mudanças climáticas globais e à redução da poluição nas grandes cidades, devido às incertezas sobre o ritmo da transição energética, entrada das inovações e mesmo de definição das rotas tecnológicas no futuro.

O ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes veiculares são incertezas críticas que impactam em diversas cadeias energéticas e industriais, incluindo fornecedores de bens e serviços dos segmentos automotivo, petrolífero, bioenergia, eletricidade, transportes, consumidores e cidadãos. A magnitude e a complexidade dessas transformações evidenciam a importância das decisões a serem tomadas no planejamento energético de longo prazo.

Ainda que haja um movimento global e adoção de novas tecnologias veiculares, cabe ressaltar que há grandes desafios e que as transições energéticas são processos usualmente lentos, como revela a história da indústria de energia (SMIL, 2017; YERGIN, 2015).

Além dos desafios de entrada no mercado, do processo de sucateamento e reposição de veículos, ao longo do processo de disseminação das novas tecnologias, podem surgir questões como custos de descarte e reciclagem de baterias, universalização da infraestrutura e limites de orçamento público para infraestrutura e incentivos.

No Brasil, os veículos leves respondem por cerca de 47% da demanda energética de transportes, resultando em 13% da demanda energética nacional total (MME/EPE, 2015).

Em 2017 a venda de veículos elétricos e híbridos superou a marca de 1,1 milhão de no mundo, segundo a Agência Internacional de Energia. No ano seguinte a frota mundial de veículos elétricos e híbridos chegou à marca de 3,2 milhões de veículos.

Embora no Brasil a comercialização de VEs seja tímida, o País tem grande potencial para estar entre os maiores mercados de veículos elétricos (VE) no mundo, pois em 2017 foi o 8º produtor mundial com 2,2 milhões de veículos a combustão produzidos (SMART; SCHEY, 2012).

Entretanto, os elevados preços de aquisição de veículos elétricos é um dos desafios para o crescimento desse mercado no Brasil. Exceto por duas linhas de produção de baixos volumes de modelos híbridos da Toyota, com preços acima de R\$ 160 mil, não há planos, no curto ou

médio prazos para produção de carros 100% elétricos no país e os importados em geral costumam acima de R\$ 200 mil (OLMOS, 2021).

A participação de mercado de veículos na faixa de preço superior a R\$ 80 mil no Brasil é de cerca de 6%, nicho dos veículos de luxo e esportivos de alta performance. A preferência revelada pelo consumidor nessa faixa de preços é por veículos de maior porte e luxuosos como SUVs, Camionetes e sedans médio de luxo, com características bem distintas daquelas dos veículos híbridos e elétricos mais compactos.

A frota de veículos eletrificados em circulação no Brasil chegou a 30.092 unidades no final do primeiro semestre de 2020. Os totais referem-se à soma de automóveis e comerciais leves 100% elétricos (BEV), híbridos plug-in (PHEV) e híbridos não plug-in (HEV) licenciados pelo RENAVAM, mas não incluem ônibus, caminhões e outros veículos elétricos como motocicletas.

Os países que têm apresentado forte crescimento na expansão da frota de VE criaram incentivos fiscais, facilidades para acesso à recarga e estacionamentos exclusivos, e na outra ponta, restrições ao uso de veículos com motor a combustão, com prazo limite para comercialização entre outras medidas.

Durante coletiva de imprensa na Casa Branca o Presidente dos EUA disse que o governo federal possui uma enorme frota de veículos, que deverá ser substituída por modelos limpos, elétricos, produzidos por trabalhadores americanos (CATHEY, et al., 2021).

O exemplo do Governo Americano em promover a efficientização da frota pública de veículos, considerando os ganhos com redução de custos e para o meio ambiente, demonstra que a substituição da frota de veículos oficiais no Brasil por veículos elétricos, também é representativa, seja na redução de custos com combustíveis ou emissão de gases poluentes.

O estudo de caso com tem como objetivo explorar as oportunidades de redução de custos, observando os requisitos de governança e energéticos de Órgãos Públicos e, uma contribuição para o cumprimento das metas de redução de emissão de gases poluentes, estabelecidas através do acordo de Paris.

Os Órgãos Públicos têm a possibilidade de obter recursos para a aquisição de equipamentos de recarga rápida e de geração solar através de programas como P&D e Eficiência Energética, regulamentados pela ANEEL e de outras fontes com recursos do Governo. Assim sendo, o escopo do estudo de caso está limitado ao comparativo de custos energéticos, ou seja, despesas com combustíveis em relação aos custos de recarga de baterias dos veículos elétricos. Com a geração própria a rentabilidade será mais significativa do ponto de vista econômico e ambiental.

1.2 PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES RELACIONADOS AO TEMA

Trabalho apresentado no Innovative Smart Grid Technologies Conference - ISGT em 2013 aborda o conceito de utilizar um veículo militar como uma microrrede e métodos de otimização de energia a partir de microrredes estacionárias, explorando os benefícios do armazenamento de energia móvel do veículo para a rede (V2G), estratégico em um ambiente militar, onde os veículos podem auxiliar ou substituir uma fonte de energia (RIZZO & PARKER, 2013).

Pereira et al. (2015) apresentaram um estudo dos Correios no XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET em 2015, abordando análise comparativa dos custos dos veículos a combustão e veículos elétricos, visando atender metas ambientais de redução de 12% de emissões assumidas pelos Correios até 2020, no Rio+20.

No CIT2016 – XII Congreso de Ingeniería del Transporte València em 2016 Gomes et al. apresentou estudo de caso no Brasil, comparando os modelos VW Gol e Nissan Leaf com os resultados de custo marginal, fazendo um paralelo com as políticas de incentivo ao uso do veículo elétrico.

Matéria publicada em 2016 na qual o Exército Brasileiro recebeu o primeiro veículo elétrico e um eletroposto, que fazem parte do projeto-piloto de segurança energética. A entrega aconteceu no quartel general do Exército no Setor Militar Urbano, em Brasília. A concepção deste projeto é uma parceria entre a Força Terrestre, Itaipu Binacional e Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI). Tanto o veículo quanto o posto de abastecimento serão monitorados pelo sistema de gestão de mobilidade inteligente Mob-i.ME, que captará energia solar por meio de 12 baterias de sódio que acumulam até 282kWh.

O projeto-piloto “Segurança Energética Módulo de Armazenamento de Energia” possui um sistema híbrido, que pode coordenar várias fontes de energia simultaneamente, como a solar, eólica, hidrelétricas, diesel, biometano e geotérmica. Esse processo deve gerar uma economia de cerca de 10% da fatura de energia. Essa economia poderá dobrar, caso o sistema seja acionado no horário de ponta.

O sistema Mob-i, que fará o monitoramento do Renault Fluence Z com motor de 70kw de potência, foi desenvolvido pela empresa de tecnologia de Portugal CEiiA em parceria com o Parque Tecnológico de Itaipú. O sistema permite monitorar a localização do carro, velocidade, deslocamento e redução da quantidade de CO2 emitidos.

O posto de abastecimento, montado no QG do Exército, é capaz de fornecer energia que será provida dos 360 painéis fotovoltaicos instalados e conectados a seis inversores solares com

potência total de 90 kW.

O sistema de armazenamento de energia faz parte de um projeto mais amplo que deverá ser consolidado e, a partir daí, entrar em escala e em uma dinâmica que vá abastecendo toda a necessidade que do Exército. O sistema deve ser instalado em pelotões de fronteira e em outras organizações militares do Exército na região amazônica, procedimento que faz parte de um acordo de cooperação firmado entre a Força Terrestre, Itaipu e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2016).

No XII CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, ocorrido em setembro de 2020, foi apresentado estudo da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, relativo à Segurança e Sustentabilidade energética no processo de substituição de veículos a combustão por veículos elétricos em Instituições Públicas (DALLEPIANE et al., 2020), aplicado a frota da UFSM, com resultados bastante favoráveis em relação aos custos de abastecimento dos veículos e, na redução da emissão de poluentes.

1.3 MOTIVAÇÃO

Existem poucas publicações e estudos relativos a veículos elétricos associados a Órgãos Públicos no Brasil.

O estudo dos Correios relativo à substituição da frota, com o objetivo de reduzir as emissões é de 2015 e da Universidade Federal de Santa Maria com objetivo de demonstrar a oportunidade de redução de custos e de redução de emissões com a substituição da frota por veículos elétricos é de 2020. Não foram identificados outros trabalhos nessa linha de pesquisa no Brasil.

Na área militar, a matéria divulgada a respeito do primeiro veículo elétrico em teste com o Exército, utilização de geração fotovoltaica e armazenamento de energia, indica interesse no Ministério da Defesa em implementar essas tecnologias.

A Base Aérea de Santa Maria – RS, vem implementando iniciativas de eficiência energética, através do Programa de EE da ANEEL- RGE, com projeto de substituição de iluminação e instalação de uma planta de geração fotovoltaica, sendo a primeira Unidade da Força Aérea com geração fotovoltaica em suas instalações.

Essas iniciativas levaram ao estudo de caso de eletrificação da frota de veículos daquela Unidade, uma vez que estaria em linha com as iniciativas implementadas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é desenvolver uma metodologia de referência para o processo de eletrificação de veículos em Órgãos Públicos e, demonstrar que os resultados com a eletrificação da frota de veículos pode ser uma alternativa viável na redução de custos. Para isso fez-se um comparativo de despesas com abastecimento dos veículos a combustão da frota atual, com o processo de recarga dos veículos elétricos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Definir frota de veículos a combustão para substituição por veículos elétricos equivalentes
- b. Através de relatórios da frota existente coletar informações de quilometragem percorrida e despesas de combustíveis de cada veículo a ser substituído
- c. Definir veículos elétricos similares para análise de substituição
- d. Estabelecer cenários para o processo de recarga das baterias dos VEs
- e. Avaliar necessidade de equipamentos de recarga rápida
- f. Avaliação e análise dos resultados obtidos

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos, conforme segue:

Capítulo 1: Introdução para contextualização do tema abordado, caracterização, motivação, objetivos e estrutura do trabalho;

Capítulo 2: A revisão bibliográfica abordando conceitos e tópicos referentes a inserção do veículo elétrico, considerando os diferentes tipos existentes no mercado atual, tendências, impactos na redução da poluição do meio ambiente e no sistema elétrico;

Capítulo 3: Fundamentação Teórica através da abordagem da geração fotovoltaica, contribuição da tecnologia ESS para o controle e compensação da flutuação de potência, principalmente com o crescimento da geração de fontes renováveis ingressando no sistema elétrico, tipos de veículos elétricos no mercado atual e de conectores para recarga de VEs, bem como outros aspectos relativos aos impactos do VE no sistema elétrico;

Capítulo 4: Apresentação da metodologia desenvolvida para avaliação da substituição de veículos com motor a combustão por veículos elétricos similares;

Capítulo 5: Apresentação do estudo de caso abordando os aspectos de governança, energéticos e os resultados obtidos mediante os cenários propostos;

Capítulo 6: Apresentação das conclusões e considerações finais desta dissertação.

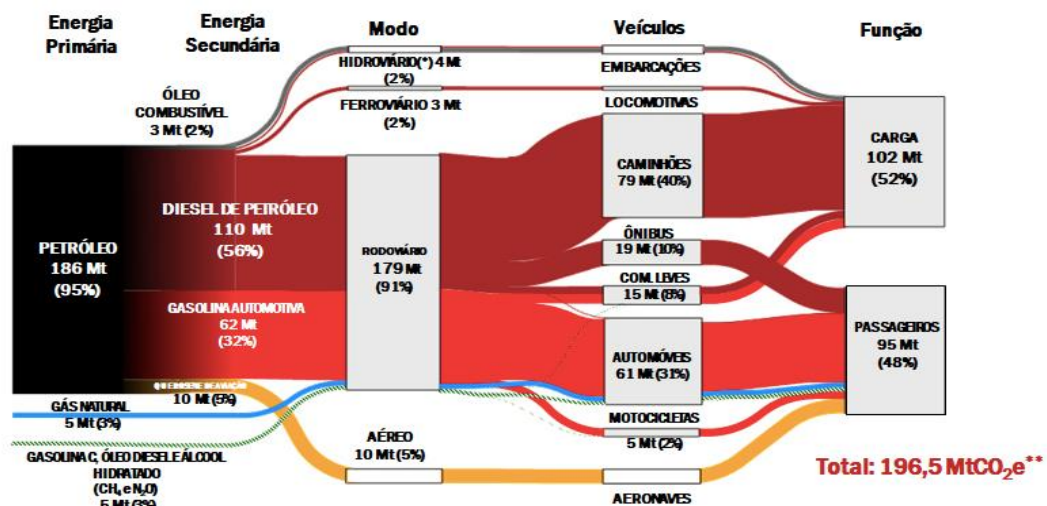
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O setor de transportes é um segmento estratégico para a gestão energética e será de suma importância para o esforço mundial em direção a uma economia de baixa emissão de carbono nos próximos anos.

Em termos de emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), o setor é responsável por 14% das emissões mundiais. A perspectiva é que estas emissões passem dos atuais 6,7 GtCO₂/ano para 9,3–12 GtCO₂/ano em 2050. Grande parte destas será atribuída ao transporte rodoviário de economias em desenvolvimento e emergentes (IPCC, 2014).

A figura 1 apresenta a participação das emissões de gases de efeito estufa nos transportes de fontes energéticas, modos, veículos e funções. Observa-se que a queima dos derivados de petróleo, diesel e gasolina são a maior fonte de emissão dessa atividade, principalmente no transporte rodoviário por meio de caminhões, que têm como função o deslocamento de cargas, e de automóveis, utilizados no transporte de passageiros.

Figura 1 - Emissões na atividade de transportes em 2019.



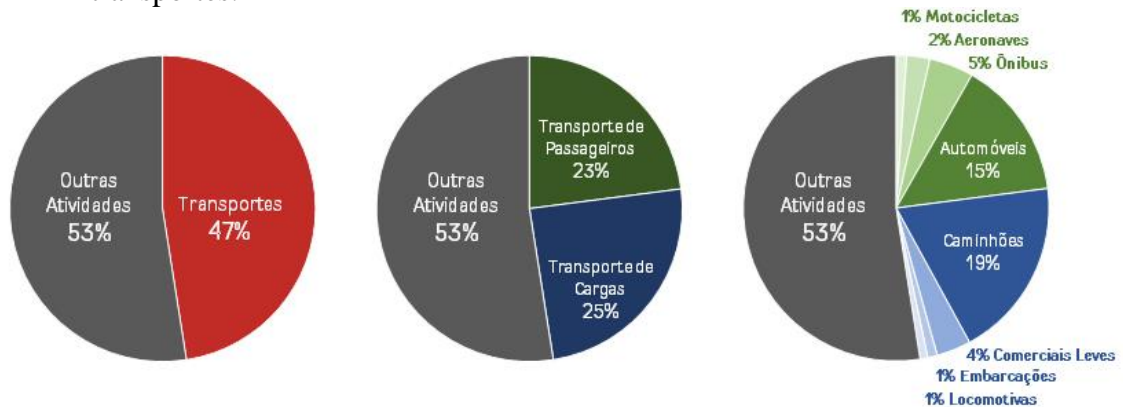
Fonte: Balanço Energético Nacional (MME) e Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA).

(*) Uma parcela do uso de combustíveis em embarcações decorre do transporte de passageiros. Devido a ausência de informações fundamentadas e a sua pouca importância no conjunto das emissões, optou-se por alocar as emissões desta categoria no transporte de cargas.

(**) Incluídas as emissões do consumo de gasolina de aviação no transporte aéreo que correspondem a 0,1 Mt.

Observando as porcentagens das emissões dos transportes em relação ao emitido por todo setor de Energia em 2019, na Figura 2, temos que este segmento é responsável por 47% das emissões de Energia, sendo 23% referente ao transporte de passageiros e 25% ao de cargas.

Figura 2 - Emissões do setor de Energia em 2019 com destaque para a atividade de transportes.



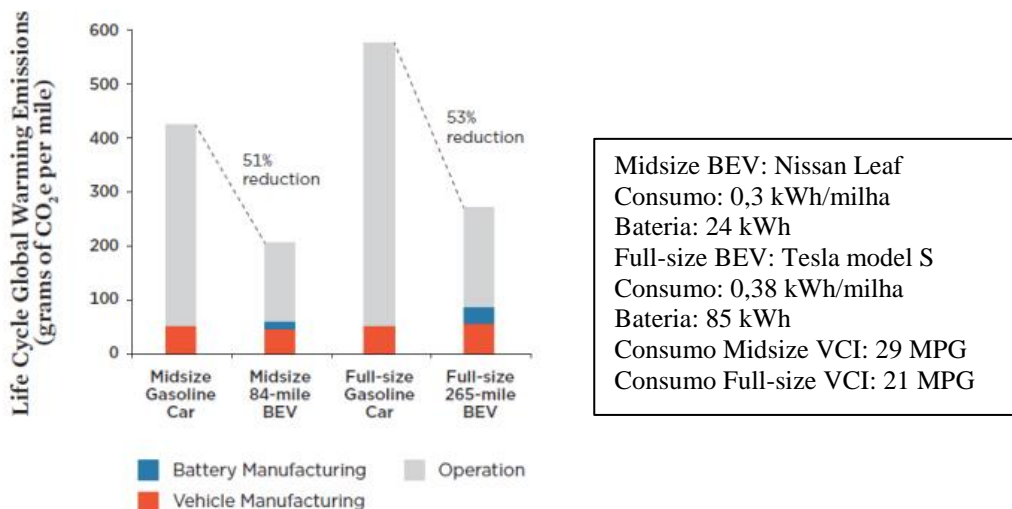
Fonte: IEMA - As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019.

No transporte de cargas, o grande expoente de emissões é o caminhão, porque o transporte rodoviário de cargas é responsável por 65% de toda atividade de deslocamento de mercadorias no Brasil, enquanto as ferrovias e a cabotagem são responsáveis por apenas 15% e 10%, respectivamente.

Portanto, os Veículos Elétricos podem assumir um protagonismo cada vez mais relevante no futuro da mobilidade como alternativa para a mitigação das emissões de GEE. O motor elétrico apresenta maior eficiência de transformação da energia em relação ao motor de combustão interna.

A Figura 3 a seguir representa as estimativas de emissões de GEE no ciclo de vida do veículo elétrico para o caso americano realizado por Nealer et al. (2015).

Figura 3 - Estimativa de emissões de GEE no ciclo de vida de veículos elétricos.



Fonte: Cleaner Cars from Cradle to Grave – Nealer (2015).

Por outro lado, diferente de muitos países, a matriz energética brasileira conta com uma participação significativa de energias renováveis. A crescente expansão de plantas eólicas e solares nos últimos anos deverá se manter com taxas anuais de crescimento ainda maiores que as atuais.

O Plano Decenal de Energia 2029 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) fez uma projeção para a oferta de eletricidade no Brasil, onde a geração baseada em fontes renováveis (hidráulica, biomassa, eólica e solar), apresenta um nível de renovabilidade de aproximadamente 90% ao longo do horizonte decenal.

Figura 4 - Evolução da composição da oferta interna de energia.

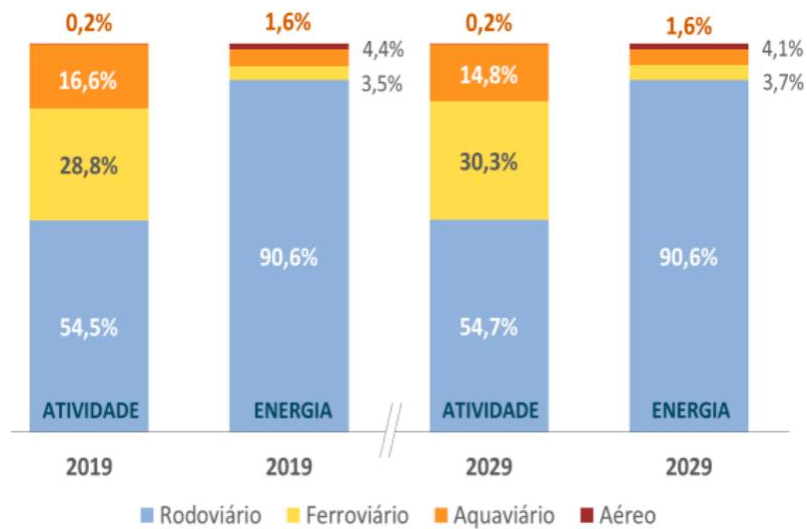


Fonte: PDE 2029 da EPE – p. 279.

A demanda do transporte de carga continua muito concentrada no uso do óleo diesel, já que não se projeta no horizonte do presente estudo, um amplo desenvolvimento de projetos em fontes substitutas para veículos pesados.

Em termos energéticos, a demanda do transporte de cargas cresce em média 2,5% a.a..

Figura 5 - Participação dos modos na atividade e demanda energética do transporte de cargas (PDE 2029)

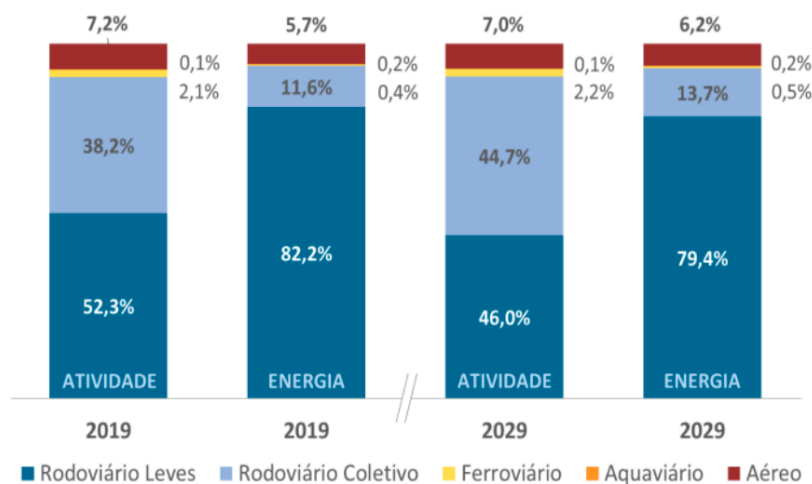


Fonte: PDE 2029 – Relatório da EPE.

A atividade total do transporte de passageiros deve aumentar 4,1% a.a. entre 2019 e 2029. Esse crescimento visa atender a demanda da sociedade, que exige cada vez mais mobilidade para lazer e trabalho, acompanhando o ritmo do crescimento do PIB per capita e da redução do desemprego.

Em termos energéticos, a demanda do transporte de passageiros cresce em média 2,4% a.a. A diferença em relação à taxa da atividade é explicada, em grande medida, pelos avanços tecnológicos.

Figura 6 - Participação dos modos na atividade e consumo energético do transporte de passageiros (PDE 2029).



Fonte: PDE 2029 – Relatório da EPE.

O setor de transportes se mantém líder no ranking dos setores consumidores de energia, com 33% de participação, com destaque para o segmento de transporte rodoviário (PDE 2029 – p. 29).

Enquanto o aumento da densidade populacional nos centros urbanos favorece a economicidade dos meios de transportes de massa, como o ônibus e metrô, o aumento do poder aquisitivo da população estimula a aquisição de bens duráveis, como o automóvel (PNE 2050).

Segundo a Agência Internacional de Energia, apenas em 2017 a venda de veículos elétricos e híbridos superou a marca de 1,1 milhão de exemplares no mundo. No mesmo ano foram comercializados 3.296 carros híbridos, movidos a energia elétrica e combustão no Brasil.

Brasil, de acordo com a ABVE, foi a primeira vez que o segmento de eletrificados chegou à participação de 1% no país. No total, foram emplacadas 19.745 unidades, enquanto a frota mundial de veículos elétricos e híbridos atingiu à marca de 3,2 milhões de veículos, sendo que cerca de 1,2 milhão destes veículos estão localizados na China.

É um crescimento considerável em um curto período, mas no Brasil os carros elétricos ainda estão disponíveis apenas para uma pequena parcela da população.

Entre os obstáculos para maior eletrificação da frota o custo dos veículos destaca-se entre os obstáculos identificados como os preços muito elevados para a realidade nacional, e a infraestrutura de recarga que requer investimentos elevados, arcabouço regulatório, precificação e especificação das instalações (EPE, 2020).

Por outro lado, as vendas de veículos elétricos dobraram e as de automóveis híbridos triplicaram em 2020 na Europa, de acordo com os números divulgados nesta quinta-feira pela Associação de Montadoras Europeias de Automóveis (ACEA).

Esse crescimento dos VEs em substituição aos que usam motores a combustão contribui significativamente para que os níveis de dióxido de nitrogênio sejam reduzidos.

A China atualmente é o país que mais produz energias renováveis e a nação que lidera a substituição das frotas de carros movidos a gasolina e diesel por veículos elétricos.

Em 2018 Shenzhen tornou-se a primeira metrópole mundial a contar com 100% de toda a frota de ônibus urbanos e táxis movidos a combustíveis fósseis por veículos elétricos. Em algumas paradas de ônibus, o piso sobre o qual estaciona o coletivo recarrega a bateria do veículo.

Segundo a Comissão de Transporte de Shenzhen o uso de ônibus elétrico anualmente diminui o consumo de óleo diesel em 345 mil toneladas e, reduz a liberação de 1,35 milhão de toneladas de dióxido de carbono (LIN et al., 2019).

A Noruega lidera o cenário com 23% da frota eletrificada. Em segundo lugar vem a

Holanda com 10% e em terceiro lugar a Suécia com 2%, segundo a EPE-Empresa de Pesquisa Energética.

O Governo britânico elabora cronograma para acabar com a circulação de veículos movidos a diesel e gasolina até 2050 (DW Brasil, 2017).

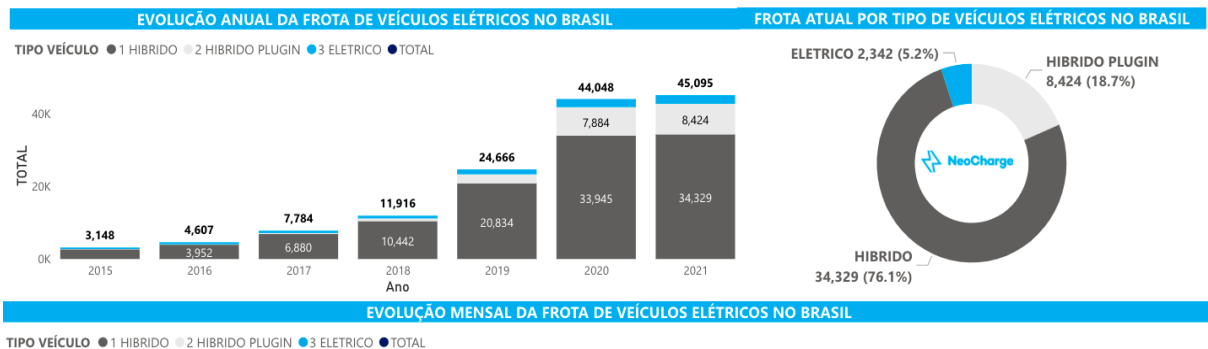
Uma abordagem dos benefícios e desafios da inserção de veículos elétricos no Equador, considerando diferentes pontos de recarga, geração distribuída e conceito V2G para clientes localizados em um setor lucrativo de Quito, demonstram que os veículos elétricos junto com a geração distribuída podem melhorar a operação de eficiência geral do sistema (VALENZUELA et al., 2017).

É inegável que o Brasil seja um país de imenso potencial no setor, conforme pesquisa feita pela FGV Energia em parceria com a Accenture Strategy, empresa de consultoria, o país tem um potencial para comercializar mais 150 mil veículos por ano.

As vendas de carros elétricos e híbridos têm participação discreta no mercado brasileiro. Este cenário está em transformação, mas talvez mude mais lentamente do que o esperado.

A Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério das Minas e Energia (MME), projeta que em 2030 as vendas acelerem para 180 mil carros eletrificados por ano.

Figura 7 - Licenciamento total de novos veículos elétricos



Fonte: NeoCharge (2021).

As vendas de VEs no Brasil bateram recorde em 2020, com aumento de 66,5% nos emplacamentos em relação a 2019. Foi o melhor ano da série histórica da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), iniciada em 2012.

Pela primeira vez também o mercado de eletrificados chegou a 1% do mercado total de veículos no Brasil.

Os números referem-se à soma de automóveis e comerciais leves elétricos híbridos não plug-in e plug-in (VEH ou VEHP) e elétricos a bateria (VEB).

Com o resultado de 2020, a frota total veículos elétricos ou híbridos em circulação no país já chega a 44.048 unidades.

O Veículo Elétrico Híbrido Plug-in (VEHP) é o tipo mais explorado por vários fabricantes de automóveis como Nissan, Mitsubishi, General Motors, Toyota, Honda e Chevrolet, com veículos produzidos e comercializados atualmente.

Portanto, é possível que os veículos elétricos híbridos plug-in possam ser considerados a preparação do caminho para o VEB no Brasil. Eles podem usar a infraestrutura de distribuição energética já existente, utilizando fontes de energia renovável e biocombustíveis. A China é considerada líder mundial em VEB e, o principal mercado de VEHP.

Os veículos elétricos híbridos plug-in têm mais uma vantagem que muitas vezes é subestimada. Eles podem ajudar a propagar a eletromobilidade, diferentemente dos veículos movidos exclusivamente a bateria, considerando que não apresentam o problema do alcance limitado.

Esta conclusão é o resultado de uma pesquisa realizada pelo Instituto Fraunhofer de Pesquisa de Sistemas e Inovações (ISI), na Alemanha.

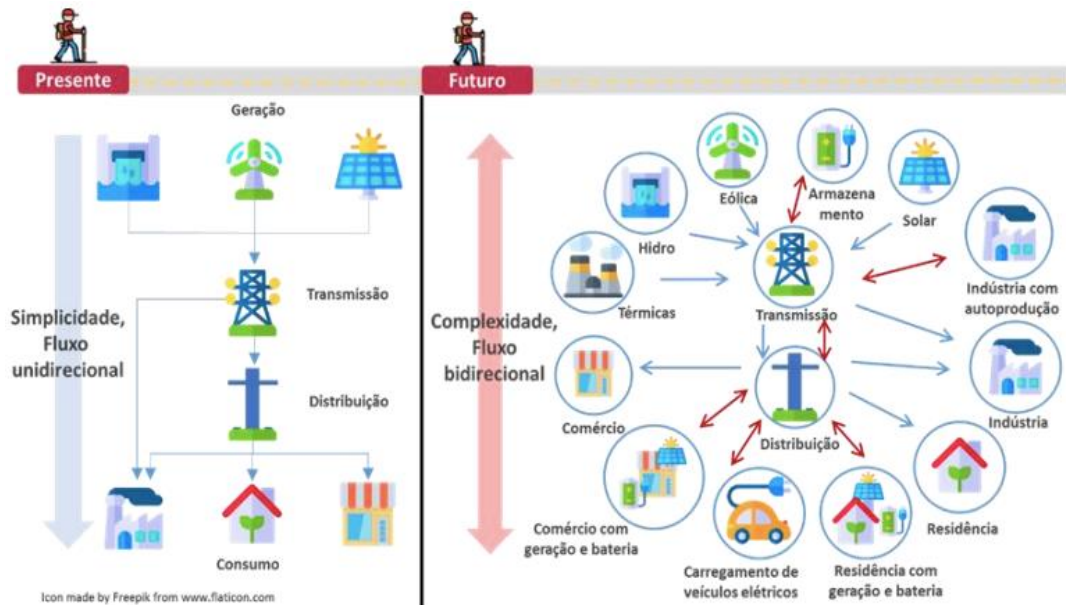
O destaque tecnológico fica por conta das baterias que além de serem recarregadas por meio da regeneração, elas simplesmente podem ser conectadas à rede de energia elétrica e alimentadas em poucas horas, dependendo de seu tamanho.

Comparando o PNE 2050 com os estudos de outros países, percebe-se que apesar de ainda haver espaço para aprimoramentos, tanto as informações quanto os recursos de tratamento metodológico estão alinhados com o que é apresentado nos planos internacionais de referência.

Neste sentido, a rede elétrica é talvez a principal questão que necessita estar bem resolvida, pois deve sofrer alguns impactos como:

- Alteração da curva de carga e demanda do sistema elétrico, decorrente da recarga dos veículos elétricos;
- Utilização do VE como vendedor de energia;
- Necessidade de infraestrutura de postos de reabastecimento.

Figura 8 - Sistemas elétricos: presente e futuro



Fonte: Documento de Apoio Recursos Energéticos Distribuídos – PNE 2050 – EPE jan/19

As perguntas-chaves para a indústria automotiva e para o planejamento energético são: a transição do veículo elétrico será disruptiva e rápida ou será incremental e longa? (MACHADO et al., 2018).

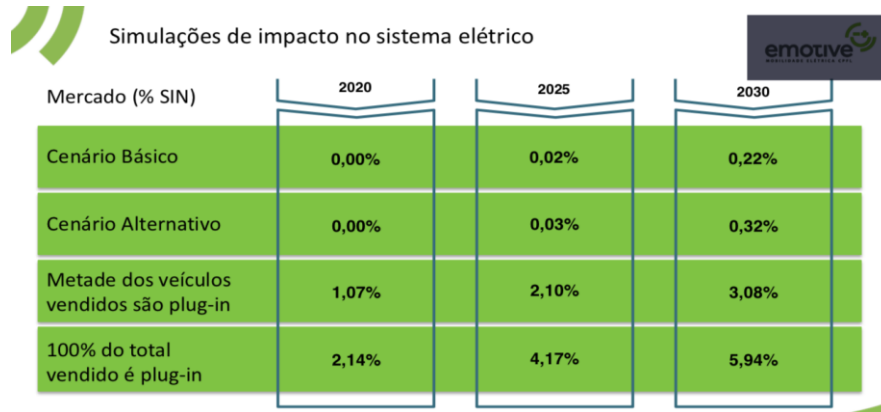
Somam-se a estas questões outras variáveis com inter-relações importantes, como: oscilação de patamar de preços de petróleo, riscos geopolíticos, aparecimento de novas fontes de energia competitivas, expressivas inovações tecnológicas eletroeletrônicas e mudanças de hábitos (MACHADO et al., 2018).

Os Recursos Energéticos Distribuídos – RED, são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, nos limites da área de concessão de uma concessionária de distribuição, vem se ampliando para incluir a eficiência energética, resposta da demanda e gerenciamento pelo lado da demanda e, será fundamental para a mobilidade elétrica. A inserção dessas tecnologias contempla (Documento de Apoio Recursos Energéticos Distribuídos – PNE 2050 – EPE jan/19 – (FGV 2016)):

- geração distribuída (GD);
- armazenamento de energia;
- veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga;
- eficiência energética;
- resposta da demanda (RD).

Considerando que a expansão da frota de VEs que vem ocorrendo de forma gradativa no Brasil, torna possível fazer um planejamento de médio e longo prazo dos investimentos. Na medida que a frota cresce, faz-se necessário investimentos na rede de distribuição de energia elétrica para atender a carga requerida para a recarga dos veículos.

Figura 9 - Simulações de impacto da recarga de VE no sistema elétrico

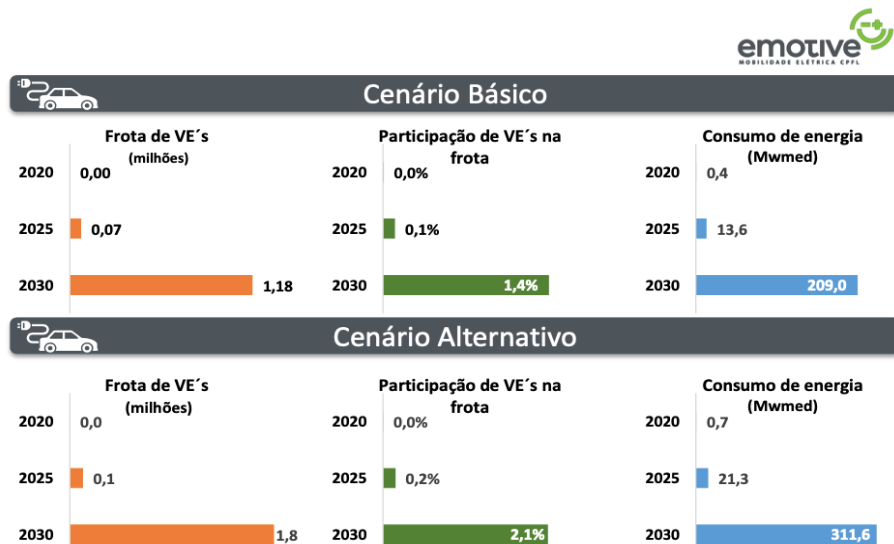


* Vendas a partir de jan/2018.
 Fonte: CPFL Energia (2018).

No P&D ANEEL – CPFL PD-063-0060/2013, desenvolvido pela CPFL, foram estudados dois cenários para VEs, básico e alternativo com o IPI reduzindo de 25% para 7% em 2018, com impacto de redução de 14% no custo final dos veículos. No cenário alternativo o ICMS de São Paulo é reduzido em 50% em 2019, reduzindo o preço final do veículo em 6%.

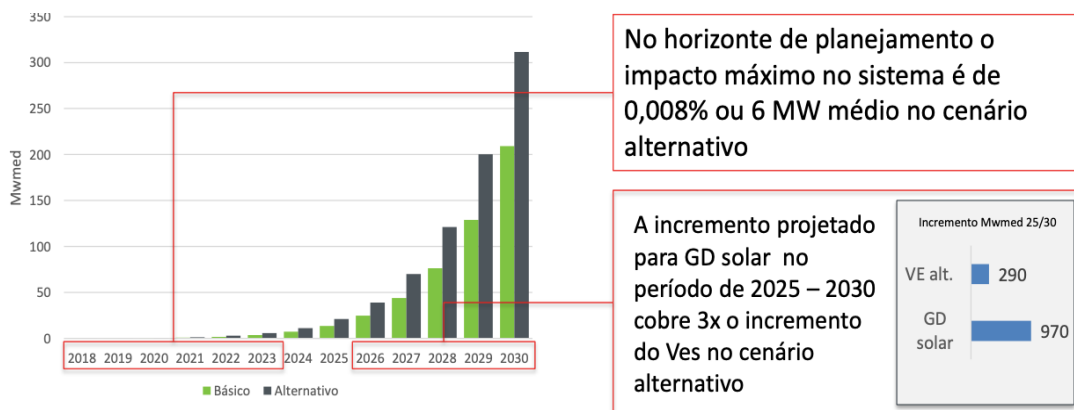
Com estas duas medidas em 2019 os veículos teriam uma redução do preço na ordem de 20%.

Figura 10 - Frota de VEs com cenário básico e alternativo



É considerado estratégico que o aumento na geração seja atendido por novos investimentos oriundos de fontes de energia renováveis, contribuindo com a redução na emissão de GEE.

Figura 11 - Análise comparativa de impacto no sistema elétrico



Fonte: CPFL Energia (2018).

Em grande parte do sistema elétrico as redes de distribuição apresentam topologia radial, isto é, existe um caminho único entre a subestação de distribuição e o ponto de consumo. Isso representa menor custo de implementação da infraestrutura, porém, menor confiabilidade em relação aos sistemas radiais ou em anel (GARCIA, 2012).

Os sistemas de distribuição são caracterizados por atuarem mais próximo às cargas, distribuindo a energia gerada e transmitida nas demais partes do sistema até chegar ao consumidor final, que pode ser atendido em média ou baixa tensão. Cabe ao Agente Regulador Nacional, através da ANEEL estabelecer as tarifas, normas e padrões para as atividades relativas à conexão, operação, planejamento da manutenção e expansão do sistema no âmbito das distribuidoras de energia elétrica. Portanto, um conjunto de regras assegura a operacionalidade efetiva da rede com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade, bem como o valor do kWh que corresponde ao consumidor.

Em alguns países como a Noruega, onde há uma alta penetração de VEs, se tem enfrentado problemas na operação da rede, nos quais esse número é tão grande que as redes de distribuição não conseguem satisfazer os níveis de demanda (BERGGREEN, 2017).

Os estudos realizados pela Itaipu Binacional demonstraram que, caso o País decidisse usar toda a sua capacidade de produção para introduzir veículos elétricos no mercado, cerca de 3,4 milhões de veículos novos por ano, o impacto no aumento do consumo de energia elétrica seria de 3,3% ao ano (Caderno Opinião da FGV- agosto 2016).

A infraestrutura para reabastecimento dos veículos elétricos é fundamental, porém, estudos realizados pela Itaipu nos últimos 10 anos demonstram que a ausência desta infraestrutura urbana não é impeditiva, principalmente se o proprietário do VE tem uma tomada à sua disposição na garagem. Estatísticas demonstram que em 80% das vezes os veículos elétricos são abastecidos durante a noite, na sua residência (Caderno Opinião da FGV- agosto 2016).

Ainda que o Sistema Interligado Nacional permita ampla cobertura da rede elétrica, são necessários aperfeiçoamentos que possibilitem uma infraestrutura adequada para o reabastecimento dos VEs. É fundamental investir na infraestrutura de recarga, já que sua ausência limita a autonomia para grandes distâncias e implica maior disciplina do usuário.

Embora o Brasil não tenha participado da primeira onda do VE e, o cenário para os próximos dez anos não sugere maiores preocupações quanto ao atendimento desta carga, o mercado deverá crescer e o Setor Elétrico precisa estar preparado. Problemas de infraestrutura de rede podem surgir caso o índice de penetração de VEs venha a se mostrar relevante nos próximos anos, pois representam uma carga considerável e de alta mobilidade (GODINA et al., 2016).

A área de planejamento do sistema de distribuição das Distribuidoras deve estar atenta a possíveis alterações de hábitos no padrão de consumo de energia elétrica, e inserção de novas cargas, assim como na geração distribuída que também influenciará no comportamento da rede de distribuição, principalmente se apresentarem características de alto consumo e de geração de energia em períodos de pico do sistema.

Os impactos técnicos sofridos pelas redes de distribuição geralmente são devidos à infraestrutura física e às cargas conectadas a estas redes:

- Uma rede com carregamento superior ao qual é projetada, passa a sofrer com tensões inferiores aos valores adequados e com um índice de perdas elevado.
- Magnitude de tensão e desequilíbrio de tensão em níveis inadequados resultam em prejuízos às cargas do sistema.
- Os equipamentos utilizados na rede possuem limites de operação, como por exemplo os limites térmicos de transformadores e condutores.

Iniciando pelos estudos de sistemas elétricos, a localização dos eletropostos pode ser analisada através da minimização das perdas técnicas e desvios de tensão (Martins & Trindade 2015).

O principal fator técnico responsável por limitar a quantidade de VEs conectados à rede de distribuição é o nível de queda de tensão nas redes de BT.

Visando focar nas situações mais relevantes e, que permitam avaliar o impacto

provocado pela inserção dos veículos elétricos na rede de distribuição, são apresentados estudos relativos à média e baixa tensão observando a metodologia utilizada e os resultados avaliados.

Com o aumento do uso de tecnologias renováveis e veículos elétricos, adequar a oferta à demanda de energia elétrica se torna um assunto muito mais importante e complexo, entretanto no Brasil do presente, as smart grids ainda são resultados de projetos de P&D desenvolvidos no setor elétrico. Assim, a abordagem será voltada a rede de distribuição na tipologia predominante no País, onde o primeiro impacto a ser percebido será na rede de baixa tensão onde a maior atenção deverá ser o comportamento das cargas adicionais no transformador de distribuição, principalmente os efeitos na curva de carga, temperatura interna dos transformadores e níveis de tensão.

O carregamento de um transformador é o somatório de cargas de unidades consumidoras conectadas ao equipamento, simultaneamente, durante determinado intervalo de tempo, em períodos de 24 h.

Em regime de sobrecarga pode ocorrer elevação da temperatura interna que varia conforme o nível de sobrecarga e a temperatura do ambiente onde está instalado. Em condições de operação acima da potência nominal a elevação da temperatura pode comprometer a vida útil do equipamento e, em situações extremas a avaria do equipamento.

Quanto maior a carga ligada ao transformador, maior será a corrente que circula pela rede de baixa tensão e no equipamento, elevando a queda de tensão ao longo da rede, sendo mais acentuada em suas extremidades.

Se o transformador e a rede estiverem operando dentro dos limites nominais, a tensão deverá estar dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL.

Os dados obtidos nas campanhas de medição realizados periodicamente pelas empresas distribuidoras de energia, permitem obter as curvas de carga representativas, por segmento, com base em análise estatística e obter as curvas representativas de cada classe de consumo.

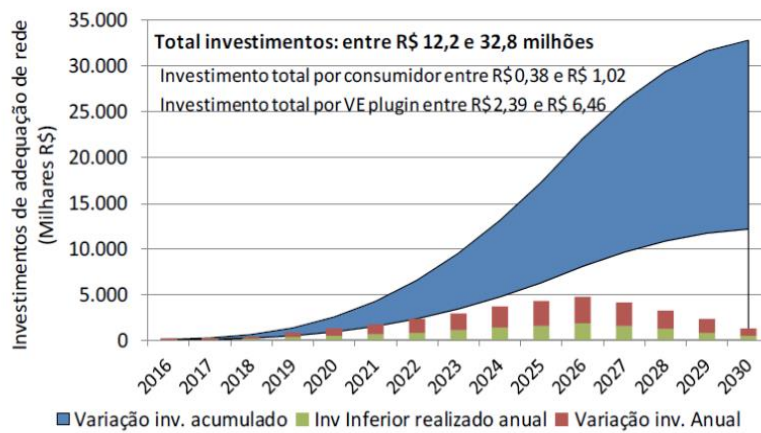
Método semelhante é utilizado para estabelecer as condições de carregamento dos transformadores de distribuição, considerando o perfil de consumidores atendidos através daquele equipamento demonstrado por Godina et al. (2016), o impacto do carregamento dos VEs está fortemente relacionado a fenômenos estocásticos, uma vez que a localização geográfica e a demanda requerida na recarga devem provocar diferentes efeitos que dependem basicamente das características técnicas da rede e do comportamento de uso dos veículos.

A situação mais crítica para o transformador de distribuição deve ocorrer no processo de recarga residencial, na unidade de consumo do cliente e, geralmente parte do processo coincide com o período de ponta do sistema, conforme demonstrado por Simon (2013).

No carregamento econômico os horários de pico podem ser evitados, portanto, a recarga deve ocorrer em períodos de tarifa mais econômica. Em redes com predomínio de consumidores residenciais, ocorre nos períodos de maior disponibilidade de carga durante a madrugada.

A aplicação de tarifa diferenciada mostrou que o investimento na adequação da rede seria reduzido em 60%, considerando um deslocamento de carga de 62%, conforme Projeto P&D ANEEL – CPFL PD-063-0060/2013 na Fig.12.

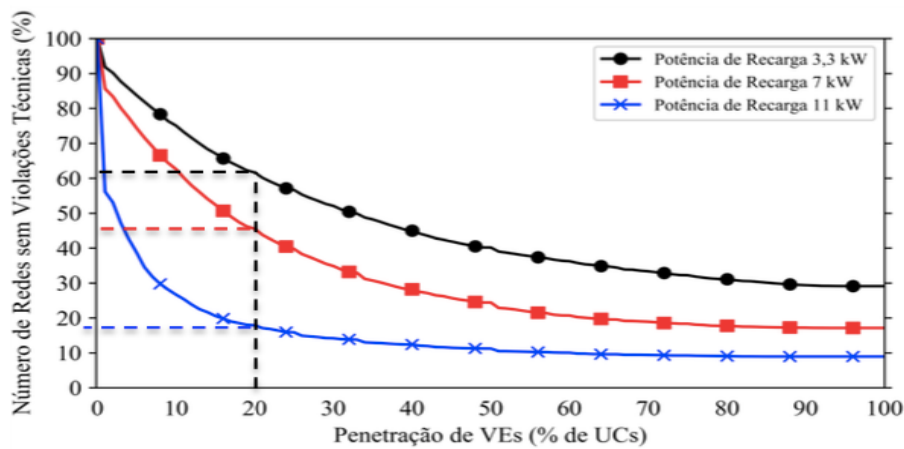
Figura 12 - Redução de investimentos na adequação da rede de Distribuição



Fonte: CPFL Energia (2018).

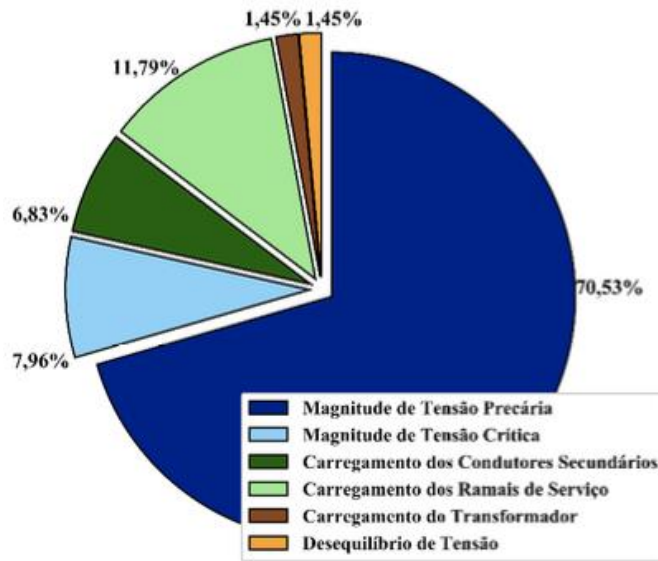
Nas Figuras 13 e 14 pode ser observado o resultado parcial dos impactos técnicos na rede de distribuição do espectro avaliado no projeto de P&D da CPFL.

Figura 13 - Distribuição dos limites de geração



Fonte: CPFL Energia (2018).

Figura 14 - Critérios técnicos mais restritivos



Fonte: CPFL Energia (2018).

A CPFL apresentou trabalho no Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE 2017, no qual fez referências violações na rede de distribuição através do projeto de P&D – ANEEL PD-0063-0060/2013 no qual realizou simulações de Monte Carlo de 25 mil redes de BT em 98 municípios de sua área de concessão, considerando 3 cenários de penetração dos VEs de 10%, 20% e 30%.

Em cada cenário foram estabelecidos 200 cenários aleatórios por rede, variando-se:

- Localização dos postos de recarga dentre os consumidores elegíveis;
- Instante inicial de cada recarga;
- Duração da recarga.

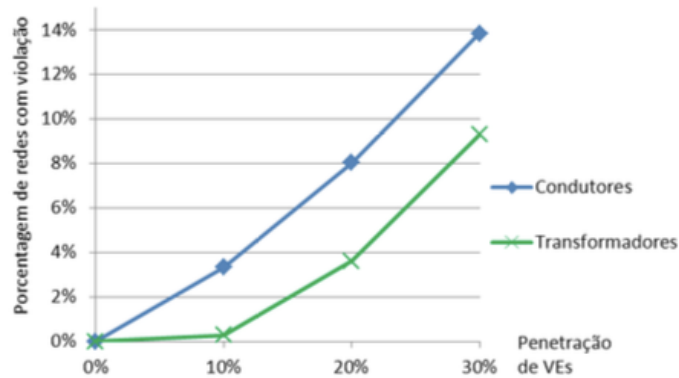
Para determinar se houve violação técnica é realizado o cálculo do fluxo de carga para um período de 24 horas referente a:

- Sobrecarga no transformador de distribuição;
- Sobrecarga em condutores de Baixa Tensão;
- Violação da magnitude de tensão mínima no consumidor.

As soluções técnicas geralmente estão associadas a recondutoramento para mitigar a sobrecarga dos condutores, elevação de tap do transformador para mitigar o nível de tensão exigido, a substituição de transformador ou desdobramento de circuito para mitigar a sobrecarga.

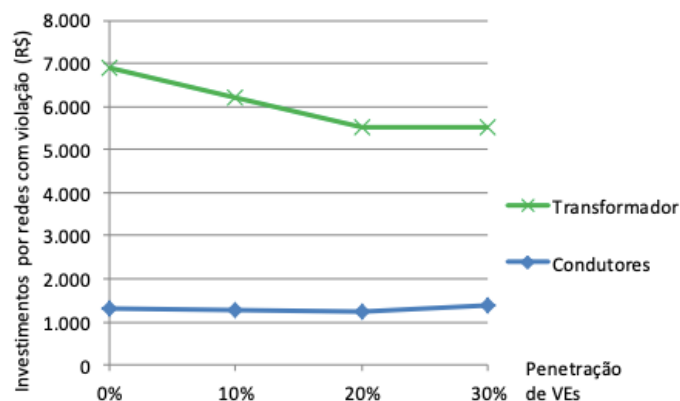
Através das simulações, obtém-se a curva de porcentagem de redes com investimentos necessários em condutores e transformadores, conforme Fig. 15.

Figura 15 - Porcentagem de redes com violação por necessidade de reforço



A figura 16 mostra a curva de investimentos com mercado de 20% a 30% de veículos elétricos nos 98 municípios que fizeram parte do projeto de P&D-ANEEL da CPFL.

Figura 16 - Interpolação de investimentos em adequação nas redes de distribuição



Em Fernandez et al. (2011) é proposta uma abordagem com o objetivo de avaliar o impacto de três níveis de penetração de VEPs (35%, 51% e 62%) nos planejamentos de distribuição a serem realizados pelas concessionárias. Os resultados mostram que considerando os níveis de penetração, os reforços requeridos na rede para viabilizar o carregamento dos VEPs em horários de pico podem significar um custo adicional de 19% em relação a rede se não houvesse os VEPs. Entretanto, se utilizado o carregamento inteligente para minimizar o carregamento simultâneo, seria possível obter uma redução de investimento na ordem de 60%-70%.

A revisão bibliográfica expõe aspectos relevantes à inserção do veículo elétrico considerando os diferentes tipos existentes no mercado atual, tendências, impactos na redução da poluição do meio ambiente e no sistema elétrico, sendo que o setor de transportes é um segmento importante na questão energética e de emissão de GEE.

O PDE 2029 aponta que a matriz energética brasileira tem uma participação significativa de energias renováveis e apresenta tendência de crescimento através de novos projetos de geração eólica e solar, sendo um fator positivo para atendimento das novas cargas e na redução de emissão de gases poluentes, por se tratar de fontes renováveis.

A evolução da frota de veículos elétricos vem crescendo lentamente ano após ano e Empresa de Pesquisa Energética projeta que em 2030 as vendas acelerem para 180 mil carros eletrificados por ano. O crescimento lento das vendas de VEs ocorre em parte pela falta de incentivo fiscal para redução do custo de aquisição do veículo, assim como a falta de infraestrutura de uma rede de recarga de baterias mais robusta.

Esse crescimento do mercado de VEs para a próxima década no Brasil, segundo estudos do projeto de P&D da CPFL (CPFL ENERGIA, 2013), indica que não deve ocorrer um impacto significativo na rede elétrica decorrente do processo de recarga dos veículos. Entretanto, o principal impacto deve ocorrer na RD, principalmente no que se refere a regulação dos níveis de tensão na MT e BT, ao qual os principais investimentos estão associados a transformador de distribuição e recondutoramento da rede de BT.

Portanto, embora o veículo elétrico apresente um crescimento lento ao longo dos anos, serão necessários novos investimentos nas redes das Distribuidoras e na infraestrutura de recarga de baterias para atender essa nova demanda.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A introdução de fontes de energia renováveis possibilita uma maior diversificação da matriz e, conseqüentemente, uma menor dependência de combustível fóssil. As fontes de energia renováveis baseadas no vento, raios solares, marés, geotermal e biomassa vêm recebendo atenção e investimentos crescentes nos últimos anos.

Por fim, o mais importante é o desafio climático do planeta, que tem como principal questão a emissão de carbono devido aos combustíveis fósseis.

Os sistemas fotovoltaicos são fontes inesgotáveis de energia renovável, não emitindo GEE e, consensos internacionais na busca de soluções mais eficientes na geração de energia elétrica. Nos últimos cinco anos a expansão das centrais de geração fotovoltaica foi significativa, essencialmente, pela redução do custo dos módulos FV, constatando-se uma redução de preço na ordem dos 50% desde 2010 (FERNANDEZ et al., 2011).

No XVI Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning – 2018, realizado no Brasil, foi apresentado um trabalho de Minigeração Fotovoltaica e Veículos Elétricos em Microrede Inteligente em um centro comercial no Rio de Janeiro (ESCALANTE et al., 2018).

Neste trabalho, a estação de recarga dispõe de uma potência aproximada de 7 kW, atendendo 42 pontos de recargas para VEs na área de estacionamento, com uma potência total de 294 kW.

Com relação à energia gerada pela minigeração fotovoltaica, observou-se que é possível abastecer todas as estações de recarga, com a possibilidade de que os VEs recarreguem independentemente da energia proveniente da concessionária, tornando-se consumidores de uma energia “limpa”.

O estudo conclui que as configurações geradas para o estudo impactam no sistema de forma positiva, pois não geram sobrecarga, melhoram os níveis de tensão, podem auxiliar o sistema em caso de emergência, e na redução da demanda de energia da concessionária.

Atualmente temos indícios de duas tendências expressivas no uso de energia, em um futuro próximo. O crescimento do mercado de geração renovável distribuída, como a energia solar, e os veículos elétricos (VE), seja no transporte individual ou público. O incremento destas duas tecnologias traz muitos desafios para a integração na matriz elétrica. Os veículos elétricos são considerados "verdes", desde que a fonte de geração seja renovável.

A geração de energia fotovoltaica tem variações diurnas e sazonais, criando a necessidade de tecnologia de armazenamento de energia, e ao mesmo tempo, são esperados problemas de sobrecarga e tensão na rede distribuição devido à alta penetração da geração distribuída e ao aumento da demanda de energia com o carregamento de veículos elétricos. Para superar esses desafios, carregar veículos elétricos e usar a energia solar distribuída seria uma solução excelente, resultando em emissões zero.

Por outro lado, o fornecimento de energia do veículo para a rede (V2G), caso haja carregador V2G, e do veículo para residência ou prédios (V2H/V2B) transforma o VE em uma fonte de armazenamento para a geração fotovoltaica e suporte à rede elétrica. Em locais com falta de acesso à rede, o carregamento com energia solar pode ser o principal facilitador para a eletrificação do transporte, principalmente se associado ao armazenamento de energia em baterias.

Finalmente, as técnicas de controle inteligente combinadas com protocolos de comunicação podem facilitar o carregamento inteligente de veículos elétricos e a oferta de serviços V2G baseados em gerações solares, períodos de sobrecarga da rede e preços de energia durante o horário de pico.

3.2 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

As centrais fotovoltaicas geram potência de forma intermitente, essencialmente, devido ao sombreamento pela presença de nuvens, portanto, não têm o mesmo nível de controle das centrais convencionais. Logo, é fundamental o uso de sistemas de armazenamento de energia em grandes centrais fotovoltaicas, para controlar e compensar a flutuação de potência e, possibilitar maior participação nos mercados energéticos.

Existem diversas tecnologias *Energy Storage Systems* (ESS) com diferentes capacidades, muito embora não exista uma tecnologia ESS perfeita, as baterias Li-ion têm tido um papel fundamental no armazenamento de energia em grandes centrais fotovoltaicas (COLETTI et al., 2014).

Há grande expectativa quanto ao uso de sistemas de armazenamento, bem como suas aplicações e benefícios para o setor elétrico em geral. Seja com o uso direto do consumidor final em sistemas residenciais de pequeno porte até aplicações de alta capacidade, pelo operador do sistema ou agentes de geração, distribuição ou transmissão, com potencial para transformar o setor elétrico.

As baterias eletroquímicas pela capacidade de resposta instantânea e por sua

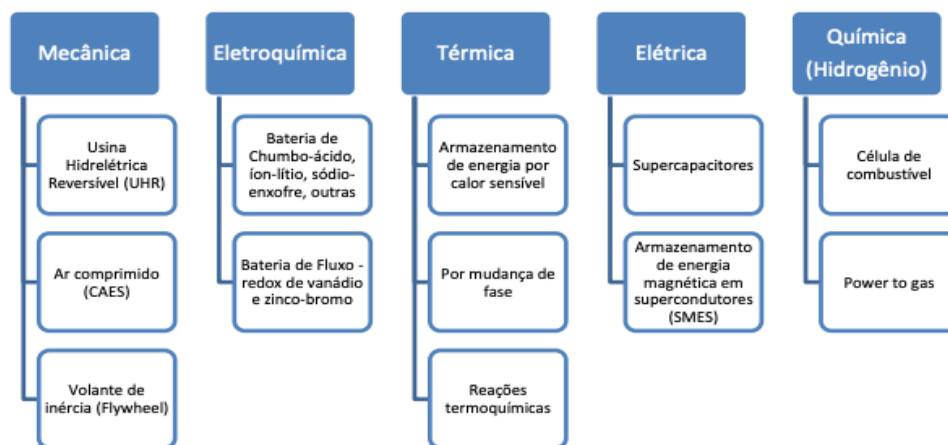
flexibilidade operativa, têm potencial para diversas aplicações no setor elétrico. A versatilidade do armazenamento de energia permite atender diferentes serviços como reserva de energia e compensação da variabilidade de geração eólica e solar.

Mudanças recentes no sistema elétrico brasileiro, com aumento da participação de fontes de geração variável e não-controlável, como eólica e solar fotovoltaica, assim como a redução da energia armazenada nos reservatórios de usinas hidrelétricas traz novos desafios ao planejamento e à operação do sistema elétrico. Essa condição abre espaço para tecnologias de armazenamento, que poderão ser um importante recurso para os crescentes requisitos de capacidade e flexibilidade (EPE, 2018).

O armazenamento de energia em baterias é uma das tecnologias para esta finalidade: “Sobre as tecnologias específicas para o aumento da capacidade do sistema, visando a complementação de potência, além das já citadas termelétricas a gás natural são representadas explicitamente as tecnologias de armazenamento, como usinas hidrelétricas reversíveis e baterias” (MME & EPE, 2019).

As alternativas para armazenamento de energia apresentam vantagens e desvantagens conforme aplicação. A Figura 17 ilustra as principais tecnologias em estudo para armazenamento em grande escala.

Figura 17 - Tecnologias para armazenamento de energia



Fonte: Adaptado de MassCEC & DOER (2016).

O grande potencial de armazenamento com baterias se destaca como uma das principais tecnologias a ser utilizada nas matrizes elétricas futuras. A curva de queda de custos, justificam o grande crescimento no número de projetos desenvolvidos e a expectativa sobre o futuro das tecnologias:

- (i) Alta densidade de energia, alta eficiência e baixo tempo de resposta para operação;
- (ii) Flexibilidade em capacidade de instalação e de alocação física, requer pequena área para instalação e ausência de emissão de poluentes na operação. Pode ser instalada em qualquer tipo de ambiente;
- (iii) Versatilidade desde sistemas onde são exigidas respostas instantâneas e de alta potência em curto intervalo de tempo, como também aplicações de maior duração.

Cada tecnologia possui diferentes características, possibilitando comparações técnicas e econômicas para cada solução, conforme o dimensionamento e aplicação.

O armazenamento de eletricidade por bateria é uma tecnologia chave na transição do mundo para um sistema de energia sustentável.

Futuramente, as baterias devem suportar níveis altos de eletricidade renovável variável, armazenando energia excedente e liberando mais tarde, conforme a necessidade e conveniência pelo custo.

O crescimento do segmento de armazenamento levou a uma rápida redução de custos, principalmente para baterias de íon-lítio e, também para baterias de sódio-enxofre de alta temperatura (NAS).

A Figura 18 apresenta projeção da Bloomberg para o preço das baterias de íon-lítio até 2030, impulsionados pela otimização no processo de fabricação, com melhores combinações e menor uso de materiais. Os dados entre 2010 e 2018 são históricos, dos quais se obteve uma curva de aprendizado, ou seja, a cada vez que a quantidade produzida dobra, os custos são reduzidos nesta proporção.

Em 2030, os custos podem cair e a duração e o desempenho das baterias também devem melhorar.

Figura 18 - Redução estimada do preço das baterias de íon-lítio



Fonte: BNEF (2019).

O armazenamento de energia deve ter um crescimento exponencial de aproximadamente

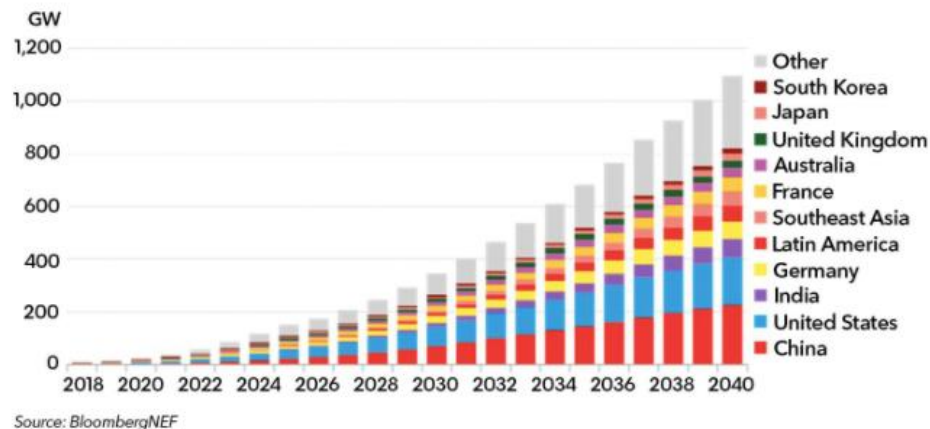
9 GW/17 GWh em 2018 para 1.095 GW/2.850 GWh até 2040, conforme a última previsão da empresa de pesquisa BloombergNEF (BNEF, 2019).

O *Energy Storage Outlook 2019* da BNEF, publicado em 31/07/19, prevê uma redução de até 50% dos custos da bateria de íon-lítio por quilowatt-hora até 2030. O relatório tem previsão de um sistema elétrico global com crescimento da energia eólica e solar de baixo custo (BNEF, 2019).

Yayoi Sekine, analista de armazenamento de energia da BNEF e co-autor do relatório, disse: “Duas grandes mudanças neste ano são que aumentamos nossa estimativa do investimento que irá para armazenamento de energia em 2040 em mais de US \$ 40 bilhões, e que agora acreditamos que a maior parte da nova capacidade será no serviço público, em vez de residencial e empresarial” (BNEF, 2019).

Logan Goldie-Scot, do setor de armazenamento de energia da BNEF, acrescentou: “No curto prazo, as energias renováveis com armazenamento, especialmente solar com armazenamento, se tornaram um grande impulsionador para a construção de baterias. É uma nova era de energias renováveis despacháveis, com base em novas estruturas de contrato entre o desenvolvedor e a rede” (BNEF, 2019).

Figura 19 - Evolução global do armazenamento de energia elétrica



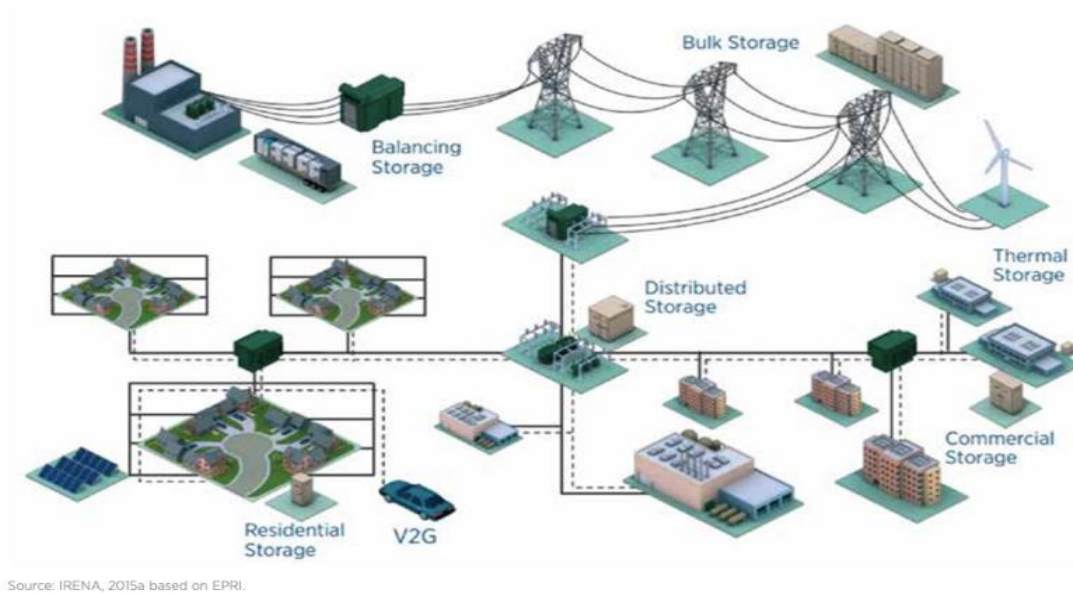
Fonte: BNEF, 2019.

Os sistemas de gerenciamento de bateria são cada vez mais complexos e caros para soluções de bateria maiores. Um novo desenvolvimento é a integração de tecnologias e ferramentas de software para permitir o rastreamento remoto, controle e gerenciamento de sistemas de armazenamento de bateria, com informações atualizadas de previsões de vento e sol, nível de carga e demanda de eletricidade esperada. Será possível otimizar e estabelecer uma

demanda inteligente e ativos de fornecimento para gerenciamento da carga (BNEF, 2019).

O relatório conclui que o armazenamento de energia se tornará uma alternativa prática à geração de eletricidade ou para o reforço da rede. A demanda total por baterias dos setores de armazenamento estacionário e transporte elétrico está prevista em 4.584 GWh até 2040, proporcionando uma grande oportunidade para fabricantes de baterias e mineradores de metais componentes, como lítio, cobalto e níquel (BNEF, 2019).

Figura 20 - Armazenamento de energia – Potencial de aplicação no sistema elétrico



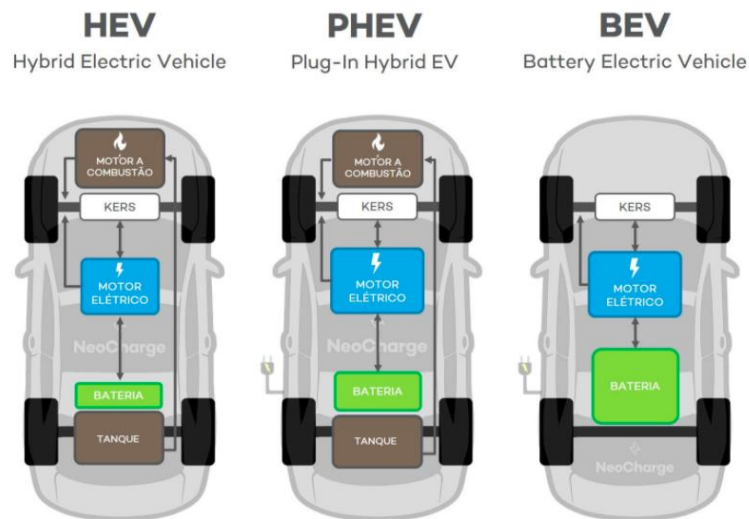
O armazenamento de energia deve ser encarado como uma grande oportunidade para a solução de problemas técnicos, assim como para a preparação com vistas à necessária mudança na expansão da matriz energética nacional, que contará com crescente presença de energias renováveis e maior intermitência (LEITE et al., 2017).

Dados de fornecedores apontam um preço final de uma solução de armazenamento turn-key na faixa de R\$ 4.000/kWh no Brasil em 2021, tanto residenciais quanto comerciais. No cenário internacional, estudos apontam uma queda no preço de baterias de íon-lítio de 8,3% a.a. entre 2020 e 2030, representando redução do preço final na faixa de R\$ 1.700/kWh em 2031 (EPBR – 2021).

3.3 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Na figura 21 a seguir pode-se visualizar os tipos de veículos mais populares no mercado:

Figura 21 - Tipos de veículos mais populares no mercado



Fonte: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#eletrico_bate

- HEV: Os veículos híbridos utilizam gasolina/álcool ou diesel como principal forma de alimentar o motor a combustão interna. Além de usar o motor a combustão, os híbridos também possuem um motor elétrico e uma bateria.
- PHEV: O veículo elétrico híbrido plug-in combina motor a combustão interna alimentado por gasolina/álcool ou diesel com um motor elétrico e um banco de bateria recarregável. Diferentemente dos híbridos convencionais, os elétricos híbridos plug-in podem ter sua bateria recarregada via frenagem regenerativa ou por cabo alimentado pela rede elétrica.
- BEV: o veículo elétrico a bateria usa eletricidade armazenada na bateria para alimentar o motor elétrico e tracionar as rodas. A bateria é recarregada utilizando os freios regenerativos e a energia proveniente da rede elétrica pela tomada mesmo ou via plugue por um carregador de carro elétrico. São movidos exclusivamente por eletricidade.

3.4 CONECTORES PARA RECARGA DE VES

Em termos gerais, o processo de carregamento do VE tem duas classificações relacionadas à duração de recarga. A recarga rápida e a recarga lenta.

A primeira é realizada através de estações de abastecimento com alimentação em Corrente Contínua (CC), através de retificadores de alta potência conectados à rede trifásica de média tensão e o VE pode ser carregado em alguns minutos, diferentemente da recarga lenta em que o VE permanece conectado à rede de baixa tensão durante algumas horas.

A recarga lenta geralmente está associada ao carregamento na rede elétrica residencial em Corrente Alternada (CA).

Os níveis de tensão e corrente utilizados na recarga variam conforme os níveis de potência requeridos e aos métodos de recarga de acordo com os padrões suportados pelos diferentes tipos de conectores disponíveis no mercado (ABNT, 2013).

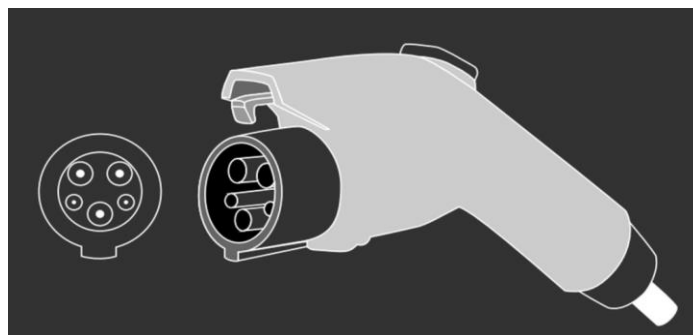
No mundo estão sendo usados oito padrões diferentes, dependendo do país e do fabricante de veículos (INSIDEEVs, 2021).

Portanto, não basta ter uma estação de recarga de fácil acesso. É necessário o conector adequado para o veículo.

Este é um problema que não será resolvido com facilidade, pois há uma disputa de qual é o sistema mais eficiente. Os fabricantes europeus apoiam o padrão IEC 6296 Tipo 2 da SAE, que evoluiu para o CCS Tipo 2 de carga rápida, os japoneses adotaram o CHAdeMO, os americanos usam o SAE J1772 Tipo 1 e CCS Tipo 1, o governo chinês estabeleceu o GB/T como o conector do país e a Tesla tem o plugue Tesla Charging.

Em alguns casos, é possível contornar este problema com adaptadores ou cabos com padrões diferentes em cada lado.

Figura 22 - Conector SAE J1772 Tipo 1



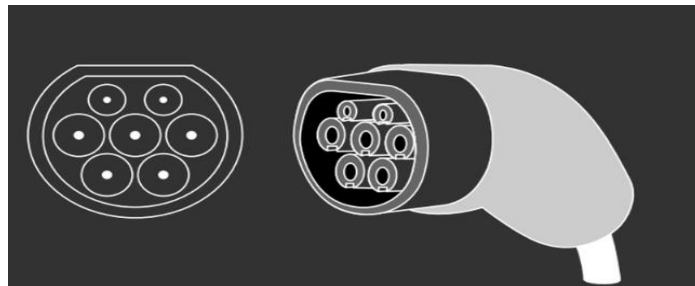
Padrão americano, usado pelos primeiros veículos como o Chevrolet Volt, utilizado em alguns postos de recarga mais antigos no Brasil.

Corrente: 80A

Voltagem: 120V-240V monofásico

Potência: 0,96kW-19,2kW

Figura 23 - Conector IEC 62196 Tipo 2



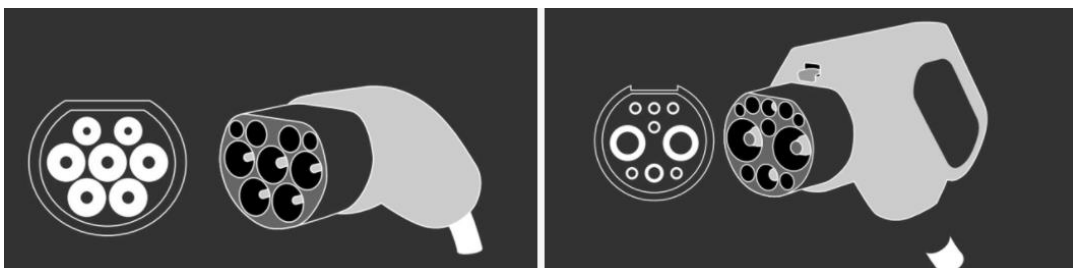
Padrão na Europa para os híbridos plug-in e os elétricos mais antigos em sistemas monofásicos e trifásicos. A velocidade de recarga é bem menor, sendo indicado para uso residencial, shoppings e supermercados. Todos os carros híbridos plug-in no Brasil são compatíveis com este tipo de conector e o único elétrico que só pode usar esta tomada é o Renault Zoe.

Corrente: 63A monofásico e trifásico

Voltagem: 250V-440V monofásico e trifásico

Potência: 43kW

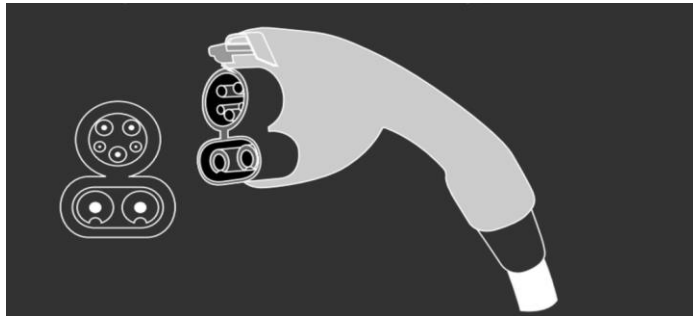
Figura 24 - Conector GB/T



Padrão chinês em duas versões, utilizado somente nos carros importados daquele País, como o Caoa Chery Arrizo 5 e JAC iEV40. A tomada de corrente alternada parece ser igual ao Tipo 2, mas tem uma diferença: o Tipo 2 usa plugues fêmea no cabo e macho no veículo, enquanto o GB/T é o contrário.

	GB/T 2034.2-2011 AC	GB/T 2034.3-2011 DC
Corrente:	32A	250A
Voltagem:	220V-440V AC	400V-750 DC
Potência:	3,52kW-14,08kW	50kW-187,5kW

Figura 25 - Conector SAE J1772 DC Combo 1 Tipo 1



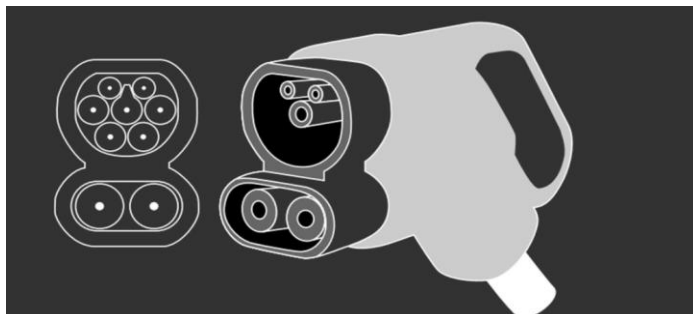
A tomada de Tipo 1 AC foi adotada pelos primeiros híbridos e elétricos nos Estados Unidos, evoluindo para a versão CCS Combo Tipo 1. Nada mais é do que o conector do Tipo 1, mas com dois contatos extras de corrente contínua na parte de baixo. Isso faz com que tenha compatibilidade com as estações de recarga em corrente alternada e, alguns casos usando um adaptador. No Brasil, apenas um carro utiliza esta tomada: o Chevrolet Bolt.

Corrente: 200A

Voltagem: 200V-600V DC

Potência: 125kW de potência máxima

Figura 26 - Conector EU DC CCS Combo 2 Tipo 2



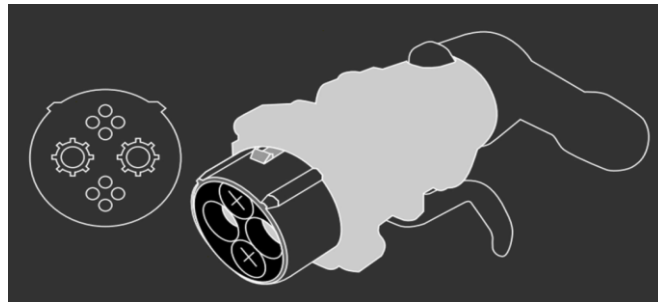
O conector Tipo 2 ganhou duas entradas para corrente contínua e foi batizado como CCS Combo Tipo 2. O princípio é o mesmo, sendo compatível com as tomadas Tipo 2. É o conector mais moderno e o mais usado na Europa. Todos os híbridos plug-in e elétricos vindos da Europa usam este tipo de conector.

Corrente: 200A

Voltagem: 200V-850V DC

Potência: 13kW-170kW

Figura 27 - Conector Chademo Yazaki



Este é o padrão japonês que no Brasil é utilizado no Nissan Leaf. Surgiu em 2010 e foi proposto pelas cinco grandes japonesas Honda, Nissan, Mitsubishi, Subaru e Toyota, com intenção de se tornar padrão mundial, mas ficou restrito ao Japão.

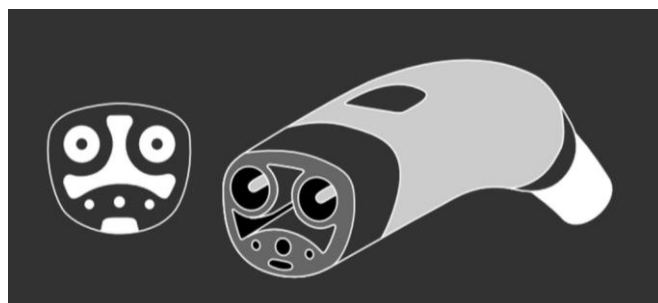
Embora esteja disponível em muitos postos de recarga pelo Brasil que usam também as tomadas CCS Tipo 2 e Tipo 2, alguns carros japoneses também contam com uma segunda tomada de outro padrão, como é o caso do Leaf, que tem um segundo plugue do Tipo 1 no Brasil.

Corrente: 100A-200A

Voltagem: 500V DC

Potência: 60kW

Figura 28 - Conector Tesla



É um conector exclusivo, desenvolvido pelo fabricante para o Supercharger. As estações residenciais com corrente alternada fornecem até 19,26 kW em 110V e 240V, enquanto os Superchargers usam corrente contínua e uma potência de até 250 kW.

A marca oferece adaptadores para Tipo 1 e CHAdeMO. Em vários Países a Tesla também fornece conectores CCS Tipo 2.

Corrente: 12A-80A monofásico e trifásico 250A DC

Voltagem: 110V-240V AC e 500V DC

Potência: 13,2kW-19,26kW e 250kW DC

No Brasil, os carros elétricos vendidos atualmente usam cinco tipos de conectores:

- SAE Tipo 1
- Tipo 2 AC
- CCS Tipo 2
- CHAdeMO
- GB/T

Esta variedade já causa alguns problemas, pois as estações de recarga instaladas em algumas estradas e locais específicos, como os pontos na Rodovia Presidente Dutra, oferecem apenas as tomadas Tipo 2 AC, CCS Tipo 2 e CHAdeMO, enquanto os postos em alguns shoppings e supermercados são limitadas ao plugue Tipo 2 AC.

Neste capítulo foram abordadas questões relativas à geração fotovoltaica, como parte integrante da matriz de geração renovável, seja pela questão de redução da emissão de carbono como pelo fato de trata-se de uma fonte inesgotável, aplicação de um projeto de Minigeração FV e VEs em Microrede Inteligente no Rio de Janeiro, bem como aplicação V2G no fornecimento de energia para a rede elétrica.

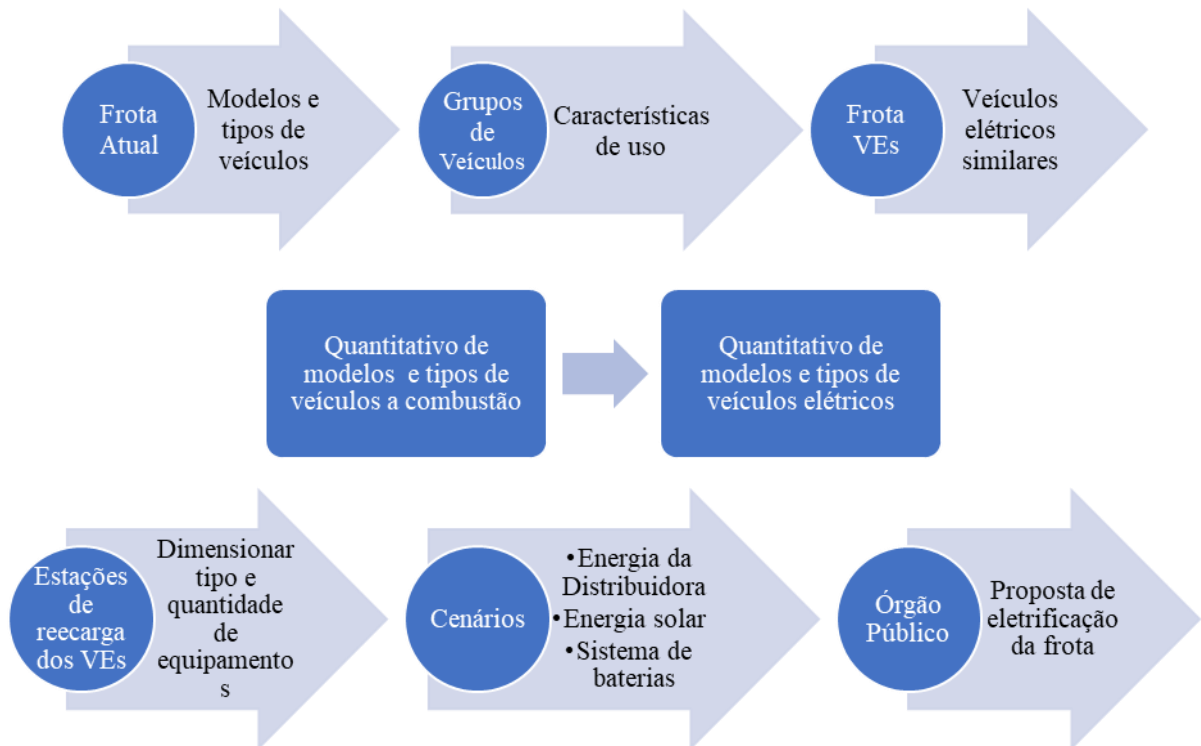
Aplicações do armazenamento de energia em baterias desde um sistema residencial e até no sistema elétrico como complementação de energia e na compensação da intermitência de geração de fontes renováveis como solar e eólica.

Caracterização dos três tipos de veículos elétricos comercializados até o momento, bem como os tipos de conectores utilizados pelos veículos para recarga da bateria.

4 METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia com as macros etapas do processo de eletrificação da frota para Órgãos Públicos está representado o na Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma do processo



A metodologia desenvolvida para a avaliação da substituição de veículos com motor a combustão por veículos elétricos similares em Órgãos Públicos permite avaliar o impacto financeiro, sob o ponto de vista energético, com base nos dados da frota atual e análise dos resultados.

4.1 FROTA ATUAL

- Selecionar os veículos da frota atual a serem substituídos;
- Estabelecer o período de apuração dos dados da frota, para o processo de avaliação;
- Levantamento dos dados de quilometragem percorrida pelos veículos;
- Levantamento dos dados de despesas com combustíveis;
- Levantamento dos dados de despesas com manutenções.

4.2 GRUPOS DE VEÍCULOS

- Estabelecer grupos de veículos, observando modelos, tipos e características de uso;
- Por grupo, listar todos os veículos com a quilometragem percorrida, despesas com combustível e manutenção de cada veículo.

4.3 FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

- Para definir os veículos elétricos similares devem ser observadas as características como tipo de utilização, autonomia, capacidade de carga e de pessoas no caso de veículos de transporte de passageiros, similares a frota existente.

4.4 ESTAÇÕES DE RECARGA

- Estabelecer a frequência de recargas e a quantidade de veículos;
- Energia requerida para a recarga das baterias de cada VE, considerando autonomia das baterias e a quilometragem média percorrida pelo veículo da frota atual à substituir;
- Avaliar a infraestrutura de recarga para atendimento dos VEs, inclusive a necessidade de equipamentos de recarga rápida, em função do elevado custo e infraestrutura elétrica necessária.

4.5 CENÁRIOS

- Apurar o custo atual do kWh da unidade de consumo para o período de faturamento analisado, conforme contrato vigente com a Distribuidora;
- Estabelecer cenários para o processo de recarga dos veículos elétricos. As alternativas podem ser desde recarga aleatória, ou seja, sempre que o usuário desejar, inclusive em horário de ponta, uso de fonte de geração de energia própria e utilização de sistema de armazenamento de energia nas instalações da unidade de consumo, entre outras;

4.6 ELETRIFICAÇÃO DA FROTA

- Com base na quilometragem média percorrida no período, de cada veículo a combustão, fazer comparativo de custos de recargas com o veículo elétrico similar;
- Analisar os resultados obtidos na simulação de eletrificação da frota;
- Aplicar a Equação 1 para priorização do processo de substituição.

4.7 FATORES RELEVANTES DE GOVERNANÇA

- Identificar os veículos com maiores custos de combustível, manutenção, indisponibilidade e ociosidade;
- Analisar a redução de custos com a eletrificação da frota, para cada cenário considerado;
- Avaliar custos com aquisição e instalação de equipamentos de recarga rápida;
- Avaliar custos com adequações da rede elétrica da unidade consumidora para atendimento da carga dos equipamentos de recarga das baterias dos VEs;
- Contrato de fornecimento de energia elétrica atual: Revisar as condições atuais de contratação em função da eletrificação da frota.

O Payback simples tem como objetivo sinalizar a ordem de prioridade para o processo de eletrificação da frota, através da Equação 1, composta por quatro termos.

O cálculo de Payback tem como referência os custos relativos entre VE e VCI zero quilometro, informado pelas montadoras, e o valor de venda dos veículos a combustão a tabela FIPE, embora o processo de compra dos Órgãos Públicos seja através de processo Licitatório, e a venda por Leilão público.

$$\sum_{i=1}^j \left\{ \left(\sum_{t=1}^n GC \, vc_i - \sum_{t=1}^n GE \, ve_i \right) + \left(\sum_{t=1}^n IPVA \, vc_i - \sum_{t=1}^n IPVA \, ve_i \right) + \left(\sum_{t=1}^n MAN \, vc_i - \sum_{t=1}^n MAN \, ve_i \right) - (CUSTO \, ve_i - CUSTO \, vc_i) + VENDA \, vcif + MAN \, vcif \right\} \geq 0$$

Onde:

i = i-ésimo veículo, sendo que i=1, ..., j;

t = número de anos necessários para que o resultado da equação seja maior do que zero,

sendo que $t = 1, \dots, n$;

GC vci = Primeiro termo:despesas anuais de combustível de veículo a combustão;

GC vei = Primeiro termo:despesas anuais de energia elétrica relativa a recargas de veículo elétrico;

IPVA vci = Segundo termo:despesas anuais com licenciamento de VCIs;

IPVA vei = Segundo termo:despesas anuais com licenciamento de VEs;

MAN vci = Terceiro termo:despesas anuais de manutenções de VCIs;

MAN vei = Terceiro termo:despesas anuais de manutenções de VEs;

MAN vcif = Quarto termo:despesas anuais de manutenções dos VCIs substituídos;

CUSTO vei = Quarto termo: valor do veículo elétrico zero quilometro;

CUSTO vci = Quarto termo: valor do veículo a combustão zero quilometro;

VENDA vcif = Quarto termo: valor de venda dos veículos a combustão substituídos.

As despesas de manutenção (MAN vcif) dos veículos substituídos devem ser consideradas como um custo evitado e, o valor de venda (VENDA vcif) como redução do investimento de aquisição, ambos decorrentes das substituições de veículos da frota atual.

5 ESTUDO DE CASO

O trabalho tem como objetivo principal identificar o impacto econômico da substituição da frota de veículos a combustão por elétricos em Órgãos Públicos, sob o ponto de vista do consumo energético.

O Órgão Público deste estudo está subordinado ao Ministério da Defesa. Trata-se da ALA 4, Unidade da Base Aérea localizada na cidade de Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul, que tem uma frota de 47 veículos, excluindo os veículos especiais, tratores e motocicletas.

Os dados e informações utilizados correspondem ao período de janeiro a dezembro de 2019.

5.1 CONTRATO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A unidade consumidora é atendida em MT – 13,8kV, pela Distribuidora RGE e possui rede interna de 13,8 kV com subestações MT/BT distribuídas pela Unidade, conforme distribuição das cargas.

A Base Aérea de Santa Maria está entre os maiores consumidores da Distribuidora na região.

A planta solar de 125 kW entrou em operação no primeiro trimestre de 2020. Assim, para realização do trabalho serão utilizados os registros de consumo e demanda de energia faturados pela Distribuidora em 2019, sem ter em conta a revisão de contrato que deverá ocorrer no segundo semestre de 2020.

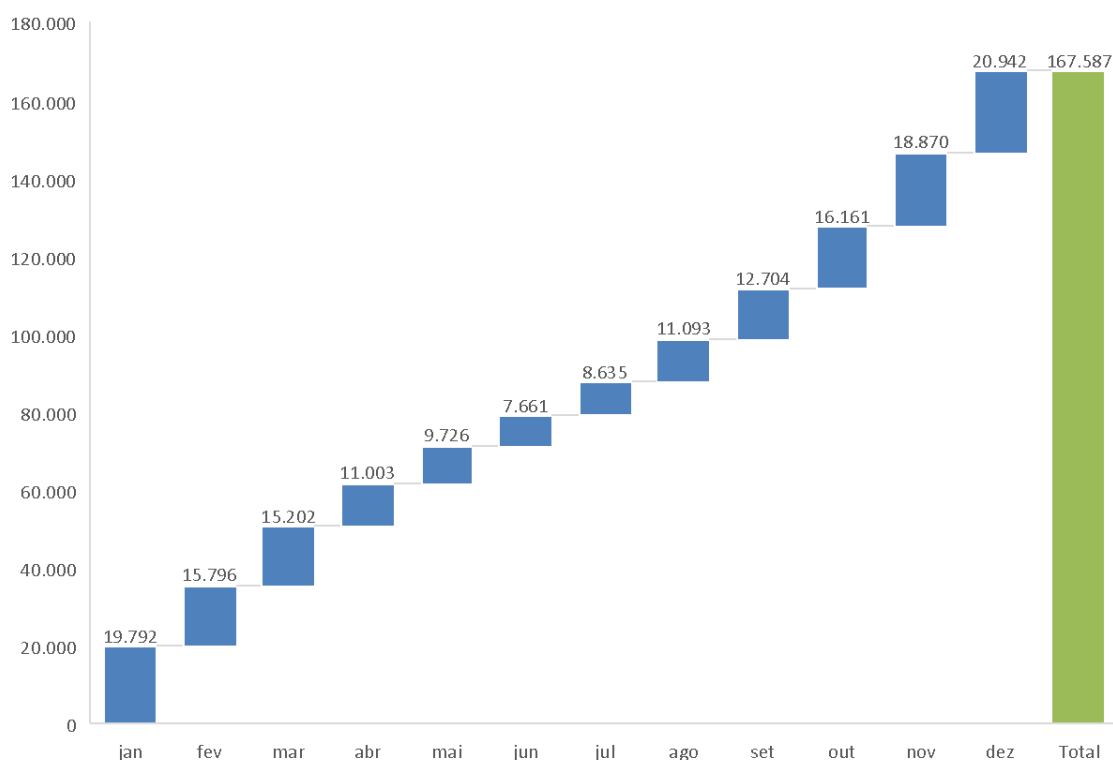
Para o período considerado, o consumo médio mensal na ponta foi de 21.875,45 kWh/mês e fora de ponta de 219.618,55 kWh/mês.

As condições vigentes do contrato de fornecimento de energia, bem como demais taxas e impostos, o valor médio mensal da fatura de energia elétrica é R\$ 174.529,09.

Portanto, o custo médio do kWh é de R\$ 0,72/kWh. Esse será o referencial para recarga das baterias através da energia fornecida pela Distribuidora.

O planejamento da geração solar estimado para 2020 está representado no gráfico da figura 30:

Figura 30 - Planejamento da geração FV [kWh] – 2020



Fonte: Dados de planejamento do Projeto de Eficiência energética da ANEEL, aprovado pela RGE.

Para a frota avaliada, a base do estudo utilizou-se dos dados de relatórios de controle interno da Base Aérea que constam informações do tipo de veículo, modelo, quilometragem percorrida no período, tipo de combustível usado, consumo médio e total de despesas com combustíveis de janeiro a dezembro de 2019 dos veículos a combustão.

A análise econômica com base nos custos comparativos de abastecimento e recarga visa demonstrar que a substituição da frota de veículos de motores a combustão pode ser uma alternativa para redução significativa nos custos do orçamento de OPEX e, ao mesmo tempo contribuir com o meio ambiente para redução dos GEE.

5.2 FROTA DE VEÍCULOS ATUAL DA BASE AÉREA

A frota de veículos da Unidade da Base Aérea em Santa Maria-RS é constituída por uma grande diversidade de veículos automotores, necessários para o atendimento do transporte de pessoal, serviços de manutenção geral das instalações prediais, infraestrutura, laboratórios técnicos, hospital e manutenção de aeronaves, entre outras atividades.

A frota existente foi dividida em cinco grupos:

- Ambulância
- Automóvel
- Carga
- Passageiros
- Utilitários

5.3 QUILOMETRAGEM MÉDIA ANUAL POR TIPO DE VEÍCULO

A segregação da frota permite agrupar os veículos em função das principais características de uso e representatividade, no que se refere a quilometragem percorrida durante o ano de 2019.

Tabela 1 - Quilometragem média anual por grupo de veículos

Grupo	km
Ambulância	12.177
Automóvel	37.465
Carga	33.686
Passageiros	136.603
Utilitários	70.125
Total	290.056

Como pode ser observado na Tabela 1, o grupo de Passageiros é o mais representativo, com uma quilometragem percorrida representando 47,1% do total e, o grupo de Utilitários com 24,1%. O transporte de passageiros é constituído por ônibus e micro-ônibus e Vans para o deslocamento dos militares para a unidade, de diferentes pontos da cidade.

5.4 CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS

As tabelas abaixo apresentam os consumos médios por grupo de veículos da frota com motores a combustão avaliados para desenvolvimento do trabalho, no período de janeiro a dezembro de 2019.

A tabela 2 se refere ao consumo de combustível de cada veículo do grupo das Ambulâncias.

Tabela 2 - Consumo médio por veículo

Ambulância	Modelo	Consumo (km/l)
PEUGEOT	BOXER	5,64
FORD	F4000	3,07
PEUGEOT	2.8HDI	7,12
PEUGEOT	BOXER	6,50

Exceto a Ford – F4000, os veículos Peugeot apresentam um consumo médio de combustível adequado para suas características e potência. Os quatro veículos percorreram 12.177 quilômetros no período analisado.

A tabela 3 se refere ao consumo de combustível de cada veículo do grupo dos automóveis.

Tabela 3 - Consumo médio de combustível por veículo

Automóvel	Modelo	Consumo (km/l)
RENAULT	SANDERO	11,97
FIAT	UNO	10,36
FIAT	UNO	11,15
GM	ASTRA	9,81
RENAULT	LOGAN	9,83
NISSAN	SENTRA	9,12

O consumo médio dos automóveis está dentro da média, sendo que os 6 veículos percorreram 37.465 quilômetros nesse período. Este grupo está em terceiro lugar no comparativo de quilometragem anual da frota atual.

A Tabela 4 se refere ao consumo de combustível de cada veículo do grupo de carga.

Tabela 4 - Consumo médio de combustível por veículo

Carga	Modelo	Consumo (km/l)
FORD	1319	5,15
FORD	816 S	2,26
FORD	CARGO 2629	2,32
MERCEDES		3,91
IVECO	VERTIS	5,05
IVECO	VERTIS	4,39
IVECO	VERTIS	4,44
IVECO	VERTIS	4,56
MERCEDES-BENZ	ATEGO 1726	3,07
MERCEDES-BENZ	ATEGO 1726	3,09
MERCEDES-BENZ	ATEGO 1726	3,08

Em geral os caminhões apresentam um consumo mais elevado que utilitários e veículos leves.

No Caso da frota da Base Aérea, os 11 caminhões percorreram 33.686 km no período, com quilometragem anual inferior a 3.500 quilômetros médios por veículo.

Provável que estes veículos percorram pequenas distâncias na área urbana, o que não contribui para um resultado mais favorável.

A tabela 5 se refere ao consumo de combustível de cada veículo do grupo de transporte de passageiros.

Tabela 5 - Consumo médio de combustível por veículo

Passageiros	Modelo	Consumo (km/l)
MARCOPOLO	VOLARE W9	4,97
MARCOPOLO	VOLARE W9	5,23
MARCOPOLO	VOLARE W9	5,28
VOLKSWAGEN	APACHE	2,81
COMIL		3,33
VOLKSWAGEN	KOMBI	3,21
VOLKSWAGEN	KOMBI	7,21
VOLKSWAGEN	KOMBI	8,27
VOLKSWAGEN	KOMBI	8,96
VOLKSWAGEN	KOMBI	10,10
VOLKSWAGEN	KOMBI	9,46
VOLKSWAGEN	KOMBI	9,83
FIAT	DOBLO	9,78
FIAT	FIORINO	8,64
PEUGEOT	BOXER	9,04
PEUGEOT	BOXER	9,78
RENAULT	MASTER	7,80

O grupo de veículos destinados a transporte de pessoal tem o maior número de unidades entre os cinco grupos, destinados ao deslocamento dos militares entre a cidade e a Unidade Militar, diariamente.

Os 17 veículos percorreram 136.603 km no período de um ano, com cerca de 8.035 quilômetros médios por veículo, sendo o mais representativo em gastos com combustíveis.

A Tabela 6 se refere ao consumo de combustível de cada veículo do grupo utilitários

Tabela 6 - Consumo médio de combustível por veículo

Utilitários	Modelo	Consumo (km/l)
FORD	RANGER	7,15
FORD	RANGER	6,61
GM	S10	9,86
NISSAN		9,68
MITSUBISHI	L200	9,69
MITSUBISHI	L200	10,99
FORD	COURRIER	10,03
FORD	COURRIER	10,02
GM	MONTANA	9,35

O grupo de veículo utilitários, considerados de porte médio são utilizados nos serviços de manutenção da Unidade Militar, transportando pessoas e materiais leves.

O consumo médio pode ser considerado razoável para o tipo de veículo, sendo que em média cada veículo percorreu cerca de 7.791 quilômetros, totalizando 70.125 km no ano.

5.5 CUSTOS DE ABASTECIMENTO POR TIPO DE VEÍCULO

A tabela 7 se refere às despesas financeiras com combustíveis ano de 2019, por grupo de veículos.

Tabela 7 - Custos de abastecimento médio anual

Grupo	Combustível (R\$)
Ambulância	7.171,06
Automóvel	14.505,58
Carga	33.956,15
Passageiros	78.218,67
Utilitários	26.913,77
Total	160.765,23

O grupo de Passageiros tem participação de 48,6% nos custos de combustíveis e o de Carga com 21,1%, resultado da baixa média de km/litro, que é uma característica de caminhões, em geral.

5.6 VEÍCULOS ELÉTRICOS SIMILARES

A identificação de veículos elétricos similares à frota existente da Base Aérea é uma das etapas necessárias para avaliar e identificar aqueles que atendem as necessidades da Unidade Militar, associando a autonomia das baterias dos veículos elétricos equivalentes como um fator relevante.

Priorizando adotar como referência veículos elétricos comercializados no Brasil atualmente, foi possível identificar os equivalentes elétricos para mais de 90% do total da frota de veículos com motores a combustão, mantendo como condição as principais características dos veículos de motores a combustão selecionados e o mais próximo possível das condições de uso.

No grupo Ambulância optou-se pelo BYD-T3 100, no grupo Automóveis onde existe

um número mais expressivo de opções foram selecionados os veículos Nissan-Leaf, BYD-e5, Renault-Zoe, GM-Volt e JAC-iEV20. Para transporte de carga o caminhão BYD-eT7 11.200, para transporte de passageiros em função do número de passageiros foram selecionados Volare-Access-e, BYD-D9We Peugeot-e-Traveler, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Frota de veículos da Base Aérea compatíveis com similares elétricos





Descrição		Veículos combustão - Frota atual			VEs equivalentes			Bateria kWh
		Modelo	Marca	Quantidade veículos	Modelo	Montadora	Autonomia	
Ambulância	Ambulância			4	T3 100	BYD	300	48
Automóvel	Automóvel	Astra	GM	1	Leaf	Nissan	240	40
	Automóvel	Logan	Renault	1	e-5	BYD	300	47,5
	Automóvel	Sandero	Renault	1	Zoe	Renault	300	41
	Automóvel	Sentra	Nissan	1	Bolt	GM	416	66
	Automóvel	Uno	Fiat	1	iEV20	JAC Motors	400	41
	Automóvel	Uno	Fiat	1	iEV20	JAC Motors	400	41
Carga	Caminhão			11	eT7 11.200	BYD	200	160,6
Passageiros	Micro-ônibus			3	Access-e	Volare	250	162
	Ônibus			3	D9W	BYD	300	324
	Van	Kombi	VW	6	e-Traveler	Peugeot	330	75
	Van			3	Access-e	Volare	250	162
	Van		Fiat	2	e-Traveler	Peugeot	330	75
Utilitário	Picape			9	iEV330P	JAC Motors	320	67

5.7 TIPOS DE CARREGADORES PARA BATERIAS DE VEs

O sistema de recarga das baterias do VEs será conectado à rede de média tensão, através de transformador dedicado da rede particular da Unidade, solução mais recomendada por resultar em menor impacto em todas as métricas elétricas (ANDRADE et al., 2020).

- Lento: o tempo de carregamento é superior a 6h.
- Acelerado: o tempo de carregamento é de 1 a 6h. Recomendados para espaços públicos, vias públicas, shoppings centers, centros comerciais, estacionamentos e outros.
- Rápido: o tempo de carregamento geralmente é de 30 minutos para atingir 80% da carga da bateria e 1h para 100%. Recomendado para rodovias, ponto de taxi e vias públicas em geral.

Tabela 9 - Modelos comerciais para recarga de baterias de VEs

	Modo 1 (CA)	Modo 2 (CA)	Modo 3 (CA)	Modo 4 (CC)
Modelos				
Tensão Máx. (V)	250 - 1Φ 480 - 3Φ	250 - 1Φ 480 - 3Φ	250 - 1Φ 480 - 3Φ	até 500
Corrente Máx. (A)	13 a 16	até 32	16 a 32 3 a 7,4 - 1Φ	até 200
Potência Máx. (kW)	1,9	até 19,2	19,2 - 1Φ 50 - 3Φ	até 100

Fonte: IEC 61851-1.

5.8 PONTOS DE RECARGA

A Unidade Consumidora ALA 4 é atendida pela Distribuidora RGE em média tensão. A rede interna conta com SEs 13,8 kV-380/220 V, distribuídas para atendimento das cargas requeridas nos prédios que contemplam instalações administrativas, laboratórios, instalações das equipes de manutenção, instalações de manutenção de aeronaves, dormitórios, refeitórios e hospital.

Os equipamentos de recarga serão instalados em circuitos de baixa tensão exclusivos, a partir da subestação transformadora de MT.

Para dimensionar a quantidade e tipo de carregadores, utilizou-se a quilometragem média diária no período estudado, para cada veículo e no grupo correspondente.

A partir destes dados e, considerando a autonomia necessária para uma Unidade Militar que precisa estar preparada para situações de contingência, foram estabelecidas as condições de recarga das baterias, para cada grupo de veículos, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Quilometragem média diária dos veículos e recarga de baterias

Grupo	Quilometragem média diária de cada veículo da frota (km)					Autonomia bateria (km)	Recarga semanal
	Até 30	31 a 40	41 a 50	51 a 70	71 a 90		
Ambulância	4					300	1
Automóvel	5		1			300	1
Carga	11					200	2
Passageiros	9	3	4		1	250	2
Utilitários	5	2		2		320	2

A partir destas informações, com base na autonomia da bateria dos veículos estabeleceu-se a frequência de recargas semanais recomendadas.

A frota de elétricos da Base Aérea conta com apenas 8 veículos que necessitam de uma recarga completa semanalmente.

Ainda, considerando tratar-se de uma instalação militar e, nesta condição ser necessário que os veículos estejam preparados para situações de contingências, considerou-se um coeficiente de segurança de 25%, e assim sinalizando que o requisito passa ser a previsão de recarga completa semanal de até 10 veículos.

Tabela 11 - Tempo médio de recarga dos VEs

Veículos	40 kW AC	22 kW AC	7,4 kW AC
Zoe	1h	2h15min	6h54min
iEV20	1h	2h	6h
Leaf	1h	2h	8h
Bolt	1h45min	3h	10h
e-5	1h15min	2h	7h
T3-100	1h15min	2h30min	7,2h
eT7 11200	4h	9h	
iEV 330P	1h40min	3h	9h
Acess-e	4h	9h	
D9W	4h*	7h*	
e-Traveler	1h45min	3h30min	10h

Considerando que se trata de uma instalação militar, a utilização dos carregadores nas potências de 1,8 e 3,7 kW poderá ser uma alternativa eventual, em função do tempo necessário para carga completa do VE. A opção inicial será por menor tempo de carga, utilizando equipamentos de 40kWAC, 22kWAC e 7,4kWAC. Os carregadores de 40kW AC, tem como principal objetivo atender a recarga dos ônibus D9W em um tempo razoável para as baterias de 324kWh.

Os carregadores serão instalados nas proximidades das áreas de estacionamento, levando em consideração a potência das baterias dos veículos, frequência de recargas semanais e tempo máximo de carga completo, visando atender aos requisitos de uma instalação militar.

Pontos de recarga na Unidade:

- 2 carregadores de 40kW na área de estacionamento dos veículos de transporte de passageiros
- 1 carregador de 22kW na área de estacionamento dos veículos de carga
- 1 carregador de 7,4kW na área de estacionamento das Ambulâncias
- 1 carregador de 7,4kW na área de estacionamento dos Automóveis
- 1 carregador de 7,4kW na área de estacionamento dos veículos utilitários

5.9 SUBSTITUIÇÃO DA FROTA POR VEs

Considerando que a Unidade Militar tem uma planta de geração fotovoltaica, serão analisados os seguintes cenários para substituição da frota atual por veículos elétricos:

- Sistema de recarga das baterias através da energia elétrica fornecida pela Distribuidora;
- Sistema de recarga das baterias exclusivamente com energia produzida pela geração fotovoltaica.

5.10 CENÁRIO BASE – RECARGA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS COM FORNECIMENTO DA DISTRIBUIDORA

Este cenário considera a substituição da frota atual por veículos elétricos, e o sistema de recarga de baterias dos VEs através da energia elétrica fornecida pela Distribuidora à rede elétrica interna de média tensão da Base Aérea.

Tabela 12 - Grupo Ambulância

Frota atual - Ambulâncias						Veículos elétricos equivalentes						
Modelo	Marca	Combustível	Quilômetros rodados		Consumo		Modelo	Montadora	Autonomia	Quilômetros rodados ano	Consumo	
			Ano	Média/dia veículo	km/l	R\$					km/kWh	R\$
	Peugeot	Diesel	7.316	29	5,64	4.410						
F4000	Ford	Diesel	397	2	3,07	440	T3 100	BYD	300	12.177	5,96	1.471
2.8HDI	Peugeot	Diesel	307	1	7,12	147						
Boxer	Peugeot	Diesel	4.157	17	6,50	2.174						
Total			12.177			7.171				12.177		1.471

Tabela 13 - Grupo Automóvel

Frota atual - Automóveis						Veículos elétricos equivalentes						
Modelo	Marca	Combustível	Quilômetros rodados		Consumo		Modelo	Montadora	Autonomia	Quilômetros rodados ano	Consumo	
			Ano	Média/dia veículo	km/l	R\$					km/kWh	R\$
Sandero	Renault	Bicombustível	7.431	30	11,97	2.527	Zoe	Renault	300	7.431	7,32	
Uno	Fiat	Bicombustível	3.196	13	10,36	1.256	iEV20	JAC Motors	400	3.196	9,70	
Uno	Fiat	Bicombustível	11.494	46	11,15	4.196	iEV20	JAC Motors	400	11.494	9,70	3.570
Astra	GM	Bicombustível	6.676	27	9,81	2.770	Leaf	Nissan	240/389*	6.676	6,00	
Logan	Renault	Bicombustível	3.421	14	9,83	1.416	e-5	BYD	300	3.421	6,32	
Sentra	Nissan	Bicombustível	5.247	21	9,12	2.342	Bolt	GM	416	5.247	6,30	
Total			37.465			14.506				37.465		3.570

Tabela 14 - Grupo Carga

Frota atual - Caminhões							Veículos elétricos equivalentes					
Modelo	Marca	Combustível	Quilômetros rodados		Consumo		Modelo	Montadora	Autonomia	Quilômetros rodados ano	Consumo	
			Ano	Média/dia veículo	km/l	R\$					km/kWh	R\$
1319	Ford	Diesel	4.282	17	5,15	2.827						
816 S	Ford	Diesel	1.412	6	2,26	2.124						
Cargo 2629	Ford	Diesel	4.233	17	2,32	6.204						
	Mercedes Benz	Diesel	1.239	5	3,91	1.077						
	Iveco	Diesel	2.779	11	5,05	1.871						
Vertis	Iveco	Diesel	1.941	8	4,39	1.503	eT7	BYD	200	33.686	1,25	19.403
	Iveco	Diesel	643	3	4,44	492	11.200					
	Iveco	Diesel	3.033	12	4,56	2.261						
	Mercedes Benz	Diesel	4.877	19	3,07	5.401						
Atego 1726	Mercedes Benz	Diesel	3.656	15	3,09	4.023						
	Mercedes Benz	Diesel	5.591	22	3,08	6.172						
Total			33.686			33.956				33.686		19.403

Tabela 15 - Grupo Passageiros

Frota atual - Micro-Ônibus, Ônibus e Utilitários							Veículos elétricos equivalentes						
Descrição	Modelo	Marca	Combustível	Quilômetros rodados		Consumo		Modelo	Montadora	Autonomia	Quilômetros rodados ano	Consumo	
				Ano	Média/dia veículo	km/l	R\$					km/kWh	R\$
Micro-ônibus	Volare W9	MarcoPolo	Diesel	1.925	8	4,97	1.317						
	Volare W9	MarcoPolo	Diesel	6.005	24	5,23	3.904	Access-e	Volare	250	12.296	1,54	5.737
Ônibus	Volare W9	MarcoPolo	Diesel	4.366	17	5,28	2.811						
	Apache	Volkswagen	Diesel	12.548	50	2,81	15.183						
		Comil	Diesel	7.591	30	3,33	7.751	D9W	BYD	300	23.246	0,93	18.076
		Volkswagen	Diesel	3.107	12	3,21	3.291						
	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	11.086	44	7,21	6.258						
	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	2.103	8	8,27	1.035						
	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	6.194	25	8,69	2.901						
	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	21.958	87	10,10	8.848						
	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	11.825	47	9,46	5.088	e-Traveler	Peugeot	330	82.601	4,4	13.517
Utilitário	Kombi	Volkswagen	Bicombustível	12.104	48	9,83	5.012						
	Doblo	Fiat	Bicombustível	7.872	31	9,78	3.276						
	Fiorino	Fiat	Bicombustível	9.459	38	8,64	4.456						
	Boxer	Peugeot	Diesel	2.344	9	9,04	882						
	Boxer	Peugeot	Diesel	9.261	37	9,78	3.220	Volare	Volare	250	18.460	1,54	8.631
	Master	Renault	Diesel	6.855	27	7,80	2.988						
Total				136.603			78.219				136.603		45.960

Tabela 16 - Grupo Utilitários

Frota atual - Camionetas							Veículos elétricos equivalentes					
Modelo	Marca	Combustível	Quilômetros rodados		Consumo		Modelo	Montadora	Autonomia	Quilômetros rodados ano	Consumo	
			Ano	Média/dia veículo	km/l	R\$					km/kWh	R\$
Ranger	Ford	Diesel	4.679	19	7,15	2.225						
Ranger	Ford	Diesel	5.693	23	6,61	2.928						
S10	GM	Diesel	6.515	26	9,86	2.247						
	Nissan	Diesel	1.055	4	9,68	371						
L200	Mitsubishi	Diesel	15.923	63	9,69	5.587	iEV330P	JAC Motors	320	70.125	4,77	10.585
L-200	Mitsubishi	Diesel	14.795	59	10,99	4.577						
Courrier	Ford	Bicombustível	9.330	37	10,03	3.786						
Courrier	Ford	Bicombustível	3.060	12	10,02	1.243						
Montana	GM	Bicombustível	9.075	36	9,35	3.950						
Total			70.125			26.914				70.125		10.585

Tabela 17 – Resultados

Grupo	Quilometragem	Veículos Combustão	Veículos Elétricos	Economia
		Combustível	Recargas	
	Km	R\$	R\$	R\$
Ambulância	12.177	7.171	1.471	5.700
Automóvel	37.465	14.506	3.570	10.936
Carga	33.686	33.956	19.403	14.553
Passageiros	136.603	78.219	45.960	32.259
Utilitários	70.125	26.914	10.585	16.329
Total	290.056	160.765	80.989	79.776

5.11 CENÁRIO FV - RECARGA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS COM ENERGIA DA PLANTA SOLAR

A energia FV gerada pela planta da Base Aérea contribui para a redução do custo médio de despesas com energia elétrica. Considerando o histórico de quilometragem da frota em 2019 e o consumo médio de energia elétrica por quilômetro, a energia elétrica requerida para os abastecimentos de VEs no período seria de 112.543 kWh.

Tabela 18 – Resultados

Grupo	Quilometragem	Veículos Combustão	Veículos Elétricos	Economia
		Combustível	Recargas	
	Km	R\$	R\$	R\$
Ambulância	12.177	7.171	0,00	7.171
Automóvel	37.465	14.506	0,00	14.506
Carga	33.686	33.956	0,00	33.956
Passageiros	136.603	78.219	0,00	78.219
Utilitários	70.125	26.914	0,00	26.914
Total	290.056	160.765	0,00	160.765

5.12 RECARGA DOS VES COM ENERGIA ARMAZENADA EM SISTEMA DE BATERIAS - ESS

Os veículos elétricos são "verdes", desde que a fonte de eletricidade também seja "verde". A produção de energia fotovoltaica (FV) sofre de variações diurnas e sazonais, criando a necessidade de tecnologia de armazenamento de energia para manter um fornecimento constante (BAUER & MOULI, 2020).

Considerando que a Unidade deve estar preparada para situações de contingência é prudente planejar o armazenamento de energia elétrica para que os veículos possam rodar, sem restrições, se ocorrer algum problema mais grave no fornecimento de energia elétrica. Assim,

será considerada a quilometragem média diária de cada veículo, autonomia estimada pela capacidade da bateria do VE e a possibilidade de recargas de até 70% das baterias de alguns veículos, para um período de até 3 dias, em situação crítica de fornecimento de energia elétrica.

Com base na quilometragem diária, finalidade de uso do veículo e autonomia foi calculada energia requerida para que seja estabelecido qual será a capacidade do banco de baterias, conforme a tabela 19.

Tabela 19 - Dimensionamento do sistema baterias para armazenamento de Energia Elétrica

Veículos	Quantidade	Energia (kWh)	Demanda (kW)		
			Recarga 1h	Recarga 2h	Recarga 4h
Automóvel	1	34	34	17	8
Carga	3	288	288	144	72
Passageiros	2	340	340	170	85
Utilitários	2	94	94	47	23
Total	8	756	756	378	189

Conforme a estratégia de recarga dos VEs a ser estabelecida pela Unidade Militar e, dependendo das condições climáticas, o armazenamento de energia para o banco de baterias poderá também ser realizado com energia gerada pela planta solar existente de 125 kW.

A Viabilidade do sistema de armazenamento, em termos futuros, passa pela redução do custo das baterias e implementação de uma estratégia que atenda aos requisitos da Base Aérea.

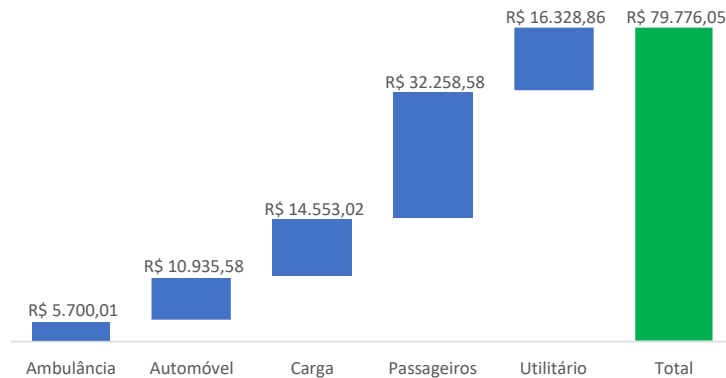
Atualmente o custo médio do kWh de armazenamento em baterias, incluindo os custos de importação e taxas está na faixa de R\$ 4.000,00 (EPBR 2021). Assim, a estratégia de dimensionamento do armazenamento de energia elétrica para recarga dos VEs, em eventuais emergências, tem um custo muito elevado e não será considerado no estudo de caso.

5.13 RESULTADOS OBTIDOS

5.13.1 Cenário base - Recarga do veículo elétrico com fornecimento da distribuidora

A exemplo do que foi apresentado na da Revisão Bibliográfica, o grupo de transporte de passageiros representa 40,44% da economia total e, ao incluir o grupo de carga a participação destes dois segmentos é de 56,68%. A redução apresentada no segmento que pode ser denominado transporte de carga e passageiros, é de grande relevância e está aderente à representatividade apresentada nos estudos do PDE 2029.

Figura 31 - Economia anual com veículos elétricos – Cenário Base



Fonte: Autor.

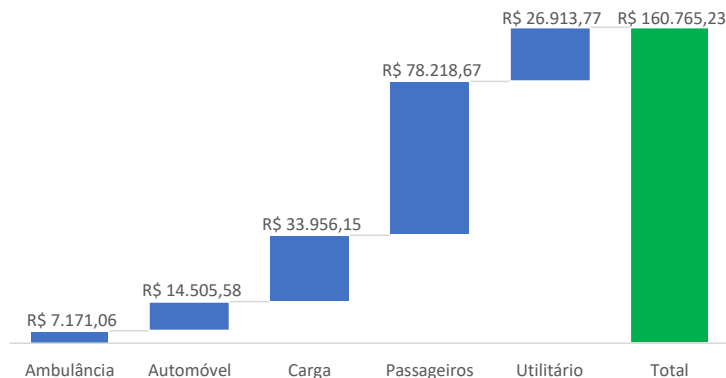
A substituição da frota por VE com processo de recarga através da energia fornecida pela Distribuidora, representa uma redução de custos de R\$79.776,05.

A economia anual com despesas de combustíveis é de 49,6%.

5.13.2 Cenário FV - Recarga dos veículos elétricos com energia da planta solar

A energia FV gerada pela planta da Base Aérea contribui para a redução do custo médio de despesas com energia elétrica. Considerando o histórico de quilometragem da frota em 2019 e o consumo médio de energia elétrica por quilômetro, a energia elétrica requerida para os abastecimentos de VEs no período seria de 112.543 kWh.

Figura 32 - Economia com recarga dos VEs com uso de energia Solar



Fonte: Autor.

A planta de geração fotovoltaica de 125 kWp tem capacidade para gerar cerca de 167.597 kWh durante o período de janeiro a dezembro de 2020, conforme planejamento

apresentado na figura 30. Portanto, a energia requerida para recarga dos veículos elétricos é de aproximadamente 67% da energia total produzida.

Com base nos valores apresentados na Figura 32, obtém-se de 100% de redução de custos com a recarga dos veículos elétricos. Assim, a economia anual será de R\$ 160.765,23.

5.13.3 APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO 1

Serão apresentados exemplos com dois veículos da frota atual, previstos para substituição por VEs similares.

Os valores da Tabela 20 de combustíveis e energia elétrica foram atualizados em agosto de 2021.

Tabela 20 - Custos dos Combustíveis

Custos de combustíveis e energia elétrica	
Diesel (litro)	4,48
Gasolina (litro)	6,17
EE/ano recarga (R\$/kWh)	0,84

Na Tabela 21 constam os valores das revisões informados pelas montadoras. A partir desta referência será estabelecido o custo médio por quilometro dos itens previstos nas revisões por quilometragem.

Tabela 21 - Custos das revisões

Custo das Revisões (R\$) - Valores de referência das montadoras				
Quilometragem anual	JAC iEV20	Fiat Uno Attractive	JAC IEV330P	Mitsubishi L200
10.000	59,90	392,00	410,00	1449,00
20.000	169,90	488,00	820,00	1449,00
30.000	59,90	696,00	410,00	1449,00
40.000	219,90	660,00	1.930,00	1641,00
50.000	59,90	432,00	410,00	1449,00
60.000	169,90	1404,00	1.250,00	1449,00
Total	739,40	4.072,00	5.230,00	8.886,00
Custo R\$/km	0,012	0,068	0,087	0,148

Os valores de Custo R\$/km será a referência utilizada na Equação 1 para os veículos elétricos e a combustão zero quilômetro.

Tabela 22 - Rendimento dos veículos

Veículo	Rendimento	
	km/kWh	km/l
JAC iEv20	9,7	
Uno Atractive		11,0
IEV330P	4,8	
L 200		11,3

A receita obtida com a venda do veículo da frota a ser substituído, faz parte do cálculo de *payback* da Equação 1.

Tabela 23 - Tabela FIPE ago/2021 Veículos

Veículo	Valor (R\$)
Uno 2008	16.580,00
L200 - Mitsubishi 2009	45.840,00

Tabela 24 - Custo médio da manutenção de VCI – Frota atual

Veículo	Valor (R\$/km)	Valor (R\$)
Uno 2008	0,09	978,92
L200 - Mitsubishi 2009	0,40	6.377,29

Nas Tabelas 25 e 26 para cálculo do *payback* foram consideradas:

- Quilometragem média anual percorrida pelo veículo da frota atual a ser substituído, como referência;
- Despesas de manutenção anuais do veículo da frota atual a ser substituído, para chegar ao valor acumulado no período;
- Para os veículos a combustão e elétrico zero quilometro, a mesma quilometragem percorrida pelo veículo da frota a ser substituído, custo de aquisição, gastos acumulados no período de IPVA, revisões periódicas, combustível e energia elétrica para recarga do veículo elétrico para cálculo do retorno do investimento.

O valor obtido com a venda do veículo a ser substituído reduz o investimento de aquisição e as despesas com manutenção do veículo a ser substituído, serão consideradas um custo evitado decorrente do processo de substituição.

Tabela 25 - Payback da substituição do automóvel UNO 2008

Veículo	Informação	Valor (R\$)	Total (R\$)
JAC iEV20	Valor veículo	159.900,00	168.966,28
	IPVA	0,00	
	Revisões	1.103,42	
	Recarga	7.962,85	
Fiat Uno Attractive	Valor veículo	74.040,00	146.085,13
	IPVA	14.215,68	
	Revisões	6.252,74	
	Combustível	51.576,71	
Fiat Uno Mille ano 2008	Venda veículo	16.580,00	24.411,36
	Custos manutenção	7.831,36	
Quilômetros/ano	11.494		
Payback	R\$		1.530,21
	Anos		8

O Fiat Uno da frota atual percorreu 11.494 km no ano de 2019. Pode ser considerada uma quilometragem baixa, mas trata-se de uma característica dos veículos da frota da Base Aérea, em função da área de abrangência e frequência dos deslocamentos necessários.

A quilometragem anual percorrida, assim como os custos com manutenção e valor de venda do veículo a ser substituído, são fatores relevantes para a determinação do retorno do investimento. No caso do Fiat Uno o retorno do investimento ocorre a partir do oitavo ano.

O mesmo veículo, com uma quilometragem anual de 20.000 km, reduziria para sete anos o retorno do investimento.

Tabela 26 - Payback da substituição da Picape L200 2009

Veículo	Informação	Valor (R\$)	Total (R\$)
JAC iEV330P	Valor veículo	299.900,00	308.243,65
	IPVA	0,00	
	Revisões	2.770,60	
	Recarga	5.573,05	
Mitsubishi Triton L200	Valor veículo	230.990,00	264.419,20
	IPVA	17.555,24	
	Revisões	3.248,29	
	Combustível	12.625,67	
Mitsubishi L200 ano 2008	Venda veículo	45.840,00	58.594,58
	Custos manutenção	12.754,58	
Quilômetros/ano	15.923		
Payback	R\$		14.770,13
	Anos		2

Embora a L200 apresente uma quilometragem anual de 15.923 km, abaixo da média esperada para este tipo de veículo, o resultado do retorno do investimento foi influenciado pelo valor de revenda o veículo substituído e uma diferença proporcionalmente menor que o Uno Mille em relação a diferença de custo entre os veículos a combustão e elétrico zero quilometro.

A eletrificação da frota em Órgãos Públicos deverá ser gradual em função de disponibilidade orçamentária.

Considerando os resultados do *payback* dos veículos apresentados, a substituição da L200 demonstra que esse veículo deveria ser considerado como prioritário no processo de substituição da frota.

5.14 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos dois cenários considerados demonstram a viabilidade econômica sob o aspecto energético, da substituição da frota atual de veículos a combustão da ALA 4 – Unidade da Base Aérea de Santa Maria.

O cenário base que utiliza a energia fornecida pela Distribuidora para recarga das baterias dos veículos elétricos sinaliza uma redução de custos de 49,6 % com despesas de abastecimento com combustíveis. É uma contribuição significativa que será ainda mais representativa em termos financeiros, dependendo do tamanho da frota de cada Órgão Público.

Por outro lado, os resultados obtidos com a utilização da energia gerada na planta fotovoltaica demonstram a importância desta fonte renovável para obtenção de resultados financeiros ainda melhores que o cenário base.

Utilizando a energia solar no processo de recarga dos veículos, a economia obtida é de praticamente 100% em relação as despesas com abastecimento de combustível da frota atual. Nesse caso, haverá apenas a incidência do custo da TUSD, que seria irrelevante nesta situação.

A implementação de um sistema de armazenamento de energia – ESS, associado ao sistema de geração fotovoltaico poderá ser considerado futuramente, na medida que essa tecnologia apresente uma redução de custos significativa, adicionando vantagens no processo de recarga de baterias dos veículos elétricos.

6 CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida é um instrumento para avaliar os ganhos possíveis e priorização, no processo de substituição da frota de veículos a combustão por similares elétricos em Órgão Públicos.

Foram elencados os principais aspectos a serem considerados no processo, desde questões relativas à governança e sustentabilidade, bem como revisão do contrato de fornecimento de energia elétrica, levantamento e análise informações da frota existente de veículos a combustão, definição de veículos elétricos similares, avaliação das condições de infraestrutura necessária para implementação de sistema de recarga próprio e finalmente, para a tomada de decisão, a utilização da equação que permite fazer uma estimativa de payback simples.

Existem inúmeras vantagens na utilização do veículo elétrico em massa. A primeira é sustentabilidade, pois estes veículos apresentam zero emissões durante seu funcionamento, e os Órgãos Públicos exercem um papel importante no cumprimento dos objetivos do Governo com a redução de emissões, para o atingimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris.

A substituição de veículos e frotas públicas por similares elétricos está alinhada com esse objetivo.

Assim, o estudo de caso da Unidade da Base Aérea de Santa Maria considerou os aspectos de governança e energéticos para demonstrar que essas medidas são suficientes para demonstrar a importância do processo de substituição da frota em Órgãos Públicos do Governo.

Os resultados do estudo indicaram redução de custos energéticos obtidos a partir da substituição da frota de 47 veículos com motores a combustão por veículos elétricos no processo de recarga através da energia fornecida pela Distribuidora de 49,6% de custos com abastecimento, proporcionando uma economia anual de aproximadamente de R\$80.000,00.

Ao agregar a geração fotovoltaica da planta existente na Base Aérea no processo de recarga das baterias do VEs, utilizando cerca de 67% da geração anual projetada, é possível abastecer todos os veículos elétricos sem gastos com energia elétrica. Isso representa uma economia de 100% com despesas de abastecimento de todos os veículos elétricos da frota e, a Unidade ainda pode contar com 33% da energia gerada para reduzir o custo da fatura mensal de energia elétrica com a Distribuidora.

Considerando que a frota de veículos oficiais no Rio Grande do Sul é de cerca de 48.000 veículos, conforme dados do DETRAN em 2020, é possível observar a representatividade da economia a ser obtida para o Estado, com a substituição por veículos elétricos.

Isso demonstra a relevância e o quanto seria desejável o incentivo através de políticas do Governo, para que o Poder Público adotasse sistemas de geração própria de energia em suas edificações e a substituição da frota de veículos a combustão, por veículos elétricos, permitindo uma economia substancial de recursos públicos.

Os Órgãos Públicos têm visibilidade e, portanto, ocupam um papel importante na divulgação e marketing para a sociedade.

No caso de escolas e universidades, além da visibilidade e prestígio, é possível utilizá-los como instrumento de capacitação dos alunos, desde a parte básica de energia solar, armazenamento de energia e consumo consciente, até a capacitação profissional e pesquisa científica.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na linha de pesquisa desenvolvida neste trabalho, outros temas podem ser explorados, contribuindo com propostas para a mobilidade elétrica. A seguir, lista-se alguns tópicos para futuros trabalhos:

- Estudo a nível nacional através de um plano decenal para a substituição de veículos leves da frota nacional de órgãos públicos, por veículos elétricos, que permitirá evidenciar a representatividade dos ganhos possíveis.
- Estudo de utilização de tecnologias intrínsecas a *smart grid*, tais como trocas bidirecionais de energia entre VE e rede e a resposta à demanda para atenuar os impactos na rede de distribuição;
- Estudo referente à combinação de capacidade do carregador, tamanho da bateria e estado de carga da bateria tem um impacto importante no potencial de receita da V2G, no caso de frotistas e veículos de transporte de passageiros. Trata-se de estudo que poderá auxiliar os gerentes de frota podem acelerar a transição para VEs e PHEVs, reduzindo significativamente o custo total com essa receita (DE LOS RÍOS et al., 2012);

REFERÊNCIAS

ANDRADE, José C. G.; MARÇAL, Manuella C.; CANCIAN, Bruno. P.; FREITAS, Waldir; JUNIOR, Eduardo P. L. **Alocação de Eletropostos com Análise Integrada de Tráfego e Impactos Técnicos nos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. In Anais do Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2020), vol. 2, nº 1. 2020.

AMINI, M. H. A panorama of interdependent power systems and electrified transportation networks. In: **Sustainable interdependent networks II**, Springer, pp. 23-41. 2019.

ARTHUR, W. B. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. **Economic Journal**, vol 99, 1989, p.116-131.

BAUER, Pavol; MOULI, Gautham Ram Chandra. **PV Charging and Storage for Electric Vehicles**. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/PV_Charging_and_Storage_of_Electricity_Vehicles>. Acesso em: 08 out. 2020.

BERGGREEN, J. **Nowegian grid struggling to keep up with growing EV fleet**. Norway, 2017, p. 25. Disponível em: <https://evobsession.com/norwegian-grid-struggling-keep-growing-evfleet/>. Acesso em: 10 out. 2020.

BNEF – BloombergNEF. **Energy Storage Investments Boom As Battery Costs Halve in the Next Decade**. 2019. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/#_ftnref1>. Acesso em: 09 jul. 2020.

British Electrotechnical and Allied Manufacturers Association, United Kingdom, Guide to Electric Vehicle Infrastructure, 2 ed., abr. 2015.

CATHEY, L. et al. **Trump announces new impeachment legal team**. 2021. Disponível em: <https://abcnews.go.com/Politics/live-updates/biden-100-days-president-white-house/?id=75460011&cid=clicksource_4380645_8_heads_hero_live_hero_hed>. Acesso em: 15 fev. 2021.

COLETTI, G.; SINKE, W.; BULTMAN, J. **International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2013 Results**, (March). 2014.

CPFL ENERGIA. **Projeto P&D ANEEL - PD-0063-0060/2013. PA0060 - Programa Mobilidade Elétrica - Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Empresariais da Região Metropolitana de Campinas**. 2013

DALLEPIANE, Patrícia Gomes; CANHA, Luciane Neves; NADAL, Zeno Iensen; BERHORST, Nicolas Lazzaretti; ZAUZA, Silvana; THOMÉ, Belisario. **Segurança e sustentabilidade energética na substituição de veículos a combustão por elétricos em Instituições Públicas**, XII CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Setembro 2020.

DE LOS RÍOS, A.; GOENTZEL, J.; NORDSTROM, K. E.; SIEGERT, C. W. **Economic Analysis of Vehicle-to-Grid (V2G)-Enabled Fleets Participating in the Regulation Service Market**. Published in: 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). 2012.

DUBEY, A.; SANTOSO, S. **Electric vehicle charging on residential distribution systems: impacts and mitigations**, IEEE Access, vol. 3, pp. 1871-1893, 2015.

DW Brasil. **Reino Unido anuncia plano para banir carros não elétricos**. 2017. Disponível em: <<https://p.dw.com/p/2hA3k>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

EPBR. **Cenários do PDE apontam dificuldade para viabilizar GD com armazenamento na próxima década**. Nayara Machado. 2021. Disponível em: <<https://epbr.com.br/cenarios-do-pde-apontam-dificuldade-para-viabilizar-gd-com-armazenamento-na-proxima-decada/>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa. **Demanda de Energia dos Veículos Leves - 2021-2030**. Número 03. Rio de Janeiro. 2020

ESCALANTE, S.L.; PENNA J.; NASCIMENTO, I. **Minigeração Fotovoltaica e Veículos Elétricos numa Microrede Inteligente**. XVI Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning. September 30th thru october 3rd of 2018 / Recife / PE /Brasil. 2018.

FAGUNDES, Dyogo. **Índia se torna 4º maior produtor mundial de veículos; Brasil é o 8º**. 2018. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/news/237996/india-4-maior-produtor-mundial-de-veiculos/>>. Acesso: em 18 jan. 2020.

FERNANDEZ, Luis Pieltain; SAN ROMAN, Tomás Gomez; COSENT, Rafael; DOMINGO, Carlos Mateo; FRIAS, Pablo. Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks. In **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, Feb. 2011.

GOMEZ, Juan P.E; ALMEIDA, Ivo; ARRUDA, Fabiana S.; BRASIL, Augusto C. M. **Evaluación de Los Costos de Vehículos de Propulsión Eléctrica y a Gasolina**. CIT2016 – XII Congreso de Ingeniería del Transporte València, Universitat Politècnica de València, 2016.

INSIDEEVs. **Conectores de recarga: quais são os tipos que existem**. Nicolas Tavares, 2019. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/features/379522/conector-tomada-recarga-tipos/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

LEITE, Nelson; DELGADO, Marco; HAGE, FABIO. **Os Desafios do Armazenamento de Energia no Setor Elétrico** – FGV Energia. 2017.

LIN, Y.; ZHANG, K.; SHEN, Z. J. M.; MIAO, **Charging Network Planning for Electric Bus Cities: A Case Study of Shenzhen, China**. Sustainability2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su11174713>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

LP AE - Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (LP AE), **Emissões de Poluentes Atmosféricos por Fontes Móveis e Estimativa dos Efeitos em Saúde em 6 Regiões Metropolitanas Brasileiras**. 2007. Disponível em: <www.nossasaopaulo.org.br/portal/files/RelatorioRMeDieselDrPauloSaldiva.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2020.

MACHADO, Giovani V.; COSTA, Angela O. da; STELLING, Patrícia F. B. **A Estrada à Frente: Oportunidades e Desafios para a Eletromobilidade no Brasil**. Apresentado em Rio Oil & Gas Expo & Conference 2018, Rio de Janeiro, 2018.

MAGGETTO, G.; VAN MIERLO, J. **Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology: a Survey**. IEE Seminar on Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles, Durham, pp. 1/1– 111, 2000.

MARTINS, M. C. S.; TRINDADE, F. C. L. **Time series studies for optimal allocation of electric charging stations in urban area. Innovative Smart Grid Tech**. Conference – Latin America (ISGT-LA), Out. 2015, Montevideo, Uruguai. (2015).

Ministério da Defesa. **Exército recebe primeiro carro elétrico, parte do projeto-piloto de energia**. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/defesa/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/ultimas-noticias/exercito-recebe-primeiro-carro-eletrico-parte-do-projeto-piloto-de-energia>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

MUEHLEGGGER, Erich; RAPSON, David S. **Subsidiar a adoção de veículos elétricos para baixa e média renda: evidências quase experimentais da Califórnia**, 2020.

NEALER, R.; REICHMUTH, D.; ANAIR, D. **Cleaner Cars From cradle to Grave**, 1–54. 2015. Disponível em: <[HTTPS://DOI.ORG/10.13140/RG.2.1.4583.3680](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4583.3680)>. Acesso em: 10 ago. 2021.

NEO CHARGE. **Número de carros elétricos no Brasil**. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil#fabricantes>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

OLMOS, M. **Eletromobilidade desafia indústria no Brasil**. Globo - Um Só Planeta. 2021. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2021/05/05/eletromobilidade-desafia-industria-no-brasil.ghtml>>. Acesso em: 14 mai. 2021.

PELEGRINI, M.A. et al. **A portable voltage regulator as an innovative smart grid solution**. 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition, Chicago, IL, USA, 2014, pp. 1-5.

PEREIRA, E. A. et al. **Análise comparativa dos custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos: Estudo de caso dos Correios**. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, v. 21, p. 2225–2235, 2015. ISSN 0065-9533. Disponível em: <http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/798AC.pdf>. p. 2230. Acesso em: 29 ago. 2021.

RIZZO, Denise M.; PARKER, Gordon G. **State of charge optimization for military hybrid vehicle microgrids**. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Washington DC - DOI: 10.1109 / ISGT.2013.6497857. 2013.

SMART, J.; SCHEY, S. **Battery Electric Vehicle Driving and Charging Behavior Observed Early in The EV Project**, SAE International Journal of Alternative Powertrains, pp. 37-33, Abril 2012.

SURGES, S. M. (2011). **Market Brief Storage Market Surges US Utility-Scale Battery Storage Market Surges Forward**. America, 1–24.

UTTERBACK, J. **Mastering the Dynamics of Innovation**. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1994.

VALENZUELA, A.; MONTALVO, I.; BARRERA, C. **Veículo elétrico: enfrentando desafios futuros em Quito**. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - América Latina (ISGT America Latina), pp. 1-6, 2017.