

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Dissertação de Mestrado

ANÁLISE DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE
VEÍCULOS ELÉTRICOS NA REDE ELÉTRICA
DA UFPB

João Soares Farias Neto

João Pessoa, Brasil
Julho de 2022

João Soares Farias Neto

**ANÁLISE DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA
REDE ELÉTRICA DA UFPB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE, da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Prof. Dr. Fabiano Salvadori
Prof^ª. Dra. Camila S. Gehrke

João Pessoa, Brasil

Julho de 2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F224a Farias Neto, Joao Soares.

Análise do impacto da inserção de veículos elétricos na rede elétrica da UFPB / Joao Soares Farias Neto. - João Pessoa, 2022.

68 f. : il.

Orientação: Fabiano Salvadori.

Coorientação: Camila S. Gehrke.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Engenharia elétrica. 2. Veículo para rede. 3. Redes elétricas inteligentes. 4. Veículos elétricos. I. Salvadori, Fabiano. II. Gehrke, Camila S. III. Título.

UFPB/BC

CDU 621.3(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS – CEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação

**ANÁLISE DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA REDE
ELÉTRICA DA UFPB**

Elaborada por

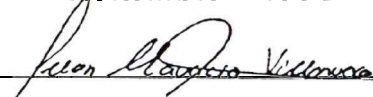
JOÃO SOARES FARIAS NETO

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

COMISSÃO EXAMINADORA



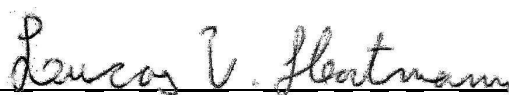
PROF. DR. FABIANO SALVADORI
Orientador – UFPB



PROF. DR. JUAN MOISES MAURICIO VILLANUEVA
Examinador Interno – UFPB



PROF.ª. DR.ª. CAMILA SEIBEL GEHRKE
Examinador Externo – UFPB



PROF. DR. LUCAS VINÍCIUS HARTMANN
Examinador Externo – UFPB

J oão Pessoa/PB, 29 de julho de 2022

*À minha noiva Cleudalice Ramalho, e a minha irmã Hannah Ludgero, pelo tempo que
deixamos de estar juntos.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A vida não é uma sequência de acontecimentos aleatórios. Inúmeros eventos precisaram acontecer em uma determinada ordem para que este trabalho fosse possível. Não posso considerar que os estudos realizados para este trabalho são obra de um homem só. Impõe-se, portanto, uma homenagem de gratidão aqueles que colaboraram com as minhas pesquisas, com os meus estudos e reflexões. Sem dúvidas, esta é a parte mais desafiadora deste trabalho. Não porque me faltam pessoas para agradecer – muito pelo contrário. Há tantas pessoas que causaram um impacto significativo na minha vida que seria simplesmente impossível agradecer a todas nas próximas páginas.

Agradeço aos meus pais Gilvânia Coêlho Ludgero e Edson Antônio Farias, por sempre acreditarem em mim e me disciplinarem sempre que precisei.

À minha irmã, Hannah Shiva Ludgero Farias. Obrigado pela autenticidade. Seria efêmero se não fôssemos irmãos.

Aos meus avós Francisca Pedroza e Roberto Matos, sou grato pelo imensurável amor que vocês me deram.

À minha noiva Cleudalice Ramalho, por ser a mulher dos meus sonhos da vida real. Obrigado por me apoiar e nunca duvidar que eu seria capaz de chegar até aqui. Pelos sonhos e planos que criamos juntos e por sempre doar tanto de si para mim, muito obrigado.

Aos meus amigos, obrigado por serem meu círculo de influências. Tive a sorte de ter todos vocês em minha vida. É quem vocês são o que faz com que eu me esforce para ser melhor. Se realmente somos a média das cinco pessoas que convivemos, não tenho com o que me preocupar: Anibal Filho, Filipe Tavares, Renato Melo, Ricardo Guerra, Rodrigo Amorim, Jéssica Lima, Manoel Severino, Samara Chaves, Hugo Carneiro, Lucas de Freitas, Virginia Feitosa e aos muitos amigos que não citei aqui, muito obrigado.

Aos professores e mentores que continuam a liderar através de seu exemplo de coragem e com quem aprendi tanto: Camila Gehrke, Fabiano Salvadori, Lucas Hartmann, Juan Villanueva, Waslon Terllizzie e todos os demais professores do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) e do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) que não citei, meu muitíssimo obrigado.

O maior agradecimento e mais importante, à Deus e à Virgem Maria, por me guiarem e por toda força que tive a cada dia.

À todos, meus sinceros votos de gratidão por acreditarem em mim quando eu mesmo não acreditava.

"A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada."

Albert Einstein

RESUMO

A energia consumida atualmente pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) ultrapassa em alguns períodos os limites de demanda contratada pela universidade, o que pode acarretar em multas tarifárias e consequentemente aumento de despesas. Esse acréscimo de custos poderia ser evitado a partir da gestão da demanda energética por meio de uma rede elétrica inteligente agregando Veículos Elétricos (VEs) que compensem o excedente de demanda injetando potência na rede quando necessário. Nesta conjuntura, este trabalho aborda um estudo de caso sobre a possibilidade de integração de uma rede elétrica inteligente com Vehicle to Grid (V2G) como mecanismo para gestão de demanda tendo em vista sua viabilidade técnica e econômica, além de uma metodologia de análise de impactos da inserção de VEs em redes elétricas disponível para a utilização de outros autores. Para tanto, considerou-se o levantamento do percentual do aumento de veículos elétricos na Paraíba, o estudo dos cenários de oportunidade de carregamento dos veículos na universidade, a possibilidade de fornecimento de energia do veículo para a rede da UFPB e o impacto na rede elétrica da universidade sem e com o gerenciamento de cargas. Os resultados mostram que os VEs operando com a rede em V2G podem reduzir até 77,66% das multas sem benefícios para o consumidor a partir do gerenciamento de cargas, e esta economia financeira poderia ser utilizada como incentivo para que os proprietários de VEs permitam a troca de energia com a rede da universidade durante o período de permanência na UFPB.

Palavras-chave: Veículo para Rede, Redes Elétricas Inteligentes, Veículos Elétricos.

ABSTRACT

The energy currently consumed by the Federal University of Paraíba (UFPB) exceeds, in some periods, the demand limits contracted by the university, which can result in tariff fines and consequently an increase in expenses. This increase in costs could be avoided by managing energy demand through an intelligent electrical grid by adding Electric Vehicles (EVs) that compensate for excess demand by injecting power into the grid when necessary. In this context, this work addresses a case study on the possibility of integrating an intelligent electrical grid with Vehicle to Grid (V2G) as a demand management mechanism, considering its technical and economic feasibility, as well as an impact analysis methodology. of the insertion of EVs in electrical networks available for use by other authors. For that, it was considered the survey of the percentage of the increase of electric vehicles in Paraíba, the study of the scenarios of opportunity for charging vehicles at the university, the possibility of supplying energy from the vehicle to the UFPB network and the impact on the electric network. of the university without and with load management. The results show that EVs operating with the V2G network can reduce up to 77.66% of fines without consumer benefits from load management, and this financial savings could be used as an incentive for EV owners to allow the exchange of energy with the university's network during the period of stay at UFPB.

Keywords: Vehicle to Grid, Smart Electric Grids, Electric Vehicles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Processo de carregamento de VEs em corrente alternada. [Fonte: NeoCharge]	23
Figura 3.2 – Processo de carregamento de VEs em corrente contínua. [Fonte: NeoCharge]	24
Figura 3.3 – Carregador emergencial do Renault Zoe. [Fonte: NeoCharge]	25
Figura 3.4 – Carregador portátil para VEs da NeoCharge. [Fonte: NeoCharge]	26
Figura 3.5 – Carregador residencial ou <i>Wallbox</i> para VEs. [Fonte: NeoCharge]	27
Figura 3.6 – Carregador Comercial ou <i>Parking</i> para VEs. [Fonte: NeoCharge]	28
Figura 3.7 – Estação de Carga Rápida CC - <i>Fast Charger DC</i> - para VEs. [Fonte: NeoCharge]	29
Figura 3.8 – Modos de Operação V2G e G2V.	30
Figura 3.9 – Esquemático de VEs do tipo HEV, PHEV, BEV e FCEV. [Fonte: NeoCharge]	32
Figura 3.10 – Esquemático de um HEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]	33
Figura 3.11 – Esquemático de um PHEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]	34
Figura 3.12 – Esquemático de um BEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]	35
Figura 3.13 – Esquemático de um FCEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]	36
Figura 4.1 – Evolução da Frota de EVs no Brasil. [Fonte: NeoCharge, 2021]	39
Figura 4.2 – Distribuição de VEs no Brasil: (A) Híbridos (B) Híbridos <i>Plugin</i> (C) <i>Full Electric</i> . [Fonte: NeoCharge, 2021]	40
Figura 4.3 – Aumento de PHEVs e BEVs de 2019 até 2021 no Brasil. [Fonte: NeoCharge]	41
Figura 4.4 – Estimativa do aumento da frota de veículos a combustão na Paraíba. [Fonte: Autor]	42
Figura 4.5 – Estimativa do aumento da frota de VEs na Paraíba. [Fonte: Autor]	42
Figura 4.6 – Distribuição de veículos na Paraíba (nacionais e importados) classificados por tipo de combustível. [Fonte: DETRAN-PB]	43
Figura 4.7 – Nissan Leaf Ano Modelo 2020. [Fonte: Nissan]	45
Figura 4.8 – Estação de Recarga de Veículo Elétrico WEG® Wemob <i>Parking</i> – 2x 22kW (P-022-E-3G-R-H-2T2). [Fonte: NeoCharge]	47
Figura 4.9 – Demanda energética diária da UFPB. [Fonte: Autor]	50
Figura 4.10 – Fatura de energia da UFPB do mês de fevereiro de 2020. [Fonte: UFPB]	51
Figura 4.11 – Estacionamentos e Paraciclos no Campus I da UFPB. [Fonte: (CEVADA, 2015)]	52
Figura 4.12 – Energia excedente a demanda contratada da UFPB. [Fonte: Autor]	55
Figura 5.1 – Cenário 1 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]	58
Figura 5.2 – Cenário 1 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]	58
Figura 5.3 – Cenário 2 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]	59

Figura 5.4 – Cenário 2 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]	59
Figura 5.5 – Cenário 3 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]	60
Figura 5.6 – Cenário 3 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]	60
Figura 5.7 – Composição da TUSD. [Fonte: (ABRADEE, 2017)]	61
Figura 5.8 – Projeção do impacto econômico com V2G. [Fonte: Autor]	64
Figura 5.9 – Projeção da Economia Final da UFPB com operação V2G. [Fonte: Autor]	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tipos de Carregadores de VEs.	31
Tabela 3.2 – Tipos de VEs.	37
Tabela 4.1 – Frota de Veículos Nacionais por Tipo de Combustível e Tipo de Veículo na Paraíba. [Fonte: DETRAN-PB]	44
Tabela 4.2 – Frota de Veículos Importados por Tipo de Combustível e Tipo de Veículo na Paraíba. [Fonte: DETRAN-PB]	44
Tabela 4.3 – Especificações técnicas do Nissan Leaf MY2020. [Fonte: Nissan®] . . .	46
Tabela 4.4 – Especificações da Estação de Recarga WEMOB-P-022-E-3G-H-2T2 . .	49
Tabela 4.5 – Fluxo de Acesso por Modo/Portão. [Fonte: (CEVADA, 2015)]	53
Tabela 4.6 – Fluxo de Acessos ao Campus por Turno/Modo. [Fonte: (CEVADA, 2015)]	53
Tabela 4.7 – Estimativa de crescimento de VEs no fluxo automotor da UFPB. . . .	54
Tabela 4.8 – Quantidade estimada de VEs e estações de recarga.	56
Tabela 5.1 – Projeção de Demanda de Potência Medida (Ponta) na UFPB.	57
Tabela 5.2 – Tarifas de Demanda de Potência Medida - Fora Ponta na UFPB. . . .	62
Tabela 5.3 – Projeção de Tarifas de Demanda de Potência de Ultrapassagem na UFPB.	62
Tabela 5.4 – Projeção de Tarifa de Consumo de Energia na UFPB.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
COP	Conferência Geral das Partes
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
V2G	Vehicle to Grid
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
G2V	Grid to Vehicle
SoC	State of Charge
CA	Corrente Alternada
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
CC	Corrente Contínua
BEV	Battery Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicles
DENATRAN-PB	Departamento Nacional de Trânsito da Paraíba
DETRAN-PB	Departamento de Trânsito da Paraíba
IHM	Interface Homem-Máquina
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Organização do Trabalho	17
2	Revisão Bibliográfica	18
2.1	Considerações Finais	22
3	Fundamentação Teórica	23
3.1	Tipos de Carregadores de Veículos Elétricos	25
3.1.1	Carregador de Emergência	25
3.1.2	Carregador Portátil	26
3.1.3	Carregador Residencial ou <i>Wallbox</i>	27
3.1.4	Carregador Comercial ou <i>Parking</i>	28
3.1.5	Estação de Carga Rápida CC (<i>Fast Charger DC</i>)	29
3.1.6	Carregador V2G vs Carregador Inteligente	30
3.1.7	Considerações Finais	31
3.2	Tipos de Veículos Elétricos	32
3.2.1	Veículo Elétrico Híbrido (HEV)	33
3.2.2	Veículo Elétrico Híbrido <i>Plugin</i> (PHEV)	34
3.2.3	Veículo Elétrico à Bateria (BEV)	35
3.2.4	Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV)	36
3.2.5	Considerações Finais	37
4	Metodologia	38
4.1	Crescimento da Frota de Veículos Elétricos no Brasil	39
4.1.1	Crescimento de VEs em Relação à Veículos a Combustão	41
4.2	Tipo de Veículo mais utilizado na Paraíba	43
4.3	Modelo de VE adotado: Nissan Leaf	45
4.4	Modelo de Carregador Adotado	47
4.5	Modelagem do Problema	50
4.6	Levantamento de Vagas na UFPB	52
4.7	Situação de Oportunidade	54
5	Modelagem dos Cenários, Análise e Resultados	57
5.1	Evolução da Demanda de Energia	57
5.2	Cenário 1: Chegando com aproximadamente 0% da Bateria	58
5.2.1	Projeção para 2022	58
5.2.2	Projeção para 2023	58

5.3	Cenário 2: Chegando com aproximadamente 60% da Bateria	59
5.3.1	Projeção para 2022	59
5.3.2	Projeção para 2023	59
5.4	Cenário 3: Fornecendo Energia à Universidade	60
5.4.1	Projeção para 2022	60
5.4.2	Projeção para 2023	60
5.5	Projeção de Impacto Econômico	61
5.5.1	Tarifação	61
5.5.2	Relação da Tarifa de Consumo no Tempo	62
5.5.3	Redução de Multa	63
5.5.4	Estratégia de Ressarcimento	64
6	Conclusão	67
6.1	Trabalhos Futuros	67
	Referências	68

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos a humanidade tem enfrentado grandes desafios, dentre eles, as mudanças climáticas têm representado o maior destes para o desenvolvimento sustentável da civilização humana. Constantemente diversas entidades como Estados, Empresas e Países sofrem pressão para que sejam utilizadas práticas mais sustentáveis com o intuito de reduzir o impacto ao meio ambiente. Assim, um dos setores que necessitam adotar o uso de tecnologias alternativas às tradicionais é a indústria automotiva, afim de reduzir o uso de combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera (MELLO A. M., 2013),(BARASSA, 2015).

A 21ª Conferência do Clima, também conhecida por Conferência Geral das Partes (COP), aconteceu na cidade de Paris em 2015. Nesse contexto, o Brasil estabeleceu como uma das metas, a redução de emissão de CO₂ em 43% até 2030, tendo como base o ano de 2005. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, em 2018 o Brasil emitiu 2,03 bilhões de toneladas de CO₂, portanto, a expectativa é que a quantidade de gases emitidos não seja superior ao valor de 1,15 bilhões de toneladas em 2030 (MMA, 2019). Com a Rio-92, evento da Organização das Nações Unidas (ONU), que enfatizou a conscientização global pela melhoria da qualidade do ar, redução das emissões de gases do efeito estufa e a substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas, a sustentabilidade ambiental se tornou a principal motivação para o ressurgimento dos VEs no final do século XX. Como repercussão no setor automotivo, a busca por veículos com menores impactos ambientais e maior eficiência recebeu mais atenção, retomando o interesse pela eletrificação veicular (VAZ L. F. H.; CASTRO, 2015).

Dessa forma, os veículos elétricos surgem como uma alternativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa, os quais provocam danos significativos nos ecossistemas, na saúde humana e ambiental (VARGAS, 2016). Com o propósito de fornecer uma solução sustentável para estas questões, somado a geração de energia por fontes renováveis, surge a eletrificação da frota de transporte no meio automotivo. A necessidade de um meio de transporte sustentável aliado com o avanço de tecnologias de baterias despertou o interesse nos Veículos Elétricos (VEs) como um meio de transporte viável e menos agressivo (SHARIFF M. S. ALAM; KHAN, 2020).

Em 1880, a origem dos primeiros veículos elétricos ocorreu nos Estados Unidos, Reino Unido e Holanda (HOYER, 2008) e até 1900 teve o seu período de prosperidade econômica. Contudo, a entrada das técnicas de produção em massa e do motor a combustão interna, provocaram o colapso na embrionária indústria de veículos elétricos.

Segundo a Agência Internacional de Energia, até o final de 2020 havia cerca de 10 milhões de VEs em circulação de forma global. Apesar da desaceleração mundial relacionada com a pandemia, os registros de VEs aumentaram 41% em 2020. O número de

vendas globais atingiram a proporção de 3 milhões de VEs constituindo uma participação de vendas de 4,6%, e a Europa ultrapassou a China como o maior mercado de VEs do mundo pela primeira vez. Os gastos dos consumidores na compra de VEs aumentaram para US\$ 120 bilhões em 2020. Os gastos governamentais em todo o mundo atingiram cerca de US\$ 14 bilhões para apoiar as vendas de VEs, representando um aumento de 25% em relação a 2019 (IEA, 2021).

Devido a menor dependência de combustíveis fósseis, prevê-se a intensificação do número de VEs nas áreas urbanas com objetivo de diminuir a emissão de carbono. No Reino Unido, a expectativa é de que as vendas de VEs represente 60% das vendas de todos os carros novos até 2030 (LIANG Y. LIU; SHEN, 2019). Contudo, os operadores de rede elétrica irão se deparar com desafios como efeito da rápida expansão dos mercados de VEs no setor de transporte (LIU P. K. PHANIVONG; CALLAWAY, 2019). A estrutura obsoleta da rede elétrica de distribuição para carregamento será afetada com a inserção de VEs em grandes cidades e também irá auxiliar nas variações de tensão, carregamento de linha, perdas de energia, entre outros (LIU P. K. PHANIVONG; CALLAWAY, 2019), (MIAGHA; CROW, 2017).

Segundo o estudo da Bloomberg Energy Finance, a demanda global por energia elétrica deverá crescer 62% nos próximos 30 anos até 2050, acrescentando 1,5% de aumento no consumo mundial ao ano, onde os VEs devem ser os grandes responsáveis pelo crescimento do consumo de energia nas economias integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Os VEs irão adicionar cerca de 3.950 TWh à demanda global no período. Estima-se que em 2050 os VEs devem representar 9% da necessidade mundial de eletricidade. E em países, como o Reino Unido, os VEs podem representar até 24% da demanda total. Em países emergentes o aumento da demanda energética deve ser puxado também por outro fator, como o aumento de eletrodomésticos. De acordo com o relatório, aparelhos de ar-condicionado quase duplicarão a demanda, que subirá 93% entre 2018 e 2050. No total, a demanda a partir de aparelhos de ar-condicionado chegará a 5.376 TWh, o equivalente a 12,7% da demanda global na metade do século (EPBR, 2019).

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB), atualmente enfrenta um problema com relação as demandas energéticas da Instituição. Em alguns períodos do ano a UFPB ultrapassa a demanda contratada resultando em penalidades monetárias elevadas. A infraestrutura da rede elétrica da UFPB não está preparada para a inserção de VEs que tendem a piorar o cenário energético atual da Instituição. Considerando o fato de que os VEs permanecem ociosos durante 96% do dia, isto gera uma situação de oportunidade em que é possível utilizar os VEs em sistemas elétricos com capacidade de operação *Vehicle to Grid* (Veículo para a Rede, V2G), que implica em benefícios consideráveis aos proprietários de VEs (YAO; SCHÖBER, 2018), (HASSIJA V. CHAMOLA; JAYAKODY, 2020).

1.1 MOTIVAÇÃO

Compreendendo o fato de que a UFPB possui um problema crítico na contratação de demanda energética provocando picos que extrapolam os limites da demanda contratada, abre-se a possibilidade de se utilizar os VEs como armazenamento de energia e suprir a demanda energética nesses momentos de ultrapassagem de pico na Instituição. A motivação deste trabalho concentra-se em aproveitar a situação de oportunidade desenvolvendo um novo cenário a favor da UFPB a partir de infraestruturas ou estações de recarga com capacidade de operação nas modalidades *Grid to Vehicle* (G2V) e *Vehicle to Grid* (V2G) com finalidade de melhorar a curva de demanda de energia da instituição.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho consiste em realizar uma análise da situação de oportunidade de utilizar a frota de VEs que transita no Campus I da Universidade e utilizar a quantidade de energia armazenada nas baterias como recurso para suprir o *peak-shaving* (picos de demanda). Ao fim, propor novos cenários capazes de minimizar os impactos monetários e amenizar a curva de demanda energética da UFPB.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir uma metodologia que antecipe a quantidade de VEs que serão inseridos na UFPB, como modelar os VEs e propor cenários relativos à penetração dos VEs;
- Implementar uma estratégia de análise de impacto da penetração de VEs na curva de demanda energética e definir cenários de efeito na UFPB;
- Realizar uma análise de modelagem de impacto financeiro em favor da UFPB;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A organização do trabalho é feita da seguinte maneira:

- No capítulo 2 é feita a Revisão Bibliográfica;
- No capítulo 3 é feita a Fundamentação Teórica;
- No capítulo 4 é descrita a Metodologia utilizada neste trabalho;
- No capítulo 5 são apresentadas as Modelagens dos Cenários, Análise e Resultados;
- No capítulo 6 é apresentado a Conclusão e Proposta para Trabalhos Futuros;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o avanço das tecnologias de produção de baterias com maior densidade de energia, maior número de ciclos de carga, melhor segurança e custo mais reduzido, contribuíram fortemente para a crescente captação de VEs. Ademais, as políticas que visam o transporte de baixa emissão e consumo de energia são os principais motivos pelas quais as vendas de VEs são impulsionados. Considerando as políticas já existentes e as anunciadas, os chamados Cenários de Novas Políticas serão de 125 milhões de VEs em circulação até 2030. Cenários mais agressivos estimam que em 2030, 30% da participação das vendas globais de transportes rodoviários serão de VEs, com uma meta ambiciosa de 228 milhões de VEs, complementarmente alinhado ao Acordo de Paris (CHEN X. P. ZHANG; BIAN, 2020). Enquanto isso, com o rápido desenvolvimento dos VEs, os equipamentos de abastecimento ou infraestruturas de carregamento são essenciais. Além da inovação tecnológica presente nos VEs, uma estrutura de carregamento eficaz desempenha um papel fundamental no apoio à ampla adoção dos VEs (CHEN X. P. ZHANG; BIAN, 2020).

Muitos estudos estão sendo concentrados na exploração dos benefícios do uso de VEs no nível da rede elétrica, além das pesquisas relacionadas apenas à redução de emissões. Comumente, os carregadores de VEs possuem capacidade de operação *Grid to Vehicle* (G2V), sendo possível apenas inibir a recarga ou trabalhar com tarifa dinâmica. Entretanto, existem carregadores com capacidade de operação V2G que podem oportunizar uma melhoria para a rede elétrica, uma vez que, além operar com tarifa dinâmica, também possibilita a injeção de potência adicional à rede elétrica operando no modo V2G quando necessário. Anteriormente, foram realizados diversos trabalhos de pesquisa com propósito de observar os impactos da carga de VEs em redes elétricas de distribuição equipadas com carregadores com capacidade de operação G2V e V2G (HUA; ZHOU, 2014), (QIAN C. ZHOU; YUAN, 2011), (VELDMAN; VERZIILBERGH, 2015).

O trabalho desenvolvido por (LEOU, 2016) propôs uma estratégia de carregamento que reduz a demanda de pico da rede, bem como os custos operacionais dos proprietários de VEs baseado na eficiência da bateria e incentivos dos preços da eletricidade, perdas no sistema elétrico e carga de pico. A metodologia utilizada pelo autor considerou a redução de custos de operação como função objetivo e considerou as restrições de VEs e sistemas de energia para estabelecer o controle ideal de carga/descarga de VEs, que atenda à segurança operacional dos sistemas de energia e condução conveniente. O controle é feito considerando a potência de carga/descarga dos VEs, os custos de operação que consideram o custo de carga/descarga como parte da função objetivo, a tarifa dinâmica usada pela Taiwan Power Company e os custos de degradação de descarga da bateria. Os cenários foram montados considerando 100 VEs com diferentes eficiências de bateria e três custos

de operação. As análises consideraram três modos de controle consistindo no controle ideal de carga/descarga de VEs (Modo 1), controle somente de carregamento de VEs (Modo 2) e carregamento livre de VEs (Modo 3). O carregamento livre significa que os VEs começam a carregar imediatamente quando chegam. O autor compara a influência nos custos de operação, carga de pico e perdas de energia para o controle bidirecional de carga/descarga proposto no respectivo estudo, com controle somente de carregamento e modos de carregamento livre de VEs. Porém, a operação V2G não foi avaliada no trabalho.

O trabalho proposto por (MAZUMDER; DEBBARMA, 2020) realiza um estudo abrangente sobre a viabilidade de integração de VEs no sistema elétrico de distribuição existente, considerando esquemas de carregamento lento e rápido. Os autores formularam o problema como uma função objetivo que considera o estado de carga da bateria (*State of Charge* - SoC), tempo de *plug-in* e tempo de *plug-off*, afim de minimizar o preço total de carregamento incorrido pelas estações de recarga, considerando o carregador de VE como um prestador de serviço de energia reativa, e a relação entre a potência de pico e a potência média. Com foco em reduzir o impacto negativo dos VEs nas tensões de nó no sistema elétrico de distribuição, os autores também consideraram o VE como um dispositivo de compensação de potência reativa. No mesmo estudo, simulações foram realizadas na rede elétrica de distribuição de 33 barramentos IEEE e os autores apresentaram de forma mais aprofundada, um estudo sobre a viabilidade máxima da penetração de VEs no sistema elétrico existente. Para resolver este problema, o trabalho apresenta uma solução usando um novo algoritmo de otimização metaheurística chamada algoritmo ciclo da água. Segundo os autores, a estratégia de carga/descarga proposta funcionou bem e resultou em um aumento da penetração de VEs na rede com uma redução no preço de carregamento.

Wang et al. (WANG G. R. BHARATI; MYERS, 2019) desenvolveram um *framework* de coordenação hierárquica para gerenciar de maneira otimizada o despacho de energia ativa e reativa do número de veículos elétricos distribuídos espacialmente (VEs) incorporando restrições de nível de rede de distribuição. A metodologia proposta para os *frameworks* consiste em modelos matemáticos detalhados, que podem beneficiar a operação de ambas as entidades envolvidas, ou seja, as operações da rede e o carregamento de VEs. O primeiro modelo compreende um modelo abrangente de fluxo de energia ideal no nível da rede de distribuição, enquanto o segundo modelo representa o carregamento de VE ideal detalhado com suporte de energia reativa à rede. Os autores demonstraram os benefícios do despacho coordenado de potência ativa e reativa de VEs usando um alimentador de distribuição de 33 nós com grande número de VEs (mais de 5.000). Os estudos de caso apresentados pelos autores demonstram que, em redes de distribuição restritas, o carregamento coordenado reduz o custo médio do carregamento de VE se o carregamento ocorrer no modo de fator de potência não unitário (despachando potência reativa dos VEs para a rede) em comparação com o fator de potência unitário (não despachando energia reativa dos VEs para a rede).

Da mesma forma, os mesmos autores Wang et al. (WANG G. R. BHARATI; MYERS, 2019) demonstraram que a injeção de potência reativa dos VEs para a rede elétrica pode ocorrer de forma coordenada com um gerenciamento de cargas adequado em aplicações de resposta à demanda e consequentemente comportar um número maior de VEs em redes restritas.

No contexto onde diversos estudos abordam as aplicações de VEs integrados à rede elétrica com objetivo de aperfeiçoar as redes de distribuição e somado a principal característica/vantagem dos VEs de reduzir a zero a emissão de carbono, prevê-se a intensificação do número de VEs nas áreas urbanas. Consequentemente, as concessionárias de energia elétrica irão se deparar com oportunidades e desafios como efeito da rápida expansão dos VEs (PHANIVONG Y. S. M.; CALLAWAY, 2019). Por exemplo, a estrutura obsoleta da rede de distribuição será afetada com a inserção de VEs cada vez maior e impactará nas variações de tensão, carregamento de linha, perdas de energia, entre outros (PHANIVONG Y. S. M.; CALLAWAY, 2019), (MIAGHA; CROW, 2017).

Diante do contexto de aumento no pico de demanda, (KIM, 2016) apresentou um trabalho cujo objetivo foi avaliar e propor soluções para os problemas relacionados com o efeito de carga/descarga dos VEs no pico de demanda, subtensão (abaixo de 0,95 p.u.) e sobretensão (acima de 1.05 p.u.) em alguns pontos da rede elétrica, a intermitência na tensão e geração de energia. Com isso, foi realizado um estudo de caso em que se determinou a localização dos VEs, o número de unidades, a capacidade elétrica média para um VE e capacidade elétrica total dos VEs. Os autores concluíram que utilizando do VE como fonte de energia (descarga) em horário de pico, se tem a redução da demanda no horário de pico da rede e, consequentemente, o aumento do fator de carga. Dessa forma, as soluções apresentadas no artigo foram a implementação de novas modalidades tarifárias, incentivando o proprietário do VE a utilizar a rede para recarga em horários onde se tem uma baixa demanda de energia, por exemplo de madrugada.

Ademais, o artigo proposto por (VILLAFILA-ROBLES, 2013) teve como alvo a melhora do sistema de gerenciamento de carga para veículos elétricos conectados à rede, buscando diminuir o impacto do aumento no pico de demanda. Para isso, no estudo de caso, foi necessário, além da determinação do número de veículos elétricos, a caracterização do modo de carregamento, isto é, carregamento rápido ou normal, e sua porcentagem. Além disso, a análise do impacto da integração da demanda do VE foi feita junto à carga nominal de uma rede de média tensão (área urbana de Barcelona - Espanha). Como soluções para o impacto em questão, utilizou-se um algoritmo para gestão do carregamento normal fora das horas de ponta, propondo um controle de carregamento eficiente em conjunto com uso de sistemas de bateria auxiliar em estações de carregamento rápido. Assim, foi verificado que, para a diminuição do aumento no pico de demanda, necessita-se que a rede tenha um sistema de medição e controle um pouco mais avançado, além de também a implementação

de novas modalidades tarifárias, incentivando o proprietário do VE a utilizar do sistema para descarga em horários de pico.

Seguindo a ideia apresentada no parágrafo anterior, (WANG Z.; PARANJAPE, 2014) avaliaram os impactos de penetração dos VEs no sistema de energia e propuseram um modelo de carregamento eficiente. Para isso, foram elaboradas duas simulações com a recarga total do GM EV1 Panasonic - *Lead Acid Battery*. O resultado obtido, mostra que o carregamento descontrolado colocaria em risco o sistema de energia, aumentando o pico de demanda. Dessa forma, foi observado que a carga do VE programada melhora muito a estabilidade do sistema de energia. Com isso, apresentaram como solução o agendamento do VE através da tarifação a fim de melhorar a estabilidade do sistema de energia, além de se fazer um incentivo de preço, em relação às tarifas, para os proprietários dos VEs.

O trabalho apresentado por (DROVTAR, 2013) avaliou a integração em larga escala dos VEs na Estônia. No trabalho foi analisado a demanda de carga adicional no sistema de potência da rede em questão, onde foi observado que, anualmente, o pico de carga e consumo do sistema de energia terá um crescimento significativo. Com isso, o impacto do aumento no pico de demanda em diferentes partes da rede foi observado, visto que áreas com demanda de pico baixas, provavelmente, não têm uma rede elétrica robusta, e o aumento da carga de pico local é maior. Assim, para evitar a sobrecarga na rede, foi realizado um estudo de impacto dos VEs, incluindo a determinação de sobrecarga de linhas de energia e problemas no perfil de tensão, dessa forma realizou-se uma análise que supre a capacidade do sistema de energia sem causar uma sobrecarga ou falha do sistema em outro lugar da rede, caso essa venha a perder algum elemento (linha aérea, transformador, gerador e etc.).

2.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a tecnologia diferenciada e a energia da bateria integrada nos VEs, existe a oportunidade expressiva de fornecer resposta à demanda de energia através da implementação de redes com capacidade de operação na modalidade V2G (MIAGHA; CROW, 2017). Aliado a isso, a crescente demanda por energia elétrica e a escassez dos recursos energéticos convencionais contribuem para a intensificação das pesquisas com foco em aperfeiçoar as redes elétricas tradicionais. Em razão disso, as estratégias de recarga inteligente de VEs possuem um potencial pertinente para a operação da rede com objetivo de reduzir os custos para os usuários e manter a rede elétrica estável e equilibrada.

Foi possível perceber também que os VEs estão se tornando populares em um sistema de rede inteligente devido a capacidade de redução de emissões de dióxido de carbono em comparação aos veículos convencionais com motores de combustão interna. Esta popularização dos VEs deriva da grande preocupação com o meio ambiente e o aprimoramento da sociedade atual para uma sociedade sustentável, visto que a maior parcela de gases do efeito estufa emanam do setor de transporte.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De forma geral, a principal diferença entre os variados tipos de carregadores para carros elétricos é a corrente elétrica utilizada no carregamento. A bateria do carro é sempre carregada em corrente contínua e, portanto, é necessário transformar a energia da rede - disponibilizada em corrente alternada - em corrente contínua para fazer a carga. Alguns carregadores funcionam em CA e contam com o apoio do inversor do carro para transformar em CC e assim alimentar a bateria. Outros são capazes de fornecer a energia direto em CC, sem a necessidade de passar pelo inversor do carro.

Quando um carro elétrico é carregado com corrente alternada, o inversor integrado do carro (ou sistema integrado) é utilizado e é responsável pela conversão da corrente da rede (CA) para a mesma corrente utilizada pela bateria (CC). Ele recebe a corrente alternada e converte para corrente contínua para alimentar a bateria do veículo. O carro elétrico que é carregado por estações em corrente alternada (CA) utiliza seu próprio inversor conectado à rede elétrica através do carregador que tem como principal função gerenciar a quantidade de energia e fazer a intermediação da comunicação necessária com o veículo, além de garantir a segurança do veículo e dos usuários. Na Figura 3.1 é ilustrado o processo de carregamento CA-CA.

O carregador verifica qual a máxima corrente que o veículo pode ser carregado naquele momento, baseado em diferentes fatores como estado de carga da bateria, temperatura, níveis de tensão, etc. Além das informações do veículo, ele também regula o carregamento de acordo com a disponibilidade do ponto de recarga para que a rede não fique sobrecarregada. A principal vantagem dos carregadores CA é que eles são mais acessíveis. Eles podem ser até dez vezes mais baratos que os carregadores CC e muito mais difundidos devido ao preço reduzido. Além disso, são menores e mais fáceis de serem instalados, ideais para uso residencial e comercial.



Figura 3.1 – Processo de carregamento de VEs em corrente alternada. [Fonte: NeoCharge]

O carregamento em corrente contínua, também chamado de carga rápida (*Fast Charging*) é realizado utilizando uma estação de carga CC, no qual converte a corrente alternada (CA) para a corrente contínua (CC) antes de fornece-la para o veículo elétrico. Essa energia é fornecida direto para a bateria do carro por meio do sistema de gerenciamento de bateria (*Battery Management System - BMS*). Desta forma, a carga não é limitada pela potência do inversor do veículo e sim pelo inversor externo do carregador, e por isso pode ser muito mais rápida, sendo essa a sua principal vantagem.

A estação de carga rápida detém uma tecnologia mais complexa, demanda uma infraestrutura elétrica robusta e pode custar até quinze vezes mais que os carregadores CA, em contrapartida possui potência muito mais elevada e o processo de carregamento é muito mais rápido. Uma vez que contornam o inversor do carro, elas devem ser capazes de se comunicar com o veículo para ajustar os parâmetros de potência de acordo com a condição e capacidade da bateria, que possui uma série de sensores e gerenciamentos dedicados.

Devido ao elevado preço e complexidade técnica é menos comum encontrar este tipo de carregador. Sua principal aplicação é para eletropostos em rodovias ou postos de abastecimento, já que são nessas situações que, usualmente, os motoristas precisam de agilidade para seguirem viagem. A potência padrão de uma estação de carga rápida é de 50 kW ou 70 kW, ou seja, duas a três vezes maior que os carregadores CA. Já as estações ultrarrápidas podem chegar a uma potência de até 400 kW, embora já existam modelos capazes de chegar até 600 kW. Na Figura 3.2 é ilustrado o processo de carregamento CA-CC de um veículo elétrico.



Figura 3.2 – Processo de carregamento de VEs em corrente contínua. [Fonte: NeoCharge]

3.1 TIPOS DE CARREGADORES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Existem atualmente diversos tipos de carregadores que são classificados de acordo com diversos parâmetros como portabilidade, capacidade energética, valor e aplicações. Na atualidade existem 5 tipos de carregadores. São eles: Carregador de Emergência, Carregador Portátil, Carregador Residencial ou *Wallbox*, Carregador Comercial ou *Parking* e Estação de Carga Rápida CC ou *Fast Charger DC*.

3.1.1 Carregador de Emergência

O carregador de emergência é o dispositivo que acompanha o VE no momento da compra e que permite carregar o veículo em tomadas comuns de 10 A, como as usadas comumente em unidades residenciais. São dispositivos pequenos e leves, podendo ser carregados no próprio porta-malas. Como o próprio nome sugere, eles podem ser usados em situações não previstas onde não são encontrados carregadores ou tomadas mais potentes. Apesar da conveniência, a baixa potência implica em menor velocidade de recarga das baterias. Geralmente com uma corrente máxima de 8 ou 10 A, o carregador de emergência fornece uma potência máxima de cerca de 2 kW em 220 V ou 1 kW em 110 V. Em um veículo elétrico com uma bateria de 40 kW, por exemplo, uma carga completa levaria 20h ou 40h. O carregamento ocorre de forma muito lenta se comparada com outros tipos de carregadores comerciais.

As montadoras escolheram essa corrente máxima de 8 ou 10 A para evitar riscos de segurança ao usuário e ao carro durante o processo carregamento das baterias. Como as tomadas residenciais suportam este limite, não existe o risco de o usuário do veículo se enganar e utilizar tomadas com capacidade inferior, o que causaria sobreaquecimento dos cabos e tomadas, ou eventualmente até incêndios. Alguns usuários utilizam adaptadores de tomada, sem o conhecimento adequado, atingindo correntes acima daquelas previstas para os cabos e tomadas. Dessa forma, limitar a corrente apresenta ser uma boa medida do ponto de vista de segurança. Na Figura 3.3 é exposto o modelo de carregador emergencial do o VE Zoe da Renault.



Figura 3.3 – Carregador emergencial do Renault Zoe. [Fonte: NeoCharge]

3.1.2 Carregador Portátil

Os carregadores portáteis são similares aos carregadores de emergência, sendo a principal diferença a potência de carregamento. Enquanto os de emergência ficam limitados a 10 A monofásico, os carregadores portáteis podem fornecer até 32 A trifásico, reduzindo drasticamente o tempo de recarga das baterias. A potência máxima de carga é de 22 kW em 380 V (trifásico), mas também existem modelos monofásicos de 7 kW (220 V) e modelos de 3,7 kW (16 A em 220 V). Os modelos mais simples funcionam em uma tensão de 110/220 V, com corrente até 16 A e podem ser ligados diretamente em tomada de 3 pinos. No entanto, são mais lentos e levam mais tempo para carregar completamente a bateria do VE, cerca de 12 a 30 horas.

Com 22 kW é possível carregar uma bateria de 40 kW em menos de 2h, enquanto com 7 kW, uma carga completa poderia levar cerca de 6h. Por esse motivo, os carregadores portáteis têm substituído cada vez mais os carregadores fixos, devido a capacidade de fornecerem a mesma potência, com a vantagem de serem portáteis e mais flexíveis que os tradicionais *Wallbox*. Na Figura 3.5 é exposto um modelo de carregador portátil para VEs da fabricante NeoCharge.

Esses carregadores utilizam tipicamente o modo de carga nível 1, sendo recomendado para casos emergenciais ou recargas noturnas. Os carregadores portáteis são ideais para pessoas que desejam carregar o carro elétrico utilizando apenas um carregador em múltiplos locais (residências, locais de trabalho, estacionamento, entre outros) e para aqueles que não possuem condições elétricas necessárias para a instalação de uma unidade fixa residencial.



Figura 3.4 – Carregador portátil para VEs da NeoCharge. [Fonte: NeoCharge]

3.1.3 Carregador Residencial ou *Wallbox*

O carregamento residencial é responsável por 80% de todo o carregamento feito por motoristas de veículos elétricos. O motivo para isso é que este é o local onde o veículo passa o maior número de horas e, portanto, é a melhor oportunidade para carregá-lo. Os carregadores residenciais (*Home Charger*) são mais rápidos e seguros que os carregadores emergenciais que acompanham o carro no momento da compra. Como são geralmente fixos e instalados na parede, são conhecidos também como *Wallbox* (carregador de parede).

Assim como os carregadores portáteis, os carregadores *Wallbox* são mais rápidos que os emergenciais, pois enquanto o carregador veicular emergencial alcança uma corrente de 10 A, o carregador residencial alcança níveis de corrente de 16 ou 32 A e pode ser instalado em tensões de 220/380 V, dependendo da disponibilidade da rede residencial. São também muito seguros, pois, contam com mais proteções e utilizam uma instalação elétrica dedicada, garantindo maior segurança para os proprietários de VEs, para o equipamento e até mesmo para o imóvel.

O *Wallbox* pode ser instalado tanto na parede como em totens e é comercialmente encontrado na potência de 3,7 kW até 22 kW utilizando corrente alternada (CA) para carregar o VE, levando cerca de 2 a 12 horas para completar totalmente a capacidade de uma bateria de 40 kW. Na Figura 3.5 é exposto um carregador residencial ou *Wallbox* durante o carregamento de um VE.



Figura 3.5 – Carregador residencial ou *Wallbox* para VEs. [Fonte: NeoCharge]

3.1.4 Carregador Comercial ou *Parking*

Os carregadores comerciais ou *Parking* são muito similares aos carregadores residenciais e é possível encontrar espaços comerciais utilizando um carregador residencial, da mesma forma que não seria improvável encontrar um carregador comercial em uma instalação residencial. A maior diferença entre eles é a quantidade de recursos disponíveis no carregador e a robustez. Eles podem ser instalados tanto em áreas internas quanto externas e devido ao tipo da aplicação são projetados para suportar grande fluxo de veículos e até mesmo pequenos acidentes.

Carregadores comerciais frequentemente possuem mais de uma saída para o carregamento, possibilitando carregar mais de um veículo ao mesmo tempo, ideal para estabelecimentos comerciais e condomínios, por exemplo, onde o uso tende a ser compartilhado. São equipamentos inteligentes, permitem monitoramento e controle, possuem alta confiabilidade e robustez, enquanto realizam a carga também em corrente alternada (CA).

Os carregadores comerciais podem ser encontrados no mercado com o nome de estação de recarga ou carregador *parking* (estacionamento), que é uma de suas aplicações mais frequentes. A potência desse modelo varia de 3,7 kW a 22 kW ou até 40kW, em alguns casos com duas saídas e dependendo da disponibilidade da rede elétrica realiza a recarga do veículo com correntes de 16 A ou 32 A. Este nível de potência implica em um tempo de carregamento entre 2 a 6 horas para uma carga completa da bateria de um VE com 40 kWh de capacidade. Na Figura 3.6 é exposto um modelo de carregador comercial ou *parking* da fabricante EVlink recarregando um VE do tipo PHEV.



Figura 3.6 – Carregador Comercial ou *Parking* para VEs. [Fonte: NeoCharge]

3.1.5 Estação de Carga Rápida CC (*Fast Charger DC*)

Os carregadores rápidos, *Fast Charger DC* ou carregadores ultrarrápidos, são os mais potentes existentes em uso e conseguem realizar a recarga da bateria de um VE em poucos minutos, sendo ideais para postos de serviço e abastecimento, rodovias e frotistas. São grandes devido ao inversor integrado em seu interior que fornece energia já em CC. Mesmo assim, ainda possuem saída para carga em CA, quando necessário ou desejável. Para realizar a recarga em uma estação de carga rápida é preciso notar que nem todos os veículos são capazes de carregar em corrente contínua, pois, para que esse tipo de recarga ocorra são necessárias proteções adicionais e um controle mais apurado do fornecimento de energia para as baterias. Normalmente, o carregamento em CC utiliza conectores específicos já anexados ao carregador como o combo CSS ou CHAdeMO.

A carga dos carregadores ultrarrápidos é realizada no modo de carga nível 3 e ele está disponível para ambas correntes CA e CC. Em CA, a estação fornece energia a uma potência de 40 kW a 60 kW, enquanto em CC, a potência chega a 400 kW, ficando limitado à potência máxima de recarga do próprio VE. Por conta desta alta potência o VE é carregado em pouco tempo. As estações de carregamento rápido podem ser instaladas em áreas internas ou externas e geralmente são fixadas no solo. A maioria vem com recursos de medição e gestão de energia, e dispositivos de segurança para proteger tanto o equipamento quanto o veículo. Na Figura 3.7 são expostas algumas estações de carga rápida CC comerciais.



Figura 3.7 – Estação de Carga Rápida CC - *Fast Charger DC* - para VEs. [Fonte: NeoCharge]

3.1.6 Carregador V2G vs Carregador Inteligente

O V2G é uma tecnologia de carregamento bidirecional, que pode transformar um veículo elétrico em uma bateria sobre rodas, permitindo que um VE seja carregado e retorne a energia armazenada no veículo de volta à rede elétrica, se necessário. O carregador bidirecional pode ser programado para se comportar como uma fonte de energia conectada em paralelo à rede, assim como os inversores solares on-grid. O sistema tem sua injeção de potência controlada através de aplicativos ou pela própria interface com o VE. Dessa forma, é possível programar quanto de potência o usuário deseja que o seu VE descarregue na rede, ou ainda os horários de carga e descarga desejados.

O que diferencia um Carregador V2G de um Carregador Inteligente é a capacidade de alternar o modo de operação quando necessário de forma automática, seja esta alternância do G2V para o V2G ou o oposto. Quando a rede elétrica de distribuição local tem a demanda de energia próxima do limite, o carregador inteligente identifica esse aumento e interrompe a recarga dos VEs enquanto a demanda de energia estiver alta. No caso onde a demanda ultrapassa os limites, o carregador inteligente alterna o modo de operação de G2V para V2G e os VEs passam a descarregar as baterias na rede elétrica, injetando potência adicional para controlar os picos excedentes. A ilustração desse processo está exemplificado na Figura 3.8.

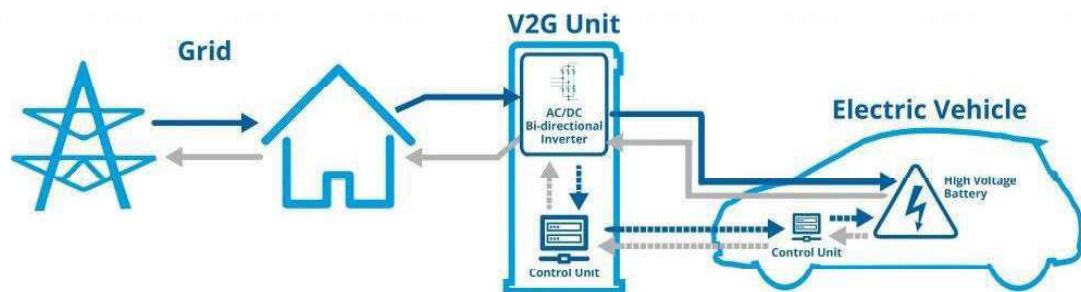


Figura 3.8 – Modos de Operação V2G e G2V.

3.1.7 Considerações Finais

Com base nas aplicações dos carregadores abordados, não foi adotado os carregadores portáteis ou residenciais (*Wallbox*) devido a baixa potência de carregamento e aplicação para rotatividades de VEs menores. Do mesmo modo que, não foi adotado uma estação de carga rápida CC devido ao fato que os VEs não irão à UFPB apenas para reabastecer a energia das baterias e ficarão estacionados por períodos relativamente maiores de tempo.

Assim, o tipo de estação de recarga escolhido para o contexto abordado neste trabalho é a estação de recarga comercial ou *Parking* devido a potência de operação desse tipo de carregador e por ser uma estação característica para suportar um grande fluxo de veículos, mais de uma saída para o carregamento e possibilidade de instalação em áreas externas e internas. Na Tabela 3.1 está exposto um resumo dos tipos de carregadores abordados nesta sessão.

Tabela 3.1 – Tipos de Carregadores de VEs.

Tipo de Carregador	Corrente Demandada (Ampère)	Potência (kW)	Tempo de Carga (Bateria de 40kWh)
Carregador de Emergência	8 a 10	2	20h a 40h
Carregador Portátil	16 a 32	3,7 a 22	2h a 12h
Carregador Residencial ou <i>Wallbox</i>	16 a 32	3,7 a 22	2h a 12h
Carregador Comercial ou <i>Parking</i>	16 a 32	3,7 a 40	2h a 6h
Estação de Carga Rápida CC	Não Especificado	40 a 60 (CA) Até 400 (CC)	Até 10min

Fonte: Autor

3.2 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Atualmente existe uma variedade de tecnologias disponíveis para os carros a combustão, da mesma forma, os veículos elétricos podem acomodar as diferentes necessidades dos usuários. A maior característica de um carro elétrico é que ele pode ser colocado na tomada (plugue) para carregar através de uma fonte de energia externa. Isto os diferencia dos veículos elétricos híbridos, no qual complementam um motor a combustão com a energia da bateria, mas não podem ser carregados por uma tomada.

Existem três tipos básicos de veículos elétricos: os totalmente elétricos, híbridos e híbridos *plugin*. Dentro da categoria dos veículos totalmente elétricos encontra-se os elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicle - BEV*) e os carros elétricos a célula de combustível (*Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV*). Estes são carregados pela energia da rede, e também podem ter parte da bateria recarregada pelos freios regenerativos, no qual reaproveitam um pouco da energia perdida na frenagem do veículo (NEOCHARGE, 2021). Na Figura 3.9 é ilustrado os tipos de veículos elétricos citados.

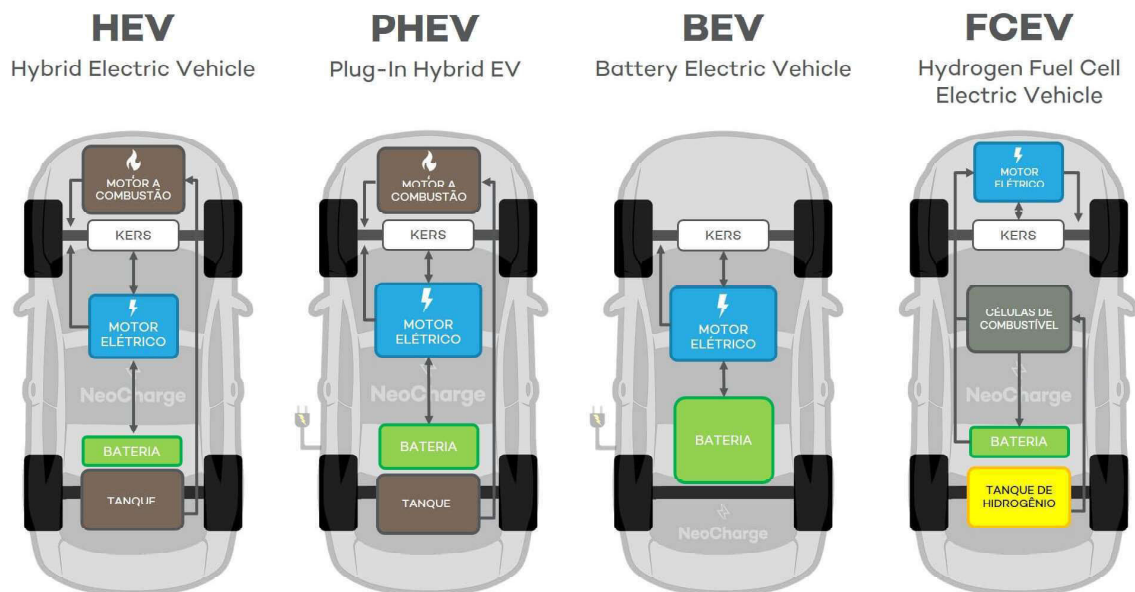


Figura 3.9 – Esquemático de VEs do tipo HEV, PHEV, BEV e FCEV. [Fonte: NeoCharge]

3.2.1 Veículo Elétrico Híbrido (HEV)

Os veículos híbridos (*Hybrid Electric Vehicles - HEV*) utilizam gasolina/álcool ou diesel como principal forma de alimentar o motor a combustão interna. Além de utilizarem o motor a combustão, que é reabastecido normalmente como qualquer outro carro de motor a combustão, os híbridos também possuem um motor elétrico e uma bateria. Os veículos híbridos utilizam tanto o motor elétrico quanto o motor a combustão interna e apresentam de forma significativa uma melhor eficiência de uso do combustível que um carro não híbrido. Eles também poluem menos e economizam no reabastecimento de combustível, uma vez que, o motor elétrico complementa a atividade do motor a combustão em alguns momentos.

Os híbridos mais avançados possuem bateria de maior capacidade sendo que esta pode ser recarregada por uma fonte externa, pela rede elétrica por exemplo, permitindo dirigir por maiores distâncias usando eletricidade antes de trocar para a gasolina/álcool ou diesel. Os freios regenerativos (kers) é uma outra característica quando se fala na economia do combustível. Nas frenagens, os carros convencionais dissipam a energia cinética em forma de calor, diferente dos híbridos que conseguem capturar parte desta energia e transformá-la em eletricidade, que posteriormente é armazenada na bateria. Esta eletricidade pode ser utilizada em outro momento para ajudar na aceleração do carro ou na alimentação de alguns acessórios do veículo. Alguns dos modelos mais conhecidos são: Toyota Prius, Ford Fusion Hybrid e Chevrolet Malibu. Na Figura 3.10 é exposto um esquemático de um VE do tipo HEV.

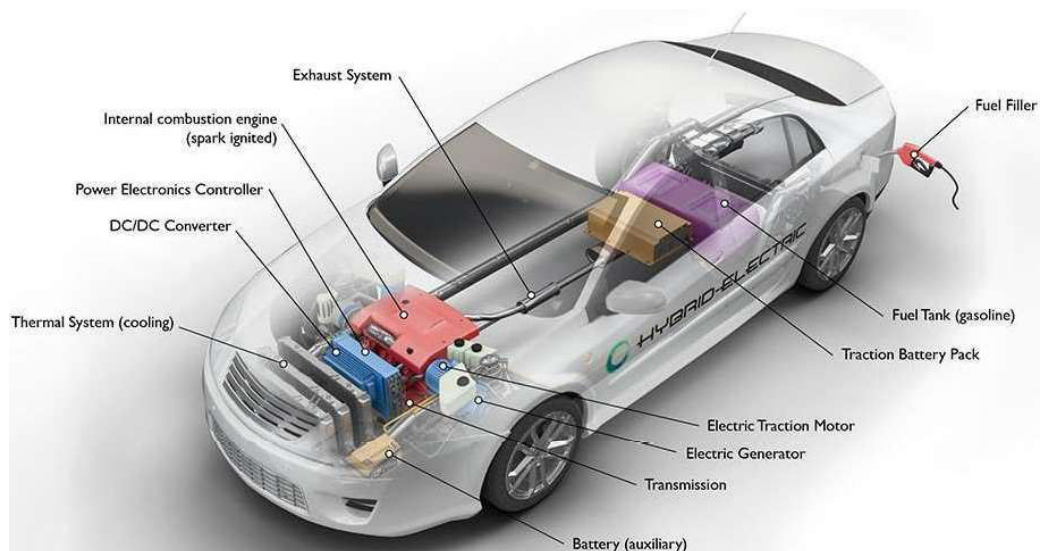


Figura 3.10 – Esquemático de um HEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]

3.2.2 Veículo Elétrico Híbrido *Plugin* (PHEV)

O veículo elétrico híbrido *plugin* (*Plugin Hybrid Electric Vehicle - PHEV*) 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 *plugin* podem ter sua bateria recarregada de duas formas: a primeira é via frenagem regenerativa (*kers*), que é a conversão de parte da energia perdida na frenagem em eletricidade; a segunda forma é por cabo, alimentado de uma fonte externa, como a rede elétrica por exemplo.

Esse tipo de carro elétrico emite consideravelmente menos poluentes que os carros de motor a combustão, devido ao fato de serem carregados por eletricidade vindo da rede. Eles não geram gases de efeito estufa quando funcionando apenas com o motor elétrico, além disso, ganham eficiência no uso do combustível líquido. Uma vez que eles utilizam menos combustível devido ao motor elétrico, dirigir um PHEV gera uma economia monetária significativa por ano em gasolina e diesel. A maioria dos híbridos *plugin* funcionam com pelo menos dois modos:

- 100% elétrico: o motor e a bateria fornecem toda a energia do carro;
- Híbrido: tanto eletricidade, quanto gasolina/álcool ou diesel são utilizados;

Alguns modelos conhecidos são: BMW i8, Mercedes Benz C350e, Volvo V60 PHEV, Mitsubishi Outlander, Volkswagen Golf GTE. Na Figura 3.11 é exposto um esquemático de um VE do tipo PHEV.

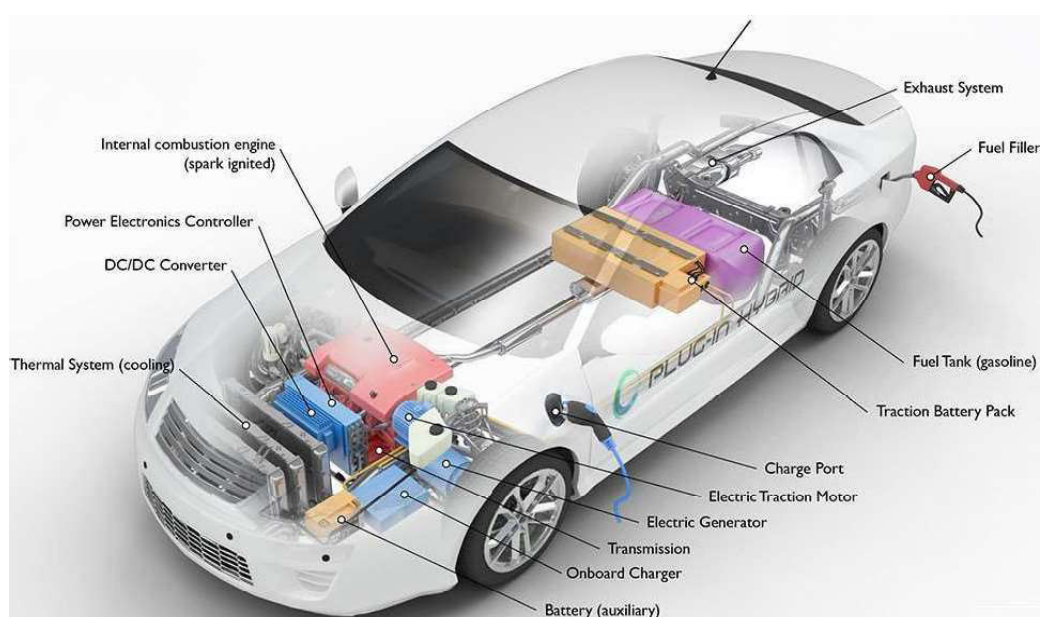


Figura 3.11 – Esquemático de um PHEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]

3.2.3 Veículo Elétrico à Bateria (BEV)

Os carros 100% elétricos, ou veículo elétrico à bateria (*Battery Electric Vehicle* - *BEV*), como também são chamados, usam eletricidade armazenada na bateria para alimentar o motor elétrico e tracionar as rodas. A bateria, quando esgotada, é recarregada utilizando os freios regenerativos (kers) e energia proveniente da rede elétrica via plugue por um carregador de VE. Como eles não utilizam gasolina/álcool ou diesel e são movidos exclusivamente por eletricidade, os veículos elétricos à bateria são categorizados como *Full Electric*.

Os BEVs (Figura 3.12) não emitem nenhum gás poluente ou de efeito estufa. No entanto, a eletricidade que eles utilizam podem vir de fontes que produzem gases e outras poluições na fonte de sua geração ou na extração dos combustíveis fósseis. Não usar gasolina ou diesel significa que os BEVs são significativamente mais baratos para abastecer do que os carros convencionais. Essas comparações dependem do modelo do carro e do preço do combustível, contudo, dirigir um VE *Full Electric* pode gerar uma economia monetária anual substancial. Assim como os HEVs, os BEVs minimizam a perda de energia desligando o motor quando parados no trânsito ou no semáforo.

Com a bateria completamente carregada, os BEVs podem ter uma autonomia entre 100 e 160 km, que é considerado suficiente para o uso diário da maioria dos motoristas dentro da cidade. A bateria de alguns outros modelos pode chegar a ter autonomia na faixa de 420 km com apenas uma única carga. Alguns modelos conhecidos são: Tesla, Chevrolet Bolt, Nissan Leaf, BMW i3, Renault Zoe, Jaguar I-Pace, Volkswagen e-Golf.

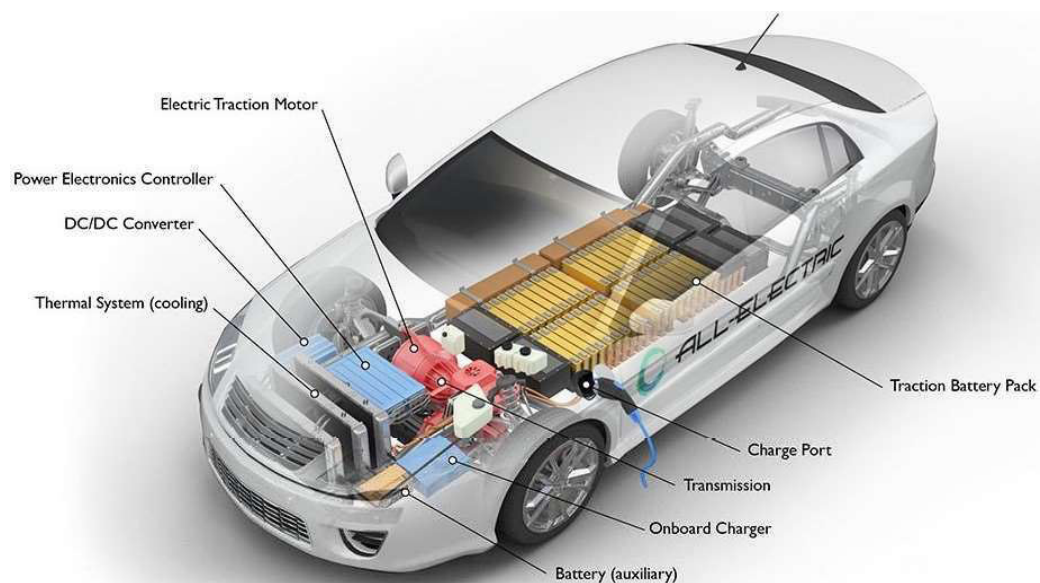


Figura 3.12 – Esquemático de um BEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]

3.2.4 Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV)

Carros elétricos à célula de combustível (*Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV*) utilizam o gás hidrogênio como principal fonte de energia. Diferente dos veículos convencionais que utilizam gasolina/álcool ou diesel como combustível, os FCEVs combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que alimenta o motor elétrico. Esses veículos são considerados VEs por operar totalmente com eletricidade, enquanto sua autonomia e forma de abastecimento ainda se comparam a um veículo normal. Em muitos aspectos, eles se assemelham aos BEVs, diferenciando-se apenas na forma em que a energia é entregue ao motor elétrico. A conversão de gás hidrogênio em eletricidade produz apenas água e calor, ou seja, não há produção de gases poluentes.

Os FCEVs (Figura 3.13) combinam a autonomia e tipo de reabastecimento (posto de reabastecimento) de um carro convencional com os benefícios de dirigir um carro elétrico. Reabastecer os veículos à célula a combustível é semelhante ao reabastecimento de um carro normal, uma vez que o hidrogênio pressurizado é vendido em estações de recarga, análogo a gasolina/álcool ou diesel que é vendido em postos de combustíveis. O tanque de hidrogênio leva menos de 10 minutos para encher completamente. Uma vez cheio, a autonomia dos célula a combustível pode variar, mas é semelhante aos carros normais abastecidos a gasolina/álcool ou diesel, entre 320 a 600 km. Alguns modelos conhecidos são: Toyota Mirai, Hyundai Tucson FCEV, Hyundai Nexo, Honda Clarity.

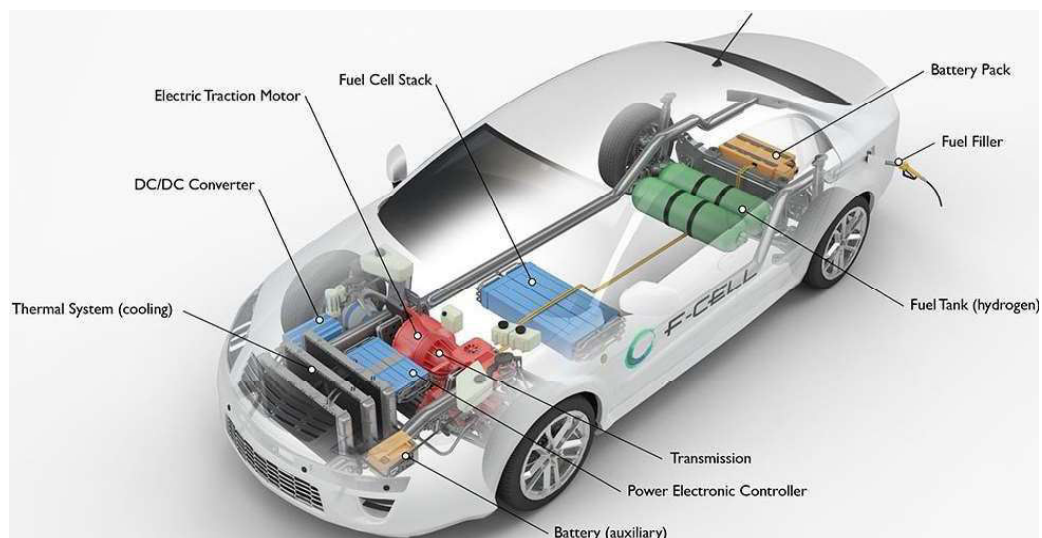


Figura 3.13 – Esquemático de um FCEV. [Fonte: U.S. Department of Energy]

3.2.5 Considerações Finais

Com base nos tipos de VEs abordados nesta Sessão, não foi adotado para a modelagem um VE do tipo HEV devido ao fato que este tipo de veículo não dispõe de tecnologia para recarga externa (plugue). Do mesmo modo que, não foi adotado um VE do tipo FCEV, devido as características desse tipo de veículo que diferem do propósito a ser abordado neste trabalho, uma vez que esse tipo de veículo combina hidrogênio e oxigênio para gerar energia. Ainda, para a modelagem não foi adotado um VE do tipo PHEV devido a capacidade reduzida da bateria quando comparado com um VE do tipo BEV.

Dessa forma, o tipo de VE escolhido para o contexto abordado neste trabalho é o BEV, devido a bateria desse tipo de VE ter uma capacidade maior quando comparado aos outros tipos e dispor de tecnologia de recarga por meio de fontes externas (*plugin*). Na Tabela 3.2 está exposto um resumo dos tipos de VEs abordados nesta Sessão.

Tabela 3.2 – Tipos de VEs.

Tipo de VE	Tipo de Motor	Alimentação do Motor	Carregamento por Fonte Externa
HEV	Combustão Interna e Elétrico	Gasolina/Alcool ou Diesel e Freios Regenerativos (kers)	NÃO
PHEV	Combustão Interna e Elétrico	Gasolina/Alcool ou Diesel, kers e eletricidade	SIM
BEV	Elétrico	Eletricidade e kers,	SIM
FCEV	Elétrico	Eletricidade e Célula de Combustível	SIM

Fonte: Autor

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi baseada na problemática da falta de gerenciamento de cargas que afetam diretamente a UFPB e impactam financeiramente a instituição. O estudo realizado para a metodologia considerou o levantamento do percentual do aumento de veículos elétricos na Paraíba, o estudo dos cenários sem carregador inteligente com a situação de oportunidade de carregamento dos veículos na universidade e a possibilidade de fornecimento de energia do veículo para a rede da UFPB tendo em vista o impacto energético e financeiro que será causado na rede elétrica da universidade sem e com o gerenciamento de cargas.

Dessa forma, a metodologia proposta é organizada da seguinte forma:

- Análise do crescimento da frota de veículos elétricos no Brasil.
- Análise do crescimento de VEs em relação aos veículos a combustão.
- Determinação do tipo de veículo mais utilizado na Paraíba.
- Determinação do modelo do veículo elétrico a ser adotado para a modelagem com as características da bateria.
- Determinação da estação de recarga a ser adotado considerando o perfil de carregadores utilizados em locais de alta rotatividade de veículos em entidades/empresas de médio e grande porte.
- Modelagem dos cenários comparativos considerando a rede elétrica da UFPB com V2G e sem V2G.
- Projeção de impacto econômico local com o gerenciamento de cargas adequado utilizando uma rede elétrica inteligente com V2G.

4.1 CRESCIMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

Segundo dados do (DENATRAN, 2021), existem 111.446.870 veículos automotores no Brasil (elétricos e a combustão), onde apenas na região Sudeste existem aproximadamente 47,92% do total de veículos no país, seguido pela região Sul com 19,57%. Na região Nordeste a estatística é de 17,57% da frota de veículos, na região Centro-Oeste 9,47% e na região Norte 5,44% da frota de veículos no Brasil. Da totalidade da frota de veículos, aproximadamente 0,04% são elétricos, sejam eles híbridos, híbridos plugin ou BEVs, totalizando assim aproximadamente 45.000 unidades (DENATRAN, 2021).

A NeoCharge® realizou um estudo sobre o panorama de veículos elétricos no Brasil e o crescimento da adoção de VEs ao longo dos últimos anos. Na Figura 4.1 é apresentado um panorama da frota de VEs híbridos, híbridos *plugin* e elétricos no Brasil desde 2015 até os dias atuais.

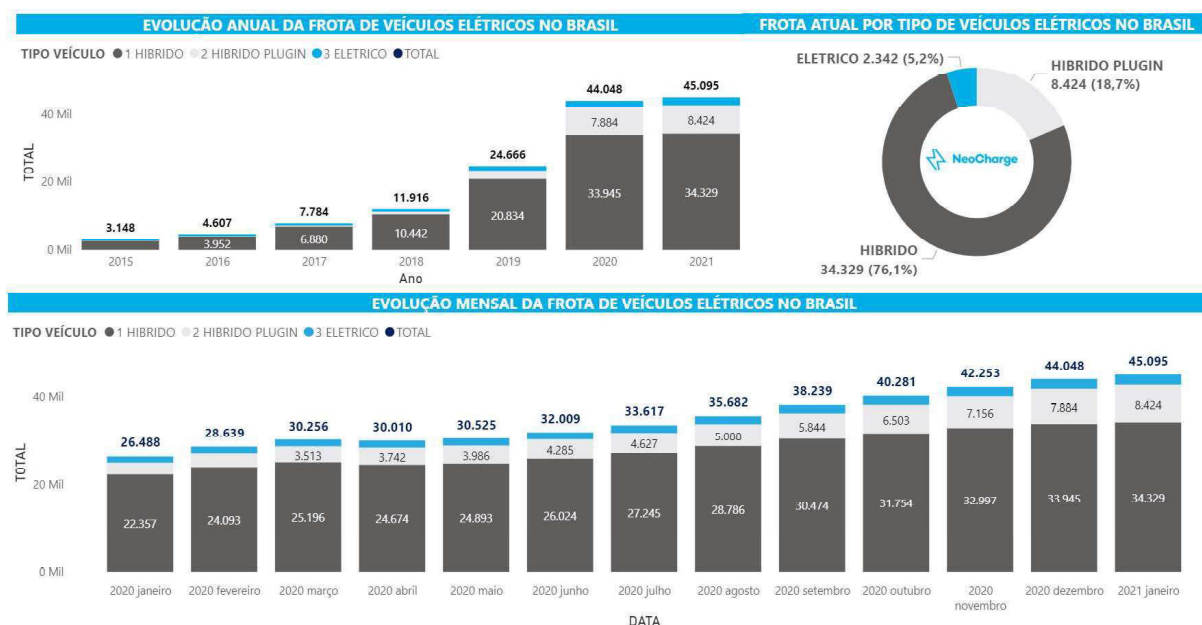


Figura 4.1 – Evolução da Frota de EVs no Brasil. [Fonte: NeoCharge, 2021]

No mesmo estudo, a NeoCharge® forneceu dados a respeito da distribuição de VEs por estados e cidades do país até os dias atuais. Conforme o dados, o estado de São Paulo possui a maior parcela de veículos híbridos do Brasil com 32,67%, seguido de Minas Gerais com 7,42%, Rio de Janeiro com 7,17%, Paraná com 6,25%, Rio Grande do Sul com 6,18%, Santa Catarina com 5,95%, Distrito Federal com 4,8%, Bahia com 4,79% e os demais estados abaixo de 3%, totalizando 34.329 VEs Híbridos.

Para VEs de tipo Híbrido *Plugin*, o estado de São Paulo possui 39,64%, seguido por Santa Catarina com 9,90%, Minas Gerais com 6,78%, Paraná com 6,28%, Rio Grande do Sul com 5,24%, Rio de Janeiro com 4,70%, Distrito Federal com 4,42% e os demais estados do Brasil com porcentagens inferiores a 3,00%.

Na categoria de VEs *Full Electric*, São Paulo dispõe de 37,78% da categoria no Brasil, seguido por Paraná com 14,56%, Minas Gerais com 9,69%, Santa Catarina com 5,21%, Rio de Janeiro com 5,12%, Bahia com 4,70%, Distrito Federal com 3,89%, Pernambuco com 3,07% e os demais estados brasileiros com porcentagens inferiores a 3,00%. Na Figura 4.2 estão expostos de forma organizada os números exatos de cada categoria de VEs, bem como seus respectivos percentuais.

ESTADO	QTD	% QTD	ESTADO	QTD	% QTD	ESTADO	QTD	% QTD
SAO PAULO	11.217	32,67%	SAO PAULO	3.339	39,64%	SAO PAULO	838	35,78%
MINAS GERAIS	2.547	7,42%	SANTA CATARINA	834	9,90%	PARANA	341	14,56%
RIO DE JANEIRO	2.462	7,17%	MINAS GERAIS	571	6,78%	MINAS GERAIS	227	9,69%
PARANA	2.146	6,25%	NAO INFORMADO	557	6,61%	NAO INFORMADO	176	7,51%
RIO GRANDE DO SUL	2.121	6,18%	PARANA	529	6,28%	SANTA CATARINA	122	5,21%
SANTA CATARINA	2.043	5,95%	RIO GRANDE DO SUL	441	5,24%	RIO DE JANEIRO	120	5,12%
DISTRITO FEDERAL	1.649	4,80%	RIO DE JANEIRO	396	4,70%	BAHIA	110	4,70%
BAHIA	1.645	4,79%	DISTRITO FEDERAL	372	4,42%	DISTRITO FEDERAL	91	3,89%
GOIAS	1.013	2,95%	ESPIRITO SANTO	201	2,39%	PERNAMBUCO	72	3,07%
ESPIRITO SANTO	988	2,88%	PERNAMBUCO	173	2,05%	RIO GRANDE DO SUL	63	2,69%
PERNAMBUCO	859	2,50%	GOIAS	153	1,82%	CEARA	38	1,62%
CEARA	802	2,34%	BAHIA	143	1,70%	ESPIRITO SANTO	31	1,32%
MATO GROSSO	710	2,07%	MATO GROSSO DO SUL	141	1,67%	GOIAS	23	0,98%
PARA	564	1,64%	MATO GROSSO	137	1,63%	RIO GRANDE DO NORTE	17	0,73%
MATO GROSSO DO SUL	509	1,48%	CEARA	77	0,91%	MATO GROSSO DO SUL	16	0,68%
MARANHAO	493	1,44%	AMAZONAS	66	0,78%	AMAZONAS	12	0,51%
PARAIBA	370	1,08%	RIO GRANDE DO NORTE	57	0,68%	PARAIBA	10	0,43%
NAO INFORMADO	357	1,04%	ALAGOAS	54	0,64%	PARA	7	0,30%
PIAUÍ	323	0,94%	PARAIBA	54	0,64%	SERGIPE	7	0,30%
RIO GRANDE DO NORTE	288	0,84%	PIAUÍ	52	0,62%	PIAUÍ	6	0,26%
AMAZONAS	279	0,81%	SERGIPE	36	0,43%	ALAGOAS	5	0,21%
SERGIPE	214	0,62%	PARA	22	0,26%	MARANHAO	3	0,13%
ALAGOAS	185	0,54%	MARANHAO	9	0,11%	MATO GROSSO	2	0,09%
RONDONIA	182	0,53%	RONDONIA	8	0,09%	TOCANTINS	2	0,09%
TOCANTINS	148	0,43%				ACRE	1	0,04%
ACRE	101	0,29%				AMAPA	1	0,04%
						RONDONIA	1	0,04%
Total	34.329	100,00%	Total	8.424	100,00%	Total	2.342	100,00%

(A)

(B)

(C)

Figura 4.2 – Distribuição de VEs no Brasil: (A) Híbridos (B) Híbridos *Plugin* (C) *Full Electric*.
[Fonte: NeoCharge, 2021]

Segundo análises, as regiões com maior concentrações de veículos elétricos no Brasil são resultado de incentivos de desenvolvimento de infraestrutura (como pontos de carregamento e eletropostos) e de projetos tecnológicos, além da implantação de VEs compartilhados que oferecem um serviço e demonstram a tecnologia do automóvel, atraindo adotantes de VEs (VOLAN T., 2019)

4.1.1 Crescimento de VEs em Relação à Veículos a Combustão

Em 2019, a quantidade de veículos elétricos no Brasil alcançou a marca de 1.271 veículos do tipo BEVs e 2.499 veículos híbridos *plugin*. No ano de 2020, os números alcançaram a marca 2.151 veículos do tipo BEV e 7.884 veículos híbridos *plugin*. Isto representa um aumento de 69,23% para a frota de veículos elétricos do tipo BEVs e 215,48% para os veículos do tipo híbrido *plugin*. O avanço na adoção de VEs é ainda perceptível quando analisados os dados entre 2020 e 2021. Em 2020, no Brasil, o número de VEs do tipo BEV partiu de 2.151 para 3.087, representando um aumento de 43,51%. Para veículos do tipo híbridos *plugin*, o crescimento foi de 7.884 para 13.857 veículos do tipo PHEV, representando um aumento de 75,76% do ano de 2020 para 2021. As estatísticas citadas estão expostas graficamente na Figura 4.3.

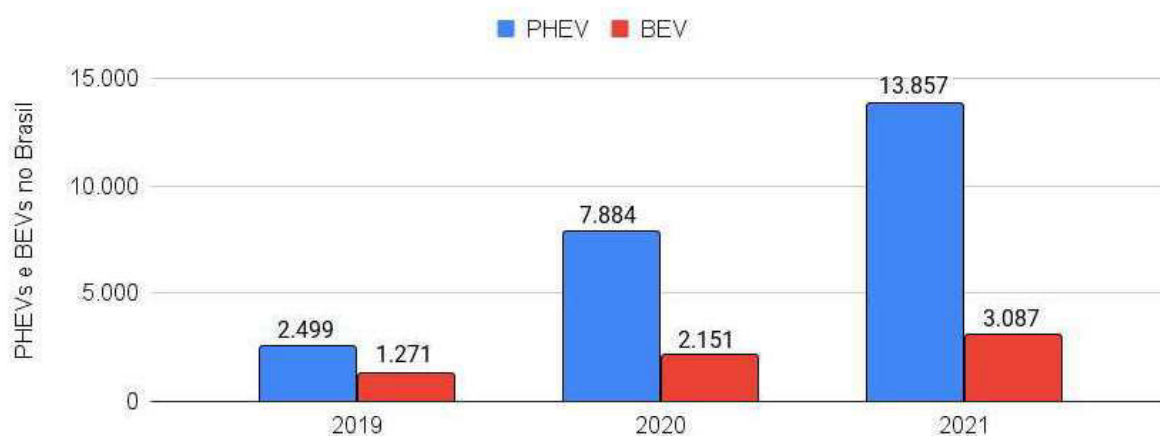


Figura 4.3 – Aumento de PHEVs e BEVs de 2019 até 2021 no Brasil. [Fonte: NeoCharge]

Segundo dados fornecidos pelo Departamento de Trânsito da Paraíba (DETRAN-PB), em 2020 o número de veículos a combustão em todo o estado da Paraíba era de 160.802 (passeio e SUVs) e de veículos elétricos, segundo o estudo realizado pela NeoCharge®, considerando os Híbrido *Plugin* (PHEV) e os Veículo Elétrico à Bateria (BEV) era de 59 VEs (NEOCHARGE, 2022). Este número de VEs representava 0,0367% do número de veículos automotores na Paraíba.

Em 2021, segundo dados estatísticos atualizados do Departamento de Trânsito da Paraíba, o número de veículos a combustão no estado da Paraíba era de 167.668 (passeio e SUVs) e de veículos elétricos, segundo o estudo realizado pela NeoCharge®, era de 102 VEs, correspondendo a 0,0212% da frota atual de veículos automotores na Paraíba. Os veículos a combustão alcançaram um crescimento de 4,15% em relação ao ano anterior, enquanto o crescimento do número de VEs alcançou 72,88% com relação à 2020 e a frota total de veículos automotores obteve um crescimento de 4,27%.

Nesse contexto, considerando um aumento linear e aplicando o mesmo crescimento de 2020 para 2021 nos dois anos subsequentes, com finalidade de estimar o aumento da

demanda energética com base no aumento da frota de veículos elétricos, é possível observar um aumento de 72,88% na frota de VEs para 2022 e 2023, resultando em 176 VEs em 2022 e 304 VEs em 2023, correspondendo assim, a 0,1% e 0,166% da frota de automóveis na Paraíba em 2022 e 2023 respectivamente, conforme exposto nas Figuras 4.4 e 4.5.

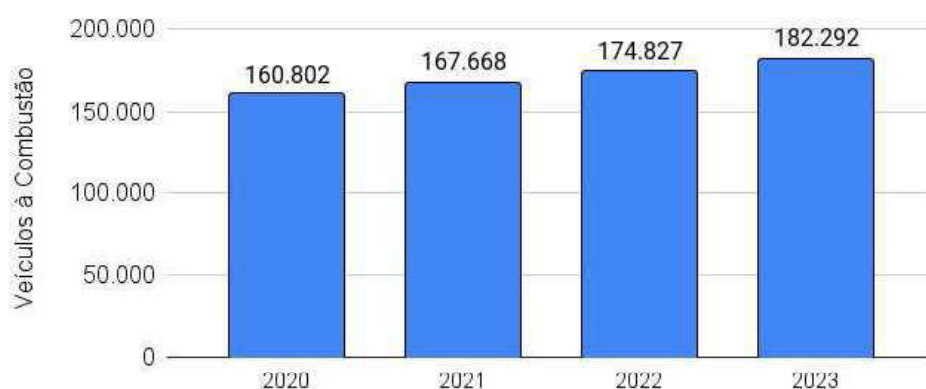


Figura 4.4 – Estimativa do aumento da frota de veículos a combustão na Paraíba. [Fonte: Autor]

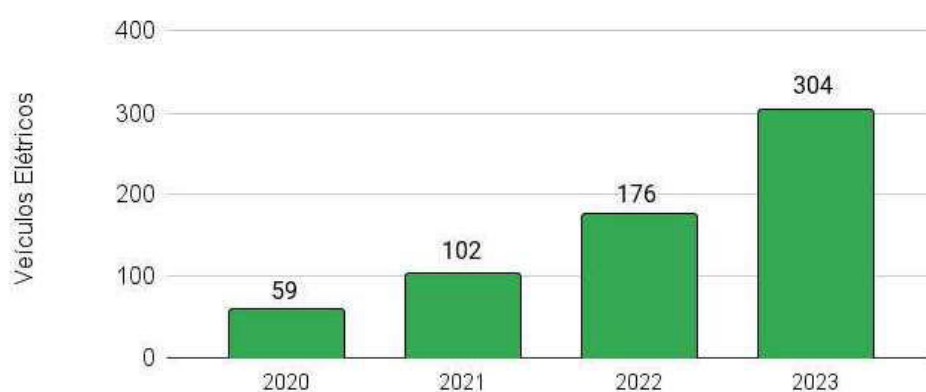


Figura 4.5 – Estimativa do aumento da frota de VEs na Paraíba. [Fonte: Autor]

Com esse crescimento, a UFPB necessita estar preparada para receber essa demanda energética adicional e ter um gerenciamento de cargas otimizado para que as penalidades monetárias atuais sejam reduzidas e não elevadas.

4.2 TIPO DE VEÍCULO MAIS UTILIZADO NA PARAÍBA

Na Seção 4.1, foi apresentado um levantamento realizado pela empresa NeoCharge® com base nos dados do DENATRAN, sobre a evolução da frota de veículos elétricos no Brasil de 2015 até os dias atuais, considerando os tipos de veículos elétricos existentes: Híbridos, Híbridos *Plugin* e *Full Electric*.

Considerando, de forma específica, a participação do estado da Paraíba na frota de veículos elétricos do país, os dados do Departamento de Trânsito do Estado da Paraíba (DETRAN-PB, 2021), apresentam uma estatística de abril de 2021 expondo as frotas de veículos em todas as cidades do estado classificados por veículos nacionais, veículos importados, tipo de veículo e tipo de combustível, que pode ser observado nas Tabelas 4.1 e 4.2. Na Figura 4.6 são apresentados os mesmos dados da Tabela 4.2, considerando a soma de todos os veículos nacionais e importados de forma mais visual e intuitiva.

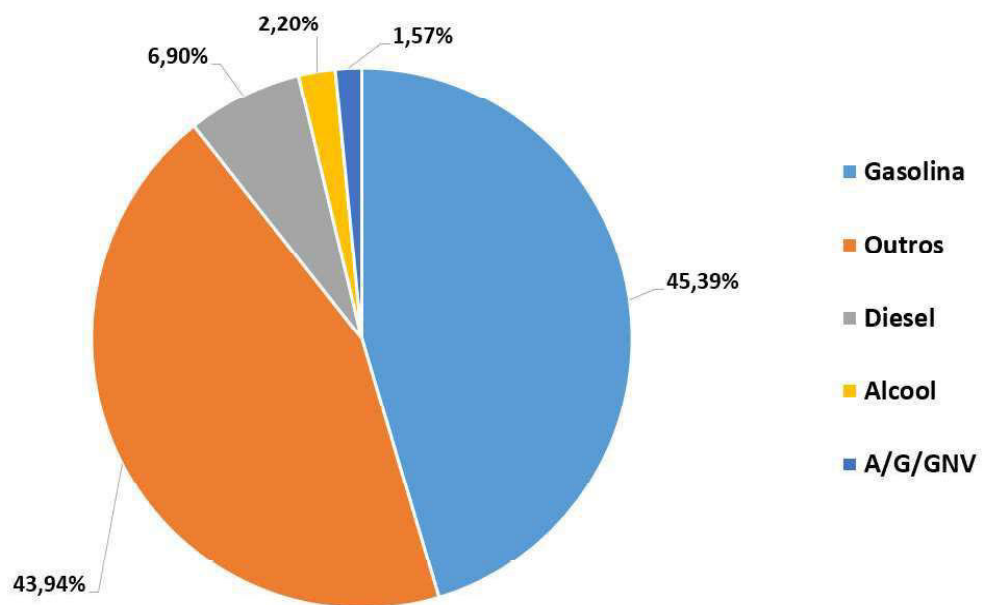


Figura 4.6 – Distribuição de veículos na Paraíba (nacionais e importados) classificados por tipo de combustível. [Fonte: DETRAN-PB]

Tabela 4.1 – Frota de Veículos Nacionais por Tipo de Combustível e Tipo de Veículo na Paraíba.
[Fonte: DETRAN-PB]

Tipo do Veículo	Tipo de Combustível					Total de Veículos
	Alcool	Gasolina	Diesel	A/G/GNV	Outros	
Ciclomotor	16	8.202	0	0	2	8.220
Motoneta	0	48.528	0	0	26.525	75.053
Motociclo	26	381.514	1	0	151.201	532.742
Triciclo	1	174	0	0	87	262
Quadriciclo	0	0	0	0	0	0
Automóvel	27.517	147.762	571	16.466	346.888	541.204
Microônibus	0	15	2.812	24	100	2.951
Ônibus	0	1	8.099	0	0	8.100
Caminhoneta	2.866	8.263	4.952	1.988	16.164	34.233
Caminhonete	1.113	7.531	21.253	2.432	37.014	69.343
Caminhão	16	70	29.785	1	0	29.872
Trator	0	0	3.260	0	1	3.261
Outros	5	950	5.330	23	18.175	24.483
Total Nacional	31.560	605.010	76.063	20.934	596.157	1.329.724

Tabela 4.2 – Frota de Veículos Importados por Tipo de Combustível e Tipo de Veículo na Paraíba.
[Fonte: DETRAN-PB]

Tipo do Veículo	Tipo de Combustível					Total de Veículos
	Alcool	Gasolina	Diesel	A/G/GNV	Outros	
Ciclomotor	7	23.583	3	0	1	23.594
Motoneta	0	465	0	0	23	488
Motociclo	1	7.969	0	0	7	4.977
Triciclo	0	220	0	0	0	220
Quadriciclo	0	0	0	0	0	0
Automóvel	38	13.198	81	1.230	33.556	48.103
Microônibus	0	5	2.277	1	0	2.283
Ônibus	0	0	119	0	0	119
Caminhoneta	6	3.246	1.067	201	1.721	6.241
Caminhonete	1	549	14.498	264	680	15.992
Caminhão	0	9	906	1	3	919
Trator	0	0	49	0	0	49
Outros	0	2.220	4.345	33	433	7.031
Total Import.	53	48.464	23.345	1.730	36.424	110.016
Nac. + Import.	31.6133	653.474	99.408	22.664	632.581	1.439.740

É importante citar que na categoria “Automóveis”, enquadram-se veículos de Hatch, Sedans e SUVs. Dessa forma, é possível observar pelos dados expostos nas Tabelas 4.1 e 4.2 que os veículos do tipo passeio (elétricos e à combustão) são os mais utilizados no estado da Paraíba. Este dado é relevante para embasar a escolha do veículo elétrico a ser considerado para as modelagens dos cenários nas sessões seguintes.

4.3 MODELO DE VE ADOTADO: NISSAN LEAF

O modelo escolhido para simular este trabalho foi o Leaf (Figura 4.7) da fabricante Nissan®. A bateria do Nissan Leaf é composta por 24 módulos com 8 células dentro de cada módulo e pesa 300 kg, cerca de 20% do peso total do carro, de 1.500 quilos. O motor elétrico tem potência de 110 kW, equivalente a 149 cv a 9.795 rpm. O torque do Nissan Leaf é de 32,6 kgfm a 3.283 rpm. São 8,19 voltas do motor para uma da roda.

A autonomia do Nissan Leaf é de 389 km no ciclo WLTP. Há três modos de condução: ECO, que limita o desempenho e economiza energia; B, que usa frenagem regenerativa mais potente para recarregar a bateria com mais eficiência, enquanto modo D usa potência máxima do motor.

O Nissan Leaf importado para o Brasil é fabricado na Inglaterra e não necessita de adaptações para ser vendido no país. Possui 15,5 centímetros de altura do solo e a bateria sob o assoalho é totalmente blindada e resistente a impacto. Não requer cuidados especiais. O Leaf mede 4,48 metros de comprimento; 1,79 m de largura; 1,56 m de altura e 2,70 m de distância entre-eixos. As especificações técnicas do Nissan Leaf podem ser verificadas na Tabela 4.3.



Figura 4.7 – Nissan Leaf Ano Modelo 2020. [Fonte: Nissan]

Tabela 4.3 – Especificações técnicas do Nissan Leaf MY2020. [Fonte: Nissan®]

Motor	
Tipo	Elétrico (110 W - kW)
Potência	149 cv @ 9.975 rpm
Torque	32,6 kgfm @ 3.283 rpm
Elétrico	
Tipo de Bateria	Bateria de Íon-lítio laminada (40 kWh)
Tração	
Eixo	2WD
Suspensão	
Dianteira	Independente, tipo McPherson, com barra estabilizadora
Traseira	Eixo de torção com barra estabilizadora
Freios	
Dianteiros e Traseiros	Discos dianteiros e traseiros ventilados
Direção	
Tipo	Elétrica com assistência variável
Dimensões Exteriores	
Comprimento	4.480 mm
Largura	1.790 mm
Altura	1.565 mm
Altura livre do solo	155 mm
Distância entre eixos	2.700 mm
Rodas	
Rodas	Liga leve de 17"
Pneus	215/50 R17"
Capacidade	
Capacidade de Passageiros	5
Emissão de CO ₂	0
Porta-Malas	435 litros

4.4 MODELO DE CARREGADOR ADOTADO

O carregador adotado para a proposta deste trabalho foi a Estação de Recarga de Veículo Elétrico WEG® Wemob *Parking* – 2x 22kW (P-022-E-3G-R-H-2T2) com potência de até 22 kW, display e 2 cabos inclusos Tipo 2 para carregamento em corrente máxima de 32 A. A estação de carregamento pode ser instalado em solo, na área interna ou externa e conta com garantia de 1 ano contra defeito de fabricação.

A estação de carregamento de VE WEG® Wemob *Parking* é um carregador com 2 cabos inclusos de 22kW de potência cada para recarga de veículos elétricos. É uma estação moderna, conta com todas as proteções inclusas, autenticação via cartão RFID e possui display em LCD em sua interface para acompanhar o status da recarga do veículo.

Esta estação de recarga possui pedestal para fixação no solo e sua estrutura reforçada permite uso coletivo em áreas externas, sendo recomendado tanto para pontos comerciais, quanto estacionamentos privados, estações de carregamento compartilhado, vias públicas ou qualquer local que precise de gerenciamento de carga e cobrança. É uma estação rápida compatível com a maioria dos veículos elétricos atuais e seu sistema proporciona um carregamento confiável e seguro. Na Figura 4.8 é exposto a estação de carregamento adotada para a modelagem dos cenários, bem como dispositivos de interface homem-máquina (IHM) e conexões.



Figura 4.8 – Estação de Recarga de Veículo Elétrico WEG® Wemob *Parking* – 2x 22kW (P-022-E-3G-R-H-2T2). [Fonte: NeoCharge]

O modelo da fabricante WEG® garante a integridade física do veículo ao ser carregado, não deixando que o cabo seja desconectado. Isso assegura uma recarga sem interrupção e possibilita o abastecimento do banco de bateria do veículo elétrico em sua capacidade máxima. É possível destacar algumas funcionalidades do modelo adotado como:

- **Cabo Anexado:** O cabo utilizado para carregar o carro elétrico já vem incluso com a estação de recarga. Basta conectar no carro elétrico e começar a carregar;
- **Experiência Facilitada:** A estação de carregamento possui controle de acesso seguro via cartão RFID por aproximação, aplicativo celular ou operação automática, permitindo fácil acesso;
- **Dupla Saída de Tomada:** O carregador possui duas tomadas padrão Tipo 2, permitindo o carregamento de dois carros elétricos ao mesmo tempo;
- **Tela em LCD:** O display em LCD colorido na interface do carregador permite ao usuário acompanhar as informações de recarga do veículo elétrico;
- **Conexão de Supervisão:** É possível acessar o carregador para realizar manutenção e supervisão de todas as informações da estação de recarga de forma remota utilizando portal em nuvem;
- **Gerenciamento da Estação:** Este carregador veicular permite o usuário monitorar o controle de carga, realizar medição de energia, gerar relatórios e garantir acesso à usuários. Ideal para locais com uso compartilhado;
- **Robustez e Integridade:** O carregador veicular tem a estrutura em aço e é revestido com material anticorrosivo, suportando fortes impactos mecânicos e é a prova de água, sendo adequado tanto para áreas internas, quanto externas;

As principais aplicações para a estação de carregamento WEMOB-P-022-E-3G-H-2T2 são em estacionamentos, áreas privadas e áreas públicas, empresas, shoppings, supermercados, *coworking*, frotistas, locais que precisem de controle de acesso e locais com gerenciamento de pontos.

A estação de carregamento possui um sistema de comunicação para supervisão, onde o carregador conta com a exclusividade da autenticação RFID, tecnologia utilizada para monitoramento e gerenciamento de pontos de recarga. As informações podem ser acessadas via cabo Ethernet com protocolo OCPP ou tecnologias 3G/4G. Dentre os serviços, podem-se destacar: Gerenciamento de acesso de usuário, detalhes do histórico de recargas, reportes, gerenciamento de pontos e manutenção. Atualmente a estação de recarga WEG® Wemob *Parking* – 2x 22kW é comercializada ao preço de R\$ 33.299,00. Na Tabela 4.4 são expostas as especificações técnicas de forma detalhada.

Tabela 4.4 – Especificações da Estação de Recarga WEMOB-P-022-E-3G-H-2T2

Marca e Linha:	WEG® Wemob Parking
Modelo:	WEMOB-P-022-E-3G-R-H-2T2
Potência Máxima:	22 kW
Tensão de Operação:	380 Vca
Corrente Máxima:	32 A
Frequência:	60 Hz
Tipo de Conector:	Tipo 2
Quantidade de Tomadas:	2
Cabo Anexado:	Incluso - 4,7 metros
Instalação:	Solo
Polos:	3F + N
Aterramento:	TT, TN-S, TN-C-S, TI
Controle de Acesso:	Cartão RFID ou acesso livre
Gestão de Energia:	Integrado
Comunicação:	OCPP 1.6
Índice de Proteção:	IP 54 IK08
Temperatura de Operação:	0 + 45 °C
Proteção:	Incluso
Garantia:	1 ano
Dimensão:	598 x 1610 x 180 mm
Peso:	52 kg

4.5 MODELAGEM DO PROBLEMA

A Universidade Federal da Paraíba atualmente enfrenta um grande problema com respeito as demandas energéticas da instituição. Pode ser observado na Figura 4.9 a curva de demanda energética da UFPB de um dia, onde, o eixo Y corresponde ao consumo de energia em kWh, cada barra corresponde a um intervalo de quinze minutos de medição e a reta em vermelho a demanda contratada da universidade (4290 kWh). A energia consumida excede os limites contratados pela instituição, gerando como consequência multas e assim, despesas que poderiam ser evitadas com a utilização de uma rede inteligente que compensasse este excedente injetando potência na rede elétrica quando necessário.

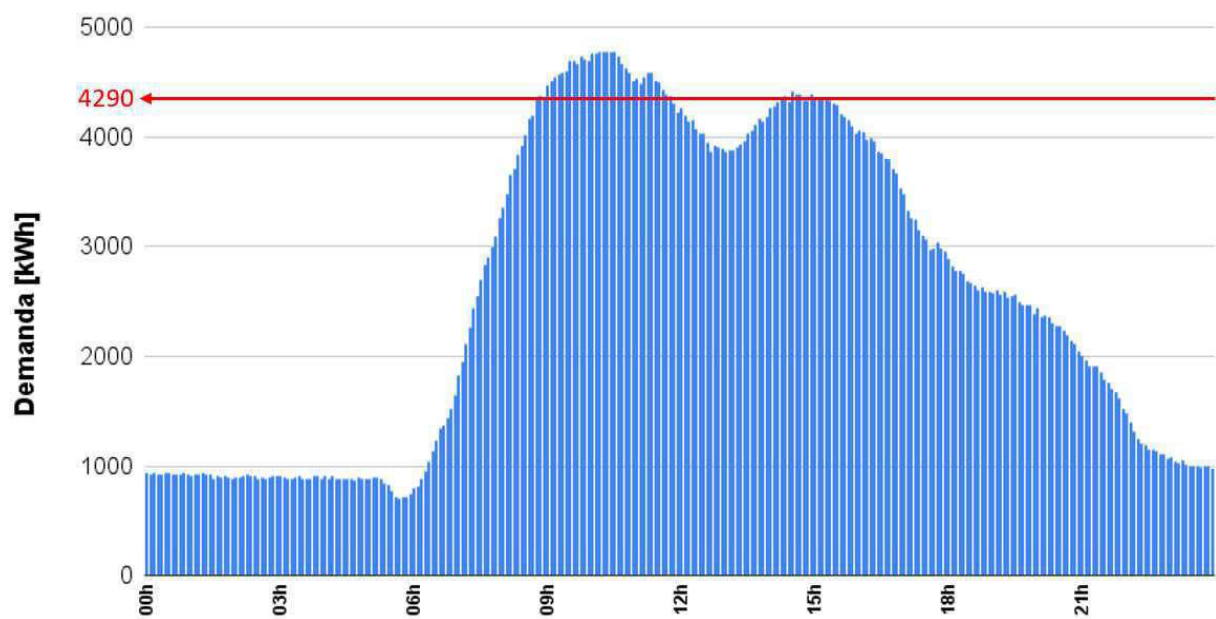


Figura 4.9 – Demanda energética diária da UFPB. [Fonte: Autor]

O valor da Demanda Contratada é basicamente um acordo e é importante para que o sistema elétrico esteja preparado para atender toda a carga nacional. O sistema elétrico é composto de diversas ligações e tem de estar dimensionado e preparado para atender as cargas que estão conectadas a ele, ou seja, quando fala-se de demanda, fala-se na demanda de potência em kW/MW que uma empresa ou entidade pública de médio/grande porte necessita.

Na Figura 4.10 é exposto um exemplo de uma fatura de energia correspondente ao consumo e demanda da UFPB. É possível observar que o excedente de energia corresponde a 526 kW para esta fatura do mês de março de 2020, gerando uma multa superior a R\$30.000,00 em um único mês. A multa gerada mensalmente não ocorre a partir de um acúmulo de demanda excedida. ao ultrapassar a demanda de energia que foi contratada pela entidade, a multa é imediatamente aplicada independente da janela de tempo em que ocorreu o excedente de energia. Dessa forma, é necessário uma estratégia ou tecnologia que seja capaz de inibir a ultrapassagem que acontece atualmente. Com base nos dados

disponíveis até o momento, é possível obter uma primeira estimativa para avaliar se a proposta de integrar uma rede V2G como solução para este problema é viável.

DEMONSTRATIVO											
CCI	Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Base Calc. PIS/COFINS (R\$)	PIS(R\$) (0,9401%)	COFINS(R\$) (4,3302%)
0601	Consumo em kWh - Ponta	112.000,000	0,412210	0,591140	66.209,26	66.209,26	25	16.552,31	66.209,26	622,43	2.866,99
0601	Consumo em kWh - Fora Ponta	1.086.400,000	0,262610	0,376600	409.150,62	409.150,62	25	102.287,66	409.150,62	3.846,42	17.717,04
0601	Adic. B. Amarela				5.956,44	5.956,44	25	1.489,11	5.956,44	56,00	257,92
0601	Energia Reativa Exced em kWh - Fponta	14.000,000	0,226830	0,325290	4.554,18	4.554,18	25	1.138,54	4.554,18	42,81	197,20
0602	Demanda de Potência Medida - Ponta	2.912,000	59,970000	86,003520	250.442,26	250.442,26	25	62.610,56	250.442,26	2.354,41	10.844,65
0602	Demanda de Potência Medida - Fora Ponta	4.816,000	19,940000	28,596130	137.718,99	137.718,99	25	34.429,76	137.718,99	1.294,70	5.963,52
0602	Demanda Potência Ativa - Ultrap - F Ponta	526,000	39,880000	57,192270	30.083,13	30.083,13	25	7.520,78	30.083,13	282,81	1.302,66
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS											
0807	CONTRIB SERVILUM.PÚBLICA				12.051,52	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
0903	IMPOSTO RENDA (-) 02/2020				-25.906,17	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
0903	CONTRIBUIÇÃO SOCIAL (-) 02/2020				-9.041,14	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
0903	COFINS (-) 02/2020				-27.123,44	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
0903	PIS/PASEP (-) 02/2020				-5.876,74	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total:					848.218,91	904.114,88		226.028,72	904.114,88	8.499,58	39.149,98
CCI: Código de Classificação do Item											

COMPOSIÇÃO DO CONSUMO			VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
DISCRIMINAÇÃO	VALOR (R\$)	%	26/03/2020	R\$ 848.218,91
SERVIÇO DISTRIBUIÇÃO ENERGISA PB	247.635,50	27,02		

Figura 4.10 – Fatura de energia da UFPB do mês de fevereiro de 2020. [Fonte: UFPB]

A UFPB atualmente sofre com esse excesso de demanda energética, e esse crescimento acarretará em penalidades monetárias maiores com o crescimento da frota de veículos elétricos. Consequentemente este cenário tende a piorar se a UFPB não possuir uma estratégia ou rede inteligente que seja capaz de realizar o gerenciamento de cargas e compensar todo esse acréscimo de demanda.

4.6 LEVANTAMENTO DE VAGAS NA UFPB

Em 2009, todo o Campus da Universidade Federal da Paraíba foi cercado, possibilitando a entrada à universidade apenas pelos portões de acesso. Atualmente existem 09 portões no Campus I da UFPB, onde 06 permitem acesso através de veículos motorizados. De acordo com o Diretor da Divisão de Segurança do Campus I da UFPB, João de Deus das Neves, os portões de acesso que permitem acesso motorizado funcionam das 05h às 23h todos os dias (CEVADA, 2015).

O Campus I da UFPB atualmente possui uma estrutura para veículos motorizados composto por 15 bolsões de estacionamentos pavimentados distribuídos, totalizando 2.530 vagas de estacionamento formais e cerca de 10 bolsões de estacionamento com vagas informais, como exposto na Figura 4.11 (CEVADA, 2015).

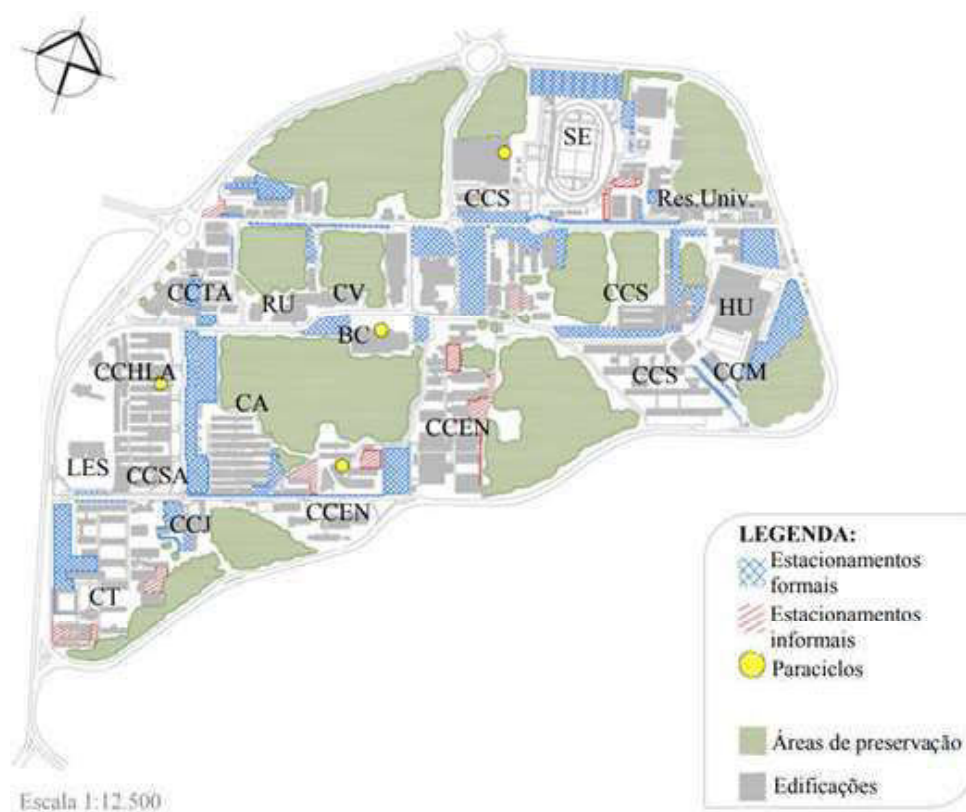


Figura 4.11 – Estacionamentos e Paraciclos no Campus I da UFPB. [Fonte: (CEVADA, 2015)]

O fluxo de entrada no Campus nos horários de pico de um dia típico pode ser observado nas Tabelas 4.5 e 4.6, onde é possível perceber o grande volume de tráfego e alguns dados importantes para a mobilidade urbana interna do Campus. Os resultados propostos por (CEVADA, 2015) foram agrupados de três formas: por modo, por portão e por horário. No total, houveram cerca de 17.431 acessos nos três horários de pico do dia, exposto na Tabela 4.5. Do maior para o menor fluxo, observa-se que 46,9% foram de acesso por automóveis, 43,3% de pedestres, 8,0% de motocicletas, 1,2% de bicicletas e 0,5% de veículos atípicos (ônibus, caminhões, ambulâncias, viaturas, etc.).

Tabela 4.5 – Fluxo de Acesso por Modo/Portão. [Fonte: (CEVADA, 2015)]

Modo\Portão	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Total	
Pedestres	293	33	798	88	304	215	1.116	2.149	2.552	7.548	43,3%
Bicicletas	28	0	6	7	17	35	21	14	87	215	1,2%
Motocicletas	35	0	143	81	43	400	4	153	544	1.403	8,0%
Automóveis	-	-	999	652	116	3.546	-	521	2.341	8.175	46,9%
Outros	-	-	3	20	0	32	-	16	19	90	0,5%
Tipo de Portão	NM	NM	SR	SR	SR	SR	NM	SR	SR	17.431	100%

NM = não motorizado. SR = sem restrições quanto ao tipo de modo

Tabela 4.6 – Fluxo de Acessos ao Campus por Turno/Modo. [Fonte: (CEVADA, 2015)]

Turno / Modo	Pedestres		Bicicletas		Motocicletas		Automóveis		Outros	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
06h30 - 08h30	3.211	43	124	58	536	38	3.920	48	44	49
12h30 - 14h30	2.526	33	68	32	411	29	2.745	34	40	44
18h30 - 20h30	1.811	24	23	11	456	33	1.510	18	6	7
Total	7.548	100	215	100	1.403	100	8.175	100	90	100

Na Tabela 4.6, pode-se observar o fluxo de acessos ao Campus por turno e modo. O período de maior intensidade de fluxo ocorreu no período da manhã, das 06h30 às 08h30, resultado também evidente por modo. O período do início da tarde também apresentou grande índice de acessos e o turno da noite foi o menos intenso.

4.7 SITUAÇÃO DE OPORTUNIDADE

Considerando o fluxo de acessos atual dos automóveis ao Campus da UFPB exposto na Sessão 4.6, Tabela 4.5, é possível extrapolar o crescimento da frota de VEs para a frota em circulação no campus da universidade. Como citado na Sessão 4.1.1, 0,212% dos automóveis na Paraíba são elétricos, extrapolando esta estatística para os dados da UFPB apresentados na Tabela 4.6, com base em um fluxo de acessos de 8.175 carros, aproximadamente 17 carros seriam elétricos, representando 0,212% da frota que circula diariamente no campus da universidade.

Da mesma forma, extrapolando a mesma projeção de crescimento apresentada na Sessão 4.1.1, com um crescimento estimado de 72,88% para 2022 e 2023 com relação aos VEs, 4,06% com relação aos veículos à combustão e 4,15% na frota total, pode-se inferir que esse crescimento impacte a UFPB, elevando o fluxo de veículos no campus para 8.514 automóveis em 2022 e 8.867 em 2023. Dessa forma, seria plausível considerar que em 2023 a frota de veículos elétricos alcançasse o número de 176 VEs na Paraíba, representando 0,633% da frota total de veículos automotores e assim, 56 veículos elétricos circulando na UFPB. É apresentado na Tabela 4.7 de forma mais organizada as estimativas realizadas.

Tabela 4.7 – Estimativa de crescimento de VEs no fluxo automotor da UFPB.

Ano	Fluxo Automotor	VEs na UFPB	% de VEs
2020	8.175	11	0,130
2021	8.514	18	0,212
2022	8.868	32	0,366
2023	9.236	58	0,633

Fonte: Autor

O aumento de veículos elétricos circulando na universidade, conforme exposto na Sessão 4.1.1 provocaria o aumento na demanda energética atual. De acordo com o exposto na Sessão 4.5, a Universidade Federal da Paraíba atualmente sofre com o excesso de demanda energética acarretando em penalidades monetárias significativas e com o aumento da frota de veículos elétricos este cenário tende a piorar.

A metodologia proposta neste trabalho é baseada nas medições diárias de energia da Universidade Federal da Paraíba de janeiro de 2018 até outubro de 2018 agrupadas em intervalos de 15 minutos. A implementação de uma rede inteligente V2G para sanar o problema de demanda energética consiste em criar pontos de transferência de energia de forma bidirecional, isto é, pontos em que eventualmente a energia possa ser transferida para a bateria de um veículo elétrico, e de forma antagônica, a energia possa ser transferida do veículo elétrico para a rede energética local da universidade a fim de balancear a demanda de energia excedente. A estratégia para retornar essa energia disponibilizada pelos usuários de VEs com benefícios será abordada na Sessão 5.5.4.

Segundo as medições realizadas no intervalo de janeiro de 2018 a outubro de 2018,

42 dias ultrapassaram a demanda contratada da UFPB sempre no mesmo intervalo de horários, das 9h às 12h no período matutino e das 14h às 16h no período vespertino, correspondendo a aproximadamente 21% do ano letivo (considerando o 200 dias letivos ao ano) nos meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio e Outubro. Como forma de estimar precisamente a quantidade de energia que seria necessária fornecer a rede nos períodos de excesso de demanda, foi analisado de forma particular um dia de ultrapassagem para que fosse possível identificar o número de veículos elétricos necessários para reduzir o excedente de energia durante o evento de descarga das baterias e posteriormente extrapolar para os demais dias. Na Figura 4.12 é exposto a quantidade de energia necessária para suprir o excedente a cada 15 minutos.

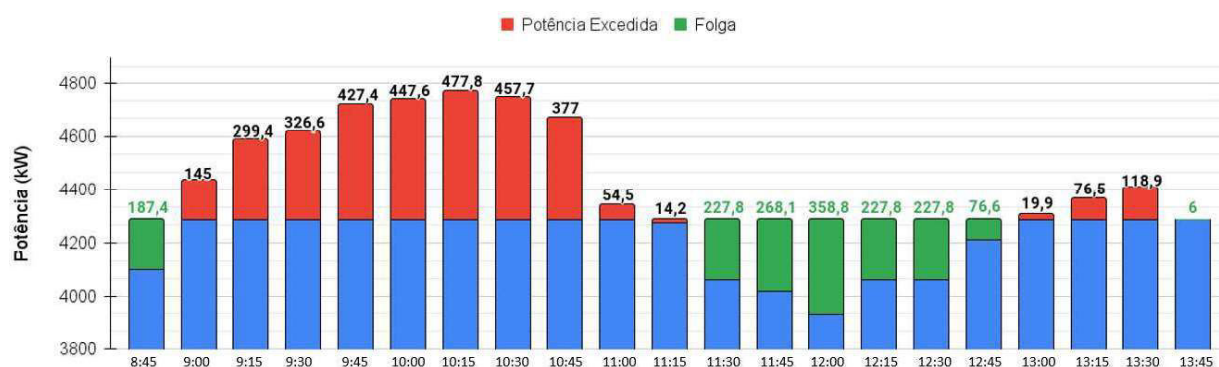


Figura 4.12 – Energia excedente a demanda contratada da UFPB. [Fonte: Autor]

Para o presente estudo de caso, foi considerado como modelo referência, a estação de recarga exposta na Sessão 4.4, sendo este, a estação de recarga de veículo elétrico WEG® Wemob *Parking* modelo P-22-e-3g-R-H-2T2 da fabricante WEG® com potência de até 22 kW e duas saídas de recarga com corrente máxima de 32 A, com capacidade para recarregar até dois veículos elétricos simultaneamente. Outra consideração feita para o estudo de caso e as presentes estimativas foi o modelo do veículo elétrico adotado exposto na Sessão 4.3, sendo este o modelo Leaf da fabricante Nissan®. O modelo do VE adotado dispõe de uma bateria composta por 24 módulos com 8 células no interior de cada módulo, com energia de 40 kWh.

Como pode ser observado na Figura 4.12, nos primeiros 15 minutos de ultrapassagem de demanda seriam necessários uma injeção de potência de 145 kW para que nesse curto intervalo de tempo a demanda energética não ultrapassasse a contratada. De acordo com as configurações da estação de carregamento e o modelo de referência do VE adotados, durante 5 minutos cada VE com bateria de 40 kW seria capaz de fornecer 1,83 kWh para a rede energética local. Isto implica que seriam necessários 26,4 VEs descarregando durante estes primeiros 5 minutos. Como não é possível fracionar a quantidade de veículos, seria necessário exatamente 27 VEs descarregando simultaneamente e 14 estações de recarga operando a 21,6 kWh para suprir o excedente energético da universidade.

O mesmo cálculo foi realizado para cada intervalo de tempo afim de estimar a quantidade de veículos elétricos necessários para cada nível de energia excedente. Os valores estimados podem ser observados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Quantidade estimada de VEs e estações de recarga.

Intervalo	Excedente (kW)	# de VEs	# de Estações
1	145,0	27	14
2	299,4	55	28
3	326,6	60	30
4	427,4	78	39
5	447,6	82	41
6	477,8	87	44
7	447,7	84	42
8	377,0	69	35
9	54,5	10	5
10	14,2	3	2
17	74,6	14	7
18	74,6	14	7
19	84,7	16	8

Fonte: Autor.

As demais medições que não ultrapassaram a demanda contratada da universidade são as janelas de oportunidade para recarregar os veículos elétricos que estariam conectados à rede através das estações de carregamento. Dessa forma, nas situações em que a demanda estivesse próxima do limite que foi contratado, as estações entrariam em um modo de espera (*standby*) até o momento em que pouco tempo antes de exceder o limite contratado da UFPB, as estações começariam a descarregar as baterias para a rede local da universidade.

5 MODELAGEM DOS CENÁRIOS, ANÁLISE E RESULTADOS

5.1 EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA

Ao longo do tempo, o consumo de energia tende a não ser o mesmo de anos anteriores e aumentar a medida que a sociedade avança. Considerando o cenário global vivido entre 2020 até os dias atuais em 2022, a pandemia da COVID-19 que impôs o isolamento e a adesão da maioria das atividades cotidianas para a modalidade remota, distorceu o consumo de energia elétrica da UFPB em 2020 e 2021. Assim, com a finalidade de estabelecer a taxa de crescimento anual da demanda de energia na Universidade, foi considerado o aumento percentual da demanda de energia do ano de 2017 até o ano de 2020, calculado a média desse crescimento e a média do aumento percentual extrapolado para os anos subsequentes.

Portanto, com base nos anos de 2017 e 2018, a demanda de potência medida (fora ponta) registrada em 2017 foi de 4.413,26 kW e a demanda de potência medida (fora ponta) registrada em 2018 foi de 4.592 kW. Assim, este mesmo cálculo foi feito para os anos de 2018-2019 e 2019-2020 com finalidade de obter a média de crescimento anual de demanda medida e realizar a extrapolação.

Dessa forma, o aumento percentual da demanda de potência medida (fora ponta) entre os anos de 2017 e 2020 foi reajustada, em média, em 2,9% ao ano. Extrapolando este crescimento percentual para os anos de 2021, 2022 e 2023, foi possível estimar a demanda de energia para os anos seguintes e modelar os cenários propostos. Os dados de demanda de potência medida e projeções podem ser observados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Projeção de Demanda de Potência Medida (Ponta) na UFPB.

Ano	Demanda de Potência Medida - F. Ponta (kW)	Crescimento %
2017	4.413,26	-
2018	4.592,00	4,05
2019	4.648,00	1,22
2020	4.816,00	3,48
2021	4.955,65	2,9
2022	5.099,36	2,9
2023	5.247,24	2,9

Fonte: Autor

Estes dados e projeções são relevantes para embasar a projeção da evolução da demanda de energia na Universidade para os anos subsequentes e o impacto que a estratégia de gerenciamento de cargas pode provocar na UFPB. Na próxima subseção serão apresentados as modelagens e cenários propostos.

5.2 CENÁRIO 1: CHEGANDO COM APROXIMADAMENTE 0% DA BATERIA

5.2.1 Projeção para 2022

Considerando as estimativas expostas nas Tabelas 4.7 e 5.1, no ano de 2022 teríamos um aumento de 32 veículos elétricos circulando na Universidade. O pior cenário faz a consideração de que todos os VEs chegam na UFPB no mesmo horário com a carga da bateria próxima de 0%. Isto implica em um aumento da demanda energética de 1280 kWh, considerando 32 VEs com bateria de 40 kWh cada. Considerando a quantidade de carregadores fixada em 25 estações, este cenário causaria uma sobrecarga no sistema elétrico da universidade de ainda maior do que o atual, cerca de 29,83% da demanda contratada, considerando a potência do carregador de 22 kW conforme a projeção exposta na Figura 5.1.

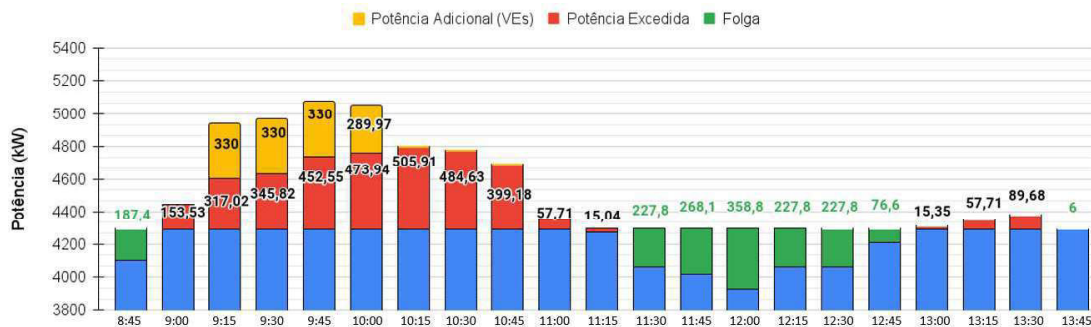


Figura 5.1 – Cenário 1 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]

5.2.2 Projeção para 2023

Nas mesmas considerações da Subsessão 5.2.1, no ano de 2023 teríamos um aumento de 58 veículos elétricos circulando na Universidade. Isto implica em um aumento da demanda energética de 2320 kWh, considerando 58 VEs com bateria de 40 kWh cada. Este cenário causaria uma sobrecarga no sistema elétrico da universidade de ainda maior do que o atual, cerca de 54,07% da demanda contratada, conforme a projeção exposta na Figura 5.2.

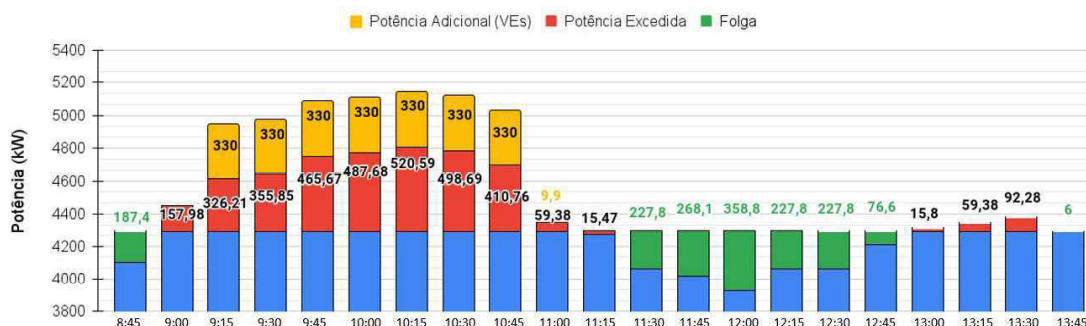


Figura 5.2 – Cenário 1 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]

5.3 CENÁRIO 2: CHEGANDO COM APROXIMADAMENTE 60% DA BATERIA

5.3.1 Projeção para 2022

O cenário 2 considera que todos os VEs chegam na UFPB com aproximadamente 60% da carga da bateria, sendo necessário recarregar os 40% restantes na universidade. Esta consideração implica em um aumento de demanda energética de 512 kWh, considerando 32 VEs com bateria de 40 kWh cada. Nestas configurações, a UFPB seria impactada com uma sobrecarga no sistema elétrico local de 11,93% da demanda contratada, considerando a potência do carregador de 22 kW. A projeção para o presente cenário é exposta graficamente na Figura 5.3.

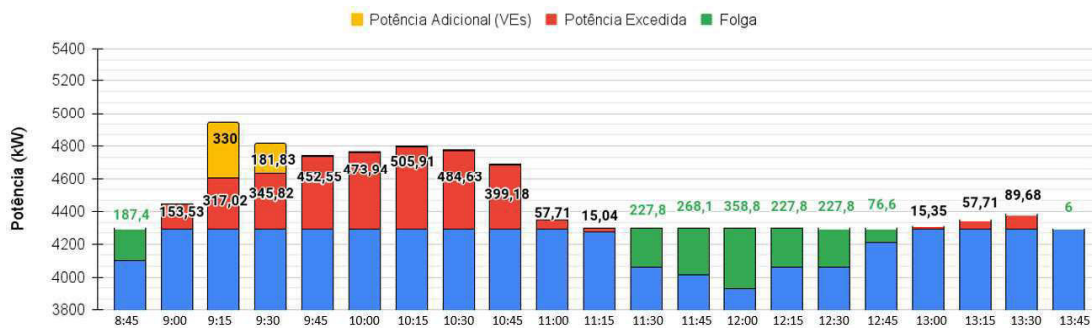


Figura 5.3 – Cenário 2 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]

5.3.2 Projeção para 2023

Considerando a projeção exposta na Tabela 4.7, no ano de 2023 teríamos um aumento de 58 veículos elétricos circulando na Universidade. O cenário 2 considera que todos os VEs chegam na UFPB no mesmo horário com a carga da bateria próxima de 60%. Isto implica em um aumento da demanda energética de 928 kWh, considerando 58 VEs com bateria de 40 kWh cada. Este cenário causaria uma sobrecarga no sistema elétrico da universidade de ainda maior do que o atual, cerca de 21,63% da demanda contratada, considerando a potência do carregador de 22 kW. A projeção para o presente cenário é exposta graficamente na Figura 5.4.

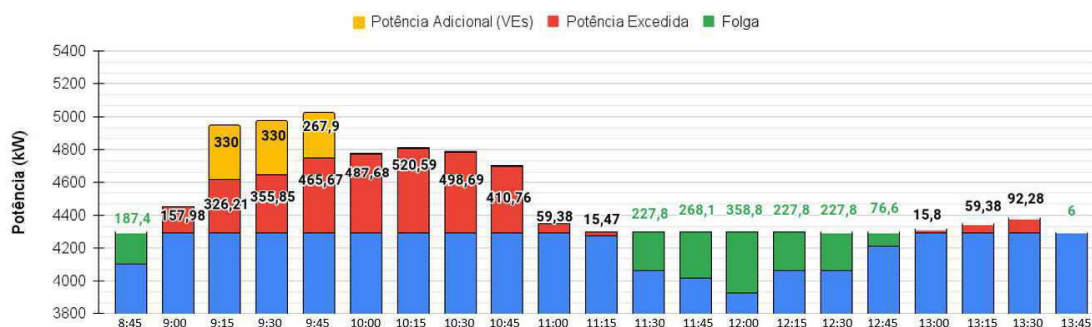


Figura 5.4 – Cenário 2 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]

5.4 CENÁRIO 3: FORNECENDO ENERGIA À UNIVERSIDADE

5.4.1 Projeção para 2022

O terceiro cenário considera que todos os VEs chegam na universidade com a bateria próxima da carga total. Assim, a situação de oportunidade seria realizar a descarga das baterias nos horários de ultrapassagem com intuito de reduzir o pico de energia excedente. Dessa forma, com base nas projeções expostas na Tabela 4.7, no ano de 2022 com o aumento de 32 VEs chegando na universidade no mesmo horário com 100% da carga das baterias, a sobrecarga energética seria reduzida em -49,59% do pico excedente para 2022. A projeção para o presente cenário é exposta graficamente na Figura 5.5.

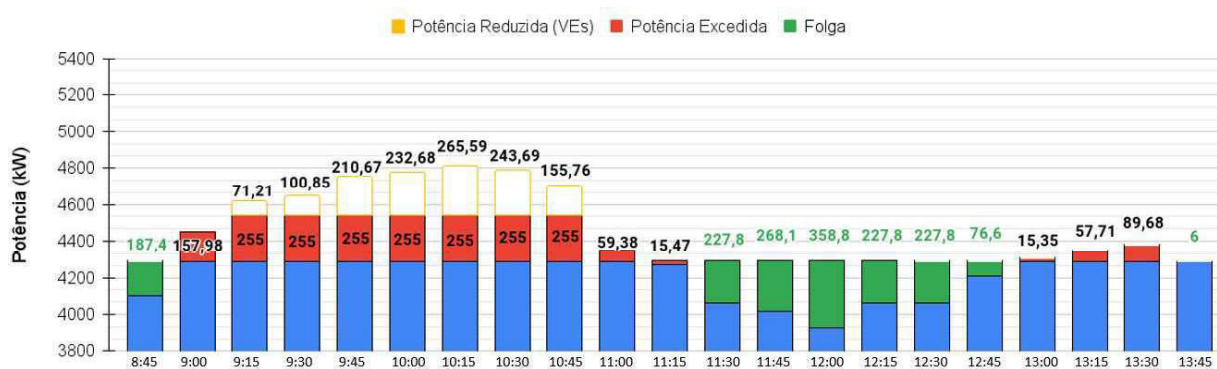


Figura 5.5 – Cenário 3 para projeções em 2022. [Fonte: Autor]

5.4.2 Projeção para 2023

Para a projeção de 2023 exposta na Tabela 4.7, no ano de 2023 com o aumento de 58 VEs chegando na universidade com aproximadamente 100% da carga das baterias, a descarga dessa energia na rede provocaria uma redução de -63,50% do pico de potência para 2023, não anulando todo o excedente, mas em contrapartida, provocando uma redução significativa que impacta monetariamente as penalidades que a universidade sofre com a ultrapassagem da demanda contratada. A projeção para o presente cenário é exposta graficamente na Figura 5.6.

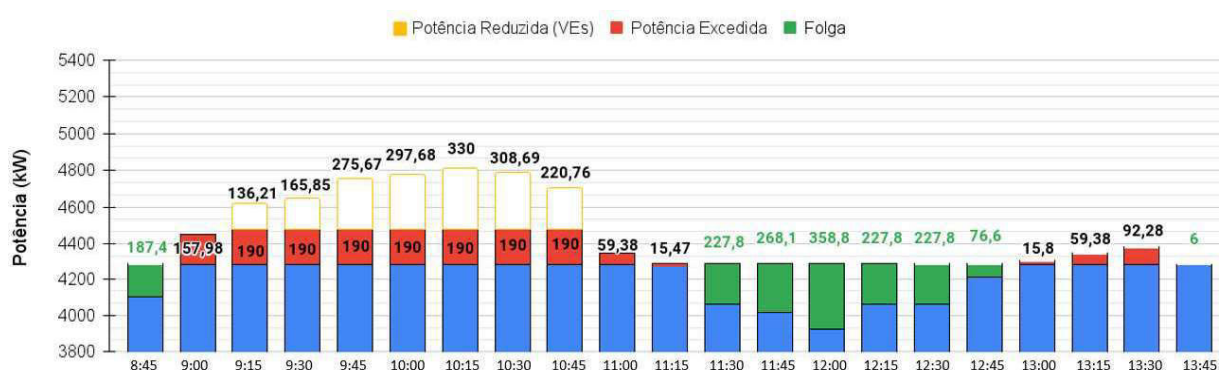


Figura 5.6 – Cenário 3 para projeções em 2023. [Fonte: Autor]

5.5 PROJEÇÃO DE IMPACTO ECONÔMICO

5.5.1 Tarifação

A cobrança de energia nos consumidores de média tensão é cobrada com base em três componentes principais, a TE (Tarifa de Energia), a TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e a demanda contratada. Além disso, também há incidência de multas caso alguns limites/condições não sejam respeitados. São cobradas a energia consumida, o uso do sistema de distribuição, a demanda contratada e os tributos federais, estaduais e municipais (taxa de iluminação pública). Como dito anteriormente, são três as tarifas aplicadas na fatura de energia, existem outras duas que são aplicadas a título de multa, uma por consumo de energia reativa excedente, outra por ultrapassagem de demanda. O conceito das componentes principais da tarifação são:

Tarifa de Energia (TE): Tarifa relativa ao custo de energia consumida em kWh, para consumidores cativos, o valor é estabelecido pela ANEEL de acordo com a área de concessão (para cada concessionária);

Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD): Tarifa referente a custos na transmissão e distribuição de energia, também estão incluídos encargos criados para viabilizar políticas públicas no setor elétrico brasileiro. Na Figura 5.7 é ilustrado a composição mais detalhada da TUSD;



Figura 5.7 – Composição da TUSD. [Fonte: (ABRADEE, 2017)]

Tarifa de Demanda: Cobrado por kW disponível na entrada do estabelecimento do consumidor, caso a demanda aferida esteja menor ou igual a contratada é cobrado o valor da demanda contratada, caso seja maior é cobrado o valor aferido acrescido de multa (correspondente a diferença entre aferida e contratada);

Tarifa de Energia Reativa Excedente: Tarifa aplicada a título de multa por kVAr de potência reativa excedente na fatura de energia;

Tarifa de ultrapassagem de demanda: Aplicada à diferença entre a demanda medida e a contratada, quando a demanda medida é maior ou igual a 110% da contratada;

5.5.2 Relação da Tarifa de Consumo no Tempo

Quando se trabalha com sistemas ou dados monetários é importante considerar a relação do dinheiro no tempo. A percepção de quanto uma moeda ou bem valem altera-se com o passar do tempo devido principalmente a economia de um país ser bem rotativa. Tanto ações do Estado quanto da iniciativa privada interferem na economia. Com isso, moedas (como o Real e o Dólar) valorizam ou desvalorizam ao longo do tempo.

Quando uma moeda desvaloriza (mais comum) com o passar do tempo, o poder de compra é reduzido e o dinheiro compra menos bens com a mesma quantidade. Esta desvalorização é chamada de Inflação. Quando uma moeda valoriza (menos comum) com o passar do tempo, o poder de compra aumenta e o dinheiro compra mais bens com a mesma quantidade. Esta valorização é chamada de Deflação.

A fim de estimar o impacto monetário na UFPB, é importante considerar o aumento da tarifação de demanda de potência na Universidade ao longo do tempo. Como já exposto, a UFPB não ultrapassa os limites de demanda contratados todos os meses do ano. Dessa forma, com a finalidade de estimar a taxa de crescimento da tarifação de consumo de energia, foi considerado a tarifa de demanda de potência medida (Fora Ponta) a partir de 2018 até 2022 obtendo por fim, a média do aumento nos últimos 4 anos. Os dados citados podem ser observados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Tarifas de Demanda de Potência Medida - Fora Ponta na UFPB.

Ano	Tarifa com Tributos (R\$)	Reajuste %
2018	25,90	-
2019	27,56	6,41
2020	28,59	3,74
2021	32,62	14,10
2022	36,31	11,31

Fonte: Registro Público da UFPB

Com base nos dados expostos na Tabela 5.2, considerando o aumento de 2019, 2020, 2021 e 2022, a média do crescimento do valor da tarifa de demanda medida (fora ponta) é de 8,89% ao ano. Este dado é relevante para estimar, em reais (R\$), o impacto econômico que pode ser causado na UFPB com a utilização da estratégia de gerenciamento de cargas proposta neste trabalho. Desse modo, na Tabela 5.3 é exposta a estimativa de aumento da tarifação de ultrapassagem com base na fatura da UFPB exposta na Figura 4.10, uma vez que, durante o período de pandemia não houveram ultrapassagens.

Tabela 5.3 – Projeção de Tarifas de Demanda de Potência de Ultrapassagem na UFPB.

Ano	Tarifa com Tributos (R\$)	Reajuste %
2020	57,10	-
2021	62,18	8,89
2022	67,70	8,89
2023	73,72	8,89

Fonte: Autor

5.5.3 Redução de Multa

Tendo em conta a fatura de energia da UFPB do mês de fevereiro de 2020 exposta na Sessão 4.5, Figura 4.10, a tarifa de ultrapassagem cobrada é de R\$ 57,10. No mês de fevereiro de 2020, a UFPB excedeu a demanda contratada em 526 kW resultando em uma multa no valor de R\$ 30.083,13. Para as projeções expostas nas Sessões 5.2, 5.3 e 5.4 será considerado as tarifas de ultrapassagem projetadas na Sessão 5.5.2, Tabela 5.3, a fim de estimar o impacto econômico que o gerenciamento de cargas com V2G pode causar no sistema elétrico da UFPB.

O cálculo da multa a ser paga pelo consumo excedente é calculada de forma simples conforme a Equação 5.1. Dessa forma, para o cenário 1 com a projeção de crescimento para 2022 exposto na Sessão 5.2.1, o pico de ultrapassagem será de 782,55 kW. Essa potência excedente, sem o gerenciamento de cargas, implicaria em uma multa de R\$ 52.978,64, como exposto na Equação 5.2.

$$Multa_{(R\$)} = Potência\ Excedida_{(kW)} \cdot Tarifa\ De\ Ultrapassagem_{(R\$)} \quad (5.1)$$

$$Multa = 782,55\ kW \cdot R\$ 67,70 = R\$ 52.978,64 \quad (5.2)$$

Considerando o carregador inteligente operando em V2G e o gerenciamento de cargas, o pico de potência excedida seria de 255 kW, como exposto na Sessão 5.4.1, Figura 5.5, e a multa por ultrapassagem reduzida para R\$ 17.263,50, conforme exposto na Equação 5.3.

$$Multa = 255\ kW \cdot R\$ 67,70 = R\$ 17.263,50 \quad (5.3)$$

Ainda para o cenário 1 mas com a projeção de crescimento para 2023 exposto na Sessão 5.2.2, o pico de ultrapassagem será de 850,59 kW. Essa potência excedente, sem o gerenciamento de carga, implicaria em uma multa de R\$ 62.705,49, como exposto na Equação 5.4.

$$Multa = 850,59\ kW \cdot R\$ 73,72 = R\$ 62.705,49 \quad (5.4)$$

Considerando o carregador inteligente operando em V2G e o gerenciamento de carga, o pico de potência excedida seria de 190 kW, como exposto na Sessão 5.4.2, Figura 5.6, e a multa por ultrapassagem reduzida para R\$ 14.006,80, conforme exposto na Equação 5.5.

$$Multa = 190\ kW \cdot R\$ 73,72 = R\$ 14.006,80 \quad (5.5)$$

A multa correspondente ao cenário 3 com projeção de crescimento para 2022 com V2G e com o gerenciamento de carga representa uma economia de 67,41% comparado com o valor da multa sem V2G e sem o gerenciamento de carga exposto no cenário 1. Da mesma forma, considerando a projeção de crescimento para 2023 para o mesmo cenário com V2G e com o gerenciamento de carga, a economia seria de 77,66% comparado com o valor da multa sem V2G

e sem o gerenciamento de carga. Na Figura 5.8 pode ser observado graficamente o impacto econômico para as projeções de 2022 e 2023 com V2G e com o gerenciamento de carga e sem V2G e sem gerenciamento de carga.



Figura 5.8 – Projeção do impacto econômico com V2G. [Fonte: Autor]

Esta economia pode ser utilizada para incentivar que os motoristas permitam que sejam utilizados os próprios veículos elétricos para injetar energia na rede elétrica durante o período de permanência na universidade.

5.5.4 Estratégia de Ressarcimento

A estratégia de ressarcimento é fundamentada na ideia de retornar ao usuário o valor da energia que ele está disponibilizando para reduzir o pico excedente de potência na universidade. A estratégia consiste no cenário onde o usuário vai descarregar a bateria do veículo elétrico durante um intervalo de tempo que o ocorre o pico de energia excedente e posteriormente, no intervalo de tempo onde a universidade possui uma folga na demanda energética, o veículo elétrico seria recarregado devolvendo o mesmo *SoC* inicial.

Dessa forma, afim de que se torne atrativo para o usuário permitir a descarga nos períodos de excesso de demanda, a UFPB poderia oferecer carregar o veículo elétrico com a própria taxa de consumo da universidade e no momento da descarga oferecer o dobro do valor da taxa. Para que o cálculo seja realizado de forma justa, foi considerado a eficiência da bateria como sendo de 90%, onde seria necessário para o usuário recarregar mais do que ele descarregou. Por exemplo, no caso onde o usuário forneceu 10kW, seria necessário recarregar o veículo elétrico em 11kW. Além disso, o processo de carga e descarga provoca a redução da vida útil da bateria do carro.

Para recompensar o usuário pela energia fornecida e pela redução da vida útil da bateria, no cenário onde o VE fornecesse 10kW, este usuário estaria habilitado a recarregar 20kW sem nenhum custo na universidade gerando o sentimento de oportunidade para o usuário.

Como exemplo, considerando a figura 5.6, onde, para a projeção do ano de 2023 a energia reduzida entre os horários de 09:15 e 10:45 é de 433,715 kWh, conforme exposto na Equação 5.8.

$$Energia = \sum_{09:15}^{10:45} Potencia_{(inst.)} \cdot \frac{1}{4} \text{ horas} \quad (5.6)$$

$$\sum_{09:15}^{10:45} Potencia_{(inst.)} = [P_{09:15} + P_{09:30} + P_{09:45} + P_{10:00} + P_{10:15} + P_{10:30} + P_{10:45}] \cdot 0,25h \quad (5.7)$$

$$Energia = 433,715 \text{ kWh} \quad (5.8)$$

O valor do consumo a ser pago a concessionária, no caso da UFPB é a Energisa, é o produto da energia consumida pela taxa de consumo da UFPB. Para estimar a taxa de consumo de energia da UFPB para o ano de 2023, foi calculado a média de crescimento da taxa de consumo em kWh fora ponta de 2019 até 2022 e extrapolado para 2023. Dessa forma, para 2023, a taxa de consumo de energia da UFPB é estimada em R\$ 0,44 com base na média de crescimento anual de 5,02%. Os dados para esta projeção podem ser observados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Projeção de Tarifa de Consumo de Energia na UFPB.

Ano	Tarifa com Tributos (R\$)	Reajuste %
2018	0,36	-
2019	0,43	19,44
2020	0,37	-13,95
2021	0,35	-5,41
2022	0,42	20,00
2023	0,44	5,02

Fonte: Autor

Considerando a taxa de consumo de energia da UFPB de R\$ 0,44, o valor a ser pago a Energisa é de R\$ 190,83, conforme exposto na Equação 5.10.

$$Valor \ a \ ser \ Pago_{(R\$)} = Energia \ Consumida_{(kWh)} \cdot Taxa \ da \ UFPB_{(R\$)} \quad (5.9)$$

$$Valor \ a \ ser \ Pago = 433,715 \text{ kWh} \cdot R\$ 0,44 = R\$ 190,83 \quad (5.10)$$

Considerando que as ultrapassagens acontecem em dias úteis, e considerando ainda 22 dias úteis no mês, na situação apresentada o valor a ser pago a Energisa pelo consumo dos usuários no mês seria o produto do valor da Equação 5.10 pelo número de 22 dias úteis, resultando em R\$ 4.198,36, conforme Equação 5.11.

$$Valor \ a \ ser \ Pago_{(Mês)} = 433,715 \text{ kWh} \cdot R\$ 0,44 \cdot 22 \text{ dias úteis} = R\$ 4.198,36 \quad (5.11)$$

Conforme exposto na Figura 5.8, em 2023 a economia gerada seria de R\$ 48.698,69 (valor sem V2G subtraído do valor com V2G). O valor da economia subtraído do valor a ser pago a Energisa, ainda resultaria em uma economia de R\$ 44.500,33, conforme pode ser observado graficamente na Figura 5.9. Assim, a estratégia de ressarcimento ainda seria válida e beneficiaria tanto o usuário quanto para a UFPB, onde o usuário recarrega o VE sem nenhum custo e a UFPB reduz a multa a ser paga devido a ultrapassagem da demanda contratada.



Figura 5.9 – Projeção da Economia Final da UFPB com operação V2G. [Fonte: Autor]

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para analisar o impacto da penetração de VEs na UFPB e a situação de oportunidade de utilizar as frotas de veículos eletrificados propondo cenários capazes de minimizar os efeitos de pico de demanda energética. Nesse contexto, verificou-se que se a UFPB não tomar nenhuma providência, a Instituição será afetada pelo crescimento da frota de VEs. Assim, vários autores abordaram a tarifa dinâmica para controlar o caos causado na rede, logo, evitando eventos indesejados. Os cenários propostos apontam que a curva de demanda energética tende a piorar se a UFPB não dispor de uma rede que seja capaz de operar em V2G.

O impacto energético observado nos cenários onde os veículos operam no modo V2G apresentaram uma redução no pico de consumo de energia excedente de -49,59% para o crescimento estimado para 2022 e de -63,50% para o crescimento estimado para 2023. O impacto financeiro causado pelo excesso de demanda energética que já ocorre na UFPB resulta em penalidades monetárias recorrentes (multas mensais por ultrapassagem de demanda contratada) que poderiam ser reduzidas em até 77,66% e parte de redução utilizada como forma de incentivo para que os proprietários de VEs permitam a troca de energia durante o período de permanência na universidade.

Contudo, esta medida não é uma solução propriamente dita, mas sim um método de evitar a alta demanda energética. Com isso, uma das possíveis soluções é uma rede que seja capaz de operar em V2G. Sendo assim, esta estratégia juntamente com a tecnologia V2G reduzem as penalidades monetárias devido a ultrapassagem energética da demanda contratada e permitem estabelecer uma relação de benefícios e parceria com os proprietários de VEs que permitem a troca de energia durante o período de permanência na UFPB.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que o presente trabalho abordou estimativas futuras, como sugestão para trabalhos e pesquisas futuras propõe-se:

- Aprimoramento do problema abordado para um problema de otimização.
- Maximização ou Minimização das curvas apresentadas na qual seja possível lidar com um algoritmo inteligente.
- Desenvolvimento do algoritmo inteligente para gerenciamento de cargas.
- Desenvolvimento de hardware a ser integrado com o algoritmo inteligente capaz de operar nos modos V2G e G2V.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE. *Metodologia de cálculo das tarifas entre distribuidoras*. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Por+dentro+da+conta+de+luz/9b8bd858-809d-478d-b4c4-42ae2e10b514>>.
- BARASSA, E. *Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil*. Dissertação de Mestrado — Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2015.
- CEVADA, C. M. *Avaliação para o uso da bicicleta: Estudo de caso do campus da UFPB e seu entorno imediato*. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2015.
- CHEN X. P. ZHANG, J. W. J. L. C. W. M. H. T.; BIAN, H. A review on electric vehicle charging infrastructure development in the uk. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, v. 8, n. 2, p. 193–205, 2020.
- DENATRAN. *Frota de Veículos*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2021>>.
- DETRAN-PB. *Estatísticas - Frota por Tipo de Combustível na Paraíba*. 2021. Disponível em: <<https://detran.pb.gov.br/institucional-1/estatisticas>>.
- DROVTAR, I. e. a. Large scale electric vehicle integration and its impact on the estonian power system. *IEEE Grenoble Conference PowerTech, POWERTECH*, p. 1–6, 2013.
- EPBR. *Demanda por energia crescerá 62% impulsionada por veículos elétricos, aponta BloombergNEF*. 2019. Disponível em: <<https://epbr.com.br/demanda-global-de-energia-crescera-62-ate-2050-aponta-bloombergnef/>>.
- HASSIJA V. CHAMOLA, S. G. N. D. G. K. V.; JAYAKODY, N. A blockchain-based framework for lightweight data sharing and energy trading in v2g network. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 69, n. 6, p. 5799–5812, 2020.
- HOYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: the case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, v. 16, n. 2, p. 63–71, 2008.
- HUA, J. W. L.; ZHOU, C. Adaptive electric vehicle charging coordination on distribution network. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 5, n. 6, p. 2666–2675, 2014.
- IEA. Global ev outlook 2021. *International Energy Agency*, 2021.
- KIM, I. Impact of electric vehicles on peak load reduction. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific, ITEC Asia-Pacific*, p. 514–518, 2016.
- LEOU, R.-C. Optimal charging/discharging control for electric vehicles considering power system constraints and operation costs. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 31, n. 3, p. 1854–1860, 2016.
- LIANG Y. LIU, F. L. H.; SHEN, Y. Dynamic economic/emission dispatch including pevs for peak shaving and valley filling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 66, n. 4, p. 2880–2890, 2019.
- LIU P. K. PHANIVONG, Y. S. M.; CALLAWAY, D. S. Decentralized charging control of electric vehicles in residential distribution networks. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, v. 27, n. 1, p. 266–281, 2019.

- MAZUMDER, M.; DEBBARMA, S. Ev charging stations with a provision of v2g and voltage support in a distribution network. *IEEE Systems Journal*, v. 15, n. 1, p. 662–671, 2020.
- MELLO A. M., M. R. S. A. Exploring scenarios for the possibility of developing design production competencies of electrical vehicles in brazil. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v. 13, p. 289–314, 2013.
- MIAGHA; CROW, M. L. Cost-constrained dynamic optimal electric vehicle charging. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 8, n. 2, p. 716–724, 2017.
- MMA. *Acordo de Paris*. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>.
- NEOCHARGE. *Tipos de Veículos Elétricos*. 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>>.
- _____. Panorama de veículos elétricos no brasil. <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>, 2022.
- PHANIVONG Y. S. M.; CALLAWAY, D. S. L. P. K. Decentralized charging control of electric vehicles in residential distribution networks. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, v. 27, n. 1, p. 266–281, 2019.
- QIAN C. ZHOU, M. A. K.; YUAN, Y. Modeling of load demand due to ev battery charging in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 26, n. 2, p. 802–810, 2011.
- SHARIFF M. S. ALAM, F. A. Y. R. M. S. J. A. S. M.; KHAN, S. System design and realization of a solar-powered electric vehicle charging station. *IEEE Systems Journal*, v. 14, n. 2, p. 2748–2758, 2020.
- VARGAS, J. E. V. *Análise da competitividade ambiental de veículos elétricos no Brasil no cenário atual e futuro*. Dissertação de Mestrado — Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2016.
- VAZ L. F. H., B. D. C.; CASTRO, B. H. R. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. *BNDES Setorial*, v. 41, p. 295–344, 2015.
- VELDMAN, E.; VERZIJLBERGH, R. A. Distribution grid impacts of smart electric vehicle charging from different perspectives. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 6, n. 1, p. 333–342, 2015.
- VILLAFILA-ROBLES, R. e. a. Assessment of impact of charging infrastructure for electric vehicles on distribution networks. *15th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE*, p. 1–10, 2013.
- VOLAN T., O. C. F. V. C. R. M. M. U. d. C. A. T. Carro elétrico – uma análise da visão do consumidor. *International Congress of Management, Technology and Innovation*, 2019.
- WANG G. R. BHARATI, S. P. O. C. B. P. B. J.; MYERS, K. S. Coordinated electric vehicle charging with reactive power support to distribution grids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 15, n. 1, p. 54–63, 2019.
- WANG Z.; PARANJAPE, R. An evaluation of electric vehicle penetration under demand response in a multi-agent based simulation. *Proceedings - 2014 Electrical Power and Energy Conference, EPEC*, p. 220–225, 2014.
- YAO, V. W. W. E.; SCHOBER, R. Optimization of aggregate capacity of pevs for frequency regulation service in day ahead market. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 9, n. 4, p. 3519–3529, 2018.