



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

FELIPE JOSÉ DE COIMBRA PINTO GOUVEIA

**ANÁSE DOS IMPACTOS CAUSADOS NA REDE ELÉTRICA POR SISTEMAS
INTEGRADOS DE CARREGAMENTO VEICULAR, GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

FELIPE JOSÉ DE COIMBRA PINTO GOUVEIA

**ANÁSE DOS IMPACTOS CAUSADOS NA REDE ELÉTRICA POR SISTEMAS
INTEGRADOS DE CARREGAMENTO VEICULAR, GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Automação e Controle.

Orientador(a): Prof. Dr. José Filho da Costa Castro

Coorientador(a): MSc. Samuel Dias Vasconcelos

Recife

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Gouveia, Felipe José de Coimbra Pinto.

Análise dos impactos causados na rede elétrica por sistemas integrados de carregamento veicular, geração fotovoltaica e sistema de armazenamento de energia / Felipe José de Coimbra Pinto Gouveia. - Recife, 2025.

60p : il., tab.

Orientador(a): José Filho da Costa Castro

Coorientador(a): Samuel Dias Vasconcelos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Qualidade de energia. 2. Sistemas de carregamento veicular. 3. Microrredes. 4. Flutuação de tensão. 5. Distorção harmônica. I. Castro, José Filho da Costa. (Orientação). II. Vasconcelos, Samuel Dias. (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

FELIPE JOSÉ DE COIMBRA PINTO GOUVEIA

**ANÁSE DOS IMPACTOS CAUSADOS NA REDE ELÉTRICA POR SISTEMAS
INTEGRADOS DE CARREGAMENTO VEICULAR, GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Automação e Controle.

Aprovado em: 10/04/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Filho da Costa Castro (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

M.Sc. Samuel Dias Vasconcelos (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. M.Sc Arthur Muniz Szpak Furtado (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. M.Sc. Antonio Gustavo Evangelista Muniz Santos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado e pela bênção de ter chegado até aqui. Dedico este trabalho aos meus pais, Anna e Flávio e familiares, pelo apoio incondicional e por todo auxílio ao longo da minha formação acadêmica. Aos meus queridos amigos de graduação e escola, sou grato por todo o companheirismo e pelas experiências compartilhadas ao longo dos anos. Um agradecimento especial à Vivian, pelo amor, apoio e parceria em todos os momentos dessa caminhada.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador e coorientador, Dr. José Castro e M.Sc. Samuel Dias, pela assistência, disponibilidade e pelas valiosas orientações que recebi durante a realização deste trabalho e ao longo da minha trajetória universitária. Agradeço também aos professores Luiz Henrique, Geraldo Maia, Davidson Marques e Pedro Rosas, por me proporcionarem a oportunidade de participar do projeto de pesquisa e desenvolvimento CS3059 - Soluções de Suporte à Expansão da Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos, contribuindo significativamente para o meu crescimento profissional e acadêmico.

Meus sinceros agradecimentos aos membros do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), aos professores e colegas com os quais tive a oportunidade de conviver, aprender e compartilhar experiências enriquecedoras.

Muito obrigado!

RESUMO

Diante da crescente necessidade global em reduzir a dependência das fontes de energia não renováveis, o desenvolvimento e a utilização de veículos elétricos têm sido impulsionados em todo o mundo. Com base em acordos globais visando a redução das emissões de CO_2 , diversos países têm adotado políticas que estipulam o fim da produção de veículos movidos a combustíveis fósseis até 2030. Com essa nova tendência global, sistemas de carregamento veicular têm sido desenvolvidos com o intuito de suprir os diferentes níveis de potência elétrica necessários para o carregamento veicular. Desta forma, faz-se necessário compreender e analisar os potenciais impactos elétricos causados pelos centros de carregamento veicular, com o intuito de preservar os parâmetros de qualidade de energia e mitigar possíveis falhas no sistema elétrico. Diante desse cenário, o trabalho proposto desenvolveu uma análise de qualidade de energia sobre uma estação de recarga rápida integrada a uma microrrede composta por uma usina fotovoltaica e um sistema de armazenamento de energia, ambos conectados a uma unidade consumidora comercial. A pesquisa avalia os principais parâmetros de qualidade de energia potencialmente impactados pela dinâmica de funcionamento das estações de recarga, incluindo a distorção harmônica de tensão, fator de potência, variação de tensão de curta duração e a flutuação de tensão. Para a realização deste trabalho, foi utilizado como fonte de dados o eletroposto desenvolvido pela CPFL em parceria com a UFPE, ITEM e o grupo Moura, referente ao projeto CS3059 -Soluções de suporte à Expansão da Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos; Eletropostos integrados à Tecnologia Nacional de Baterias (Chumbo-Carbono) e Sistemas Fotovoltaicos, que faz parte da chamada estratégica 22 da ANEEL, localizado na Loja Decathlon em Campinas no estado de São Paulo.

Palavras-chave: Qualidade de energia; sistema de carregamento veicular; Microrredes; flutuação de tensão; distorção harmônica.

ABSTRACT

Due to the growing global need to reduce dependence on non-renewable energy sources, the development and adoption of electric vehicles have been expanding worldwide. Based on international agreements aimed at reducing CO₂ emissions, many countries have implemented policies to phase out the production of fossil fuel-powered vehicles by 2030. With this global trend, vehicle charging systems have been developed to meet the different power levels required for charging. Therefore, it is essential to understand and analyze the potential electrical impacts of charging stations to maintain power quality standards and prevent possible failures in the electrical system. In this context, this study conducts a power quality analysis of a fast-charging station integrated into a microgrid, which consists of a photovoltaic power plant and an energy storage system, both connected to a commercial consumer unit. The research evaluates key power quality parameters that may be affected by the operation of charging stations, including harmonic voltage distortion, power factor, short-duration voltage variations, and voltage fluctuation. The data for this study were collected from a charging station developed by CPFL in partnership with UFPE, ITEM, and the Moura Group, as part of the CS3059 project – Solutions to Support the Expansion of Electric Vehicle Charging Infrastructure: Charging Stations Integrated with National Battery Technology (Lead-Carbon) and Photovoltaic Systems. This initiative is part of ANEEL's Strategic Call 22 and is located at the Decathlon store in Campinas, São Paulo, Brazil.

Keywords: Power quality; vehicle charging system; microgrids; voltage fluctuation; harmonic distortion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Níveis globais de emissão de CO ₂	14
Figura 2 - Venda global de veículos elétricos	15
Figura 3 - Modelo de um módulo fotovoltaico	19
Figura 4 - Curva característica I-V e P-V	20
Figura 5 - Modelo de conversor c.c.-c.a. de ponte completa	21
Figura 6 - Controle PWM conversor c.c.-c.a.	22
Figura 7 - Perfil de descarga de células de armazenamento de diferentes tipos	23
Figura 8 - Topologia de carregamento de estação de recarga com conversor <i>boost e buck</i>	26
Figura 9 - Layout do conector Tipo 2	28
Figura 10 - Estrutura do conector CCS2	28
Figura 11 - Configuração de Pinos do Conector DC - CHAdeMO	29
Figura 12 - Interface do <i>software Power Log 430-II</i>	36
Figura 13 - Estação de recarga instalada na Decathlon	38
Figura 14 - Diagrama do sistema de recarga	39
Figura 15 - Instalação do multimedidor no quadro da estação de recarga	40
Figura 16 – Instalação do multimedidor no quadro de baixa tensão da Decathlon. ..	41
Figura 17 – Distorção harmônica de tensão no carregador	43
Figura 18 – Distorção harmônica de tensão no QGBT	44
Figura 19 – Fator de potência da estação de recarga em cada dia	47
Figura 20 - Correlação da potência ativa e o fator de potência da EVSE	48
Figura 21 – Fator de potência do QGBT	49
Figura 22 - Tensão na estação de recarga	51
Figura 23 - Tensão no QGBT	52
Figura 24 - Pst EVSE	55
Figura 25 - Pst QGBT	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do fator de potência	30
Equação 2 - Distorção harmônica total	32
Equação 3 - Severidade de flutuação de tensão de curta duração	33
Equação 4 – Severidade de flutuação de tensão de longa duração	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modos de carregamento IEC 61851-1	27
Tabela 2 - Classificação das estações de recarga	29
Tabela 3 - Classificação da variação temporária de tensão	31
Tabela 4 - Especificações de medição do Fluke 434-II	34
Tabela 5 – Distorção harmônica de tensão carregador e QGBT	42
Tabela 6 - Fator de potência EVSE e QGBT	46
Tabela 7 – Tensão da estação e do QGBT	50
Tabela 8 – Flutuação de tensão EVSE e QGBT	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternating Current</i>
ACEA	Associação dos Fabricantes Europeus de Automóveis
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
BESS	<i>Battery Energy Storage System</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
CCS	<i>Combined Charging System</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
CSV	Comma Separated Values
DC	<i>Direct Current</i>
DTT	Distorção harmônica total
EV	<i>Electric Vehicle</i>
EVSE	<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>
FP	Fator de potência
IATI	Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação
ITEMM	Instituto de Tecnologia Edson Mororó
IEC	<i>International electrotechnical comission</i>
IEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
PCS	<i>Power Conversion</i>
PEV	<i>Plug-in Electric Vehicle</i>
PFC	<i>Power Factor correction</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
Plt	Severidade de flutuação de longa duração
PRODIST	Procedimento de distribuição de energia elétrica
Pst	Severidade de flutuação de curta duração
PU	Por unidade
QGBT	Quadro geral de baixa tensão
RCD	Dispositivo de corrente residual
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede Rede
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VTCD	Variação de tensão de curta duração
XLSX	<i>Excel Open XML Spreadsheet</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

D	Diodo
I	Corrente
I_{mp}	Corrente de máxima potência
I_{CC}	Corrente de curto-circuito
P	Potência Ativa
P_{mp}	Ponto de máxima potência
Q	Potência realiza
R_p	Resistência paralelo
R_s	Resistência série
V	Tensão
V_{mp}	Tensão de máxima potência
V_{oc}	Tensão de circuito aberto

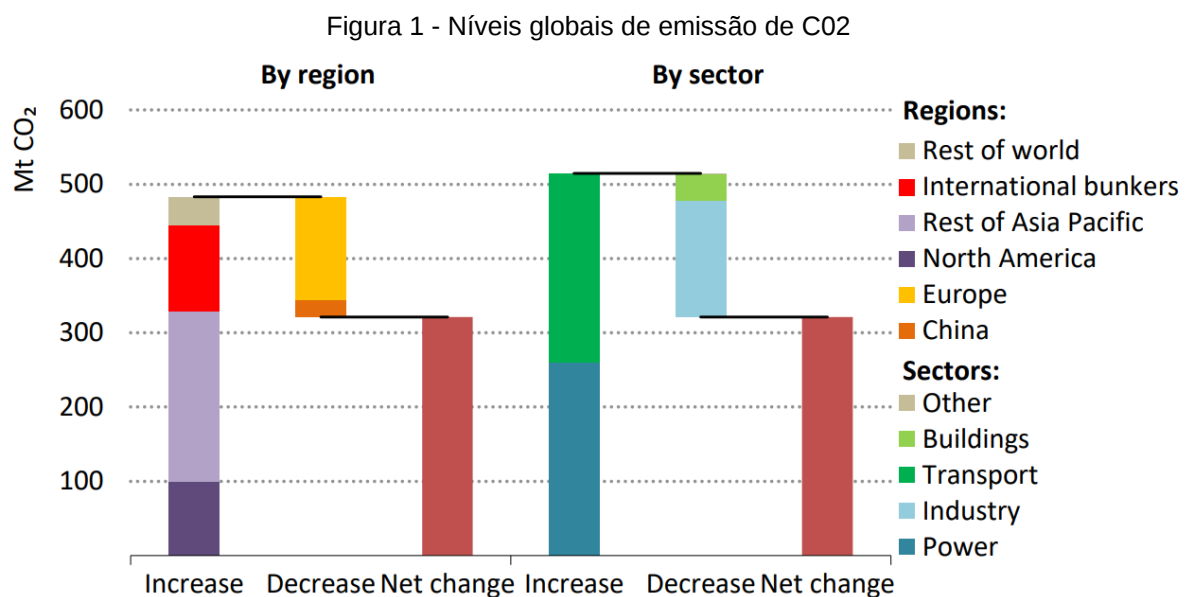
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Geral.....	16
1.1.2	Específicos	16
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2	ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO VEICULAR INTEGRADO EM UMA MICRORREDE.....	18
2.1	COMPONENTES DO SISTEMA.....	18
2.1.1	Sistema fotovoltaico.....	18
2.1.1.1	<i>Módulo fotovoltaico.....</i>	<i>19</i>
2.1.1.2	<i>Inversor fotovoltaico.....</i>	<i>20</i>
2.1.2	Sistema de armazenamento de energia "BESS"	22
2.1.2.1	<i>Módulos de bateria</i>	<i>23</i>
2.1.2.2	<i>BMS – Battery Management System.....</i>	<i>24</i>
2.1.2.3	<i>PCS – Power conversor system</i>	<i>24</i>
2.1.3	Sistema de carregamento veicular	24
2.1.3.1	<i>Modelo de carregador veicular</i>	<i>25</i>
2.1.3.2	<i>Modos de carregamento.....</i>	<i>26</i>
2.1.3.3	<i>Padrões de conectores e velocidade de carregamento.....</i>	<i>27</i>
2.2	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	30
2.2.1	Fator de potência.....	30
2.2.2	Variação de tensão de curta duração	31
2.2.3	Distorção Harmônica de tensão	32
2.2.4	Flutuação de tensão	32
3	EXTRAÇÃO E METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS DADOS.....	34
3.1	MULTIMEDIDOR FLUKE 434-II	34
3.2	TRATAMENTO DOS DADOS COM PYTHON	35

3.2.1	Pré-processamento dos dados.....	35
3.2.2	Pós-processamento dos dados	36
4	RESULTADO DA ANÁLISE DOS DADOS DA ESTAÇÃO DE RECARGA	37
4.1	APRESENTAÇÃO DO PROJETO	37
4.2	ANÁLISE DOS IMPACTOS ELÉTRICOS DA INSTALAÇÃO DO ELETROPOSTO	39
4.2.1	Distorção harmônica de tensão	41
4.2.2	Fator de potência.....	44
4.2.3	Variação de tensão de curta duração	49
4.2.4	Flutuação de tensão	53
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

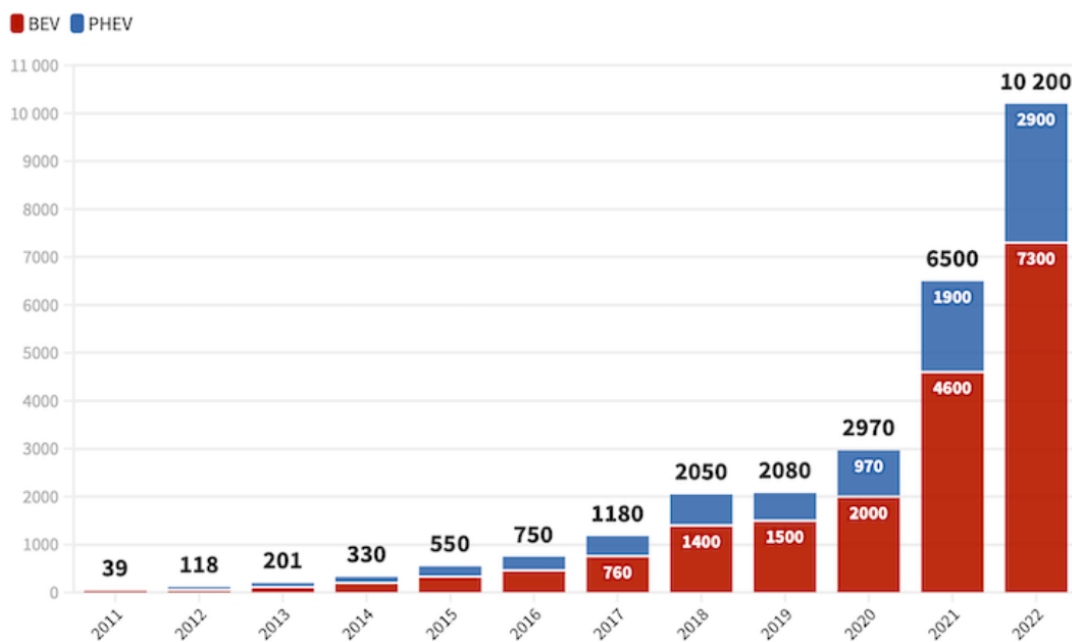
Nos últimos anos, as mudanças climáticas causadas pelo efeito estufa foram tema central de diferentes encontros da comunidade internacional. Países signatários do acordo de Paris (DRÖGE, 2016) com metas de redução de 43% dos níveis de emissão de gases do efeito estufa até 2030, adotaram políticas que visam reduzir os níveis de emissão de CO₂. Segundo dados da pesquisa realizada pela IEA em 2022, os setores de geração de energia e transportes estão entre os três setores com os maiores níveis de emissão de CO₂, como também foram os segmentos com o maior aumento entre o ano de 2021-2022, como pode ser visto na figura 1. Desta forma, o investimento em produção de energias renováveis e o desenvolvimento de novas soluções de mobilidade estão sendo estimuladas por diversos países, com o intuito de permitir o crescimento da economia e atenuar os níveis de emissão de gases do efeito estufa.



Fonte: (IEA,2022)

Segundo (Joaquim Delgado, 2018), o investimento em geração de energias renováveis, o desenvolvimento de sistemas de armazenamento, como também da eletrônica de potência, gerou um grande interesse pelo desenvolvimento de veículos elétricos (EVs). Veículos híbridos “*Plug-in*” (PHEVs), veículos puramente elétricos (PEVs) e veículos a bateria (BEVs) tornaram-se soluções atrativas para o processo da descarbonização dos transportes e economicamente viáveis para o usuário final. Segundo pesquisa da IEA, a venda de veículos elétricos, em 2022, superou a marca de dez milhões de veículos, representando assim 14% do mercado de veículos novos, como pode ser visto na figura 2. No Brasil, foram vendidos dezessete milhões e quinhentos mil veículos elétricos em 2022, representando um aumento de 33% em relação ao ano de 2021.

Figura 2 - Venda global de veículos elétricos



Fonte: IEA 2022

Entretanto, a demanda energética dos novos veículos elétricos pode gerar impactos ao sistema de fornecimento, como também aos parâmetros de qualidade de energia (HyungBin Moon, 2018). Dessa forma, se faz necessário mensurar os possíveis danos que estas novas cargas podem trazer para a rede elétrica.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de uma estação de recarga, com como identificar possíveis impactos elétricos causados conforme o uso da estação de carregamento.

1.1.1 Geral

Com a popularização dos veículos elétricos, é importante avaliar os impactos à rede elétrica e a capacidade de atendimento à demanda associada às recargas. A avaliação dos efeitos da conexão de estações de recarga rápida no sistema de distribuição tem sido um tópico de relevância para o setor de energia elétrica. O crescente uso de sistemas de carregamento elétrico veicular requer uma infraestrutura elétrica que seja capaz de garantir a segurança dos usuários e a qualidade da energia elétrica fornecida para os usuários. Neste contexto, este trabalho apresenta dados reais de medição obtidos em um eletroposto de recarga rápida, visando mensurar a ocorrência de impactos elétricos na rede de distribuição.

1.1.2 Específicos

Este trabalho busca também atingir os seguintes objetivos:

- Analisar os principais parâmetros de qualidade de energia potencialmente impactos pelo processo de carregamento de veículos elétricos;
- Realizar uma campanha de medição de qualidade de energia durante o período de operação da estação de recarga;
- Desenvolver uma análise de qualidade de energia para um sistema de carregamento veicular integrado a uma microrrede.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho foi estruturado em cinco seções, organizados de forma a proporcionar uma clara compreensão sobre os componentes que compõe a infraestrutura de recarga analisada, bem como a forma de avaliar os potenciais impactos elétricos causados pela estação de recarga.

A primeira seção realiza uma introdução sobre o tema, destacando a expansão do uso de estações de recarga em todo o mundo. São discutidos os fatores que impulsionaram esse crescimento, como também desafios associados à rápida integração na rede elétrica.

Na segunda seção, é descrito o funcionamento de uma estação de recarga, do gerador fotovoltaico e do sistema de armazenamento de energia. O intuito é compreender a função de cada elemento na microrrede e avaliar de que forma a utilização desses elementos integrados beneficia o funcionamento da estação de recarga quanto a unidade consumidora na qual está instalada. Após essa apresentação, são discutidos os principais parâmetros de qualidade de energia potencialmente impactados pelo funcionamento de estações de recarga, com base na literatura técnica, definindo as diretrizes para realizar o estudo.

A seção três detalha a metodologia utilizada para a campanha de medições realizada com os multimedidores Fluke 434-II Classe S, instalados em dois pontos da unidade consumidora. Também são apresentadas as etapas de processamento dos dados coletados, utilizando ferramentas da linguagem de programação Python, garantindo a adequada preparação para a análise dos registros obtidos.

Por fim, são apresentados os resultados do trabalho, acompanhados de uma avaliação detalhada dos dados coletados em cada ponto de medição, possibilitando a identificação e interpretação dos parâmetros de qualidade de energia para cada ponto de medição

2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO VEICULAR INTEGRADO EM UMA MICRORREDE

Neste capítulo será abordada a fundamentação teórica para a compreensão do trabalho. De início, será apresentada os componentes que compõe um eletroposto integrado ao sistema fotovoltaico e ao sistema de armazenamento, abordando suas principais características e funcionalidades. Em seguida, são abordados os parâmetros e a metodologia adotada para a análise da qualidade de energia desenvolvida no trabalho.

2.1 Componentes do sistema

Como o crescente aumento de veículos elétricos, diversos pontos de carregamento têm sido implementados em todos o Brasil. Os sistemas de carregamento veicular podem atender diferentes níveis de potência, como também formas de carregamento. Além disso, diferentes soluções são implementadas com o intuito de mitigar possíveis impactos elétricos causados no processo de carregamento de veículos. Nos tópicos seguintes serão apresentados os componentes da estação de recarga, integrada a tecnologia de armazenamento BESS (*Battery Energy Storage System*) e sistema de geração fotovoltaica.

2.1.1 Sistema fotovoltaico

A implementação do sistema fotovoltaico no sistema de carregamento veicular, permite otimizar os custos da energia fornecidas pela estação de recarga, como também reduzir os níveis de emissão de gás carbônico em todo o processo de abastecimento de energia dos veículos elétricos (EVs). A integração da geração fotovoltaica ao sistema de recarregamento, pode ser realizada com a ligação da saída do sistema de geração ao barramento de corrente alterada (CA) utilizado para alimentar a estação de recarga. Tal estrutura permite distribuir a geração de energia

tanto para o carregador, como para outros circuitos conectados no mesmo barramento.

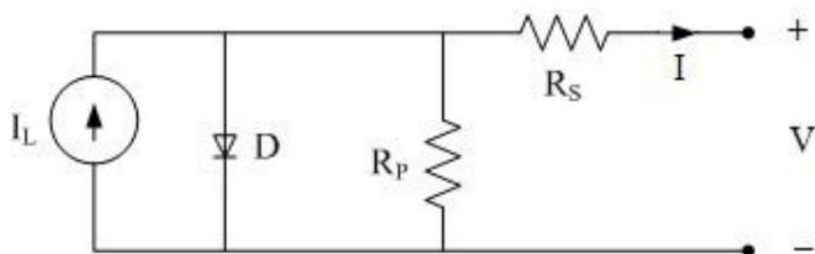
O processo da conversão da energia fotovoltaica em energia elétrica, no padrão de consumo, em baixa tensão é realizado por meio de dois componentes: os módulos fotovoltaicos e os inversores fotovoltaicos. Os seguintes tópicos serão apresentados esses componentes do sistema fotovoltaico.

2.1.1.1 Módulo fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são responsáveis por converter a energia luminosa, emitida pelos raios solares em energia elétrica. O módulo fotovoltaico é composto por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas para proteção e durabilidade. Estas células são formadas por um material semicondutor, composto intermediário entre um material isolante e condutor, que ao receber os fótons da radiação solar, por meio do efeito fotovoltaico, permitem a condução de corrente elétrica em seus terminais (João Tavares Pinho, 2014).

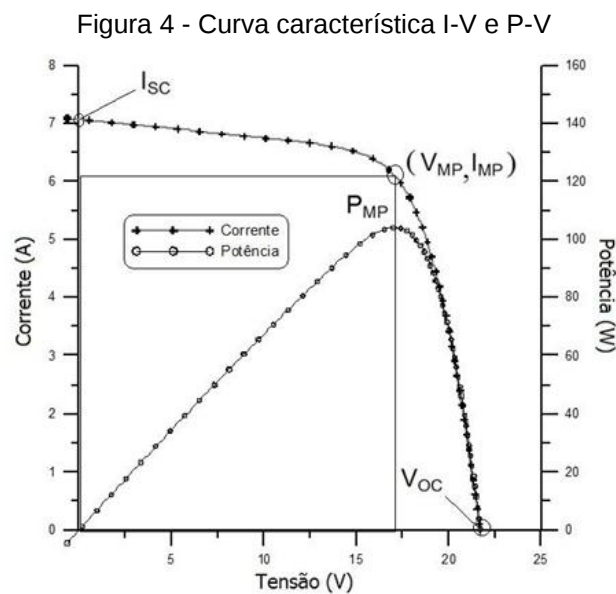
Os módulos fotovoltaicos podem ser representados, eletricamente, como uma fonte de corrente associada a resistências em série (R_s), paralelo (R_p), e um diodo (D), gerando tensão (V) e corrente (I) em seus terminais, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Modelo de um módulo fotovoltaico



Fonte: (João Tavares Pinho, 2014)

As resistências série e paralelo influenciam diretamente a corrente gerada no módulo. A Figuras 4 apresentam duas curvas que relacionam a tensão com a corrente e a potência, denominadas curvas I-V e P-V, respectivamente. Estas curvas apresentam os diferentes estados de operação de um módulo fotovoltaico. O ponto P_{mp} representa a máxima potência gerada pelo módulo fotovoltaico, quando o mesmo opera com tensão V_{mp} e corrente I_{mp} . Os pontos associados a V_{oc} e I_{sc} referem-se aos valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito.



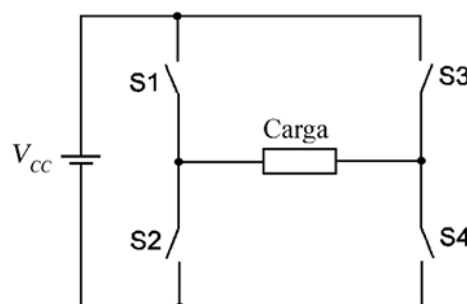
Fonte: (João Tavares Pinho, 2014)

2.1.1.2 Inversor fotovoltaico

O inversor fotovoltaico tem como objetivo converter o formato da energia elétrica de corrente contínua (C.C.), fornecida pelos módulos fotovoltaicos ou pelo sistema de armazenamento de energia por baterias – BESS (*Battery Energy Storage System*), para o formato de corrente alternada (C.A.), onde o sinal alternado deve seguir a amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequado ao padrão de consumo (João Tavares Pinho, 2014). Os inversores fotovoltaicos podem ser de diferentes tipos, específicos para cada aplicação. Neste trabalho, será dado destaque aos inversores fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Os inversores fotovoltaicos conectados à rede são compostos por dispositivos semicondutores que atuam como chaves eletrônicas, alternando entre os modos de condução e bloqueio. A comutação das chaves eletrônicas, gera uma alternância na tensão aplicada na carga, variando de $-V_{cc}$ e $+V_{cc}$. Estas tensões são aplicadas quando ocorre a comutação em par das chaves (S1 e S4) e (S2 e S3), que estão representadas na figura 5.

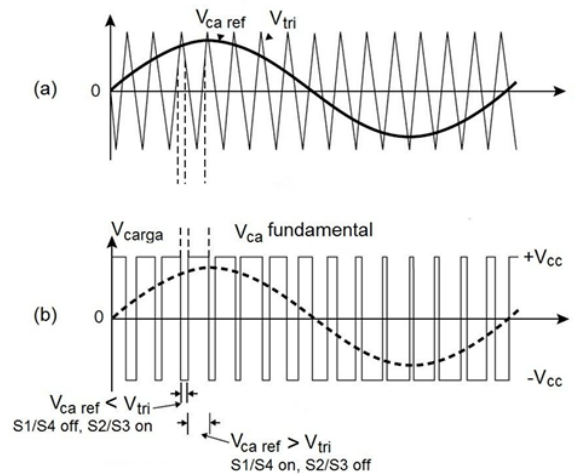
Figura 5 - Modelo de conversor c.c.-c.a. de ponte completa



(João Tavares Pinho, 2014)

Uma das estratégias de controle adotadas para realizar a comutação das chaves é por meio da modulação da largura de pulso (PWM). O controle por PWM realiza a comparação entre um sinal de referência ($V_{ca\ ref}$), neste caso a senoide com frequência e amplitude da rede elétrica, com um sinal triangular (V_{tri}), com uma frequência muito superior. Quando a tensão $V_{ca\ ref} > V_{tri}$ os pares (S1 e S4) são acionados, gerando uma tensão $+V_{cc}$. No momento que a tensão a tensão $V_{ca\ ref} > V_{tri}$ ocorre uma comutação entre as chaves, acionando o par (S2 e S3), aplicando uma tensão $-V_{cc}$. Neste processo o sinal de saída é uma onda quadrada, cuja a largura do pulso é modulada para cada ciclo, gerando um sinal médio semelhante ao sinal fundamental, como pode ser visto na figura 6.

Figura 6 - Controle PWM conversor c.c-c.c.a.



Referência (João Tavares Pinho, 2014)

2.1.2 Sistema de armazenamento de energia "BESS"

Os sistemas de armazenamento de energia, também conhecido pela sigla *BESS* (*Battery Energy Storage Systems*), são dispositivos que permitem diversas aplicações elétricas, atuando no fornecimento energia para uma carga, como também garantindo a qualidade e estabilidade no fornecimento de energia (Antonio Venancio M. L. Filho, 2023). O BESS é composto por uma associação de baterias eletroquímicas e opor um conjunto de sistemas de controle e potência, que juntos são capazes de otimizar o uso da energia elétrica.

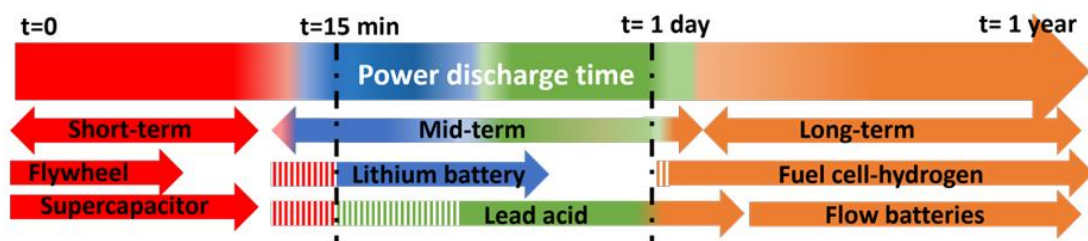
Os sistemas BESS são construídos por diferentes componentes, entre os principais destaca-se os módulos das baterias, formados pela associação de células eletroquímicas que armazenam a energia, algoritmos de gerenciamento de energia (BMS – *Battery Management System*), responsável pelo controle da carga e descarga da bateria, garantindo a segurança e a longevidade das baterias, conversor de potência (PCS – *Power Conversion*), dispositivo capaz de converter a energia armazenada no formato CC do BESS para CA, permitindo a integração com à rede elétrica, infraestrutura de resfriamento e ventilação.

2.1.2.1 Módulos de bateria

Os módulos de bateria são formados pela associação de células individuais de armazenamento, sendo caracterizadas como as unidades fundamentais das baterias eletroquímicas. Cada célula é composta de eletrodo, elemento onde são gerados uma diferença de potencial por meio do processo de oxirredução, eletrólito, meio pelo qual permite o fluxo de íons entre os eletrodos, e o separador, utilizado como uma barreira física, evitando curtos-circuitos gerados pelo contato dos eletrodos.

As células de armazenamento variam conforme a composição dos eletrodos, eletrólitos e as condições de operação. Segundo (Tatiane Costa, 2022), as principais tecnologias de baterias como: chumbo-ácido, íon-Lítio, chumbo-carbono, sódio-enxofre, apresentam características específicas como vida útil, armazenamento de curta ou longa duração, potência instantânea, custo e segurança operacional, sendo utilizadas conforme a necessidade de cada projeto. A Figura 7, ilustra os diferentes tempos de descarga das tecnologias de armazenamento. As células com menor tempo de descarga são utilizadas para respostas rápidas e armazenamento temporário, sendo adequadas para o fornecimento instantâneo de energia. As tecnologias com um período intermediário são mais utilizadas para aplicações móveis e estacionárias, já as células com resposta lenta, são mais recomendadas para aplicações que garantem a estabilidade da rede elétrica.

Figura 7 - Perfil de descarga de células de armazenamento de diferentes tipos



Referência: (Tatiane Costa, 2022)

2.1.2.2 BMS – Battery Management System

O BMS detém um papel crítico na segurança da operação e gestão dos módulos de baterias. O sistema tem como funcionalidade monitorar e controlar os parâmetros de tensão, resistência e temperatura das células individualmente, realizando um controle sobre cada célula, evitando sobrecargas e degradação dos componentes. O sistema de gestão da bateria é composto por sensores de tensão, corrente e temperatura em cada módulo e microcontroladores, responsáveis pelo processamento de dados, execução de algoritmos de controle e comunicação com outros sistemas.

2.1.2.3 PCS – Power conversion system

O sistema de conversão de potência, também conhecido como PCS, é responsável por gerenciar o controle de fluxo de potência entre as baterias, rede elétrica e carga. Os PCS são compostos pelos conversores CC-CA, responsáveis por converter a energia armazenada no sistema BESS para o padrão de consumo da rede e conversores CA-CC, utilizados para carregar o sistema de armazenamento por outras fontes de energia. Por meio dos conversores, o PCS auxilia a manter os parâmetros de qualidade de energia, realizando regulação de tensão, correção de fator de potência e filtro de harmônicos.

2.1.3 Sistema de carregamento veicular

Os carregadores veiculares são equipamentos capazes de realizar o carregamento das baterias eletroquímicas embarcadas nos veículos elétricos. As estações de recargas também são conhecidas pela sigla: “*Electric Vehicle Charging Station*” (EVCS), essas estações são formadas por conversores de potência chaveados, responsáveis por converter a energia fornecida pela rede em níveis de tensão e corrente adequados ao veículo elétrico (S. D. VASCONCELOS, 2024).

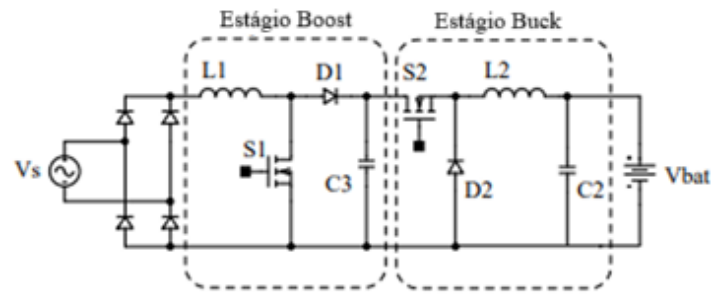
O processo de carregamento das baterias pode ser feito por diferentes topologias de conversores, entretanto é possível resumir o processo de conversão da energia em dois estágios. O primeiro estágio é a conversão CA/CC, onde feita a transformação da tensão alternada da rede para o padrão contínuo, utilizado no carregamento das baterias. Esse estágio busca otimizar a eficiência da conversão de energia e reduzir perdas no carregamento, além dessa função os conversores podem conter estágio de filtragem e correção do fator de potência (PFC). O segundo estágio ocorre a conversão CC/CC, que tem como função adequar a tensão de saída do primeiro estágio para o nível tensão de carregamento das baterias. Neste estágio são aplicados diferentes mecanismos para regular a tensão e corrente de saída (S. D. VASCONCELOS, 2024).

2.1.3.1 Modelo de carregador veicular

A Figura 8 apresenta um conversor monofásico composto por dois estágios de conversão. O primeiro estágio é responsável por retificar o sinal senoidal V_s de entrada por meio do retificadores de onda completa integrado ao conversor Boost, que tem como função elevar a tensão contínua gerada após a retificação do sinal. A PFC é feita nessa etapa, por meio de um circuito de controle responsável por ajustar o ciclo de trabalho do transistor S1, garantindo que a corrente esteja em fase com o a tensão de entrada. Este controle permite atenuar o consumo de potência reativa, gerando um ganho de eficiência no processo de conversão.

O Segundo estágio de conversão é realizado pelo conversor *buck*, que tem como função reduzir o nível de tensão, fornecida pelo primeiro estágio, para um nível de tensão adequado ao carregamento veicular. O conversor é composto por uma chave eletrônica, um indutor e um capacitor. O controle da conversão é realizado pelo acionamento da chave S2, que gera o carregamento e descarregamento do indutor L2 de forma que a tensão de saída V_{bat} sempre será menor do que a tensão de entrada no conversor.

Figura 8 - Topologia de carregamento de estação de recarga com conversor *boost* e *buck*



(S. D. VASCONCELOS, 2024)

2.1.3.2 Modos de carregamento

Além das múltiplas topologias, os carregadores veiculares apresentam diferentes padrões de carregamento. A *International Electrotechnical Commission* (IEC), organização internacional sem fins lucrativos que tem como objetivo criar padrões e normas internacionais relacionadas as tecnologias elétricas e eletrônicas, adotadas por diversos países, definiu segundo a (IEC 61851, 2017) quatro principais modos de carregamento que são amplamente utilizados pela indústria de EVSEs. Os modos de carregamento 1,2 e 3 são relacionados ao carregamento de corrente (AC), enquanto o modo 4 é referente ao carregamento de corrente CC.

Os modos de carregamento 1 e 2 utilizam corrente alternada e nível de tensão de 250V monofásico e 480V trifásico. A diferença entre os dois modos de carregamento é o nível de corrente e proteção do circuito. No modo 1, a corrente máxima é de 16A em um sistema de carregamento sem proteção dedicada, enquanto o modo 2 utiliza uma corrente máxima de 32A e inclui o uso de dispositivos de corrente residual (RCD), trazendo uma maior segurança ao processo de carregamento.

Entretando, tais padrões apresentam um maior nível de risco no processo de carregamento, onde acabam sendo utilizados em uso residencial (Santos, 2024). O modo 3 também utiliza o carregamento AC, mas pode alcançar até 22kW de potência e realizar uma comunicação bidirecional entre a estação de recarga e o veículo elétrico. Esta comunicação gera um maior nível de segurança no carregamento,

controle de potência e gerenciamento da carga. Garantindo que o carregamento ocorra em condições adequadas.

Por fim, o modo 4 pode chegar a 400V/200A de corrente contínua (CC), podendo chegar a 100kW de potência no carregamento. Este modo também é conhecido como o modo rápido de carregamento. Nesse modo de carregamento, a conversão da energia AC-DC é feita na estação de recarga. A Tabela 1 resume os quatro modos de carregamento.

Tabela 1 - Modos de carregamento IEC 61851-1

Modo	Tensão	Corrente	Tipo
Modo 1	250V 1φ / 480V 3 φ	16A	AC, não dedicado
Modo 2	250V 1φ / 480V 3 φ	32A	AC, não dedicado
Modo 3	250V 1φ / 480V 3 φ	32A	AC dedicado (IEC 62196-2)
Modo 4	400V	200A	DC dedicado (IEC 62196-2)

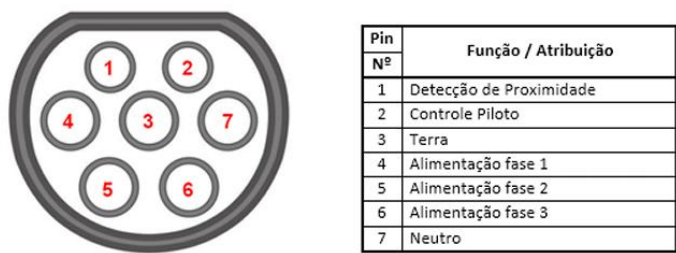
Fonte: (Santos, 2024)

2.1.3.3 Padrões de conectores e velocidade de carregamento

Os veículos elétricos podem apresentar mais de um tipo de conexão para carregamento. Usualmente, estão disponíveis terminais para carregamento em corrente alternada e em corrente contínua (Luiz Henrique Alves de Medeiros, 2020). Atualmente, existem três principais *plugs* utilizados para o carregamento dos veículos elétricos, sendo eles: Tipo 2, CHAdeMO e CCS2 (combined Charging System 2).

O padrão de carregamento AC, definido pela IEC 62196 (Tipo 2), é adotado como padrão pela Associação dos Fabricantes Europeus de Automóveis (ACEA), sendo adequado tanto para conexões monofásicas como trifásicas. A Figura 9 apresenta um diagrama detalhado dos componentes do conector Tipo 2. Figura 9 - Layout do conector Tipo 2

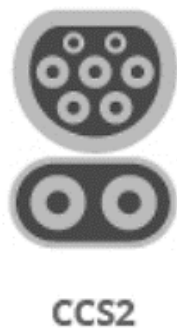
Figura 9 - Layout do conector Tipo 2



Fonte: (Luiz Henrique Alves de Medeiros, 2020)

O *combined charging system 2* (CCS2), é um padrão que adiciona ao plug Tipo 2, dois conectores adicionais para o carregamento rápido em corrente contínua. Este padrão permite uma maior praticidade e interoperabilidade entre diferentes redes de carregamento. A Figura 10 apresenta o layout do conector CCS2.

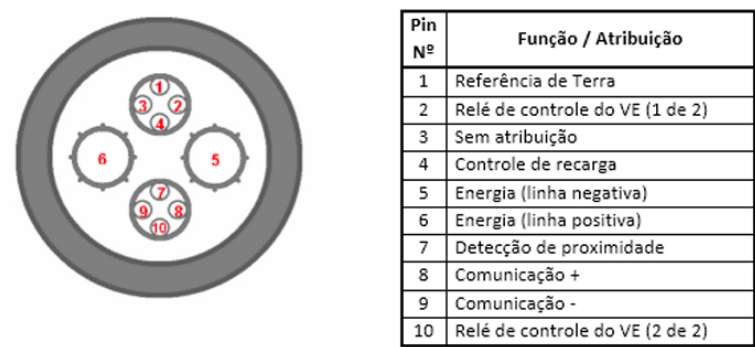
Figura 10 - Estrutura do conector CCS2



Fonte: Adaptado de (Luiz Henrique Alves de Medeiros, 2020)

Por fim, o padrão japonês CHAdeMO, criado a partir da associação de montadores japonesas, utilizado para o carregamento rápido em corrente contínua, com capacidade de fornecer até 400kW de potência no carregamento veicular. A Figura 11 apresenta os diagramas de pinos que compõe o plug CHAdeMO.

Figura 11 - Configuração de Pinos do Conextor DC - CHAdeMO



Fonte: (Luiz Henrique Alves de Medeiros, 2020)

As estações de recarga podem conter diferentes configurações, apresentando diferentes plugs, nível de potência e modos de carregamento. Estas características permitem identificar a compatibilidade dos equipamentos com os veículos elétricos, como também a velocidade de carregamento, que é diretamente proporcional a potência fornecida. A Tabela 2 apresenta uma classificação das estações de recarga, com base nos tipos de conectores, potência, modo e velocidade de carregamento.

Tabela 2 - Classificação das estações de recarga

Velocidade	Modo	Tipos de plug	Potência fornecida
Lenta	Modo 2	Tipo 2	7,4kW (Monofásico) 22kW (Trifásico)
Rápida AC	Modo 3	Tipo 2	43kW (Trifásico)
Rápida CC	Modo 3	CHAdeMO, CCS2	20-50kW
Ultrarápida	Modo 4	CHAdeMO, CCS2	> 100kW

Fonte: Adaptado (Santos, 2024)

2.2 Critério de avaliação das instalações elétricas

Neste capítulo, serão abordados os principais parâmetros de qualidade de energia potencialmente mais impactados pela dinâmica de funcionamento das estações de recarga, com base na literatura técnica. Diferentes parâmetros de qualidade de energia podem ser impactos pelo processo de carregamento das estações. Segundo (Wang, 2021), os parâmetros de qualidade de energia que apresentam maior relevância são a o fator de potência, injeção de harmônicos na rede, flutuação de tensão e variação temporária de tensão. Desta forma, serão apresentados os parâmetros mencionados anteriormente, utilizando como referência o Procedimento de Distribuição de Energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8, onde são definidos os padrões de qualidade de energia e a metodologia para as medições e tratamentos de dados. Tais parâmetros devem ser avaliados no ponto de acoplamento comum (PAC), sendo esse o ponto de conexão entre a unidade consumidora e a rede elétrica

2.2.1 Fator de potência

O fator de potência é definido pela razão entre a potência ativa e a potência aparente de um determinado local, como pode ser visto na Equação 1. Esta razão permite identificar o equilíbrio entre a potência ativa (P), capaz de realizar trabalho, e a potência reativa (Q). Segundo a PRODIST, para unidades consumidoras com tensão de alimentação inferior a 230kV, devem apresentar um fator de potência compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 0,92 e 1,00 capacitivo.

Equação 1 - Cálculo do fator de potência

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

2.2.2 Variação de tensão de curta duração

A variação de tensão de curta duração (VTCD) é um fenômeno que acarreta desvios na amplitude da tensão durante intervalos inferiores a três minutos. O VTCD é classificado em dois tipos, sendo a variação momentânea de tensão associada a fenômenos que podem ocorrer por até três segundos, enquanto a variação temporária de tensão ocorre com fenômenos com duração maior que três segundos e inferior ou igual a três minutos, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da variação temporária de tensão

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

2.2.3 Distorção Harmônica de tensão

A distorção harmônica é um parâmetro capaz de avaliar a deformação de um sinal, causado por componentes múltiplos da frequência fundamental. A distorção harmônica pode ser avaliada tanto na tensão quanto na corrente. A Equação 2 calcula o percentual de distorção harmônica causado por todas as componentes harmônicas do sinal fundamental, representado por V_1 , as demais componentes estão representadas como V_h , sendo $H_{máx}$ a maior componente fundamental.

Segundo (ANEEL, 2015) são definidos limites de distorção harmônica total da tensão para os diferentes níveis de tensão nominal da instalação, para instalações com nível de tensão inferior a 1kV é definido um limite de 10%, onde este limite só pode ser superado em 5% das 1008 medições válidas para o período de medição.

Equação 2 - Distorção harmônica total

$$DTT\% = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{máx}} \left(\frac{V_h}{V_1}\right)^2} \times 100 \quad (2)$$

2.2.4 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão é definida pela variação aleatória do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Este indicador, tem como objetivo analisar o efeito de cintilação luminosa observada pelos consumidores nas instalações de iluminação de baixa tensão. A severidade de flutuação de curta duração (Pst) indica os níveis de cintilação luminosa observada em um período contínuo de 10 minutos. De forma análoga, a severidade de flutuação de tensão de longa duração (Plt) indica os níveis de cintilação luminosa associadas a flutuação de tensão por períodos contínuos de duas horas.

A Equação 3 apresenta como é calculada a severidade de flutuação de tensão de curta duração, onde os valores de P_i representa a amplitude da flutuação de tensão durante um percentual (i) de tempo de um intervalo de medição de 10 minutos. Os coeficientes que multiplicam os níveis de flutuação, são definidos conforme a norma internacional IEC 61000-4-15 *Flickermeter – Functional and Design Specifications*.

Equação 3 - Severidade de flutuação de tensão de curta duração

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_1 + 0,0657 \cdot P_3 + 0,28 \cdot P_{10} + 0,08 \cdot P_{50}} \quad (3)$$

Para o cálculo da flutuação de tensão de longa duração, é feita a integralização de doze períodos de P_{st} totalizando um nível de flutuação de tensão médio para um período de duas horas. Este cálculo pode ser visualizado na Equação 4.

Equação 4 – Severidade de flutuação de tensão de longa duração

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} (P_{st_i})^3} \quad (4)$$

3 EXTRAÇÃO E METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização do estudo de qualidade de energia, se faz necessário a instalação de equipamentos com o padrão de medição conforme especificado na norma internacional IEC 6100-4-30. Esta norma especifica as grandezas que o equipamento deve mensurar, os intervalos padronizados de aquisição de dados e o nível de precisão e rastreabilidade metrológica. Além da escolha do equipamento adequado, se faz necessário aplicar uma metodologia, que seja capaz de tratar os dados e extrair as informações necessárias para a análise. Neste capítulo será apresentado o Multimedidor Fluke 430-II, utilizado nas medições, e a metodologia de análise de dados aplicados com a linguagem de programação Python.

3.1 Multimedidor Fluke 434-II

Com base na (ANEEL, 2015), são indicados multimedidores de classe A ou S para a realização de medições de qualidade de energia. Estes equipamentos detêm os níveis mais elevados de precisão e rastreabilidade dos dados. Nessa análise, foi utilizado o multimedidor Fluke 434-II Classe A para a campanha de medições. A Tabela 4 apresenta as características de medição do equipamento.

Tabela 4 - Especificações de medição do Fluke 434-II

Grandeza	Faixa de medição	Resolução	Precisão
Severidade de flutuação de tensão de curta duração	0,00-20,00	0,01	± 5%
Severidade de flutuação de tensão de longa duração	0,00-20,00	0,01	± 5%
Distorção harmônica total da tensão	0,0 - 100%	0,10%	± 2,5%
Fator de potência	0-1	0,001	± 0,1%
Tensão (V_{rms})	1 – 1.000V	0,1V	± 0,5%

Referência: (Fluke, 2012)

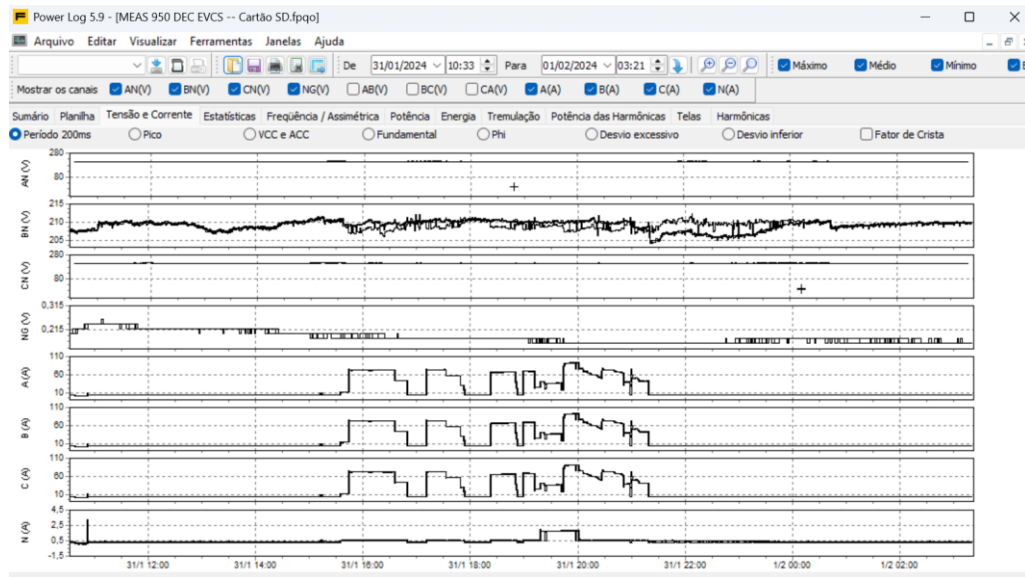
3.2 Tratamento dos dados com Python

Para a análise dos dados que qualidade de energia, se faz necessário realizar o tratamento dos dados obtidos do multimedidor, de forma que os valores extraídos estejam adequados para os padrões de análise, especificados no Módulo 8 da PRODIST. A realização do tratamento de dados deve ser feita em duas etapas, a primeira etapa é definida como o pré-processamento dos dados, nessa etapa são feitas verificações sobre os dados brutos obtidos dos equipamentos de medição, identificando a ocorrência de valores nulos, formatação, nomenclatura e estruturação no formato de tabela, tornando a informação adequada para a análise desenvolvida no presente trabalho. A segunda etapa é definida como o pós-processamento, onde são feitas verificações sobre a integridade dos dados, adequação da granularidade, tratamento de outliers e análise estatística das grandezas estudadas. Ambas as etapas de processamento foram realizadas utilizando a linguagem de programação Python, utilizando funções oriundas da biblioteca Pandas. Os tópicos seguintes irão abordar a metodologia utilizada.

3.2.1 Pré-processamento dos dados

O pré-processamento se inicia com a leitura do arquivo que contém as medições do equipamento. Para a extração dos dados do qualímetro Fluke 434-II, foi utilizando o software *power-log 430-II*, pois permite ao usuário realizar visualizações, como também exportar os dados armazenados no equipamento. A Figura 12 apresenta a interface do usuário ao acessar o *software* e visualizar os dados. Entretanto, a ferramenta apresenta limitações tanto nas opções de visualização gráfica, como na forma de manipular e agregar dados. Desta forma, foi realizada a exportação dos dados analisados.

Figura 12 - Interface do software *Power Log 430-II*



Fonte: Gerada pelo próprio autor

Para o processamento das medições, foi utilizada a plataforma *Google Colab*, que permite a execução de scripts Python para análise de dados. De início, foi utilizada a biblioteca *pandas*, que permite transformar dados de diferentes formatos como csv, xlsx e txt em um formato *Pandas DataFrame*. Esse formato de dado permite realizar operações avançadas de filtragem, agregação e manipulação de dados de forma eficiente, o que será fundamental na seguinte etapa de pós-processamento. Além desta característica, as diferentes grandezas são rotuladas e organizadas por colunas e seus registros para cada intervalo de tempo são armazenados nas linhas.

3.2.2 Pós-processamento dos dados

Após o tratamento inicial dos dados, torna-se possível iniciar a análise. Inicialmente, são aplicados filtros nos dados capazes de excluir valores *outliers*, como exemplo o registro de valores positivos de carregamento durante o período que a estação não estava em funcionamento, como também a ocorrência de valores negativos de grande amplitude que não condizem com a dinâmica de funcionamento da estação de recarga. Tal filtragem se torna fundamental para que não haja um

impacto na análise com dados que não condizem com o real funcionamento do sistema. As informações extraídas do equipamento detêm um período de amostragem de um em um minuto, entretanto segundo o Módulo 8 da PRODIST, é utilizado um período de amostragem de dez em dez minutos. Com isso, foi realizada a agregação dos dados para o período adequado utilizando a função *Groupby* da biblioteca pandas, em conjunto com a função *mean*, que, em conjunto, realizam a média das medições para cada dez minutos. É necessário destacar que o agrupamento dos dados só deve ser feito após a aplicação dos filtros, isso porque a presença de outliers em cada conjunto de dados, gera distorções no valor médio, podendo causar interpretações equivocadas. Por fim, é feita uma análise estatística dos dados, buscando identificar os valores máximos, mínimos, médios associados para cada grandeza, como também percentuais valores.

4 RESULTADO DA ANÁLISE DOS DADOS DA ESTAÇÃO DE RECARGA

Após a definição da metodologia para análise dos parâmetros de qualidade de energia, torna-se possível realizar a análise dos dados coletados. Neste tópico, será apresentado o projeto CS3059, responsável por originar este estudo, como também abordar os resultados encontrados nesse trabalho.

4.1 Apresentação do projeto

A necessidade da análise de qualidade de energia da estação de recarga, realizada neste trabalho, teve como origem o projeto de pesquisa e desenvolvimento PD-000063-3059/2019, aprovado no programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com o objetivo principal de expandir a infraestrutura de recarga de veículos elétricos em todo território nacional. O projeto foi desenvolvido em conjunto entre a CPFL Energia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Moura Acumuladores, Instituto de Tecnologia Edson Mororó (ITEMM) e do Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI), onde foram projetadas e implementadas estações de recarga de veículos elétricos no estado de

Pernambuco e de São Paulo, com o objetivo de validar as tecnologias e compreender a dinâmica de funcionamento desses novos equipamentos integrados a rede.

O projeto teve como objetivo mitigar potenciais impactos causados pela inserção de estações de recarga a rede. Desta forma, foram desenvolvidas soluções como a integração com a geração fotovoltaica, implementação de sistemas de armazenamento de energia em baterias (BESS - *Battery Energy Storage System*) e estratégias de controle e gestão de recarga, para otimizar o uso das estações de recarga. O trabalho atual, realizou a análise de qualidade de energia referente a instalação de um centro de recarga, integrado a uma unidade comercial da empresa Decathlon, localizada em Campinas-SP. A Figura 13 apresenta a estação de recarga desenvolvida pelo projeto

Figura 13 - Estação de recarga instalada na Decathlon

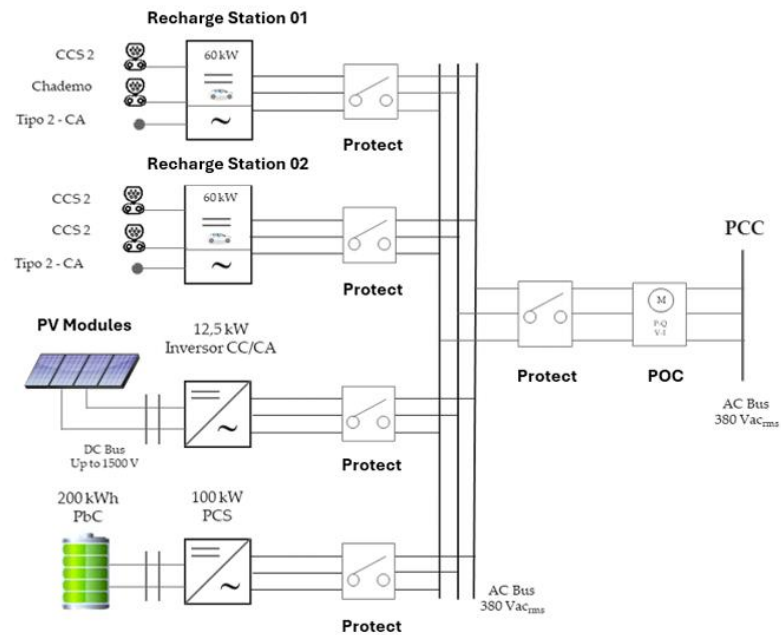


Fonte: (S. D. VASCONCELOS, 2024)

O centro de recarga foi desenvolvido utilizando uma infraestrutura integrada de carregadores veiculares, geração fotovoltaica e BESS. A Figura 14 apresenta os componentes do sistema. Onde foram implementadas duas estações de recarga com potência nominal de 60kW, cada estação detém três saídas para carregamento, sendo

a estação 1 formada por um plug CCS2, CHAdEMO e um plug AC tipo 2, enquanto a outra estação é formada por dois plugs CCS2 e um plug AC tipo 2. Além da estação de recarga, o eletroposto contém um sistema fotovoltaico com potência nominal de 12,5kW e um sistema de armazenamento de energia com capacidade de 200kWh.

Figura 14 - Diagrama do sistema de recarga



Referência: (S. D. VASCONCELOS, 2024)

4.2 Análise dos impactos elétricos da instalação do eletroposto

Com o propósito de avaliar potenciais impactos causados pela estação de recarga nas instalações elétricas da Decathlon, foram implementados dois medidores de qualidade de energia. Um desses medidores foi conectado ao quadro geral de distribuição de baixa tensão da unidade (QGBT), enquanto o outro medidor foi instalado no quadro de distribuição de um dos carregadores. Para a análise da qualidade de energia, é essencial realizar medições no ponto de acoplamento comum (PAC), isso porque o PAC é o ponto suscetível a perturbações causadas por todos os subsistemas presentes nas instalações elétricas, no caso da Decathlon, este ponto se

encontra no QGBT, enquanto as medições no carregador, permitem verificar o comportamento real da estação de recarga, sem a ação dos sistemas de controle presentes no sistema de armazenamento do eletroposto.

O processo de instalação do analisador de energia, foi feita conectando as garras de medição de tensão, em cada fase da saída do disjuntor, como também foi realizando o aterramento do equipamento, com a conexão ao barramento comum do quadro de distribuição. Para a medição de corrente, foram utilizadas pinças flexíveis para medição de corrente CA de até 3000 A, instaladas em cada fase. A instalação do analisador de energia no quadro de distribuição da estação de recarga, como também do quadro geral de baixa tensão da Decathlon, podem ser vistos sucessivamente na Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Instalação do multimetido no quadro da estação de recarga



(a) Quadro elétrico de suprimentos dos carregadores – com multimetido instalado



(b) Quadro elétrico de suprimentos dos carregadores – após a retirada do multimetido

Figura 16 – Instalação do multimetido no quadro de baixa tensão da Decathlon.



(a) Quadro elétrico da Decathlon com multimetido instalado



(b) Quadro elétrico da Decathlon após a retirada do multimetido

O trabalho tem como objetivo avaliar os principais parâmetros de qualidade de energia, potencialmente impactados pelo processo de carregamento de veículos elétricos, sendo eles: fator de potência, distorção harmônica, variação temporária de tensão e flutuação de tensão, como mencionado em (S. D. VASCONCELOS, 2024). Foram realizadas medições entre os dias 29/01/2024 até o dia 03/02/2024, com um período de amostragem de um minuto, integralizados em dez minutos, com o objetivo de seguir o padrão de amostragem indicado na (ANEEL, 2015). Durante este período, apenas entre os dias 31/01/2024 e 02/02/2024, houve carregamentos na estação de recarga 1 onde foi instalado o multimetido. Desta forma, a análise dará ênfase aos três dias que tiveram a utilização plena da estação de recarga.

4.2.1 Distorção harmônica de tensão

A distorção harmônica de tensão é um dos principais fatores, potencialmente elevados, pela dinâmica de carregamento das estações. Como visto em (S. D.

VASCONCELOS, 2024), o carregamento rápido gera a injeção de correntes harmônicas na rede, gerando distorções no sinal da corrente como também da tensão.

Segundo a (ANEEL, 2015), existem limites de distorção harmônica associadas apenas aos níveis de tensão nominal de determinada instalação. Para o caso apresentado, onde a tensão fundamental é inferior a mil, a distorção harmônica total, que consiste na soma das distorções geradas por todas as componentes harmônicas, deve ser igual ou inferior a 10%. O limite deve ser considerado apenas para 95% dos dados coletados, ou seja, permitido que o limite seja superado em até 5% dos dados registrados no período de verificado.

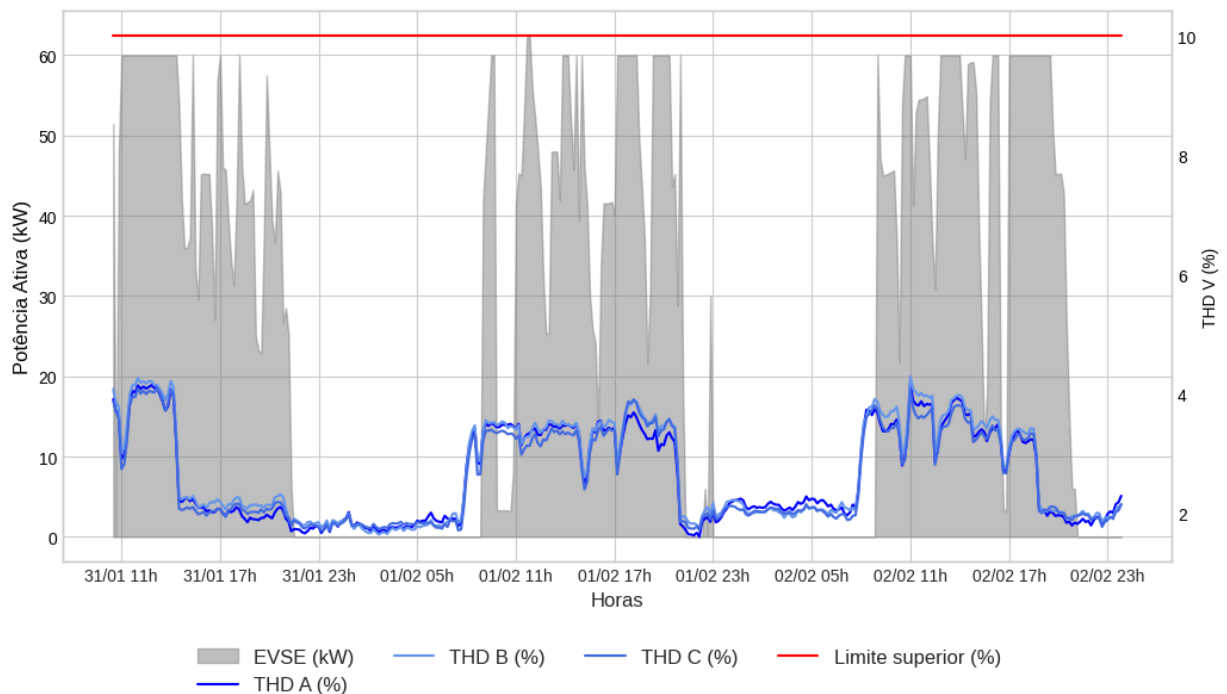
A Tabela 5 apresenta de forma sintetizada a estatística dos dados de distorção harmônica total de tensão para cada fase, tanto do multimedidor instalado na estação de recarga, quando no quadro geral da Decathlon. É possível notar que para ambos os casos o limite máximo de distorção harmônica não foi atingindo. Além disso, nota-se valores de distorção harmônica associados ao QGBT, com um valor média inferior a 2,5% de distorção harmônica das fases, minimizando os riscos de violações dos parâmetros.

Tabela 5 – Distorção harmônica de tensão carregador e QGBT

Estatística	Potência ativa total (kW)	THDV	THDV (%)	THDV	THDV	THDV	THDV
		(%) EVSE Fase A	EVSE Fase B	(%) EVSE Fase C	(%) QGBT Fase A	(%) QGBT Fase B	(%) QGBT Fase C
Média	46,80	2,55	2,60	2,53	2,23	2,30	2,26
STD	21,86	0,79	0,84	0,78	0,61	0,65	0,63
Mínimo	0,00	1,53	1,58	1,63	1,44	1,38	1,44
25%	42,24	1,88	1,91	1,88	1,71	1,77	1,71
50%	60,00	2,13	2,13	2,07	1,89	1,94	1,93
75%	60,00	3,38	3,48	3,35	2,87	2,97	2,92
95%	60,00	3,87	4,00	3,83	3,22	3,34	3,29
Máximo	62,52	4,37	4,52	4,54	3,87	3,9	3,75

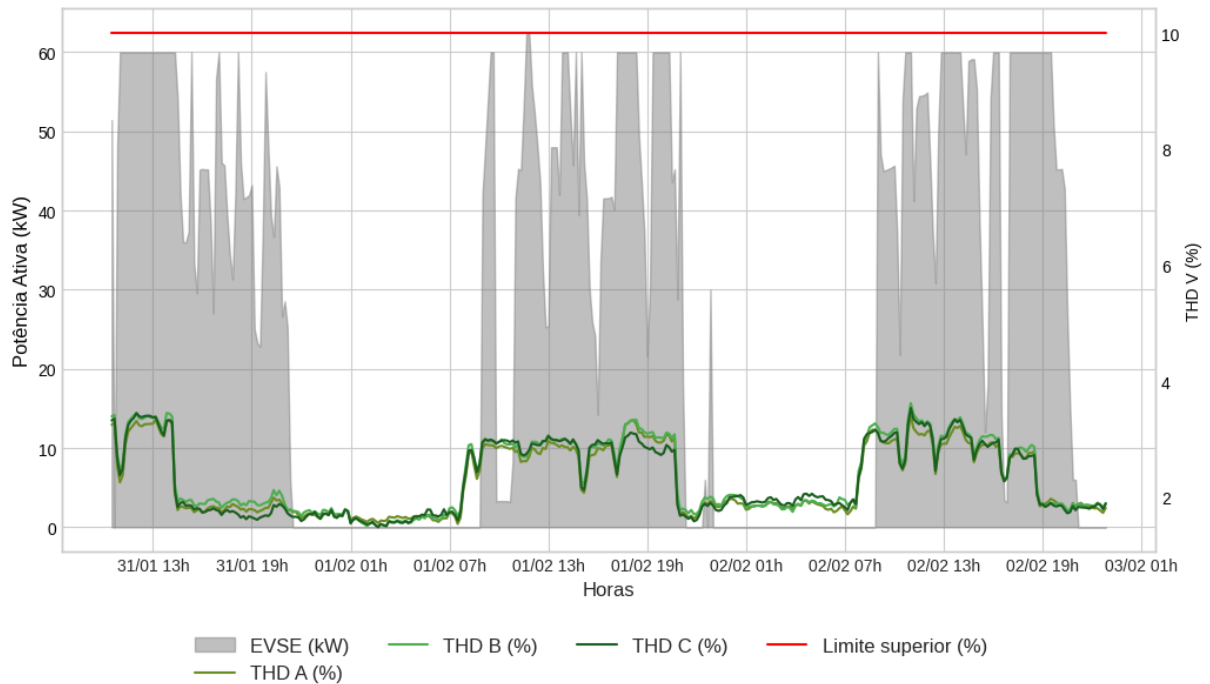
A Figura 17 apresenta o nível de distorção harmônica, associado ao nível de potência fornecido pela EVSE1, durante os dias que ocorreram recargas na estação. É possível notar maiores níveis de distorção harmônica durante o período de recargas, com maiores variações durante a mudança do nível de potência fornecida pela estação de recarga.

Figura 17 – Distorção harmônica de tensão no carregador



A Figura 18 apresenta o nível de distorção harmônica de tensão medida no QGBT, como também a potência fornecida pela estação de recarga. Semelhante a EVSE1, os níveis de distorção foram mais elevados durante o período de recargas na estação. No entanto, vale salientar que este período é simultâneo ao horário de funcionamento da loja, na qual existem outras cargas que podem contribuir com a injeção de harmônicos no ponto de medição. Desta forma, não é possível estabelecer uma relação direta entre o período de operação da estação de recarga e os níveis de distorção harmônica medidos no quadro geral de baixa tensão.

Figura 18 – Distorção harmônica de tensão no QGBT



4.2.2 Fator de potência

O fator de potência é um parâmetro fundamental para o adequado funcionamento das instalações elétricas. Valores reduzidos desse fator, indicados pela PRODIST como inferiores a 0,92, resultam no aumento da circulação de corrente, sem a correspondente elevação da potência ativa, resultado em maiores perdas térmicas nos condutores e transformadores, contribuindo também para uma maior emissão de harmônicos (Christoph Kattmann, 2017). Além dos danos causados as instalações, o baixo fator de potência pode gerar multas para os consumidores de média ou alta tensão, por excederem limites estabelecidos pelas concessionárias de energia

Segundo o módulo 8 a PRODIST, para unidades com tensão inferior a 230kV, o fator de potência, em módulo, deve estar entre 0,92 e 1. A Tabela 6 apresenta os dados registrados do fator de potência da estação de recarga e do quadro geral de baixa tensão. As medições realizadas na estação de recarga apresentaram valores baixos de fator de potência. Dos dados registrados, mais de 76% dos valores de fator de potência foram inferiores a 0,1. Segundo (Christoph Kattmann, 2017), a ocorrência de um baixo fator de potência traz impactos em outras grandezas, como o aumento da distorção harmônica. No entanto, essa correlação não foi observada nas outras medições, o que levou à descartabilidade dos registrados com fator de potência inferior ou igual a 0,1 do processo de análise, sendo tais medições possivelmente consequentes a falhas de medição dessa grandeza.

Após realizar a filtragem dos dados, foi possível observar uma média de fator de potência superior a 0,96, sendo um valor aceitável e condizente com os demais parâmetros elétricos analisados. Em relação aos dados extraídos do medidor, localizado no quadro geral de baixa tensão, foi registrado um valor médio, superior a 0,97. Em uma das fases foi registrado um fator de potência de 0,83, inferior ao mínimo sugerido pela PRODIST.

Tabela 6 - Fator de potência EVSE e QGBT

Estatística	Potência ativa total (kW)	FP (filtrado) EVSE Fase A	FP (filtrado) EVSE Fase B	FP (filtrado) EVSE Fase C	FP QGBT Fase A	FP QGBT Fase B	FP QGBT Fase C
Média	46,80	0,977	0,96	0,976	0,98	0,98	0,96
STD	21,86	0,11	0,14	0,11	0,01	0,01	0,03
Mínimo	0,00	0,12	0,10	0,1	0,91	0,93	0,83
5%	0,00	0,94	0,81	0,94	0,97	0,97	0,90
25%	42,24	1	0,99	1	0,96	0,97	0,93
50%	60,00	1	1	1	0,98	0,98	0,98
75%	60,00	1	1		0,99	0,99	0,99
Máximo	62,52	1	1	1	1	1	1

Com a filtragem dos dados de fator de potência da estação de recarga, é possível observar que a maior parte das medições apresentou valores superiores a 0,9. Durante o processo de carregamento, nota-se que o fator de potência varia em momentos de alteração na potência fornecida pela estação de recarga, como pode ser visto na Figura 19, que apresenta os dados de medição separados por dia.

Já a Figura 20 correlaciona os valores de fator de potência com a potência fornecida pela estação de recarga ao longo do período analisado. Esse gráfico demonstra que, à medida que a potência de carregamento diminui, o fator de potência também tende a ser menor.

Figura 19 – Fator de potência da estação de recarga em cada dia

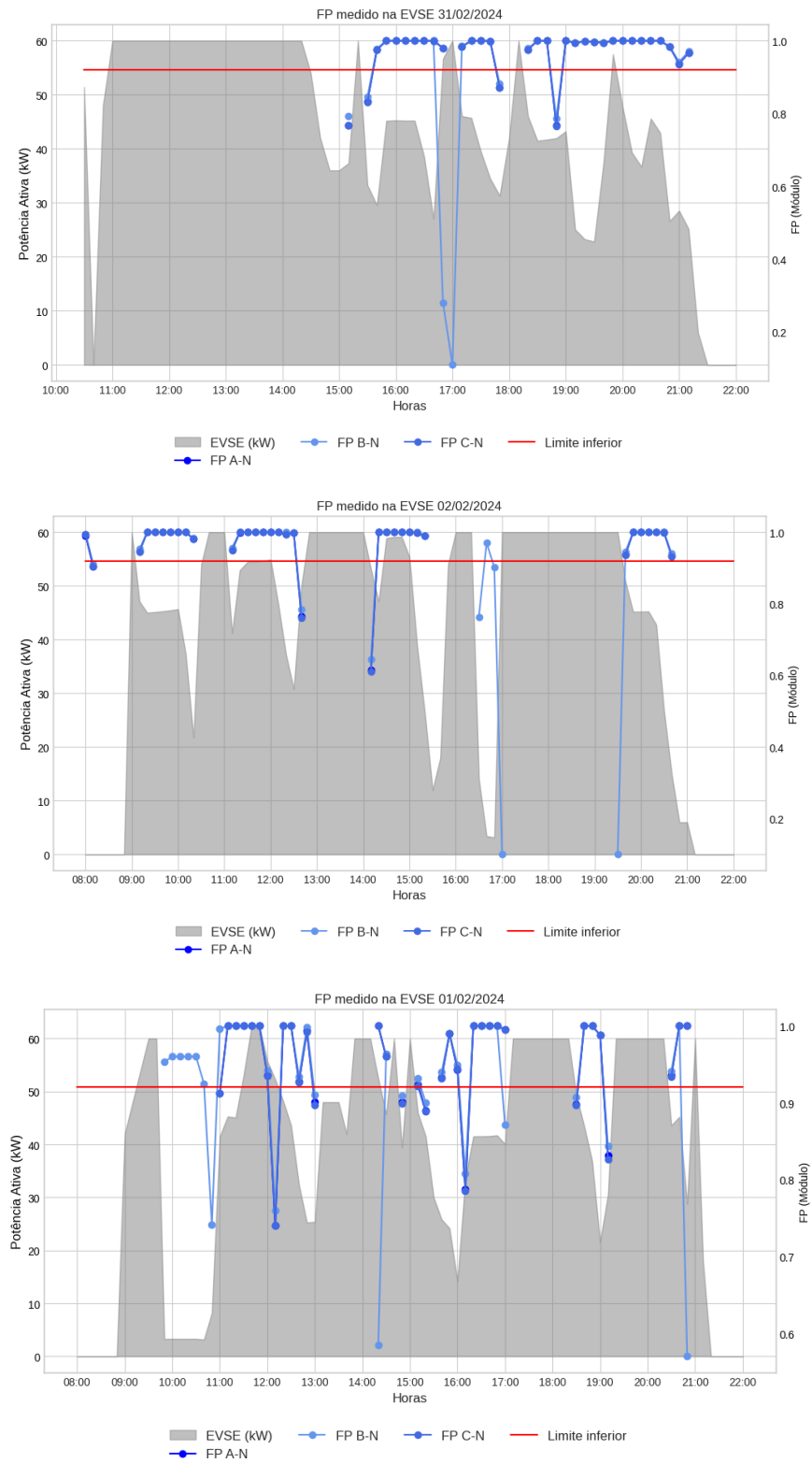
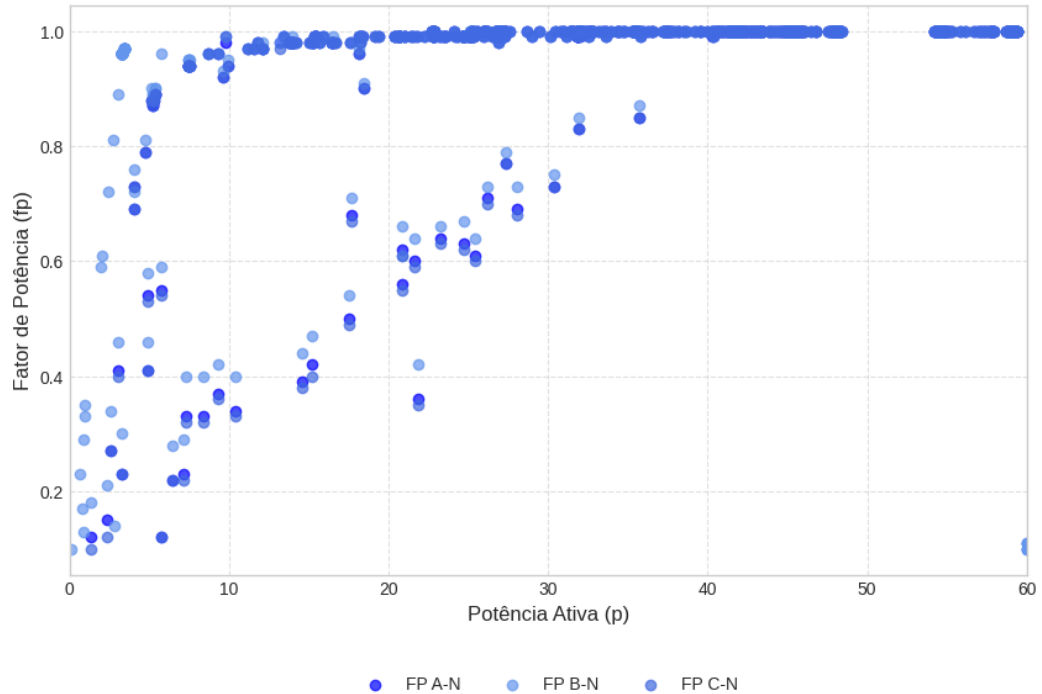
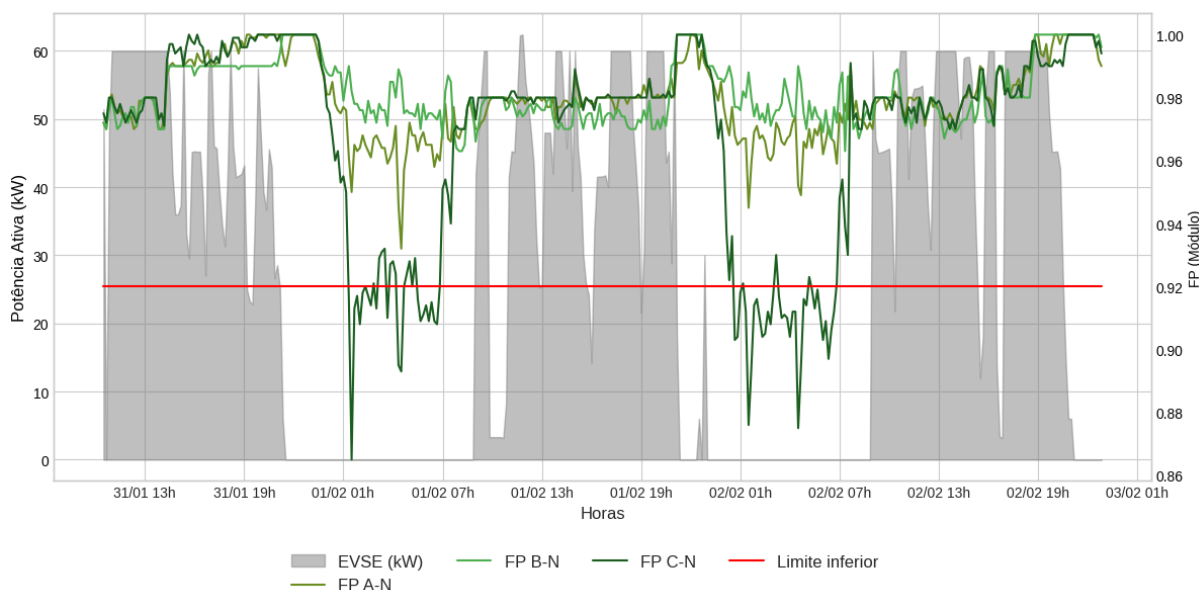


Figura 20 - Correlação da potência ativa e o fator de potência da EVSE



A Figura 21 apresenta os dados de fator de potência do quadro geral de baixa tensão, como também da potência ativa fornecida pela estação de recarga ao longo dos dias. É possível notar a ocorrência de violação dos limites determinados pelo Módulo 8 da PRODIST, atingindo valores inferiores a 0,9 em alguns instantes de tempo. Porém, percebe-se que em todos os instantes que houve violações dos limites, a estação de recarga encontrava-se fora de operação, consequentemente não gerando impactos no indicador durante este período. Os registros de violação ocorreram apenas na fase C do circuito da loja, indicando a existência de ruído de baixa potência na fase. Desta forma, a violação do fator de potência não está atribuída ao funcionamento da estação de recarga.

Figura 21 – Fator de potência do QGBT



4.2.3 Variação de tensão de curta duração

A qualidade da energia elétrica está diretamente associada a estabilidade da tensão, utilizada pelas instalações. A análise da variação de curta duração da tensão busca identificar os fenômenos de interrupção, afundamento e elevação de tensão e que são classificados conforme a duração da variação de tensão. A variação de curta duração pode afetar o funcionamento de máquinas e equipamentos eletrônicos, gerando falhas ou até danos físicos as instalações, como foi apresentado por (Maia, 2011).

Com base na (ANEEL, 2015), as variações temporárias de curta duração (VTCDs) são classificados em dois tipos: variações momentâneas de tensão, que ocorrem em intervalos inferiores e iguais a três segundos, e a variações temporárias de tensão, com oscilações de tensão superiores a três segundos e inferiores a três minutos. Devido a resolução do registro dos equipamentos, limitada em um minuto, foi possível analisar apenas fenômenos de variação temporária de tensão que ocorrem em períodos de um a três minutos. Foi considerada a tensão de referência de 220 V RMS (fase-neutro), sendo este valor considerado como valor de base para as medições. Este fenômeno pode ocorrer de três formas, sendo eles: interrupção

temporária de tensão, quando a tensão é inferior a 0,1pu; afundamento temporário de tensão, quando a tensão se encontra entre 0,1 e 0,9pu; e a elevação de tensão, quando a tensão atinge valores superiores a 1,1pu.

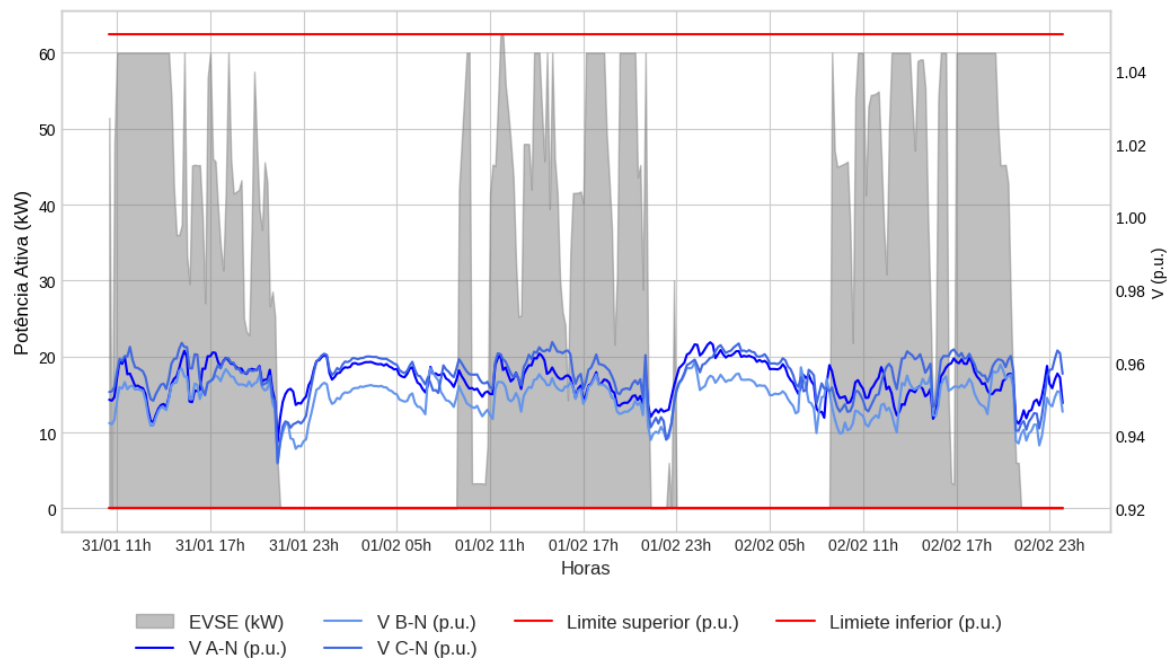
Durante o período de análise, não foram identificadas violações dos limites de tensão indicados, tanto para a estação de recarga, quanto para o quadro geral de baixa tensão da Decathlon. A Tabela 7 apresenta a estatística dos dados coletados, onde é possível observar um valor mínimo de tensão de 0,92 p.u., em uma das fases do carregador, como também um valor máximo de 0,97 p.u., também registrado em duas fases da estação de recarga.

Tabela 7 – Tensão da estação e do QGBT

Estatística	Potência ativa total (kW)	V (p.u) EVSE Fase A	V (p.u) EVSE Fase B	V (p.u) EVSE Fase C	V (p.u) QGBT Fase A	V (p.u) QGBT Fase B	V (p.u) QGBT Fase C
Média	46,80	0,96	0,95	0,96	0,959	0,951	0,957
STD	21,86	0,00	0,01	0,01	0,004	0,005	0,005
Mínimo	0,00	0,93	0,92	0,93	0,943	0,936	0,937
5%	0,00	0,95	0,94	0,94	0,950	0,942	0,949
25%	42,24	0,95	0,95	0,95	0,957	0,948	0,954
50%	60,00	0,96	0,95	0,96	0,960	0,952	0,958
75%	60,00	0,96	0,95	0,96	0,963	0,954	0,961
Máximo	62,52	0,97	0,96	0,97	0,969	0,963	0,967

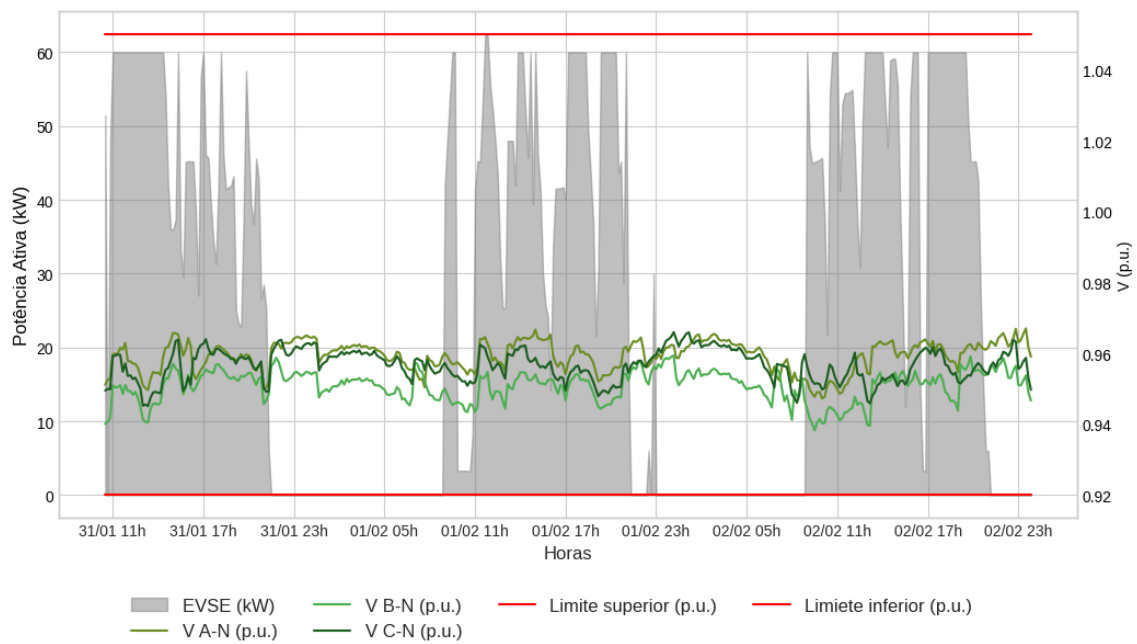
A Figura 22 mostra o valor da tensão de cada fase da estação de recarga em pu. Pode-se notar que maiores amplitudes de variação de tensão em instantes que ocorreram variação no nível de potência fornecido pela estação. Entretanto, tais níveis não superaram os limites considerados para o afundamento ou a elevação temporária de tensão.

Figura 22 - Tensão na estação de recarga



A Figura 23 apresenta as medições de tensão no QGBT, onde é possível notar uma menor influência na amplitude de variação de tensão com os diferentes níveis de potência fornecidos pela estação de recarga. Com isso, é possível notar que os níveis de tensão operam dentro dos níveis recomendados pelo padrão de qualidade.

Figura 23 - Tensão no QGBT



4.2.4 Flutuação de tensão

Por fim, a flutuação de tensão é o parâmetro de qualidade mais perceptível aos consumidores de energia, decorrente do efeito de cintilação observado nos sistemas de iluminação. As medições de severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst), não deveriam ultrapassar 1,0 pu em 95% das medições feitas durante o período.

Como pode ser visto na Tabela 8, 95% das das medições de Pst estiveram abaixo de 0,4 pu tanto para as medições na estação de recarga quanto para QGBT fazendo com que não haja uma violação dos parâmetros de qualidade.

Tabela 8 – Flutuação de tensão EVSE e QGBT

Estatística	Potência ativa total (kW)	Pst EVSE Fase A	Pst EVSE Fase B	Pst EVSE Fase C	Pst QGBT Fase A	Pst QGBT Fase B	Pst QGBT Fase C
Média	46,80	0,16	0,19	0,20	0,10	0,10	0,10
STD	21,86	0,06	0,08	0,12	0,24	0,26	0,20
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25%	42,24	0,12	0,13	0,14	0,07	0,08	0,07
50%	60,00	0,15	0,15	0,15	0,09	0,09	0,08
75%	60,00	0,20	0,23	0,24	0,10	0,10	0,10
95%	60,00	0,27	0,35	0,39	0,136	0,154	0,149
Máximo	62,52	0,58	0,64	1,95	5,964	6,631	5,243

A Figura 24 apresenta o nível de Pst e a potência fornecida pela estação de recarga ao longo do tempo. Neste parâmetro, é possível notar uma correlação entre o nível de potência fornecida pela estação de recarga e o nível de Pst registrado no multimedidor, principalmente associada a variação da potência entregue pela estação.

No entanto, mesmo com esta correlação, não foram registrados níveis críticos de flutuação de tensão durante o período de operação do eletroposto, com a exceção de um registro ocorrido por volta da madrugada do dia 01/02, onde foi registrada uma violação do limite de 1,0pu de Pst. Ao analisar o desvio padrão da amostra, verificou-se que esse registro se encontra mais de três desvios padrão acima da média, indicando a possível ocorrência de um outlier ou de fenômenos anômalos na rede elétrica. Além disso, constatou-se que a estação de recarga estava fora de operação naquele instante, sugerindo que o evento registrado não está diretamente relacionado ao funcionamento da estação.

Essa mesma ocorrência também pode ser vista na Figura 25, onde o nível de Pst supera os limites estabelecidos por norma no mesmo instante de tempo. Esse comportamento reforça a hipótese de que um fenômeno de desequilíbrio da rede tenha ocorrido durante a madrugada, sendo possível observar esse comportamento em todas as fases do circuito.

Em ambas as medições, os níveis de flutuação de tensão permaneceram dentro dos limites recomendados pela norma, com menos de 5% dos dados registrados ultrapassando os limites estipulados. Além disso, nota-se que os valores de Pst registrados no QGBT apresentaram menores variações ao longo do dia, indicando uma menor influência do funcionamento da estação de recarga sobre as instalações da Decathlon.

Figura 24 - Pst EVSE

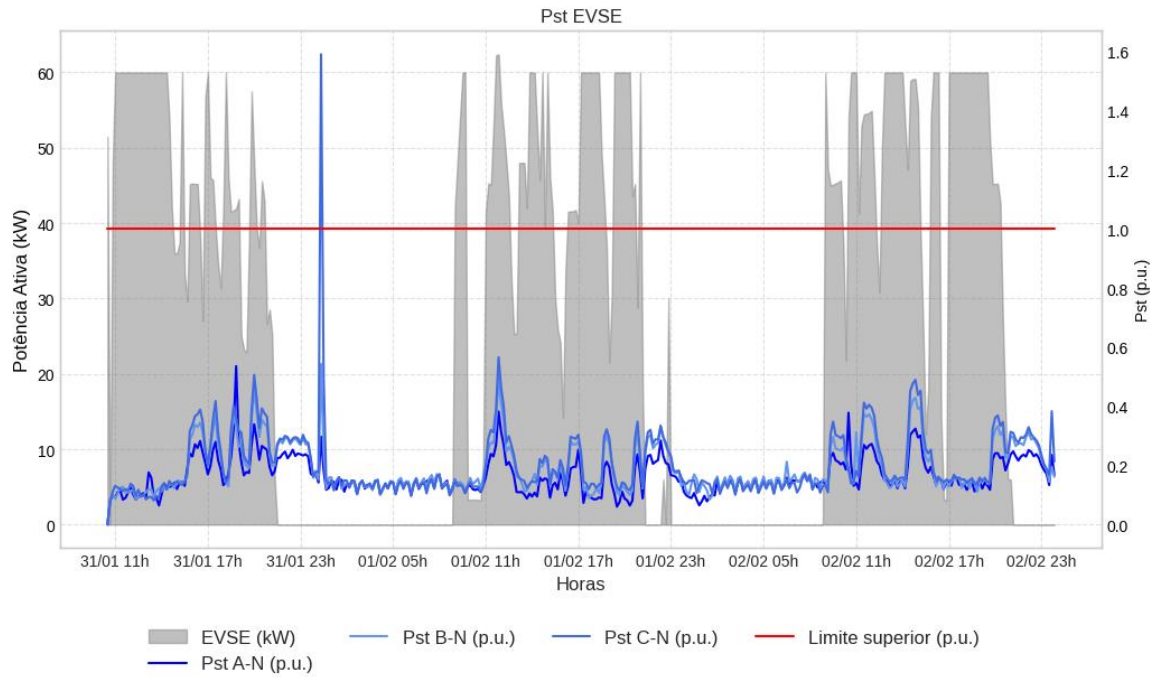
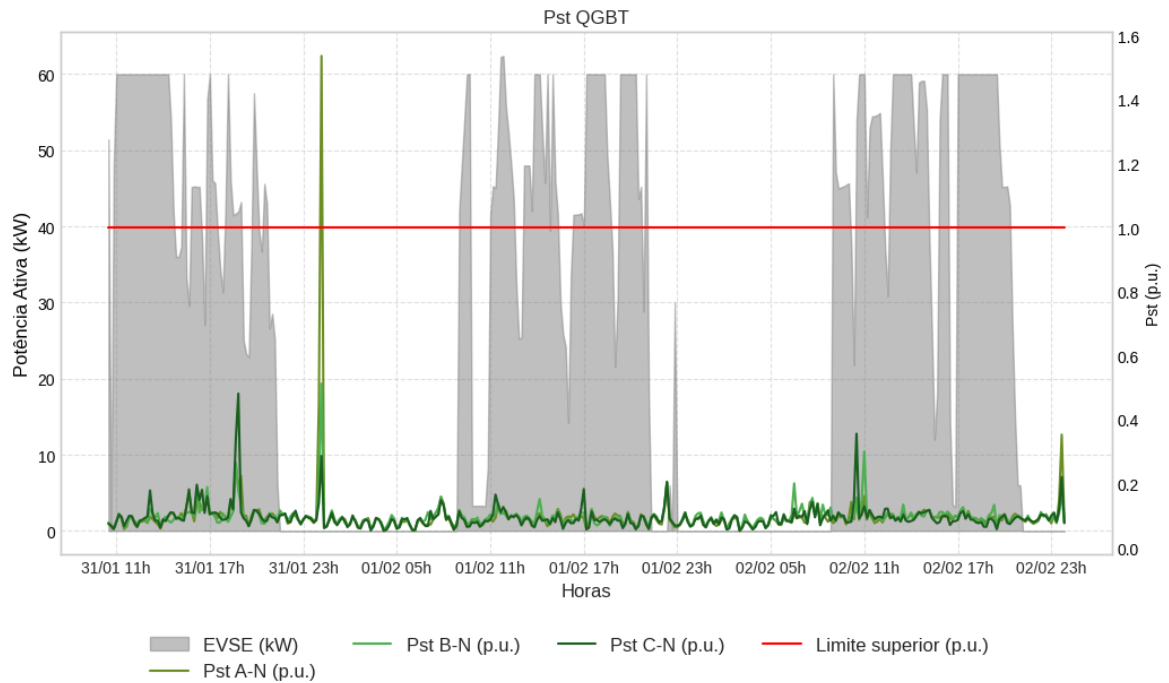


Figura 25 - Pst QGBT



5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Após um estudo detalhado sobre os componentes que compõe a infraestrutura de recarga implementado no projeto CS3059, bem como os parâmetros de qualidade de energia cruciais para garantir o funcionamento adequado da estação de recarga e dos demais circuitos preexistentes nas instalações, os resultados demonstraram que a estação de recarga opera dentro dos limites estabelecidos por normas técnicas, sem comprometer o desempenho dos equipamentos e infraestrutura elétrica da Decathlon. Desta forma, a estação de recarga se mostrou-se robusta e viável, mitigando potenciais impactos elétricos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura de recarga de veículos elétricos.

No contexto científico, este trabalho traz contribuições para o setor elétrico, ao apresentar dados reais da operação de um eletroposto integrado em uma unidade consumidora com os demais subsistemas. A análise foi realizada em um ambiente real avaliando os impactos em diferentes pontos críticos das instalações. A metodologia empregada neste estudo pode ser replicada para avaliar o desempenho de novas instalações, permitindo a otimização da configuração de carregadores e a identificação de possíveis impactos na rede elétrica.

Além disso, o projeto CS3050 destaca-se não apenas pelo impacto técnico, mas também pelo seu papel fundamental no fortalecimento da colaboração entre universidades e empresas do setor elétrico, com o objetivo de gerar novas soluções para os desafios do setor elétrico. Portanto, este trabalho representa uma importante contribuição para a evolução da infraestrutura de recarga veicular, fornecendo diretrizes que podem auxiliar no aprimoramento das futuras implantações e regulamentações do setor.

Os seguintes trabalhos foram publicados durante a elaboração das pesquisas descritas nesta monografia:

- **Felipe J.C.P. Gouveia**, Samuel D. Vasconcelos, José F.C. Castro, L. Limongi et all, “Avaliação de impactos da recarga de veículos elétricos”, Fotovolt, 2024. Disponível em: https://issuu.com/aranda_editora/docs/fotovolt_junho_2024?fr=xKAE9_zU1NQ.
- S. D. Vasconcelos, J. F.C. Castro, **F. J.C.P. Gouveia**, Antônio V.M. Filho et all. "Assessment of Electric Vehicles Charging Grid Impact via Predictive Indicator," in IEEE Access, vol. 12, pp. 163307-163323, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3482095.
- S. D. Vasconcelos, J, F.C. Castro, **F.J.C.P. Gouveia** et all, Avaliação da operação de eletroposto de recarga rápida e simulação dos impactos elétricos da conexão, submetido ao SNPTEE.
- Samuel D. Vasconcelos, José F.C. Castro, L. Limongi; G. M.S. Azevedo, “Operation of EV charging station with a photovoltaic system to reduce the impact on the distribution grid” 27th International Conference on Electricity Distribution Rome, 12-15 June 2023.
- Samuel D. Vasconcelos; José F.C Castro; Leonardo R. Limongi; Amanda L. Fernandes; et all, “Avaliação da operação de Eletroposto de Recarga Rápida e Simulação dos Impactos Elétricos Da Conexão”, XXVII SNPTEE, 26 a 29 de novembro, Brasília, 2023. Este trabalho recebeu uma premiação de menção honrosa no NGN do SNPTEE.

REFERÊNCIAS

IEC 61851. 2017. *Electric vehicle conductive charging system*. Associação Brasileira de Normas técnicas. Geneva : 2017, 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2015. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no sistema elétrico nacional - PRODIST*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015.

Alternative fall-of-potential method for grounding grids impedance measurements and inductive coupling between leads. **Dimcev, V., Handjiski, B. e Sekerinska, R. 2003.** May de 2003, Electromagnetic Compatibility, 2003. EMC '03. 2003 IEEE International Symposium on, Vol. 1, pp. 74-77.

Analysis of Harmonic Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Power Grid Based on Smart Grid Regional Demonstration Project - Los Angeles. **Marcelo Di Paolo. 2017.** Long Beach : IEEE, 2017. IEEE Green Energy and Smart Systems Conference. pp. 1-4.

Antonio Venancio M. L. Filho, Andrea S. M. Vasconcelos, José F. C. Castro, Luiz H. A. de Medeiros. 2023. Impact Analysis and Energy Quality of Photovoltaic, Electric Vehicle and BESS Lead-Carbon Recharge Station in Brazil. 2 de março de 2023.

Castro, Rui M.G. 2002. *Introdução a Energia Fotovoltaica*. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. Lisboa : s.n., 2002. pp. 32-55.

COURT, ALEXANDRE. 2015. *OCPD Compatibility between a Central System and Electric Vehicle Charging Stations*. 2015.

DRÖGE, S. T. 2016. *The Paris Agreement 2015: turning point for the international climate regime*. 2016.

EPE. 2009. *Sistemas de Armazenamento em Baterias: Aplicações e Questões Relevantes*. 2009.

Fluke Corporation. 2007. *Power Log PC Application Software User Manual*. 2007.

GE Energy Management Industrial solutions. 2012. *Soluções para Carregamento de Veículos elétricos*. GE. 2012. pp. 15-24.

Grassi, Fernando. 2021. *Análise do impacto de sistemas de recarga lenta de veículos elétricos em redes de distribuição secundária*. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria : s.n., 2021.

HyungBin Moon, Stephan Youngjun Park, Changhyun Jeong, Jongsu lee. 2018. Forecasting electricity demand of electric vehicles by analyzing consumers charging patterns. *Transportation Research*. 16 de Fevereiro de 2018, pp. 72-78.

2022. IEC 62196-2 Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets. Conductive charging of electric vehicles-Dimensional compatibility requirements for AC pin and contact-tube accessories. 2022.

2022. IEC 62196-3, Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube vehicle couplers. 2022.

IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. **IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers. 2012.** Dec. de 2012, IEEE Std 81-2012 (Revision of IEEE Std 81-1983), pp. 1-86.

Influence of charging electric vehicles and on the quality of the distribution grids. **Broy, Alexander, Constantin Sourkounis. 2011.** s.l. : IEEE, 2011. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation.

João Tavares Pinho, Marco Antonio Galdino. 2014. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. CEPEL - CRESEB. Rio de Janeiro : s.n., 2014.

Joaquim Delgado, Ricardo Faria, Pedro Moura Aníbal T. 2018. Impacts of plug-in electric vehicles in the portuguese electrical grid. *Transportation Research Part D*. 29 de julho de 2018, pp. 373-382.

Júlia Beatriz Ramos da Conceição, Luiz Henrique Alves de Medeiros, Leonardo Rodrigues Limongi, et all. 2020. *Etapa 4 Estado da Arte e Benchmarking Internacional - Parte II*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife : s.n., 2020. pp. 17-88.

Luiz Henrique Alves de Medeiros, Leonardo Rodrigues Limongi ,Fabrício Bradaschia, Pedro André Carvalho Rosas. 2020. *Soluções de suporte à infraestrutura de recarga de veículos elétricos: eletropostos integrados à tecnologia nacional de baterias e sistemas fotovoltaicos*. 2020.

Luiz Henrique Alves de Medeiros, Leonardo Rodrigues Limongi, Fabrício Bradaschia, Pedro André Carvalho Rosas, Márcio Evaristo da Cruz Brito. 2022. *ETAPA E91 – Avaliação do Impacto Elétrico – Anterior à Instalação(UFPE) ETAPA E92 – Suporte à Avaliação do Impacto Elétrico – Anterior à instalação (ITEMM)*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife : s.n., 2022. pp. 6-42.

Lukas Held, Alexandra März, Dominik Krohn, Jonas Wirth, Martin Zimmerlin, Michael R. Suriyah. 2019. The influence of Electric Vehicle Charging on Low Voltage Grids with Characteristics Typical for Germany. *World Electric Vehicle Journal*. 10 de Dezembro de 2019, pp. 4-17.

Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009.** 09 de 2009, ABNT NBR 15749, p. 49.

2014. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Associação Brasileira de normas técnicas. Rio de Janeiro : s.n., 2014.

Oliveira, Matheus da Silva. 2023. *Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento e Gerenciamento Para Microrredes Residenciais Dotadas de Geração Solar Fotovoltaica e Sistema de Armazenamento de Energia Por Bateria*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife : s.n., 2023. pp. 22-51.

S. D. VASCONCELOS, J.F.C. CASTRO, , F.J.C.P. GOUVEIA. 2024. Assessment of Electric Vehicles Charging Grid Impact via Predictive Indicator. 16 de outubro de 2024, pp. 163307 - 163323.

Santos, Caio César Lins dos. 2024. CONTROLE E SUPERVISÃO DE UMA ESTAÇÃO DE RECARGA DE VES: APLICAÇÃO DO PROTOCOLO OCPP 1.6. 2024.

Tatiane Costa, Ayrlw Arcanjo, Andrea Vasconcelos,Washington Silva. 2022. Development of a Method for Sizing a Hybrid Battery Energy Storage System for Application in AC Microgrid. *Energies* 2023, 2022.

Wang, L., Qin, Z., Slangen, T., Bauer. 2021. Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures - An Overview. *IEEE Open Journal of Power Electronics*. 2021.