

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - IFSC
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL SLONGO ROCHA

**ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS PRESENTES NA REDE
ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ITAJAÍ**

ITAJAÍ, 2024

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - IFSC
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL SLOGO ROCHA

**ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS PRESENTES NA REDE
ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ITAJAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica do Campus Itajaí do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Saimon Miranda Fagundes.

ITAJAÍ, 2024

Ficha de identificação da obra
Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC - Campus Itajaí

R672a Rocha, Gabriel Slongo
Análise e diagnóstico de anomalias presentes na rede elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina Câmpus Itajaí / Gabriel Slongo Rocha ; orientador: Saimon Miranda Fagundes. 2024.
70 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Itajaí, Graduação em Engenharia Elétrica, Itajaí, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia Elétrica. 2. Redes elétricas - Análise. 3. Energia elétrica - Controle de qualidade. I. Fagundes, Saimon Miranda. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD 621.31

**ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS PRESENTES NA REDE
ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ITAJAÍ.**

GABRIEL SLONGO ROCHA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Itajaí, 04 de junho de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Saimon M. Fagundes, Dr. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Sergio A. B. Petrovcic, Dr. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Marcelo S. Coutinho, M.Sc. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

RESUMO

Este estudo teve como objetivo principal realizar uma análise abrangente e um diagnóstico detalhado das anomalias presentes na rede elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Câmpus Itajaí, com ênfase no contexto regulatório dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. A pesquisa empregou técnicas de medição e análise de dados para avaliar a Qualidade de Energia Elétrica - QEE da rede, identificando quedas de tensão, desequilíbrio de tensão e corrente, presença de harmônicas e questões relacionadas à eficiência energética do sistema. Com base nos resultados obtidos, foram propostas soluções específicas para mitigar essas anomalias, visando aprimorar a confiabilidade e a eficiência do fornecimento de energia elétrica. Conclui-se que a análise e diagnóstico da QEE na rede elétrica são fundamentais para garantir a segurança e eficiência energética e que a utilização de técnicas adequadas pode contribuir significativamente para a melhoria do serviço prestado pelas empresas distribuidoras de energia elétrica. A pesquisa evidencia a importância crescente da análise detalhada nesse contexto.

Palavras-chave: Rede Elétrica. Qualidade de Energia. PRODIST.

ABSTRACT

This study aimed to conduct a comprehensive analysis and detailed diagnosis of anomalies present in the electrical network of Federal Institute of Santa Catarina - IFSC Itajaí Câmpus, with an emphasis on the regulatory context of Procedures for the Distribution of Electric Energy in the National Electric System - PRODIST. The research employed measurement and data analysis techniques to evaluate the Power Quality - PQ of the network, identifying voltage drops, voltage and current imbalance, presence of harmonics, and issues related to the energy efficiency of the system. Based on the results obtained, specific solutions were proposed to mitigate these anomalies, aiming to enhance the reliability and efficiency of electric power supply. It is concluded that the analysis and diagnosis of PQ in the electrical network are fundamental to ensure energy safety and efficiency, and that the use of appropriate techniques can significantly contribute to improving the service provided by electric power distribution companies. The research highlights the growing importance of detailed analysis in this context.

Keywords: Electrical Network. Quality of Energy. PRODIST.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tetraedro de potências.....	16
Figura 2 - Transformador projeto para o IFSC.....	22
Figura 3 - Faixas de tensão em relação à de referência.....	26
Figura 4 - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).....	31
Figura 5 - Diagrama de Blocos e Etapas.....	32
Figura 6 - Analisador de energia.....	33
Figura 7 - Instalação do analisador de subestação.....	33
Figura 8 - Número de registros válidos.....	34
Figura 9 - Interface do software ANL7000.....	34
Figura 10 - Tensão em regime permanente (30/09 - 07/10)	36
Figura 11 - Tensão em regime permanente.....	36
Figura 12 - Histograma tensão em regime permanente (30/09 - 07/10)	37
Figura 13 - Histograma tensão em regime permanente (08/10 - 14/10)	37
Figura 14 - Distorção harmônica total de tensão (30/09 - 07/10)	40
Figura 15 - Distorção harmônica total de tensão (08/10 - 14/10)	40
Figura 16 - Fator de potência capacitivo (30/09 - 07/10)	43
Figura 17 - Fator de potência capacitivo (08/10 - 14/10)	43
Figura 18 – Fatura de energia elétrica do IFSC do mês de abril.....	48
Figura 19 - Detalhamento do banco de Capacitores.....	49
Figura 20 - Desequilíbrio de tensão (30/09 - 07/10)	50
Figura 21 - Desequilíbrio de tensão (08/10 - 14/10)	50
Figura 22 - Gráfico PLT (30/09 - 07/10)	51
Figura 23 - Gráfico PST (30/09 - 07/10)	52
Figura 24 - Gráfico PLT (08/10 - 14/10).....	52
Figura 25 - Gráfico PST (08/10 - 14/10)	52
Figura 26 - Variação de frequência (30/09 - 07/10)	54
Figura 27 - Variação de frequência (08/10 - 14/10)	55
Figura 28 - Limites permitidos para a variação de tensão de curta duração.....	57
Figura 29 - Variação de tensão de curta duração (08/10 - 14/10)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de distorção harmônica.....	18
Tabela 2 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)	20
Tabela 3 - Valor mínimo de impedância de curto-circuito para transformadores com dois enrolamentos separados.....	23
Tabela 4 - Limites de distorção de corrente para sistemas classificados de 120 V a 69 kV.....	24
Tabela 5 - Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão.....	25
Tabela 6 - Limites para flutuação de tensão.....	29
Tabela 7 - Classificação das variações de tensão de curta duração – VTCD.....	30
Tabela 8 - Indicadores individuais detalhado (30/09 - 07/10)	38
Tabela 9 - Indicadores individuais detalhado (08/10 - 14/10)	39
Tabela 10 - Potências de demanda máximas e mínimas	44
Tabela 11 - Valores registrados de distorção total de corrente por fase.....	41
Tabela 12 - Registros abaixo de 0,92 (30/09 - 07/10)	44
Tabela 13 - Registros abaixo de 0,92 (08/10 - 14/10)	44
Tabela 14 - Quinze piores registros do fator de potência (30/09 - 07/10)	44
Tabela 15 - Quinze piores registros do fator de potência (08/10 - 14/10)	45
Tabela 16 - Potências médias no intervalo dos dias 30/09 a 14/10 retiradas do software ANL7000.....	46
Tabela 17 - Fator de potência do dia (06/10/2022)	46
Tabela 18 - Fator de potência do dia 06/10/2022.....	47
Tabela 19 - PLT95% (30/09 - 07/10)	53
Tabela 20 - PST95% (30/09 - 07/10)	53
Tabela 21 - PLT95% (08/10 - 14/10)	53
Tabela 22 - PST95% (08/10 - 14/10)	54
Tabela 23 - Variação da frequência no período 30/09 até 07/10.....	55
Tabela 24 - Variação da frequência no período 08/10 até 14/10.....	56
Tabela 25 - Período de flutuação (08/10 - 14/10)	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A
DRP	Duração relativa da transgressão para tensão precária
DRC	Duração Relativa da transgressão para tensão crítica
DTT%	Distorção harmônica total de tensão
FD95%	Fator de Desequilíbrio de Tensão
FP	Fator de potência
ICC	Corrente de curto-circuito
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IL	Corrente de máxima demanda
IN	Corrente nominal
NBR	Norma brasileira
PLT	Severidade de flutuação de tensão de longa duração
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PST	Severidade de flutuação de tensão de curta duração
QEE	Qualidade da energia elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão QGBT
SDAT	Sistema de Distribuição de Alta Tensão
SDMT	Sistema de Distribuição de Média Tensão
TDD%	Distorção de demanda total
TR	Tensão de referência
VN	Tensão nominal
VTCD	Variação de tensão de curta duração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 DEFINIÇÃO DE PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.2 DEFINIÇÕES	16
2.2.1 Fator de potência	16
2.2.2 Distorções harmônicas	19'
2.2.3 Desequilíbrio de tensão	27
2.2.4 Tensão em regime permanente	28
2.2.5 Flutuação de tensão	30
2.2.6 Variação de frequência	33
2.2.7 Variação de Tensão de Curta Duração - VTCD	33
3. DESENVOLVIMENTO	34
3.1 MÉTODO DE ANÁLISE	34
3.1.1 Analisador RE7000	35
3.1.2 Software ANL7000	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE	38
4.2 HARMÔNICAS.....	43
4.3 FATOR DE POTÊNCIA.....	46
4.4 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	57
4.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO	58
4.6 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA	62
4.7 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	65
5. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	70
ANEXO A - Analisador de Energia RE7000	73

1. INTRODUÇÃO

A Qualidade de Energia Elétrica - QEE constitui na atualidade um fator crucial para a competitividade de praticamente todos os setores industriais e de serviços. Para garantir que o nível de tensão permaneça dentro de limites operacionais aceitáveis, tanto na transmissão quanto na distribuição, são requeridas medidas de controle e monitoramento. Isso é realizado tanto pelos órgãos reguladores quanto pelas concessionárias fornecedoras de energia (Oleskovicz *et al*, 2005).

Uma boa qualidade de energia é caracterizada por desvios mínimos nos parâmetros elétricos, garantindo que os equipamentos operem sem falhas perceptíveis. Por outro lado, uma má qualidade de energia elétrica ocorre quando há desvios significativos nas ondas de corrente ou tensão, podendo causar danos aos equipamentos elétricos (Oliveira *et al*, 2021).

A análise de QEE deste estudo de caso foi baseada nos critérios dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, que indica quais os problemas de QEE devem ser estudados e analisados. Esses problemas são resumidos em distorções harmônicas, possíveis desequilíbrios de tensão e corrente, baixo fator de potência, variação de frequência, flutuação de tensão, tensão em regime permanente inadequada e Variação de Tensão de Curta Duração – VTCD.

Para avaliar as potências e a qualidade da energia elétrica, é essencial utilizar analisadores de qualidade de energia. Esses dispositivos monitoram diversas perturbações que podem resultar em uma baixa qualidade da energia ou até mesmo interrupções no fornecimento. Ao fazer isso, ajudam na identificação dos problemas na rede elétrica, permitindo uma intervenção precisa para melhorar a confiabilidade e a eficiência do sistema (Merkle, 2018).

Espera-se que este estudo possa contribuir para aprimorar a qualidade da energia elétrica fornecida às cargas elétricas do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Itajaí, bem como para o desenvolvimento de soluções para mitigar possíveis efeitos que interferem na qualidade de energia da instituição.

1.1 JUSTIFICATIVA

A qualidade da energia elétrica é um tema muito relevante e atual, uma vez que os sistemas elétricos são cada vez mais complexos e interconectados, o que pode

levar a problemas de qualidade de energia. O desequilíbrio de tensão e corrente, fator de potência e harmônicas são problemas comuns que afetam a eficiência energética, segurança e confiabilidade dos sistemas elétricos, além de gerar custos adicionais para as empresas e consumidores. Nesse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso - TCC tem como justificativa a importância de estudar e analisar esses problemas realizando medições de entrada de energia na baixa tensão, bem como apresentar soluções para minimizá-los. O estudo proposto pode contribuir para o aprimoramento do conhecimento técnico-científico na área de qualidade de energia elétrica.

1.2 DEFINIÇÃO DE PROBLEMA

Nesta pesquisa, são explorados os problemas relacionados à qualidade de energia elétrica, analisando o sistema elétrico do IFSC - Itajaí e serão empregadas possíveis soluções para anomalias encontradas na rede. Entender esses problemas é fundamental para garantir um fornecimento elétrico confiável e eficiente. Portanto serão respondidos os seguintes itens:

- Existem flutuações de tensão que afetam a operação de equipamentos sensíveis à tensão elétrica?
- Existem problemas associados ao desbalanceamento de tensão em sistemas trifásicos?
- Ocorreram quedas de tensão que podem levar à perda de dados ou danos em equipamentos?
- Existem efeitos da distorção harmônica nas redes elétricas e em dispositivos sensíveis?
- A tensão elétrica está dentro dos limites aceitáveis para determinadas cargas?
- Qual o impacto do fator de potência na eficiência energética?

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos estão divididos da seguinte forma: objetivo geral e objetivos específicos conforme a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise e diagnóstico da qualidade de energia da rede elétrica do IFSC - Câmpus Itajaí baseados na medição feita da entrada de energia na parte de baixa tensão, a fim de identificar possíveis causas de

perda de eficiência energética e propor soluções para minimizar seus efeitos negativos sobre os equipamentos elétricos e eletrônicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre qualidade de energia elétrica na rede do IFSC, suas causas e efeitos;
- Realizar medições de qualidade de energia elétrica na rede elétrica em estudo;
- Identificar as fontes de distorções harmônicas na rede elétrica em estudo, através da análise de dados e informações coletadas;
- Identificar desequilíbrios de tensão e corrente, no sistema elétrico da instituição de ensino;
- Avaliar os efeitos das anomalias encontradas sobre os equipamentos elétricos e eletrônicos conectados à rede elétrica em estudo;
- Propor medidas corretivas e preventivas para minimizar as distorções harmônicas e o desequilíbrio de tensão e corrente presentes na rede elétrica em estudo, bem como a correção do fator de potência, com o objetivo de garantir a qualidade da energia elétrica fornecida às cargas e aumentar a vida útil dos equipamentos elétricos e eletrônicos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para assegurar a coerência e a robustez da análise realizada, é essencial estabelecer uma base teórica sólida, apoiada em referências normativas e pesquisas científicas relevantes.

2.1 NORMATIVAS VIGENTES

A QEE refere-se à capacidade de uma rede elétrica fornecer energia de forma estável, confiável e dentro de parâmetros aceitáveis, garantindo a operação adequada de equipamentos elétricos e minimizando perturbações que possam afetar negativamente os usuários finais. O conceito de qualidade de energia se estendeu em aplicações industriais devido ao crescimento do número de equipamentos eletrônicos altamente sensíveis (Agalar, 2018).

Com o aumento dos problemas de qualidade de energia, principalmente em ambientes industriais, os limites dos indicadores de qualidade devem ser regulamentados. No Brasil, esses indicadores e seus limites são padronizados pelo PRODIST.

O PRODIST é um documento que trata de um conjunto de normas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL que regulamenta a distribuição de energia elétrica no Brasil. Ele se divide em 11 módulos, com os seguintes temas:

- Módulo 1 - Glossário de Termos Técnicos do Prodist;
- Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição;
- Módulo 3 - Conexão ao Sistema de Distribuição de Energia Elétrica;
- Módulo 4 - Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição;
- Módulo 5 - Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura;
- Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações;
- Módulo 7 - Cálculo de Perdas na Distribuição;
- Módulo 8 - Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica;
- Módulo 9 - Ressarcimento de Danos Elétricos;
- Módulo 10 - Sistema de Informação Geográfica Regulatório;
- Módulo 11 - Fatura de Energia Elétrica e Informações Suplementares.

Os procedimentos do PRODIST estabelecem as regras para a prestação do serviço de distribuição de energia elétrica, incluindo as obrigações das distribuidoras de energia, a forma de remuneração dos serviços, as condições de fornecimento de

energia elétrica aos consumidores e as normas técnicas para o funcionamento da rede elétrica.

Em relação à qualidade de energia, que é o principal ponto de fundamentação para a realização da análise desse trabalho, o módulo 8 (Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica) é quem define os parâmetros e terminologias utilizados na análise. As metas desse módulo são:

- Estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço.
- Para a qualidade do produto, este módulo define a terminologia e os indicadores, caracteriza os fenômenos, estabelece os limites ou valores de referência, a metodologia de medição, a gestão das reclamações relativas à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão e os estudos específicos de qualidade da energia elétrica para fins de acesso aos sistemas de distribuição.
- Para a qualidade do fornecimento de energia elétrica, este módulo estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades.

2.2 DEFINIÇÕES

Para uma compreensão abrangente do projeto, foi crucial revisar algumas definições essenciais de grandezas elétricas e identificar os limites ou valores de referência associados a cada análise, a fim de garantir o cumprimento dos requisitos estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST. Estabelecer esses limites é fundamental para assegurar que as medições realizadas estejam dentro dos padrões aceitáveis de desempenho e segurança elétrica, garantindo assim a integridade e a eficácia do sistema.

2.2.1 Fator de Potência

“Por definição, o Fator de Potência - FP indica quanto um sistema elétrico é reativo ou resistivo. Quanto maior o fator de potência, maior a componente resistiva” (Boylestad, 2015).

O valor do fator de potência considerando apenas cargas lineares RLC, deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias, utilizando-se as seguintes equações:

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

$$fp = \frac{EA}{\sqrt{EA^2+ER^2}} \quad (2)$$

onde:

fp = fator de potência;

P = potência ativa;

Q = potência reativa;

EA = energia ativa;

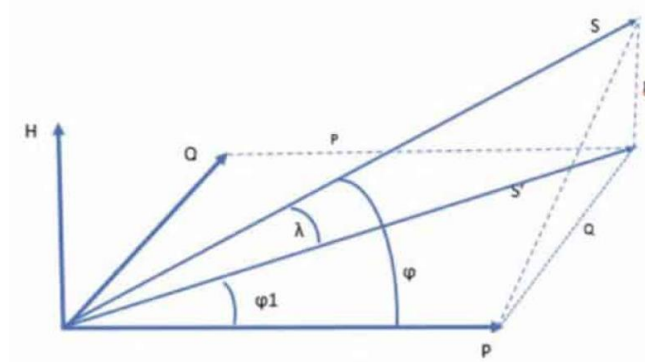
ER = energia reativa.

Um sistema é considerado eficiente quando há a conversão máxima possível de energia elétrica em trabalho. Nesse contexto, o trabalho é originado da potência ativa medida em kW. Por exemplo, em uma resistência, onde o fator de potência é unitário (FP=1), isso indica que toda a energia elétrica fornecida à resistência foi totalmente convertida em calor, ou seja, trabalho (EMBRASUL).

Para corrigir o baixo fator de potência, é comum instalar bancos de capacitores em paralelo na entrada de energia ou nos equipamentos com carga indutiva. Esses bancos de capacitores introduzem uma carga capacitiva na instalação, que tem o efeito oposto da carga indutiva. Isso ajuda a compensar o baixo fator de potência, ajustando-o para um valor mais próximo de 1 e evitando assim possíveis multas (SCARPIN, 2017).

Na análise abrangente de sistemas elétricos, especialmente quando lidamos com cargas não lineares, como eletrônicas, a definição do fator de potência não é consensual por meio de uma única equação. Uma das teorias mais amplamente adotadas para abordar essa complexidade é a teoria do tetraedro das potências, conforme mostrado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Tetraedro de potências.



Fonte: Starosta (2018).

A fórmula para o cálculo do fator de potência em presença de cargas não lineares é dada por:

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1+(THDi)^2}} \cos\phi \quad (3)$$

onde:

FP = fator de potência;

THDi = distorção harmônica total;

$\cos\phi$ = cosseno do ângulo de defasagem entre corrente e tensão;

H = potência de distorção;

ϕ_1 : ângulo de fase na frequência fundamental;

λ : Ângulo entre as duas potências aparentes (fundamental e total).

O controle do fator de potência deve ser efetuado por medição permanente e obrigatória, no caso de unidades consumidoras atendidas pelo Sistema de Distribuição de Média Tensão – SDMT e pelo Sistema de Distribuição de Alta Tensão – SDAT e nas conexões entre distribuidoras, observando o disposto em regulamentação (ANEEL, 2017).

Para unidades consumidoras do Grupo A (alta tensão), são consideradas aquelas que recebem energia elétrica em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou que estão no ponto de conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica indicadas do módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2017).

Segundo IFELL (2023), o banco de capacitor refere-se a um agrupamento de capacitores interligados, usualmente instalados para fins específicos em sistemas

elétricos. Sua principal finalidade é fornecer potência reativa capacitiva ao sistema, visando ajustar e melhorar o fator de potência. Quando o sistema possui um excesso de potência reativa indutiva, originada principalmente por motores e transformadores, o banco de capacitor atua contrabalançando essa condição, aproximando o fator de potência do valor unitário. Para realizar o dimensionamento do banco de capacitores, é necessário encontrar os valores das potências, aparente (VA), ativa (W) e reativa (VAr) geradas em cada uma das fases. As equações a seguir mostram como devem ser feitos os cálculos.

$$P = S \cdot \cos(\varphi) \quad (4)$$

$$Q = S \cdot \sin(\varphi) \quad (5)$$

$$Q = P \cdot \tan(\varphi) \quad (6)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (7)$$

onde:

P = potência ativa;

Q = potência reativa;

S = potência aparente;

φ = ângulo de fase.

Após encontrar os valores das potências, é necessário definir um FP adequado para o seu sistema elétrico, no caso deste estudo foi escolhido o valor de 0,92 ($\varphi=23^\circ$) para atender os critérios do PRODIST.

Considerando esse novo ângulo, calcula-se a nova potência reativa para cada uma das fases:

$$Q_n = \tan(23^\circ) * P_{fase} \quad (8)$$

onde:

Q_n = nova potência reativa

P_{fase} = potência ativa das fases A, B e C.

2.2.2 Distorções harmônicas

Conceitualmente, harmônicas referem-se às tensões e correntes com frequências que são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sistema. As correntes harmônicas são tipicamente geradas por cargas não-lineares conectadas à rede de distribuição de energia elétrica. Quando essas correntes harmônicas circulam pela rede, elas interagem com as impedâncias do sistema, resultando na geração de

tensões harmônicas. Esse fenômeno causa uma distorção na forma de onda da tensão de alimentação, afetando a qualidade geral da energia elétrica fornecida (Silva, 2008).

De forma complementar SILVA (2008) indica que a presença de harmônicos em um sistema pode não necessariamente causar danos imediatos, mas no decorrer do tempo, equipamentos expostos a correntes harmônicas podem vir a apresentar sérios problemas.

A quantificação matemática do grau de distorção harmônica presente na tensão e corrente baseia-se no estudo de ondas não senoidais periódicas, realizado por meio da série de Fourier. Conforme o Teorema de Fourier, qualquer função periódica não senoidal pode ser representada como a soma de expressões, composta por uma expressão senoidal na frequência fundamental, expressões senoidais cujas frequências são múltiplas inteiras da fundamental (harmônicas) e, eventualmente, uma componente contínua.

Os indicadores de distorções harmônicas de tensão podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1: Indicadores de distorção harmônica.

Descrição	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	$DTT\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	$DTT_p\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Valor do indicador $DTT\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{95\%}$
Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{p,95\%}$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{i,95\%}$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{3,95\%}$

Fonte: ANEEL (2017).

Um sinal de tensão periódico não senoidal pode ser representado por:

$$v(t) = V_0 + V_{\text{máx}.1} \text{sen}(1\omega t + \phi_1) + V_{\text{máx}.2} \text{sen}(2\omega t + \phi_2) + \dots + V_{\text{máx}.h} \text{sen}(h\omega t + \phi_n) \quad (9)$$

e, similarmente, para corrente:

$$i(t) = I_0 + I_{\text{máx}.1} \text{sen}(1\omega t + \phi'_1) + I_{\text{máx}.2} \text{sen}(2\omega t + \phi'_2) + \dots + I_{\text{máx}.h} \text{sen}(h\omega t + \phi'_n) \quad (10)$$

onde,

h (1, 2, 3, ..., n) é a ordem do harmônico.

As equações para o cálculo dos indicadores mostrados na Tabela 1 são as seguintes:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 [\%] \quad (11)$$

onde:

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

h = ordem harmônica individual;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} V_h^2}{V_1^2}} \times 100 [\%] \quad (12)$$

onde:

h = todas as ordens harmônicas de 2 até h_{max} ;

h_{max} = ordem harmônica máxima, conforme classe do equipamento de medição utilizado (classe A ou S);

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_p\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}{V_1^2}} \times 100 [\%] \quad (13)$$

onde:

h = todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 ($h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, \dots$);

h_p = máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTTi\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}{V_1^2}} \times 100 [\%] \quad (14)$$

onde:

h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 ($h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, \dots$);

h_i = máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT3\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}{V_1^2}} \times 100 [\%] \quad (15)$$

onde:

h = todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 ($h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, \dots$);

h_3 = máxima ordem harmônica múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

Os limites apresentados na Tabela 2, são indicadores das distorções harmônicas de tensão totais e correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição.

Tabela 2 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

Indicador	Tensão nominal (V_n)		
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p 95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _i 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃ 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2017).

Devido à não regulamentação dos limites de harmônica de corrente pela ANEEL, órgão responsável por regular o setor elétrico brasileiro, buscou-se outra referência para quantificá-la. As recomendações e requisitos para controle de harmônicas em sistemas de potência do Instituto de Engenheiros Eletricistas e

Eletrônicos - IEEE, na norma IEEE Std. 519/2014 (IEEE, 2014) é um documento que define limites recomendados de distorção de tensão e também de corrente.

Segundo Tavares (2019), o índice de distorção total de demandas causadas por cargas não lineares é o TDD% - *Total Demand Distortion*, onde se vê que é calculado considerando as correntes harmônicas em relação a Corrente Máxima de Demanda – I_L , sob condições normais de operação no ponto que está sendo medido. Este índice é interessante para quantificar o efeito da distorção de corrente na rede, pois a corrente fundamental (I_1) é um dado que varia muito.

A equação para encontrar a distorção total de demanda, é mostrada a seguir:

$$TDD\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}{I_L^2}} \times 100 [\%] \quad (16)$$

onde:

TDD - Distorção total da demanda;

I_h - Valor eficaz da corrente de ordem “h”;

I_L - Corrente máxima de demanda;

h - Ordem da componente harmônica.

Ressalta-se que, de acordo com a norma IEEE Std. 519, a corrente I_L deve ser determinada como a média das correntes correspondentes à demanda máxima ao longo dos doze meses anteriores, dividida por 12. No entanto, devido ao período de análise deste estudo ter sido de apenas 20 dias, a corrente máxima de demanda obtida pode não refletir totalmente a demanda real do sistema elétrico. Apesar disso, essa corrente máxima de demanda nos fornecerá um indício do comportamento da distorção de corrente no sistema em análise. A expressão para encontrar a corrente máxima de demanda é apresentada a seguir.

$$I_L = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (17)$$

onde:

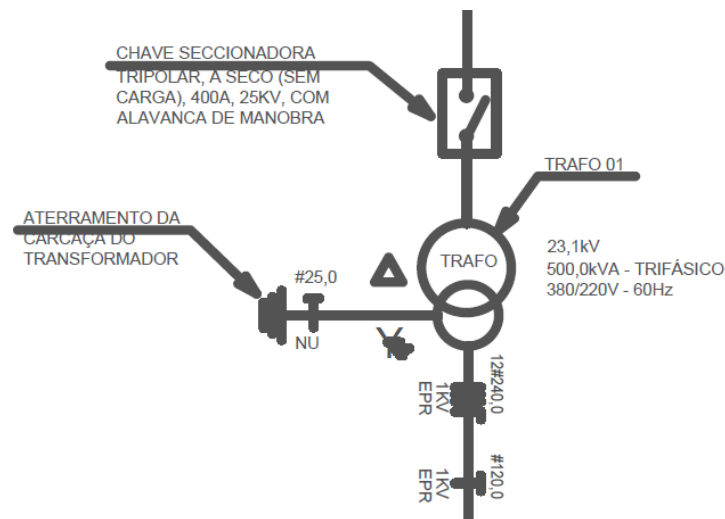
I_L = Corrente de demanda máxima;

S_{max} = Potência Trifásica de máxima demanda;

V = Tensão de linha.

Para definir o limite TDD, além da corrente de máxima demanda, é necessário a corrente de curto circuito (ICC). Portanto, foi considerado a ICC para um transformador de 500 kVA que é o utilizado na subestação analisada. A Figura 2 foi retirada do projeto da subestação do IFSC.

Figura 2 - Transformador projetado para o IFSC.



Fonte: IFSC (2022).

Para o cálculo da corrente de curto circuito, é necessário saber a corrente nominal e a impedância do transformador. A corrente nominal é encontrada fazendo uma relação entre a potência aparente de demanda *versus* a tensão de alimentação.

$$I_n = \frac{S_{\square}}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (18)$$

onde:

I_n = Corrente nominal do transformador;

S_{\square} = Potência trifásica;

V = Tensão de linha.

A impedância do transformador é determinada de acordo com a norma NBR 5356-5, a qual estabelece os valores padrão para impedância em relação às faixas de potência do transformador. A Tabela 3, por sua vez, identifica os parâmetros específicos da impedância, permitindo uma avaliação precisa e conforme com as normativas estabelecidas.

Tabela 3 - Valor mínimo de impedância de curto-circuito para transformadores com dois enrolamentos separados.

Impedância de curto-circuito à corrente nominal	
Potência nominal kVA	Impedância mínima de curto-circuito %
Até 630	4
631 a 1250	5
1251 a 2500	6
2501 a 6300	7
6301 a 25000	8
25001 a 40000	10
40001 a 63000	11
63001 a 100000	12,5
acima de 100000	> 12,5

Fonte: NBR 5356-5 (2015).

A norma NBR 5356-5, estabelece diretrizes para calcular a ICC em sistemas elétricos, considerando a impedância gerada nos cabos e a distância percorrida por eles. Entretanto, para esse estudo foi considerada a ICC máxima suportada pelo transformador de 500 kVA. Por isso, o cálculo apresentado na equação 19 se concentra apenas na impedância das bobinas do transformador, ignorando a contribuição das impedâncias dos cabos.

$$I_{cc} = \frac{I_n}{Z} \quad (19)$$

onde:

I_{cc} = Corrente de curto-circuito;

I_n = Corrente nominal;

Z = Impedância do transformador;

Os limites estabelecidos pela norma IEEE Std. 519 são apresentados na Tabela 4 para TDD e para as componentes individuais (também expressas como porcentagem de IL). É notável que esses limites são categorizados com base na relação de curto-circuito. Essa relação utiliza os valores da corrente de curto-circuito e da corrente máxima de demanda, ambos medidos no ponto de conexão considerado.

Tabela 4 – Limites de distorção de corrente para sistemas classificados de 120 V a 69 kV.

I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^e$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fonte: IEEE (2014).

2.2.3 Desequilíbrio de tensão

De acordo com a ANEEL (2017), o desequilíbrio de tensão ocorre quando as tensões elétricas em um sistema trifásico não estão iguais. Em um sistema trifásico equilibrado, as três tensões são iguais em amplitude e defasadas 120 graus uma em relação à outra.

O indicador de desequilíbrio de tensão a ser avaliado em relação aos limites estabelecidos é o FD95%. Este indicador é calculado a partir do Fator de Desequilíbrio de Tensão - FD% que é definido na equação 20, representando o valor que foi ultrapassado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas realizadas. Isso significa que, das 1.008 medições feitas para avaliar o desequilíbrio de tensão, apenas 5% delas apresentaram valores acima do limite estabelecido para o indicador em questão. Em outras palavras, esse critério indica que o desequilíbrio de tensão ultrapassou o limite especificado em apenas um número reduzido de casos durante o período de análise. Essa condição ressalta a importância do indicador FD95%, pois ele representa uma medida sensível e crítica do desequilíbrio de tensão em situações extremas, que ocorrem com baixa frequência ao longo do tempo (ANEEL, 2017).

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad [\%] \quad (20)$$

onde:

FD% = fator de desequilíbrio de tensão;

V_- = magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental;

V_+ = magnitude da tensão eficaz de sequência positiva na frequência fundamental.

De forma alternativa, pode-se utilizar a equação a seguir, que conduz a resultados em consonância com a equação anterior:

$$FD\% = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} \times 100 \text{ [%]} \quad (21)$$

em que o valor de β é obtido pela seguinte equação:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (22)$$

onde:

V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} = magnitudes das tensões eficazes de linha na frequência fundamental.

Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão FD95% estão apresentados na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão

Indicador	Tensão nominal (V_n)	
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: ANEEL (2017).

Os limites correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição.

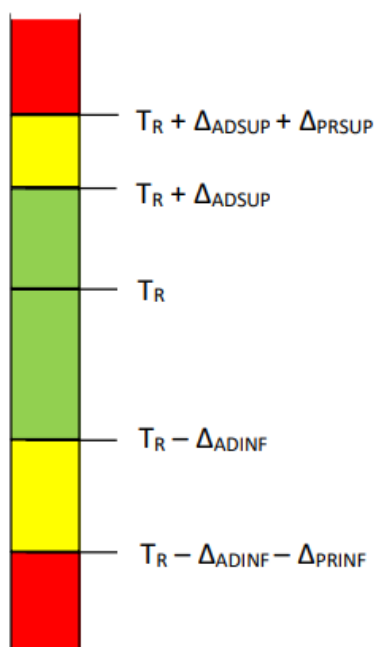
2.2.4 Tensão em regime permanente

Segundo a ANEEL (2017), a conformidade de tensão em regime permanente refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos. Em outras palavras, significa verificar se a tensão fornecida está dentro dos limites aceitáveis indicados no PRODIST, para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos elétricos conectados ao sistema. Quando a tensão está dentro dos níveis especificados como adequados, isso indica uma condição favorável, na qual os equipamentos devem operar de maneira estável e eficiente. Por outro lado,

se a tensão estiver abaixo dos níveis adequados, pode indicar condições precárias, que podem levar a problemas de desempenho ou até mesmo danos aos equipamentos.

A tensão de atendimento associada às leituras deve ser classificada segundo faixas em torno da Tensão de Referência - TR, o limite dessas faixas (limites estabelecidos pela ANEEL) são conforme Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Faixas de tensão em relação à de referência.



Fonte: ANEEL (2017).

Sendo:

TR = Tensão de referência;

Faixa adequada de tensão = Intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP})$;

Faixas precárias de tensão = Intervalo entre $(T_R + \Delta_{ADSUP})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{APRSUP})$; ou intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{APRINF})$ e $(T_R - \Delta_{ADINF})$;

Faixas críticas de tensão = Valores acima de $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{APRSUP})$ ou abaixo de $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{APRINF})$.

Após realizar um conjunto de leituras válidas, devem ser calculados os indicadores de Duração Relativa da Transgressão para Tensão Precária - DRP e Duração Relativa da Transgressão para Tensão Crítica - DRC (CPFL, 2022).

Os indicadores DRP e DRC, são utilizados para verificar se os níveis de tensão elétrica fornecidos pela distribuidora estão de acordo com os limites regulamentados pela ANEEL (CPFL, 2022).

Os limites para os indicadores individuais de tensão em regime permanente são os seguintes:

$$DRPLimite = 3 \%;$$

$$DRCLimite = 0,5 \%.$$

As equações para encontrar os índices são:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100 [\%] \quad (23)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100 [\%] \quad (24)$$

em que:

nlp = maior valor entre as fases do número de leituras situadas na faixa precária;

nlc = maior valor entre as fases do número de leituras situadas na faixa crítica.

2.2.5 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão é uma variação do valor eficaz da tensão, e pode se apresentar de forma repetitiva, aleatória ou esporádica. As grandezas Severidade de Flutuação de Tensão de Curta Duração - PST e Severidade de Flutuação de Tensão de Longa Duração - PLT, representam a severidade dos níveis de cintilação luminosa relativos à flutuação de tensão, observadas num período contínuo de 10 minutos e 2 horas, respectivamente (EMBRASUL).

Portanto, segundo a *International Electrotechnical Commission* - IEC 61000-4-5 (2020), a PST avalia variações de curta duração na tensão elétrica, como aquelas causadas por cargas pesadas sendo ligadas ou desligadas rapidamente na rede elétrica. Se essas flutuações forem significativas, podem causar oscilações na iluminação, que podem ser perceptíveis, especialmente em ambientes sensíveis, como escritórios ou instalações industriais.

Já a PLT, de acordo com a IEC 6100-4-5 (2020), leva em conta variações de tensão ao longo de um período de tempo mais extenso, como aquelas causadas por mudanças na carga elétrica ao longo do dia. Se a tensão flutuar muito ao longo de um período prolongado, isso também pode causar cintilação na iluminação, afetando o conforto visual e até mesmo a segurança em certos ambientes.

De acordo com a ANEEL (2017), o indicador PST95% indica a magnitude máxima do PST observada em 95% das medições durante um período de tempo especificado. Isso significa que, ao coletar uma série de medições de PST ao longo de um período de tempo, o PST95% representa o valor do PST que foi igualado ou excedido em apenas 5% dessas medições. Essa métrica é útil para entender a distribuição estatística das flutuações de tensão ao longo do tempo e fornecer uma indicação de quão severas são as flutuações em relação ao PST.

Para uma melhor compreensão do PST95%, considere um exemplo prático. Suponha que durante um dia inteiro, realizamos medições de PST a cada 10 minutos, totalizando 144 medições. Ao ordenar esses valores em ordem crescente, identificamos o PST95% como o limite inferior dos 5% mais altos. Em outras palavras, é o valor de PST que ocorreu ou foi excedido em apenas 5% das medições. Por exemplo, se o PST95% for de 0,5 volts, significa que em 95% das medições de 10 minutos, as flutuações de tensão foram iguais ou inferiores a 0,5 volts. Essa métrica oferece uma indicação clara da severidade máxima das flutuações de tensão em 95% do período de observação. Quanto maior o valor do PST95%, mais severas são as flutuações de tensão durante esses intervalos de tempo. A equação para calcular o PST é simplesmente a soma ponderada das flutuações de tensão em diferentes durações. Quanto maior o valor do PST95%, mais severas são as flutuações de tensão nesses intervalos de tempo. A equação utilizada para calcular o indicador PST95% é a seguinte:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (25)$$

Pi (i = 0,1; 1; 3; 10; 50) corresponde ao nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante i % do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, de acordo com o procedimento estabelecido na norma IEC 61000-4-15.

Por exemplo, se P1 representa o nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante 1% do tempo, então você teria valores específicos de Pi para os percentuais de tempo 0.1, 3, 10 e 50, cada um indicando o nível de flutuação de tensão correspondente excedido durante esse percentual específico do tempo.

A Tabela 6, mostra quais são os limites a serem considerados para a avaliação do desempenho do sistema de distribuição quanto às flutuações de tensão, tendo como parâmetros a Tensão nominal - Vn e o indicador PST95%.

Tabela 6 - Limites para flutuação de tensão.

Indicador	Tensão nominal (V_n)		
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
$P_{st,95\%}$	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Fonte: Aneel (2022).

Segundo a ANEEL (2017), a PLT é obtida calculando a média de doze amostras consecutivas de PST, cada uma representando um intervalo de 10 minutos, totalizando duas horas de observação. Isso significa que a PLT proporciona uma visão agregada das flutuações de tensão em um período prolongado, oferecendo uma avaliação mais abrangente da qualidade da energia elétrica fornecida durante esse intervalo de tempo. conforme estabelecido pela seguinte expressão:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3} \quad (26)$$

onde:

P_{lt} = Severidade de Flutuação de Tensão de Curta Duração.

2.2.6 Variação de frequência

Variação de frequência refere-se à mudança ou flutuação na frequência de um sinal ou sistema ao longo do tempo. Dentro do sistema de distribuição, os limites de frequência situados devem estar entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante situações de distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:

- Não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 segundos;
- Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 5 segundos.

2.2.7 Variação de Tensão de Curta Duração - VTCD

A Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD) refere-se a flutuações temporárias na tensão elétrica que ocorrem por um período de tempo inferior a 3 minutos. Essas flutuações podem resultar em quedas momentâneas ou aumentos na tensão elétrica que afetam a qualidade da energia fornecida aos consumidores.

Na Tabela 7, são mostradas as classificações das variações de tensão que ocorrem no sistema elétrico. Essas variações são classificadas em variação momentânea de tensão e variação temporária de tensão. As classificações são separadas por denominação, duração da variação e amplitude de tensão em relação à tensão de referência.

Tabela 7 - Classificação das variações de tensão de curta duração – VTCD.

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão – IMT	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão – AMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão – EMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão – ITT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão – ATT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão – ETT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL (2017).

3. METODOLOGIA

O local proposto (figura 4) para o estudo de caso se encontra na zona urbana do município de Itajaí, localizado no estado de Santa Catarina.

Figura 4 - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2023.

3.1 MÉTODO DE ANÁLISE

Segundo a ANEEL (2017), o conjunto de leituras para gerar os indicadores da qualidade do produto de regime permanente (distorções harmônicas, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão) deve ter o registro de 1.008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de agregação) de 10 minutos cada. Após a aquisição de 1.008 registros válidos de medição, deve ser obtido um conjunto de valores para FD%, DTT%, DTTp%, DTTi%, DTT3% e PST que, devidamente tratados, conduzirá aos valores dos indicadores estatísticos FD95%, DTT95%, DTTp95%, DTTi95%, DTT395% e PST95%.

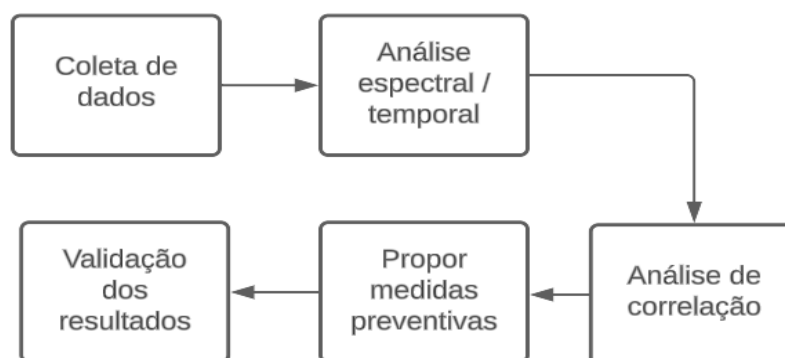
Portanto, para realizar a análise e diagnóstico de qualidade de energia elétrica na rede do IFSC - Câmpus Itajaí, foram feitas medições confiáveis utilizando um analisador de energia em um ponto estratégico. A instituição conta com uma subestação. Sabendo disso a medição foi realizada no Quadro Geral de Baixa Tensão - QGBT, localizado dentro do abrigo da subestação, a fim de analisar a qualidade de energia elétrica de todo o sistema do IFSC - Câmpus Itajaí.

Após serem feitas as medições e análises, espectrais e temporais, que possibilitam a interpretação de dados ao longo do tempo e a decomposição de sinais em suas componentes de frequência, foram avaliados os possíveis efeitos que as

anormalidades na rede podem estar causando sobre os equipamentos elétricos e eletrônicos da instituição de ensino.

Para aprimorar a compreensão das etapas envolvidas na análise dos resultados obtidos, foi elaborado um diagrama de blocos, representado pela figura 5. Esse diagrama visualiza de forma clara cada processo realizado, facilitando a compreensão e organização das etapas executadas durante a análise.

Figura 5 - Diagrama de blocos e etapas.



Fonte: Autor (2024).

A análise do sistema elétrico foi realizada para garantir a sua operação, segura e eficiente, identificando problemas como flutuações de tensão, distorções harmônicas e desequilíbrios de carga, o que ajuda a prevenir danos em equipamentos e assegurar o fornecimento confiável de energia.

3.1.1 Analisador RE7000

“As leituras devem ser obtidas por meio de equipamentos que operem segundo o princípio da amostragem digital. Um único instrumento de medição poderá ser utilizado para medir todos os fenômenos da qualidade do produto.” (ANEEL, 2017).

Para realizar o monitoramento da qualidade de energia elétrica, foi instalado um analisador de energia na subestação da instituição de ensino, pelo período de duas semanas. O modelo do analisador é o RE7000 (Figura 6) da fabricante EMBRASUL que atende integralmente o PRODIST módulo 8 da ANEEL, possui um erro de 0,2% para valores de tensão, 0,2% para valores de corrente, $\pm 0,5$ para o FP e $\pm 0,01$ Hz para frequência (outras informações técnicas do analisador são apresentadas no ANEXO A). Este dispositivo realiza a medição de grandezas elétricas fundamentais, tais como tensão, corrente, potência ativa e reativa, fator de potência, entre outras. Além disso, é capaz de monitorar a qualidade da energia, identificando

distúrbios como harmônicas e variações de frequência. Para as visualizações dos dados obtidos na análise, foi utilizado o software ANL 7000, criado pela própria empresa do analisador.

Figura 6: Analisador de energia.



Fonte: EMBRASUL (2022).

Conforme mencionado anteriormente, o analisador foi instalado na subestação do IFSC - Itajaí, mais especificamente no QGBT. A Figura 7 ilustra o equipamento instalado dentro do QGBT, proporcionando uma visão clara do posicionamento do analisador no local mencionado.

Figura 7: Instalação do analisador na subestação.



Fonte: Autor (2022).

Foram registradas 1.008 leituras válidas, conforme evidenciado na Figura 8, atendendo integralmente aos requisitos estabelecidos pelo PRODIST.

Figura 8: Número de registros válidos.

Intervalo de Registros

Data Inicial: 30/09/2022 13:57:39

Data Final: 07/10/2022 13:47:39

Intervalo Selecionado:
Registros Inválidos: 0
Registros Válidos: 1008
Total de Registros: 1008

Confirmar Intervalo Lista de Registros

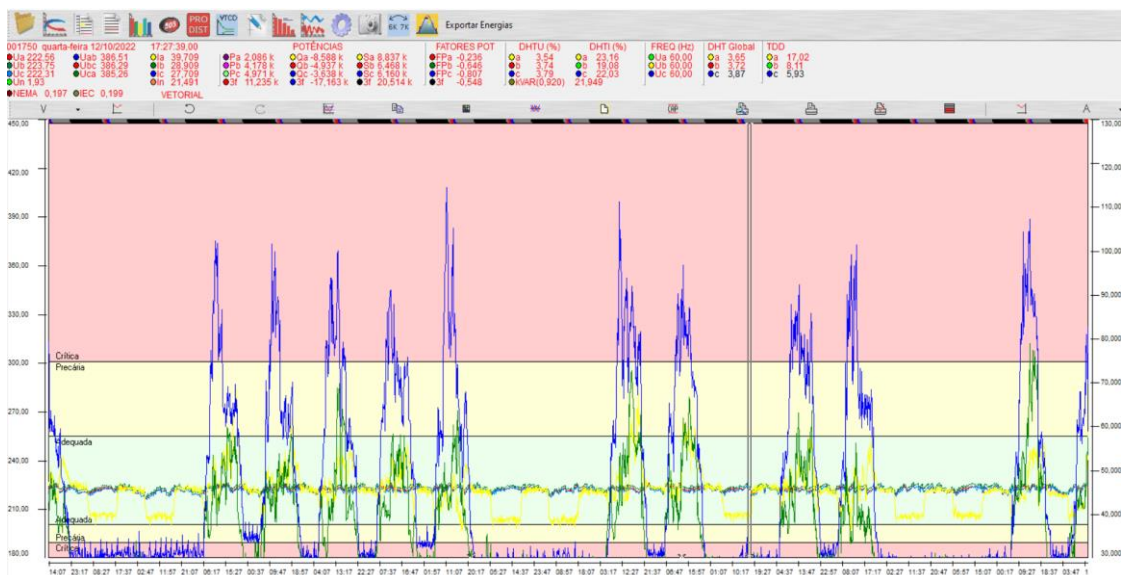
Fonte: Autor (2022).

3.1.2 Software ANL7000

De acordo com a EMBRASUL (2013), o software ANL7000 foi desenvolvido com a finalidade de oferecer ao usuário uma completa ferramenta de análise, permitindo a leitura de dados armazenados na memória dos registradores, acesso às configurações dos equipamentos, além das variadas funções existentes para estudo das medições, as quais propiciam um alto nível de qualidade nos relatórios e gráficos gerados.

A interface de análise dos dados coletados do ANL7000 apresentada na Figura 9 é composta por um gráfico principal, o qual pode ser configurado de diversas formas a fim de se visualizar variadas grandezas.

Figura 9 - Interface do software ANL7000.



Fonte: Autor (2022).

Além deste gráfico, é possível visualizarmos as principais grandezas ao longo do tempo, à medida que posicionamos o cursor na tela. Nesta interface inicial de análise é possível acessarmos todas as instâncias do programa através dos diversos ícones e botões.

O ANL7000 permite também a exportação dos dados para diversos formatos, facilitando a integração com outros sistemas de análise. A funcionalidade de zoom e pan no gráfico principal ajuda a detalhar eventos específicos e a observar padrões em diferentes intervalos de tempo. Além disso, o sistema oferece alertas configuráveis que notificam o usuário sobre variações fora dos parâmetros estabelecidos. A ferramenta de relatórios automáticos gera documentos detalhados com gráficos e tabelas das medições coletadas.

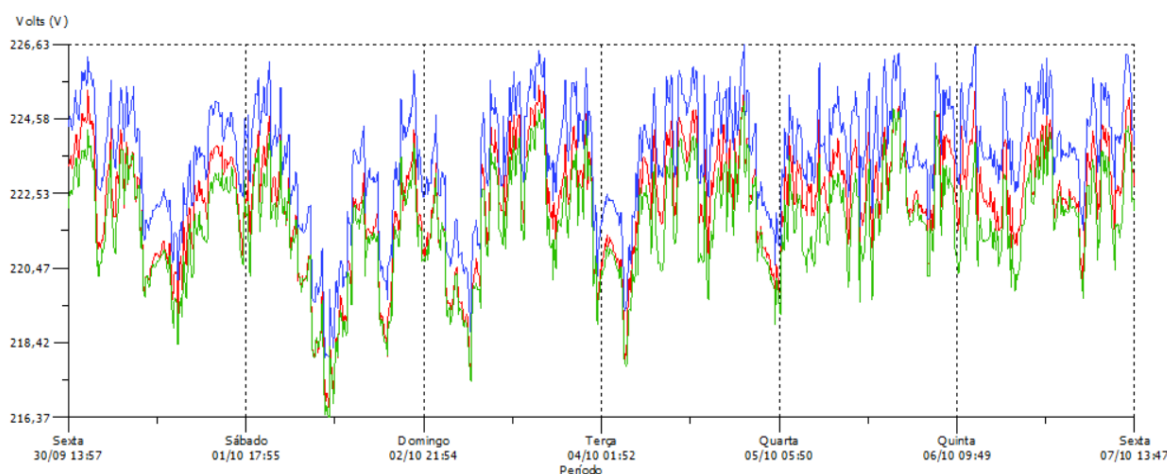
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio do estudo realizado, bem como as discussões fundamentadas nesses resultados.

4.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

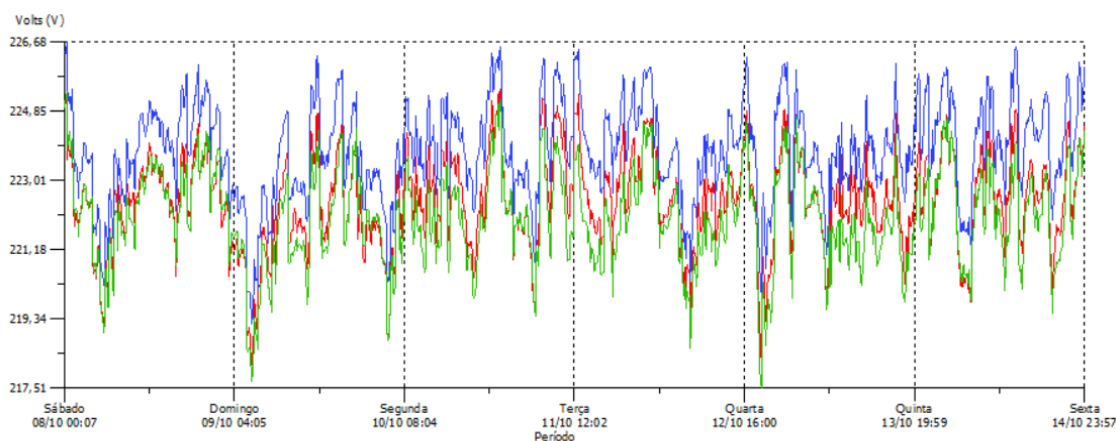
Através das Figuras 10 e 11, retiradas do software ANL7000, é identificado o comportamento das fases A (cor vermelho), B (cor azul) e C (cor verde) com a tensão em regime permanente em um período de 7 dias. Para análise desse estudo de caso foram definidos dois períodos de verificação, do dia 30/09/2023 até 07/10/2023 e 08/10/2023 até 14/10/2023. Em ambos os períodos, foram feitos 1.008 registros.

Figura 10: Tensão em regime permanente (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 11: Tensão em regime permanente (08/10 - 14/10).

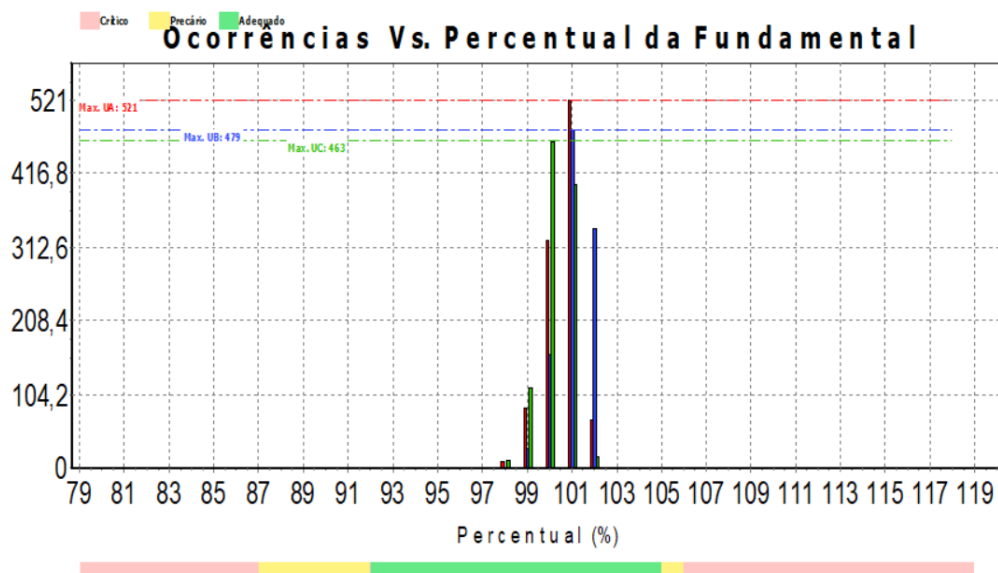


Fonte: Autor (2022).

Para uma melhor compreensão dos dados, foi utilizado como ferramenta gráfica o histograma. Ele organiza os dados em intervalos (ou bins) e mostra a

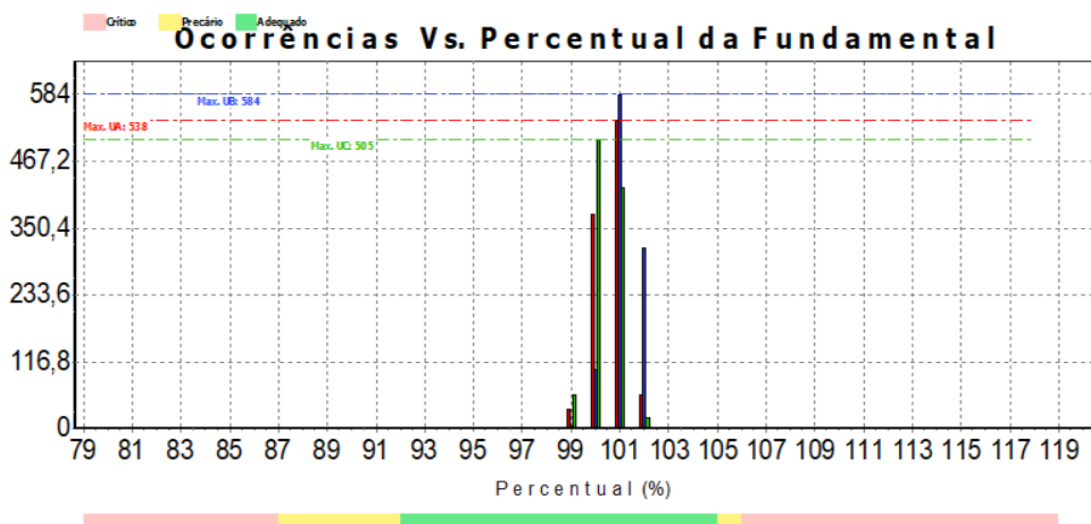
frequência com que os valores ocorrem em cada intervalo. O eixo horizontal do histograma representa os intervalos em porcentagem e a sua variável é a tensão em regime permanente, enquanto o eixo vertical mostra a frequência ou a contagem de ocorrências em cada intervalo. Nas figuras 12 e 13, é apresentado os dados referentes à tensão em regime permanente, dos dois períodos de análise. As cores utilizadas para identificar as fases foram as mesmas mencionadas nas Figuras 10 e 11.

Figura 12: Histograma tensão em regime permanente (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 13: Histograma tensão em regime permanente (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Ao analisar os histogramas referentes aos dados de DRC e DRP, é possível afirmar que os valores observados estão em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo PRODIST, pois em nenhum momento foram registradas tensões nas faixas, precária de tensão ou crítica de tensão.

Nas Tabelas 8 e 9, apresenta-se as classificações segmentadas em faixas em relação à TR. Essa abordagem de categorização por faixas proporciona uma compreensão mais refinada dos dados, permitindo uma análise minuciosa das variações em torno da tensão de referência.

Tabela 8: Indicadores individuais detalhado (30/09 - 07/10).

Valor (%)	UA (%)	UB (%)	UC (%)	Valor (%)	UA (%)	UB (%)	UC (%)
<80,0	0,00%	0,00%	0,00%	100,8	32,04%	15,97%	45,93%
80,9	0,00%	0,00%	0,00%	101,8	51,69%	47,52%	39,88%
81,9	0,00%	0,00%	0,00%	102,8	6,75%	33,63%	1,59%
82,8	0,00%	0,00%	0,00%	103,8	0,00%	0,10%	0,00%
83,8	0,00%	0,00%	0,00%	104,7	0,00%	0,00%	0,00%
84,7	0,00%	0,00%	0,00%	105,5	0,00%	0,00%	0,00%
85,7	0,00%	0,00%	0,00%	106,3	0,00%	0,00%	0,00%
86,6	0,00%	0,00%	0,00%	107,3	0,00%	0,00%	0,00%
87,7	0,00%	0,00%	0,00%	108,3	0,00%	0,00%	0,00%
88,8	0,00%	0,00%	0,00%	109,2	0,00%	0,00%	0,00%
89,9	0,00%	0,00%	0,00%	110,2	0,00%	0,00%	0,00%
91,0	0,00%	0,00%	0,00%	111,2	0,00%	0,00%	0,00%
92,1	0,00%	0,00%	0,00%	112,2	0,00%	0,00%	0,00%
93,1	0,00%	0,00%	0,00%	113,1	0,00%	0,00%	0,00%
94,1	0,00%	0,00%	0,00%	114,1	0,00%	0,00%	0,00%
95,0	0,00%	0,00%	0,00%	115,1	0,00%	0,00%	0,00%
96,0	0,00%	0,00%	0,00%	116,1	0,00%	0,00%	0,00%
97,0	0,00%	0,00%	0,00%	117,1	0,00%	0,00%	0,00%
97,9	0,00%	0,00%	0,00%	118,0	0,00%	0,00%	0,00%
98,9	0,99%	0,00%	1,19%	119,0	0,00%	0,00%	0,00%
99,9	8,53%	2,78%	11,41%	>=120,0	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Autor (2022).

No primeiro período de análise, foi constatado que a faixa de tensão em regime permanente manteve-se dentro dos limites (DRP E DRC) estabelecidos pelo PRODIST. Essa observação indica uma gestão eficaz da distribuição de energia elétrica durante o período em questão, assegurando que os níveis de tensão permanecem adequados para atender às necessidades do consumidor.

Tabela 9: Indicadores individuais detalhado (08/10 - 14/10).

Valor (%)	UA (%)	UB (%)	UC (%)	Valor (%)	UA (%)	UB (%)	UC (%)
<80,0	0,00%	0,00%	0,00%	100,8	37,20%	10,12%	50,10%
80,9	0,00%	0,00%	0,00%	101,8	53,37%	57,94%	41,67%
81,9	0,00%	0,00%	0,00%	102,8	5,95%	31,35%	1,88%
82,8	0,00%	0,00%	0,00%	103,8	0,00%	0,10%	0,00%
83,8	0,00%	0,00%	0,00%	104,7	0,00%	0,00%	0,00%
84,7	0,00%	0,00%	0,00%	105,5	0,00%	0,00%	0,00%
85,7	0,00%	0,00%	0,00%	106,3	0,00%	0,00%	0,00%
86,6	0,00%	0,00%	0,00%	107,3	0,00%	0,00%	0,00%
87,7	0,00%	0,00%	0,00%	108,3	0,00%	0,00%	0,00%
88,8	0,00%	0,00%	0,00%	109,2	0,00%	0,00%	0,00%
89,9	0,00%	0,00%	0,00%	110,2	0,00%	0,00%	0,00%
91,0	0,00%	0,00%	0,00%	111,2	0,00%	0,00%	0,00%
92,1	0,00%	0,00%	0,00%	112,2	0,00%	0,00%	0,00%
93,1	0,00%	0,00%	0,00%	113,1	0,00%	0,00%	0,00%
94,1	0,00%	0,00%	0,00%	114,1	0,00%	0,00%	0,00%
95,0	0,00%	0,00%	0,00%	115,1	0,00%	0,00%	0,00%
96,0	0,00%	0,00%	0,00%	116,1	0,00%	0,00%	0,00%
97,0	0,00%	0,00%	0,00%	117,1	0,00%	0,00%	0,00%
97,9	0,00%	0,00%	0,00%	118,0	0,00%	0,00%	0,00%
98,9	0,00%	0,00%	0,30%	119,0	0,00%	0,00%	0,00%
99,9	3,47%	0,50%	6,05%	>=120,0	0,00%	0,00%	0,00%

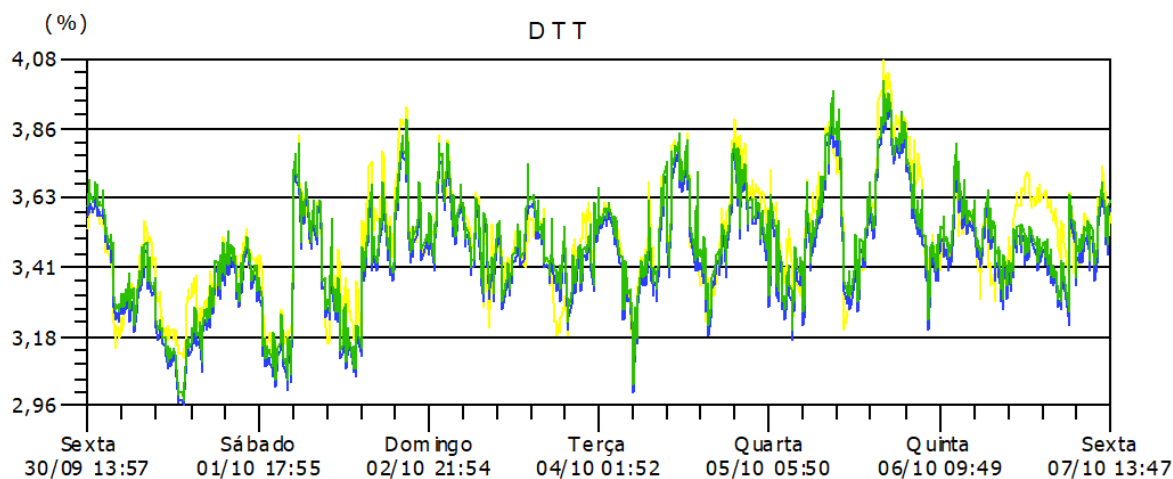
Fonte: Autor (2022).

No segundo período de análise, novamente verificou-se que a faixa de tensão em regime permanente se manteve em conformidade com as diretrizes do PRODIST. Essa consistência na adequação dos valores de tensão realça a continuidade da excelência operacional da empresa de distribuição elétrica ao longo do tempo.

4.2 HARMÔNICAS

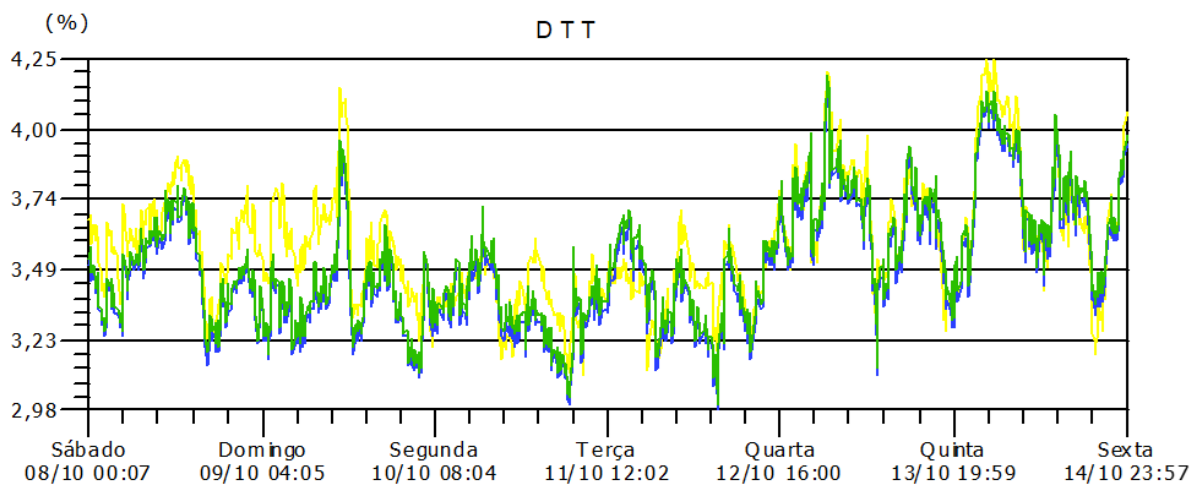
Nos gráficos representados nas Figuras 14 e 15, são apresentados os gráficos da distorção harmônica total de tensão correspondente a semana 1 e 2, onde a fase A está representada pela cor amarela, a fase B pela cor azul e a fase C pela cor verde. No eixo horizontal do gráfico, mostra o período da análise dos dados. Já no eixo vertical, é identificado a tensão em porcentagem que varia em relação à tensão fundamental.

Figura 14: Distorção harmônica total de tensão (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 15: Distorção harmônica total de tensão (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Após uma análise detalhada de acordo com os parâmetros definidos pelo PRODIST, por mais que tenham sido encontradas distorções harmônicas de até 4,25% não foram identificadas quaisquer harmônicas totais de tensão nas três fases da rede elétrica que estivessem fora dos limites estabelecidos para tensões de V_n até 2,3 kV, que é de 10%. Esse resultado sugere uma qualidade aceitável em relação à presença de harmônicas na rede de distribuição, indicando uma adequada mitigação dessas perturbações que poderiam interferir no funcionamento dos sistemas conectados.

Para análise da distorção total de corrente, foi imprescindível estabelecer as correntes máximas de curto-circuito e demanda. A corrente de demanda máxima foi

determinada utilizando a Equação 17. Utilizando o software ANL700, identificou-se a potência total demandada durante o período de verificação. A Tabela 10 ilustra os valores obtidos nesse processo.

Tabela 10 - Potências de demanda máximas e mínimas.

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos					
FASE	kVA(max)	Horário		kVA(min)	Horário
A	12,058	17/10/2022 14:07:39,00		8,605	15/10/2022 07:07:39,00
B	17,593	17/10/2022 14:07:39,00		5,572	15/10/2022 07:07:39,00
C	23,665	17/10/2022 14:07:39,00		5,889	15/10/2022 07:07:39,00
3f	52,462	17/10/2022 14:07:39,00		19,110	15/10/2022 07:07:39,00

Fonte: Autor (2022).

A demanda contratada pelo IFSC é de 120 kW, estabelecendo uma base para o consumo de energia elétrica. No entanto, ao longo dos meses, tem sido observada uma variação significativa nesta demanda. Por exemplo, no mês de abril, a demanda ultrapassou consideravelmente o limite contratado, atingindo 155 kW, ou seja, uma variação de 35 kW além do esperado. No mês que foi realizada a análise, a demanda foi substancialmente menor, registrando apenas 63 kW.

Com base na demanda máxima registrada de 52,462 kVA e na tensão de alimentação de 380 V, determinou-se que a corrente IL é de 70,707 A.

A corrente de curto-circuito máxima foi determinada utilizando a Equação 19, precedida pela obtenção da corrente nominal através da Equação 18 e da determinação da impedância, cujo valor se baseou na potência nominal do transformador, fixada em 500 kVA e pela NBR 5356-5 (2015); resultando em uma impedância de 4%. Considerando a tensão de alimentação de 380 V, foi possível definir a corrente nominal como sendo de 759,671 A. Com esses parâmetros estabelecidos, calculou-se a corrente de curto-circuito (I_{cc}) como sendo de 18,99 kA.

Ao conhecer o valor da corrente I_{cc} e a corrente IL, determinou-se que a razão entre I_{cc} e IL é de 25. Com base nesse resultado, consultou-se a tabela 11, que estabelece o limite de TDD em 8%. Na Tabela 11, extraída do software ANL7000, foram identificados os valores de TDD em cada uma das fases para análise posterior.

Tabela 11: Valores registrados de distorção total de corrente por fase.

TDD	
Fase A	17,02
Fase B	8,11
Fase C	5,93

Fonte: Autor (2022).

Os valores registrados para a TDD em cada fase do sistema excederam o limite estabelecido de 8%. Na fase A, a TDD apresentou uma ultrapassagem significativa do limite, atingindo 17,02%, enquanto nas fases B e C, os valores foram de 8,11% e 5,93%, respectivamente. Essa situação sugere a presença de possíveis fontes de distorção harmônica no sistema, como cargas não lineares e interferências externas, destacando a necessidade de uma análise detalhada para identificar e corrigir as causas subjacentes do problema. Medidas corretivas podem incluir a instalação de filtros de harmônicos, revisão do projeto do sistema elétrico e adoção de práticas de gerenciamento de energia mais eficientes, visando garantir a conformidade com os limites de TDD estabelecidos e a integridade do sistema elétrico.

4.3 FATOR DE POTÊNCIA

De acordo com a EMBRASUL (2022), ao analisar os dados do fator de potência, é importante considerar uma faixa horária específica para avaliar seus limites. Essa faixa é estabelecida com base em critérios técnicos e regulamentações em vigor. A seguir, apresentam-se a faixa horária e seus respectivos limites para referência e análise adequadas.

- Das 06h às 24h, o fator de potência deve ser superior 0,92 indutivo, devido à predominância de cargas indutivas ligadas ao longo do dia;
- Das 00h até às 06h, o fator de potência deve ser no mínimo 0,92 capacitivo, devido ao desligamento e ausência de cargas indutivas e predominância de cargas capacitivas.

A análise do fator de potência considera os valores mínimos a serem respeitados para os períodos capacitivo e indutivo. Esses parâmetros são fundamentais para a avaliação do desempenho do sistema elétrico, assegurando a conformidade com as especificações técnicas e regulamentações aplicáveis.

É imprescindível que as potências operacionais se mantenham dentro dos limites permitidos estabelecidos pelas autoridades reguladoras. Em caso de ultrapassagem desses limites, será aplicada uma multa pelo excedente, como forma de garantir a conformidade com as normativas vigentes e promover o uso responsável da energia elétrica.

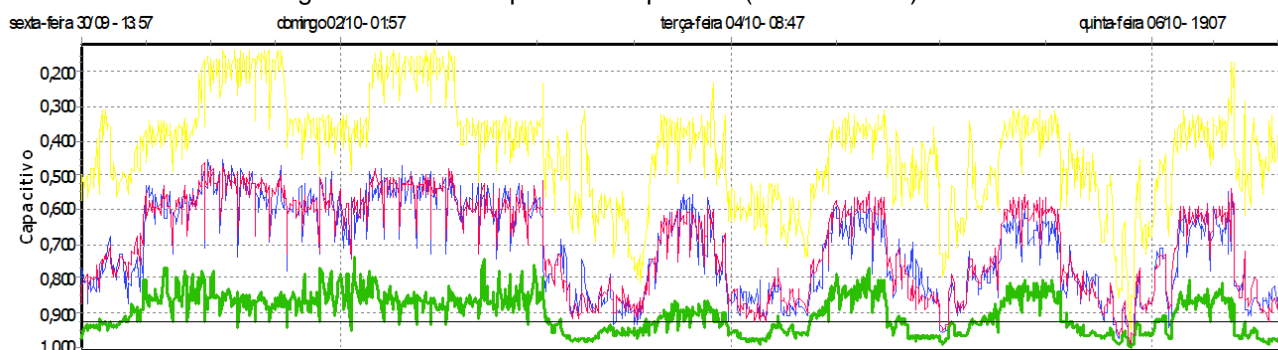
Os gráficos do fator de potência capacitivo e indutivo mostram a variação do fator de potência ao longo do tempo em um sistema elétrico. Um fator de potência próximo de 1 indica uma eficiência alta, enquanto valores mais baixos indicam uma

eficiência menor. O gráfico do fator de potência capacitivo, mostra como o sistema lida com a energia reativa capacitiva, enquanto o gráfico do fator de potência indutivo mostra como o sistema lida com a energia reativa indutiva.

Será apresentado o gráfico do fator de potência capacitivo para análise, pois o fator de potência indutivo se manteve sempre constante durante a análise, com predominância do fator capacitivo no sistema. Nas Figuras 16 e 17, estão identificados os valores do fator de potência capacitivo referentes ao primeiro e segundo período de análise, respectivamente.

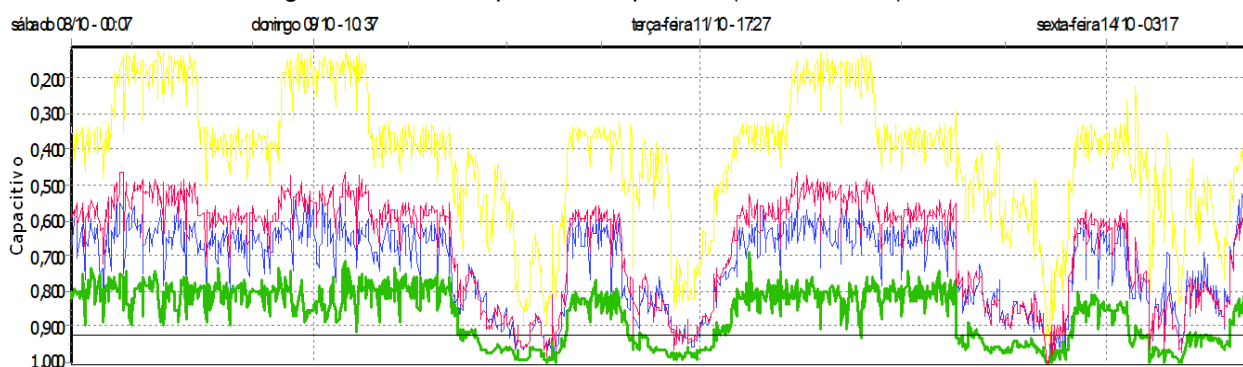
Nos gráficos apresentados nessa seção, foram consideradas 1.008 leituras válidas por semana. O fator de potência das tensões foi representado por cores distintas, em amarelo a fase A, em azul a fase B, em verde a fase C e na cor vermelha foi indicado o fator de potência das três fases ABC em conjunto.

Figura 16: Fator de potência capacitivo (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 17: Fator de potência capacitivo (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Analisando os gráficos do fator de potência de cada período, podemos destacar que em todas as fases em grande parte do tempo não foi atingido o valor mínimo de 0,92 do FP capacitivo, como é exigido pelo PRODIST, porém, é necessário verificar

de maneira mais detalhada os horários que os limites foram excedidos. Em contrapartida, não foram registrados valores indutivos abaixo do valor mínimo de 0,92. Isso comprova que o sistema elétrico estudado apresenta uma predominância de carga capacitiva.

Nas tabelas 12 e 13, identificam-se os números de leituras que ficaram abaixo do limite de 0,92 para o fator potência capacitivo, comprovando que existe um excesso de reatância capacitiva.

Tabela 12: Registros abaixo de 0,92 (30/09 - 07/10).

Total de registros abaixo de 0.92	
F.P	Nº de Registros
Fase A	1008
Fase B	1008
Fase C	1007
Trifásico	1008

Fonte: Autor (2022).

Tabela 13: Registros abaixo de 0,92 (08/10 - 14/10).

Total de registros abaixo de 0.92	
F.P	Nº de Registros
Fase A	1008
Fase B	1004
Fase C	1001
Trifásico	1007

Fonte: Autor (2022).

Nas tabelas 14 e 15, são identificados de uma forma mais detalhada os 15 piores registros de fator de potência capacitivo durante o primeiro e segundo período de análise, sucessivamente.

Tabela 14: Quinze piores registros do fator de potência (30/09 - 07/10).

Fase A	Fase B	Fase C	Trifásico
02/10/2022 15:17:39 -0,132	01/10/2022 07:47:39 -0,456	02/10/2022 04:07:39 -0,740	02/10/2022 04:07:39 -0,740
01/10/2022 09:47:39 -0,136	01/10/2022 09:47:39 -0,457	02/10/2022 22:07:39 -0,752	02/10/2022 22:07:39 -0,752
01/10/2022 11:17:39 -0,137	01/10/2022 17:37:39 -0,471	03/10/2022 05:07:39 -0,761	03/10/2022 05:07:39 -0,761
02/10/2022 13:57:39 -0,137	02/10/2022 10:37:39 -0,474	02/10/2022 03:57:39 -0,770	02/10/2022 03:57:39 -0,770
01/10/2022 17:57:39 -0,138	01/10/2022 10:57:39 -0,475	05/10/2022 03:47:39 -0,772	05/10/2022 03:47:39 -0,772
01/10/2022 11:57:39 -0,138	02/10/2022 07:57:39 -0,478	01/10/2022 01:37:39 -0,774	01/10/2022 01:37:39 -0,774
01/10/2022 16:07:39 -0,139	01/10/2022 12:07:39 -0,479	01/10/2022 01:47:39 -0,775	01/10/2022 01:47:39 -0,775
01/10/2022 13:17:39 -0,139	01/10/2022 07:07:39 -0,480	01/10/2022 23:17:39 -0,775	01/10/2022 23:17:39 -0,775
01/10/2022 15:27:39 -0,140	02/10/2022 12:07:39 -0,485	01/10/2022 01:27:39 -0,778	01/10/2022 01:27:39 -0,778
02/10/2022 07:37:39 -0,142	01/10/2022 10:27:39 -0,486	03/10/2022 03:27:39 -0,779	03/10/2022 03:27:39 -0,779
02/10/2022 17:27:39 -0,143	02/10/2022 14:37:39 -0,486	02/10/2022 00:37:39 -0,780	02/10/2022 00:37:39 -0,780
02/10/2022 09:37:39 -0,143	01/10/2022 11:37:39 -0,486	01/10/2022 08:27:39 -0,780	01/10/2022 08:27:39 -0,780
01/10/2022 17:17:39 -0,144	02/10/2022 00:37:39 -0,487	02/10/2022 06:07:39 -0,780	02/10/2022 06:07:39 -0,780
02/10/2022 09:17:39 -0,145	02/10/2022 06:17:39 -0,488	01/10/2022 04:17:39 -0,780	01/10/2022 04:17:39 -0,780
02/10/2022 10:17:39 -0,145	01/10/2022 09:07:39 -0,488	02/10/2022 21:57:39 -0,780	02/10/2022 21:57:39 -0,780

Fonte: Autor (2022).

Tabela 15: Quinze piores registros do fator de potência (08/10 - 14/10).

Fase A	Fase B	Fase C	Trifásico
08/10/2022 12:37:39 -0,119	09/10/2022 07:57:39 -0,521	12/10/2022 00:47:39 -0,692	12/10/2022 00:47:39 -0,692
09/10/2022 15:17:39 -0,120	14/10/2022 22:47:39 -0,522	09/10/2022 14:57:39 -0,716	09/10/2022 14:57:39 -0,716
12/10/2022 11:37:39 -0,123	14/10/2022 23:27:39 -0,524	08/10/2022 03:07:39 -0,730	08/10/2022 03:07:39 -0,730
09/10/2022 10:17:39 -0,124	14/10/2022 23:17:39 -0,525	09/10/2022 22:17:39 -0,731	09/10/2022 22:17:39 -0,731
12/10/2022 16:37:39 -0,125	09/10/2022 16:47:39 -0,526	09/10/2022 05:47:39 -0,733	09/10/2022 05:47:39 -0,733
08/10/2022 13:17:39 -0,125	09/10/2022 09:57:39 -0,528	09/10/2022 15:37:39 -0,734	09/10/2022 15:37:39 -0,734
09/10/2022 08:47:39 -0,127	09/10/2022 09:27:39 -0,528	08/10/2022 21:07:39 -0,738	08/10/2022 21:07:39 -0,738
08/10/2022 14:07:39 -0,127	12/10/2022 16:07:39 -0,530	09/10/2022 14:47:39 -0,741	09/10/2022 14:47:39 -0,741
12/10/2022 10:57:39 -0,127	08/10/2022 06:37:39 -0,536	12/10/2022 23:17:39 -0,742	12/10/2022 23:17:39 -0,742
08/10/2022 17:07:39 -0,128	14/10/2022 23:37:39 -0,536	12/10/2022 05:07:39 -0,744	12/10/2022 05:07:39 -0,744
08/10/2022 07:47:39 -0,128	09/10/2022 11:57:39 -0,539	13/10/2022 03:27:39 -0,745	13/10/2022 03:27:39 -0,745
09/10/2022 17:07:39 -0,130	09/10/2022 14:27:39 -0,539	09/10/2022 07:17:39 -0,747	09/10/2022 07:17:39 -0,747
08/10/2022 09:07:39 -0,130	14/10/2022 22:07:39 -0,543	08/10/2022 07:47:39 -0,747	08/10/2022 07:47:39 -0,747
09/10/2022 08:27:39 -0,130	12/10/2022 16:17:39 -0,544	08/10/2022 11:57:39 -0,748	08/10/2022 11:57:39 -0,748
09/10/2022 15:37:39 -0,131	14/10/2022 22:57:39 -0,544	08/10/2022 12:07:39 -0,748	08/10/2022 12:07:39 -0,748

Fonte: Autor (2022).

Para um melhor entendimento dos resultados, é importante observar que o software ANL7000 classifica o fator de potência capacitivo como negativo, embora, na verdade, o índice seja sempre classificado como positivo.

Dos 15 piores casos apresentados nas tabelas em relação ao Fator de Potência (FP), observa-se que uma parte deles ocorreu fora do período de cobrança por excedente capacitivo. No entanto, é relevante ressaltar que, por exemplo, no dia 12 de outubro de 2022, às 00h47min, foi registrado um FP de -0,692, o que se enquadra dentro do período sujeito à cobrança por excedentes capacitivos.

Após uma análise minuciosa conforme os parâmetros estabelecidos pelo PRODIST, foi identificado através do software ANL7000 na Tabela 16 que os valores médios do fator de potência capacitivo considerando todos os horários de operação do sistema, portanto, somando os valores de FP (por fase e trifásico) computados e dividindo-os pelo número de registros, apresentaram os seguintes resultados nas diferentes fases: Fase A registrou 0,434, Fase B demonstrou 0,761, Fase C atingiu 0,921 e no cenário trifásico, o valor médio do fator de potência foi de 0,734.

Esses números ressaltam a existência de um fator de potência capacitivo abaixo do limiar de 0,92 indicando um desequilíbrio entre a energia ativa e reativa na rede elétrica, principalmente na Fase A. Para ficar mais visível o comportamento do

fator potência durante o dia, foram analisadas amostras de um período de 24 h do dia 06/10/2022 que foi o pior caso registrado.

Tabela 16 - Potências médias no intervalo dos dias 30/09 à 14/10 retiradas do Software ANL7000.

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo				
FASE	kW	kVA_r	kVA	FP
A	4,294	-8,911	9,892	-0,434
B	5,867	-5,007	7,713	-0,761
C	8,963	-3,787	9,730	-0,921
Total	19,124	-17,705	26,061	-0,734

Fonte: Autor (2022).

Analisando a Tabela 17, é observado o comportamento do fator de potência capacitivo em horários específicos do dia. Identificou-se que o fator de potência permaneceu abaixo do valor desejado de 0,92 durante o período de cobrança por excedente capacitivo, que vai das 00 h às 06 h. Com base nisso, pode-se inferir que, nesse dia específico, foi aplicada uma multa devido à baixa eficiência do fator de potência durante o horário estabelecido para a cobrança por excedente capacitivo.

Tabela 17 - Fator de potência do dia 06/10/2022.

Fator de Potência				
Data/Hora	FPA	FPB	FPC	F.P Trifásico
06/10/2022 00:07	-0,313	-0,614	-0,831	-0,570
06/10/2022 01:07	-0,500	-0,757	-0,896	-0,715
06/10/2022 02:07	-0,378	-0,687	-0,827	-0,615
06/10/2022 03:07	-0,338	-0,658	-0,816	-0,585
06/10/2022 04:07	-0,345	-0,648	-0,804	-0,581
06/10/2022 05:07	-0,342	-0,703	-0,835	-0,610
06/10/2022 06:07	-0,391	-0,752	-0,870	-0,670
06/10/2022 07:07	-0,491	-0,826	-0,922	-0,779
06/10/2022 08:07	-0,478	-0,794	-0,928	-0,779
06/10/2022 09:07	-0,513	-0,847	-0,957	-0,832
06/10/2022 10:07	-0,540	-0,805	-0,964	-0,834
06/10/2022 11:07	-0,471	-0,798	-0,951	-0,810
06/10/2022 12:07	-0,594	-0,858	-0,970	-0,880
06/10/2022 13:07	-0,607	-0,899	-0,964	-0,876
06/10/2022 14:07	-0,703	-0,938	-0,973	-0,912
06/10/2022 15:07	-0,828	-0,947	-0,985	-0,942
06/10/2022 16:07	-0,890	-0,980	-0,995	-0,972
06/10/2022 17:07	-0,518	-0,811	-0,920	-0,786
06/10/2022 18:07	-0,658	-0,892	-0,971	-0,885
06/10/2022 19:07	-0,682	-0,874	-0,968	-0,877
06/10/2022 20:07	-0,531	-0,748	-0,916	-0,768
06/10/2022 21:07	-0,442	-0,738	-0,911	-0,725
06/10/2022 22:07	-0,618	-0,920	-0,965	-0,872
06/10/2022 23:07	-0,367	-0,751	-0,882	-0,665

Fonte: Autor (2022).

De acordo com informações fornecidas durante consultas realizadas ao setor de contratos do IFSC, constatou-se que o valor mensal pago pelo consumidor devido ao excedente de energia reativa é em média de R\$ 121,27. O valor foi obtido somando os gastos com energia reativa durante o período de um ano e dividindo por 12 meses.

Na Tabela 18, é identificado os valores gastos pelo IFSC com energia reativa excedente e a Equação 27, vislumbra o cálculo utilizado para definir o gasto médio.

$$Gvar_m = \frac{Gvar_t}{12 \text{ meses}} \quad (27)$$

onde:

$Gvar_m$ = Gasto com energia reativa excedente mensal;

$Gvar_t$ = Gasto com energia reativa excedente total.

Tabela 18: Valores gastos com excedente.

Valores pagos durante o ano devido à excedente Reativo	
Mês	Valor gasto com excedente R\$
Janeiro	R\$ 56,79
Fevereiro	R\$ 112,21
Março	R\$ 114,89
Abril	R\$ 156,66
Mai	R\$ 134,29
Junho	R\$ 156,66
Julho	R\$ 165,94
Agosto	R\$ 127,65
Setembro	R\$ 145,61
Outubro	R\$ 94,15
Novembro	R\$ 44,50
Dezembro	R\$ 46,72
Média	R\$ 121,27

Fonte: IFSC (2022).

Para comprovar a existência do gasto por excedentes, a Figura 18 mostra que no mês de junho de 2022, foi cobrado R\$ 134,29 em relação ao consumo de energia do mês de abril.

A partir dessa constatação, fica ainda mais evidente a necessidade de abordar a questão do fator de potência abaixo do limiar estabelecido, não somente por suas implicações operacionais, mas também por seus efeitos financeiros diretos sobre o consumidor.

A partir dessa constatação, fica ainda mais evidente a necessidade de abordar a questão do fator de potência abaixo do limiar estabelecido, não somente por suas

implicações operacionais, mas também por seus efeitos financeiros diretos sobre o consumidor.

Figura 18: Fatura de energia elétrica do IFSC do mês de abril.

Celesc Distribuição S.A.		NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE UNICA	
Av Itamarati, 160 - Florianópolis CNPJ: 08.336.783/0001-90 Insc.Est.: 255266626		COD FISCAL OP: 5.257 5.949 GRUPO A4	05/2022 - 000.150.986.447
		EMISSÃO: 01/05/2022	FAT-01-20228888311307-47
		APRESENTAÇÃO: 16/05/2022	REFERÊNCIA: 05/2022
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO CIENC CPJ 11.402.887/0013-02 LOCAL: 1701 ETAPA/LIVRO: 64/021444 AV VEREADOR ABRAHAO JOAO FRANCISCO, 3899 - ' CH ITJ 176' RESSACADA (ITU) - ITAJAI - SC - 88307-303		Nº DA UNIDADE CONSUMIDORA 49190042	VENCIMENTO 25/06/2022
RESERVADO AO FISCO PERÍODO FISCAL: 01/05/2022 7DAB.4A27.5317.AF65.ED5F.220A.E43B.4747		ATENDIMENTO AO CLIENTE LIGUE 0800 048 0120	CONSUMO TOTAL FATURADO 15.089 kWh VALOR ATÉ O VENCIMENTO R\$ 13.111,91
DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / FATURAMENTO / FORNECIMENTO PODER PÚBLICO / MOD TARIFARIA HORARIA VERDE / TRIFASICO			
CONTRATO DE FORNECIMENTO DEMANDA PONTA (kW): 120 PERÍODO: TODOS DEMANDA FORA PONTA (kW): 0 CONSUMO FORA PONTA (kWh): RESERVA CAP.F. PONTA (kW): RESERVA CAP. PONTA (kW):		Dados do Faturamento Consumo Ponta 1.501 1,667308 2.502,83 Consumo Fora Ponta 13.588 0,488410 6.635,52 Energia Reat Exc Fp 343 0,391510 134,29 Demanda 134 18,107452 2.430,02 Demanda Ultrap 28/04/22 14:15 14 36,214789 514,25 Cons Tp Bandedschidr 1.459,65 Imp Ret. Imp (1,20%) 1,20000% -134,94 Imp Ret. Imp (4,80%) 4,80000% -116,64 Imp Ret. Pis (0,65%) 0,65000% -88,86 Imp Ret. Cofins (3,00%) 3,00000% -410,27 Imp Ret. Cst (1,00%) 1,00000% -136,74 Subtotal (R\$) 12.789,91	
DADOS DA MEDIÇÃO - CONSUMO REGISTRADO NO MÊS EQUIPAMENTO LEITURA GRANDEZA CONSTANTE DE MEDIÇÃO		 Lançamentos e Serviços Cosip 322,00 Subtotal (R\$) 322,00	
42130381	ATUAL ANTERIOR	FATURAMENTO	
CNP	394005 363577	kWh PT 0,1440	1501,00
CNF	8829845 8735483	kWh FP 0,1440	13588,00
DNP	85 86	kW PT 0,5760	48,96
DNF	233 209	kW FP 0,5760	134,20
DEP	3434 3349	kW PT 0,5760	48,96
DFP	12671 12438	kW FP 0,5760	134,20
UFO	20839 20839	kWh PT 0,1440	0,00
UFF	80843 78460	kWh FP 0,1440	343,00
DMP	11760 11480	kW PT 0,1440	40,32
DMF	44339 43511	kW FP 0,1440	119,23
ERA	1633736 1632336	kVAh TP 0,1440	201,00

Fonte: IFSC (2022).

A partir dessa constatação, fica ainda mais evidente a necessidade de abordar a questão do fator de potência abaixo do limiar estabelecido, não somente por suas implicações operacionais, mas também por seus efeitos financeiros diretos sobre o consumidor.

Diante do cenário encontrado, caracterizado pela falta de automação do banco de capacitores, surgem questões significativas. A falta de capacidade de ajuste dinâmico em resposta às variações na carga pode resultar em correção inadequada, levando a ineficiências operacionais, riscos de ressonância e possíveis problemas de segurança. A necessidade de monitoramento manual contínuo e intervenção humana pode aumentar a propensão a erros e dificultar a manutenção eficiente. Além disso, a falta de automação pode resultar em desperdício de energia e riscos de sobrecorreção do fator de potência.

Mesmo reconhecendo que a automação dos capacitores resolveria o problema identificado, também foi conduzido o cálculo para projetar o banco de capacitores, com o intuito de analisar se as especificações estabelecidas no projeto realizado pela empresa responsável do sistema elétrico do IFSC são adequadas. Ao realizar essa análise adicional, busca-se assegurar que o dimensionamento do banco de capacitores seja compatível com as demandas operacionais atuais e futuras, para que quando eventualmente seja trocado o banco de capacitores, seja instalado de forma coerente e garanta a conformidade com os requisitos normativos pertinentes.

Utilizando o software ANL7000, foram encontrados os valores médios de todo o período de análise da potência ativa, aparente e reativa. Na Tabela 16, apresentada anteriormente, é vislumbrado esses parâmetros.

Após encontrar os valores das potências, é necessário definir um FP adequado para o sistema elétrico. Nesse caso foi escolhido o valor de 0,92 ($\varphi=23^\circ$) para atender aos critérios do PRODIST.

Considerando esse novo ângulo, calcula-se a nova potência reativa para cada uma das fases, utilizando a Equação 8. Foram encontradas as seguintes potências reativas para cada fase:

$$Q_n \simeq 3,80 \text{ kVAr} - \text{Fase A}$$

$$Q_n \simeq 2,13 \text{ kVAr} - \text{Fase B}$$

$$Q_n \simeq 1,60 \text{ kVAr} - \text{Fase C}$$

Por último deve ser calculado a potência do banco de capacitor a ser acoplado em paralelo com o circuito:

$$Q_c = Q - Q_n = 8,911 \text{ kVAr} - 3,80 \text{ kVAr} = 5,11 \text{ kVAr} - \text{Fase A} \quad (28)$$

$$Q_c = Q - Q_n = 5,007 \text{ kVAr} - 2,13 \text{ kVAr} = 2,88 \text{ kVAr} - \text{Fase B} \quad (29)$$

$$Q_c = Q - Q_n = 3,787 \text{ kVAr} - 1,60 \text{ kVAr} = 2,19 \text{ kVAr} - \text{Fase C} \quad (30)$$

onde:

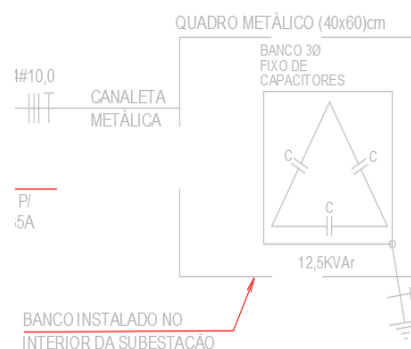
Q_c = Potência do banco de capacitor;

Q = Potência reativa por fase.

conforme representado na Figura 20

Após uma análise do projeto da subestação do IFSC - Itajaí, constatou-se que a potência do banco de capacitores atualmente instalado no campus, conforme representado na Figura 19, é de 12,5 kVAr.

Figura 19: Detalhamento do banco de capacitores.

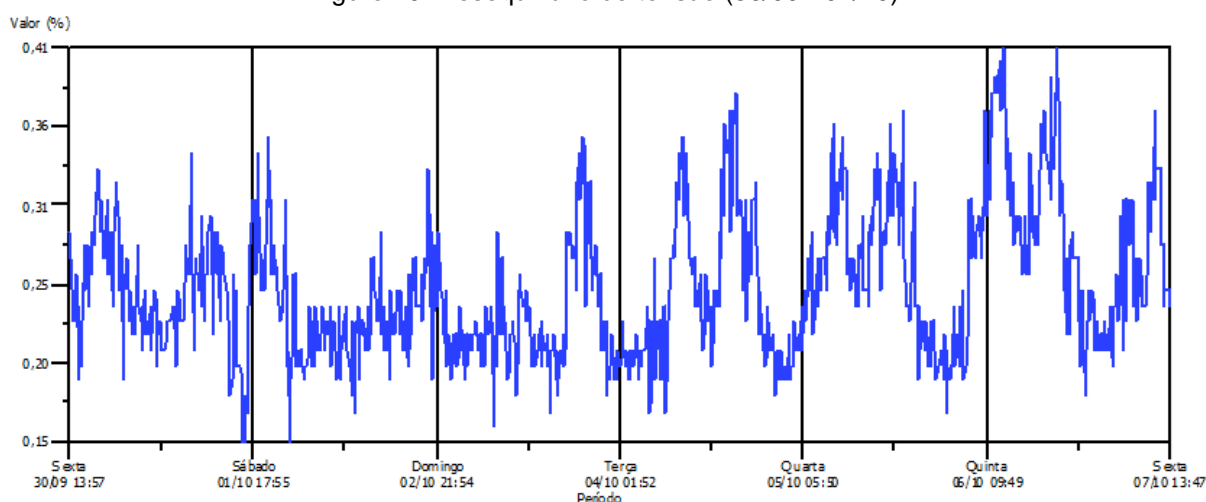


Este valor excede a capacidade dimensionada anteriormente nas equações 28, 29 e 30, somando a potência das fases A, B e C, é sugerido um banco de capacitor com potência de 10,18 kVAr.

4.4 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

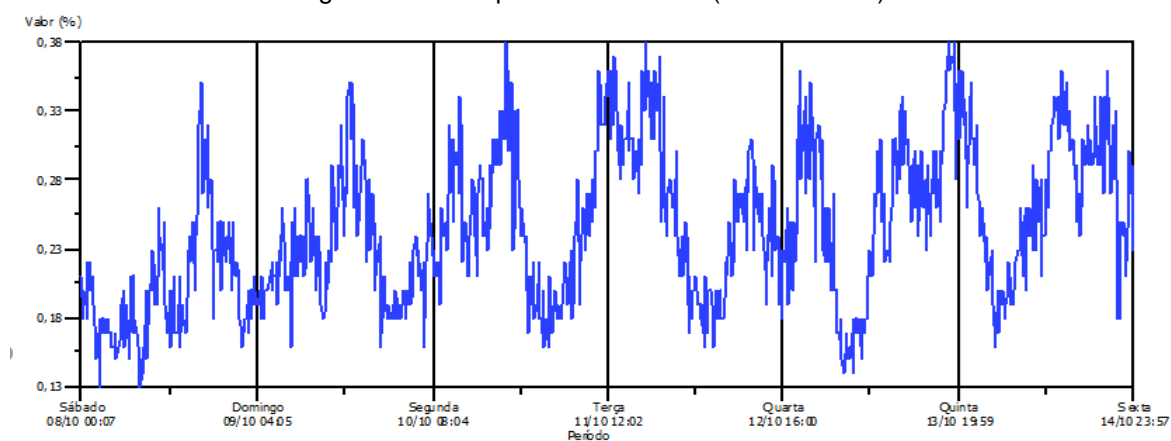
O desequilíbrio de tensão refere-se a uma situação em um sistema elétrico onde as tensões nominais em diferentes fases não estão em equilíbrio. As Figuras 20 e 21, geradas através do software ANL7000, mostram o desequilíbrio entre as fases em porcentagem. A análise é feita dessa forma para verificar se atende o valor máximo do indicador de desequilíbrio apresentado no PRODIST.

Figuro 20: Desequilíbrio de tensão (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 22: Desequilíbrio de tensão (08/10 - 14/10).



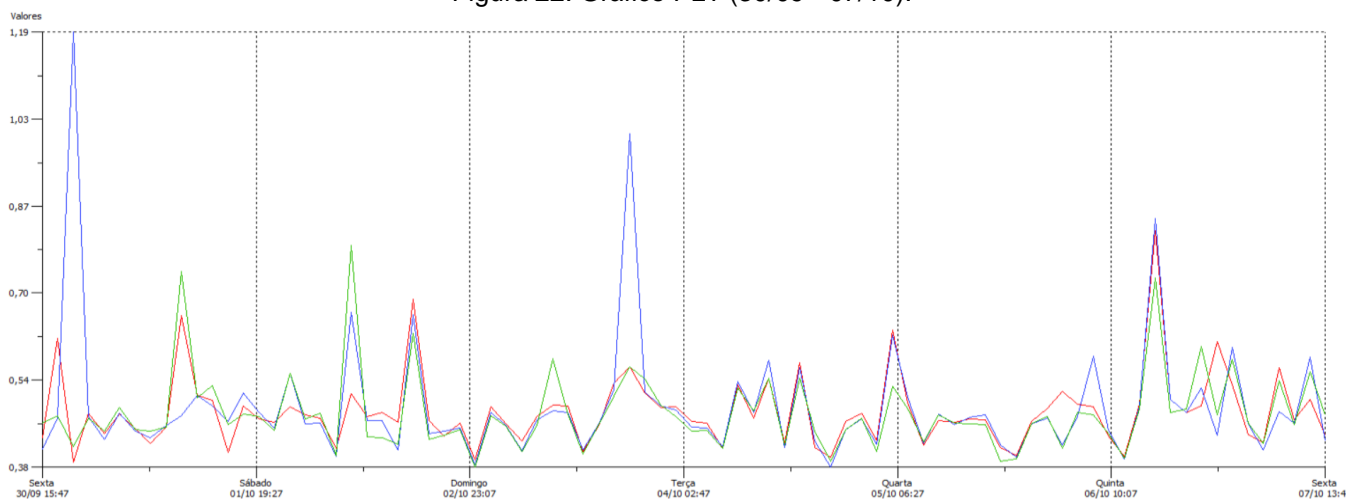
Fonte: Autor (2022).

Após análise, constatou-se que não foram identificados desequilíbrios significativos de tensão na rede elétrica sob avaliação. Além disso, os valores obtidos permaneceram dentro dos limites estabelecidos pelo indicador de desequilíbrio definido no PRODIST que indica que para tensão nominal entre V_n e 2,3 kV, não pode exceder uma porcentagem de 3%, visualizando o gráfico é identificado que a porcentagem não excedeu 0,5%. Esses resultados indicam que a distribuição de energia elétrica na rede investigada mantém um nível aceitável de desequilíbrio de tensão entre as fases, contribuindo para a estabilidade operacional e a qualidade do fornecimento de energia. A conformidade com os parâmetros estabelecidos reafirma a eficiência das práticas de monitoramento e manutenção adotadas, corroborando a confiabilidade do sistema elétrico e a satisfação das demandas dos consumidores.

4.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

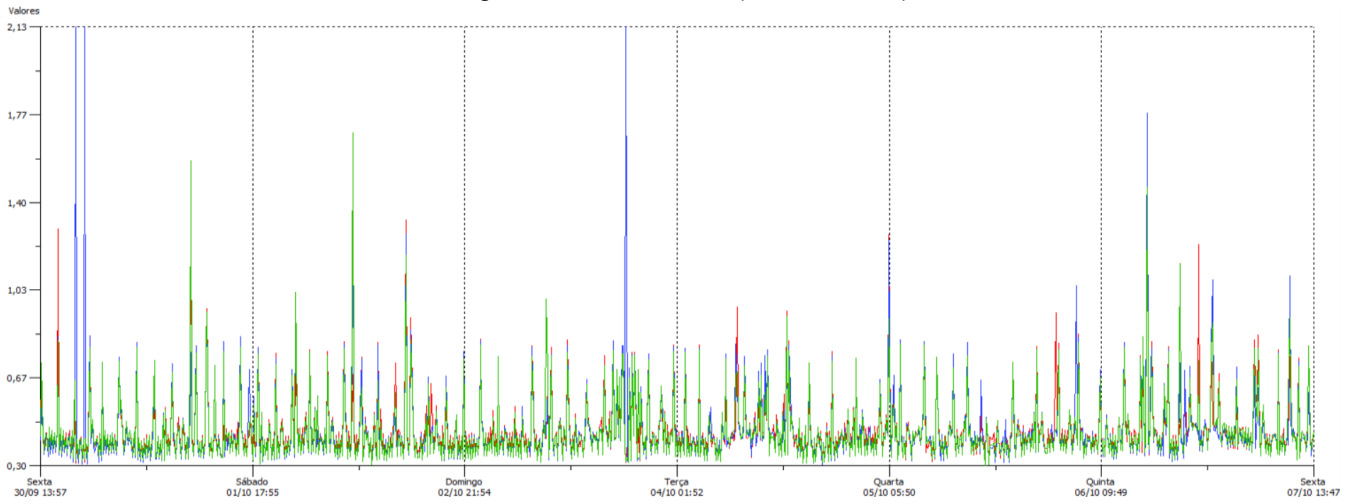
Os gráficos PSTD e PLTD são informações cruciais para avaliar a qualidade da energia elétrica ao longo do tempo. Para ambos os gráficos, espera-se observar padrões de flutuações ao longo do tempo, identificar picos de intensidade e analisar a distribuição das flutuações entre as diferentes fases do sistema elétrico, representadas pelas cores distintas (fase A em vermelho, fase B em azul e fase C em verde). Essas visualizações ajudam a compreender a qualidade da energia elétrica fornecida, facilitando a identificação de problemas e a tomada de medidas corretivas para garantir um fornecimento elétrico confiável e seguro. As figuras correspondentes a esses gráficos são a 22 e 23 para o PLTD, e 22 e 24 para o PST.

Figura 22: Gráfico PLT (30/09 - 07/10).



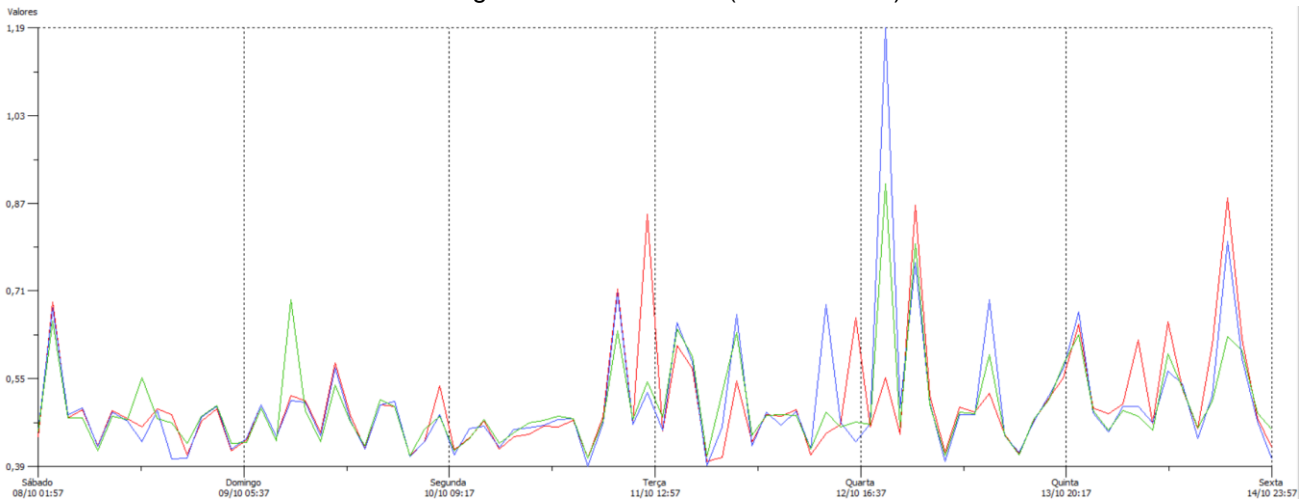
Fonte: Autor (2022).

Figura 23: Gráfico PST (30/09 - 07/10).



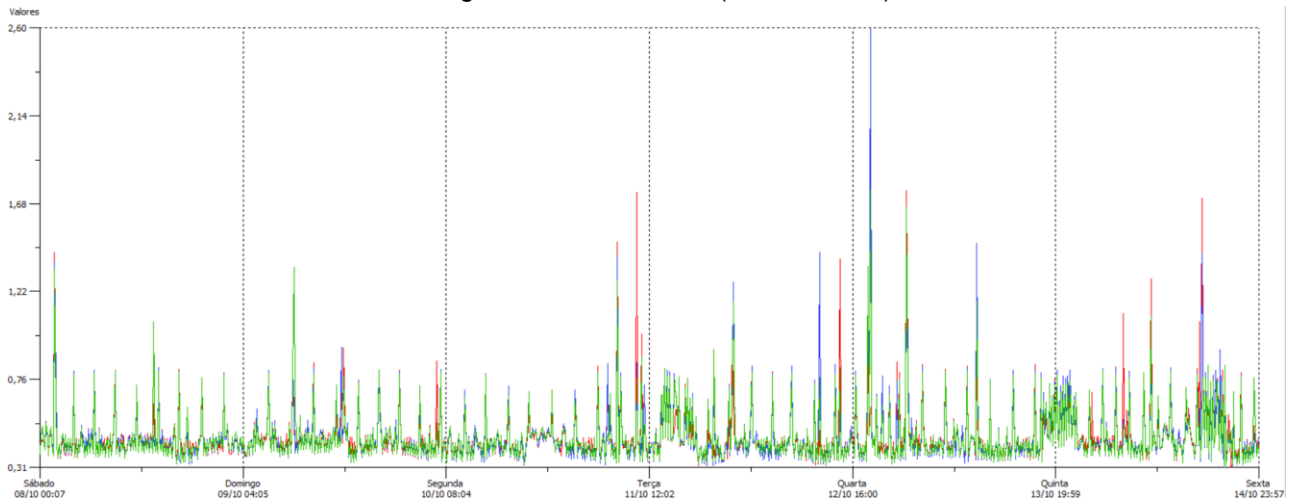
Fonte: Autor (2022).

Figura 24: Gráfico PLT (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 25: Gráfico PST (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Os seguintes gráficos apresentam no eixo horizontal, o período de tempo durante o qual as flutuações de tensão estão sendo monitoradas, no caso uma semana e no eixo vertical é indicada a magnitude da tensão elétrica expressa em porcentagem da tensão nominal.

Após análise, verificou-se que os parâmetros PST e PLT estão em total conformidade com os critérios estabelecidos pelo PRODIST, apesar de registrar de forma momentâneas alguns valores acima do limite, a maioria dos registros obedeceram a porcentagem por unidade de 1 para uma tensão nominal entre Vn e 2,3 kV. Os resultados indicam que a rede mantém um nível aceitável de estabilidade e qualidade no fornecimento de energia, com ocorrência de perturbações dentro dos limites aceitáveis.

As tabelas 19 e 21, são exibidas as PLT registradas durante o mesmo período. Já Nas tabelas 20 e 22, são apresentadas tabelas contendo os valores das PST referentes ao primeiro e segundo período de análise. Essas tabelas foram retiradas do software de análise para apresentar informações relevantes sobre as perturbações de longa duração que afetaram a qualidade e a continuidade do fornecimento de energia elétrica, possibilitando uma avaliação abrangente do impacto desses eventos.

Tabela 19: PLT95% (30/09 - 07/10).

Data	PltVA	Faixa	PltVB	Faixa	PltVC	Faixa
30/09 a 07/10	0,62	Adequado	0,66	Adequado	0,60	Adequado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 20: PST95% (30/09 - 07/10).

Data	PstVA	Faixa	PstVB	Faixa	PstVC	Faixa
01/10/2022	0,74	Adequado	0,80	Adequado	0,74	Adequado
02/10/2022	0,75	Adequado	0,76	Adequado	0,76	Adequado
03/10/2022	0,75	Adequado	0,75	Adequado	0,76	Adequado
04/10/2022	0,77	Adequado	0,79	Adequado	0,76	Adequado
05/10/2022	0,75	Adequado	0,76	Adequado	0,75	Adequado
06/10/2022	0,71	Adequado	0,72	Adequado	0,67	Adequado
07/10/2022	0,80	Adequado	0,77	Adequado	0,79	Adequado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 21: PLT95% (08/10 - 14/10).

Data	PltVA	Faixa	PltVB	Faixa	PltVC	Faixa
08/10 a 14/10	0,69	Adequado	0,69	Adequado	0,64	Adequado

Fonte: Autor (2022)

Tabela 22: PST95% (08/10 - 14/10).

Data	PstVA	Faixa	PstVB	Faixa	PstVC	Faixa
08/10/2022	0,71	Adequado	0,69	Adequado	0,77	Adequado
09/10/2022	0,75	Adequado	0,72	Adequado	0,75	Adequado
10/10/2022	0,60	Adequado	0,65	Adequado	0,67	Adequado
11/10/2022	0,78	Adequado	0,80	Adequado	0,78	Adequado
12/10/2022	0,80	Adequado	0,82	Adequado	0,79	Adequado
13/10/2022	0,80	Adequado	0,81	Adequado	0,79	Adequado
14/10/2022	0,81	Adequado	0,81	Adequado	0,79	Adequado

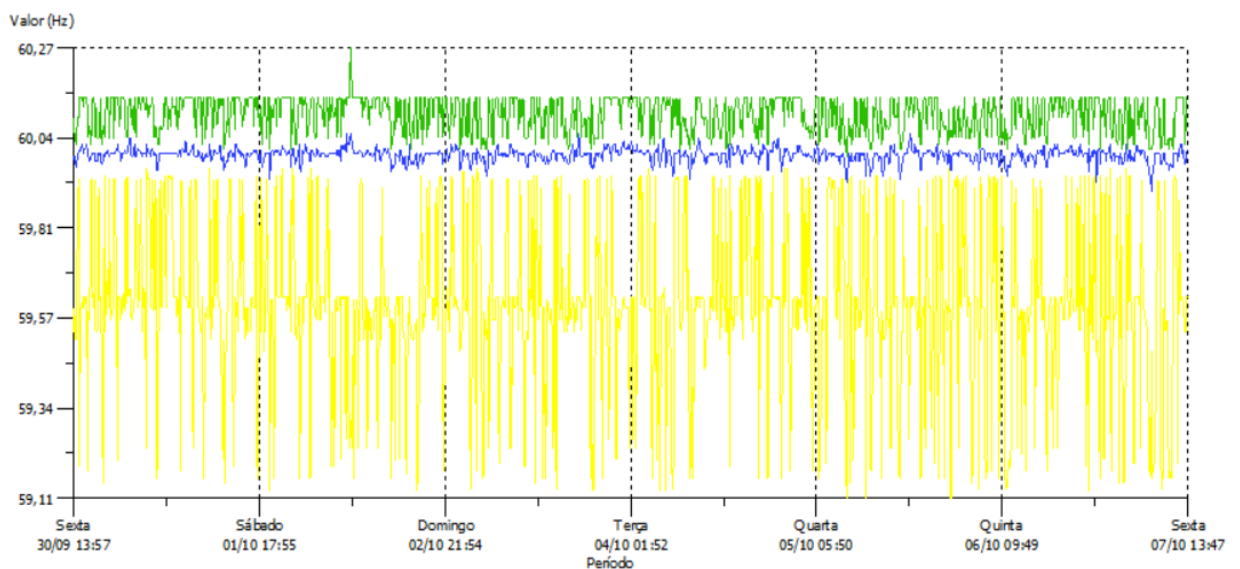
Fonte: Autor (2022).

Ao analisar as tabelas apresentadas anteriormente, verifica-se que os parâmetros de PST e PLT mostrados de forma mais detalhada, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST.

4.6 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

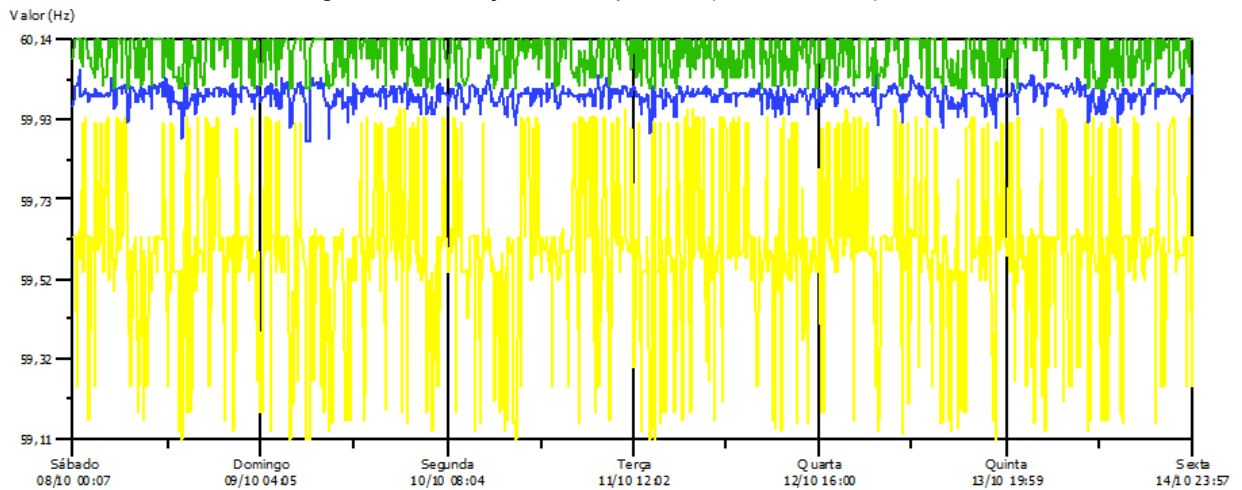
Nas Figuras 26 e 27 são apresentados os gráficos de variação de frequência ao longo de um período de duas semanas. Esses gráficos capturam as oscilações na frequência elétrica e classificam em três faixas, na cor amarela as frequências mínimas registradas, em azul o valor médio das frequências registradas e na cor verde de as frequências máximas registradas.

Figura 26: Variação de frequência (30/09 - 07/10).



Fonte: Autor (2022).

Figura 27: Variação de frequência (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

Após uma análise metódica da variação de frequência na rede elétrica sob investigação, pode-se afirmar que todos os requisitos estabelecidos pelo PRODIST foram atendidos de maneira integral. A variação de frequência, sendo um indicador crucial da estabilidade operacional do sistema elétrico, foi cuidadosamente monitorada e avaliada, tendo sido realizadas 1.008 leituras. Conforme os critérios definidos, foi constatado que as flutuações de frequência permaneceram dentro dos limites especificados. Nas tabelas 23 e 24, é indicado os valores diários registrados pelo analisador de energia e identificado através do software ANL7000, para melhor visualização dos dados.

Tabela 23 - Variação da frequência no período 30/09 até 07/10.

Tabela de Frequência			
Data/Hora	Mínimo	Médio	Máximo
30/09/2022 13:57:39	59,60	59,99	60,09
30/09/2022 23:57:39	59,65	60,01	60,14
01/10/2022 00:07:39	59,93	60,00	60,11
01/10/2022 23:57:39	59,63	60,02	60,14
02/10/2022 00:07:39	59,16	59,96	60,14
02/10/2022 23:57:39	59,60	60,01	60,14
03/10/2022 00:07:39	59,54	59,97	60,07
03/10/2022 23:57:39	59,60	60,01	60,14
04/10/2022 00:07:39	59,54	59,99	60,12
04/10/2022 23:57:39	59,63	60,02	60,14
05/10/2022 00:07:39	59,63	60,04	60,14
05/10/2022 23:57:39	59,63	60,02	60,14
06/10/2022 00:07:39	59,54	59,97	60,09
06/10/2022 23:57:39	59,60	60,00	60,14
07/10/2022 00:07:39	59,49	59,92	60,14
07/10/2022 13:47:39	59,63	60,01	60,14

Fonte: Autor (2022).

Tabela 24 - Variação da frequência no período 08/10 até 14/10.

Tabela de Frequência			
Data/Hora	Mínimo	Médio	Máximo
08/10/2022 00:07:39	59,63	59,97	60,09
08/10/2022 23:57:39	59,63	60,03	60,14
09/10/2022 00:07:39	59,13	59,95	60,04
09/10/2022 23:57:39	59,91	60,00	60,04
10/10/2022 00:07:39	59,63	60,02	60,14
10/10/2022 23:57:39	59,59	60,03	60,14
11/10/2022 00:07:39	59,63	60,03	60,14
11/10/2022 23:57:39	59,54	59,99	60,04
12/10/2022 00:07:39	59,91	59,99	60,04
12/10/2022 23:57:39	59,63	59,99	60,09
13/10/2022 00:07:39	59,57	59,98	60,02
13/10/2022 23:57:39	59,63	60,04	60,14
14/10/2022 00:07:39	59,18	59,98	60,11
14/10/2022 23:57:39	59,63	60,05	60,14

Fonte: Autor (2022).

Com os dados observados nas tabelas e gráficos, retirados do software ANL7000, em situações extremas, a frequência não excede 66,0 Hz ou cai abaixo de 56,5 Hz. Além disso, observou-se que a frequência não ultrapassou 62,0 Hz por mais de 30 segundos, nem 63,5 Hz por mais de 10 segundos. Da mesma forma, não ocorreu um período superior a 10 segundos com frequência inferior a 58,5 Hz, e a frequência não caiu abaixo de 57,5 Hz por mais de 5 segundos. A aderência estrita a esses requisitos demonstra a robustez e a excelência do sistema de distribuição de energia elétrica, mantendo-se em conformidade com as regulamentações e garantindo um fornecimento de energia confiável e seguro aos consumidores.

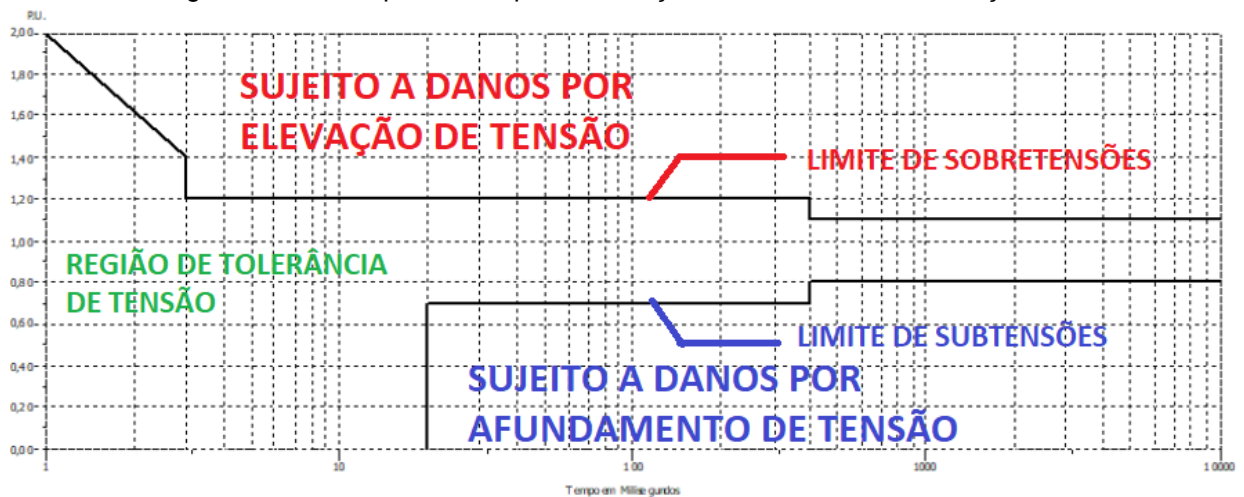
4.7 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

O gráfico de VTCD (Figuras 31 e 32) captura as flutuações de tensão que ocorrem em intervalos de tempo relativamente curtos, oferecendo uma visão detalhada das oscilações de tensão que podem impactar momentaneamente o fornecimento de energia elétrica. Nele é representada a variação do tempo ao longo do eixo horizontal, que parte de 10 milissegundos (10 ms) até 10.000 milissegundos (10.000 ms).

Durante o período de análise, é traçada a curva que limita o valor máximo permitido para variações de tensão durante o intervalo de tempo correspondente. Se as variações de tensões excederem os limites definidos para qualquer intervalo de tempo, isso pode indicar a necessidade de investigação adicional para identificar e corrigir quaisquer problemas de sobretensão e/ou subtensão no sistema elétrico que estejam causando essas variações indesejadas.

Na Figura 28, é apresentado o gráfico dos limites permitidos para a variação de tensão de curta duração, com a identificação de cada uma das áreas e seus respectivos limites. Essas áreas delimitam os intervalos de variação de tensão que são considerados aceitáveis de acordo com os padrões e normas aplicáveis.

Figura 28: Limites permitidos para a variação de tensão de curta duração.

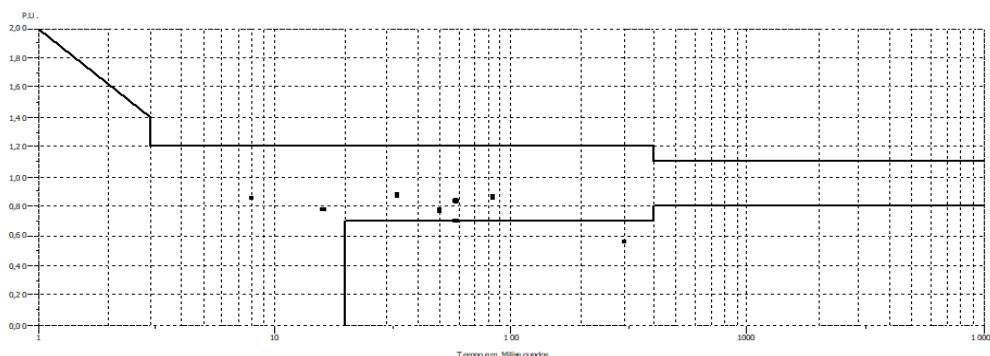


Fonte: Autor (2022).

No primeiro período de análise que ocorreu entre os dias 30/09/2022 até 07/10/2022 não foram registrados quaisquer pontos de flutuação de tensão ao longo do período analisado. Essa ausência de variações significativas destaca a estabilidade do fornecimento de energia elétrica durante esse intervalo de tempo específico.

No gráfico da Figura 29 e Tabela 26 foram realizados os registros do período de análise dos dias 08/10/2022 até 14/10/2022.

Figura 29: Variação de tensão de curta duração (08/10 - 14/10).



Fonte: Autor (2022).

É identificado a presença de pontos de flutuação de tensão que merecem uma investigação mais detalhada, ocorreram momentos de oscilações de tensão, possivelmente afetando a qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Na Tabela 25, são destacados os períodos nos quais as flutuações foram registradas pelo analisador de energia, oferecendo uma visão cronológica desses eventos.

Tabela 25: Período de flutuação (08/10 - 14/10).

Reg	Data	Hora	Magnitude (p.u)	Ciclos	Tempo (s)	Classificação
1	07/10/2022	15:40:23.002	0,777	1,0	0,017	Afundamento Momentâneo
2	09/10/2022	22:46:04.009	0,861	0,5	0,008	Afundamento Momentâneo
3	11/10/2022	10:08:03.002	0,706	3,5	0,058	Afundamento Momentâneo
4	12/10/2022	14:11:45.003	0,843	3,5	0,058	Afundamento Momentâneo
5	12/10/2022	17:57:08.009	0,868	5,0	0,083	Afundamento Momentâneo
6	12/10/2022	18:23:09.003	0,879	2,0	0,033	Afundamento Momentâneo
7	14/10/2022	08:58:19.003	0,559	18,0	0,300	Afundamento Momentâneo
8	14/10/2022	15:58:19.004	0,780	3,0	0,050	Afundamento Momentâneo
9	14/10/2022	18:28:15.006	0,770	3,0	0,050	Afundamento Momentâneo

Fonte: Autor (2022).

Após análise dos dados encontrados de acordo com os critérios estabelecidos pelo PRODIST, identificou-se a ocorrência de 9 afundamentos momentâneos de tensão ao longo de todo o período examinado. Esses afundamentos podem ter impactos significativos nos equipamentos e processos conectados à rede.

Dos nove registros de afundamentos momentâneos de tensão analisados, destaca-se que apenas o registro número sete excedeu o limite máximo permitido para variações de tensão, enquanto o registro número três ficou muito próximo de ultrapassá-lo. É importante ressaltar que os dois registros mais críticos indicam problemas de subtensão, pois registraram valores abaixo ou no limite da tensão desejada.

Entre as possíveis abordagens, a instalação de dispositivos de proteção, como relés de subtensão, pode ajudar a detectar variações abruptas de tensão e desconectar rapidamente a carga afetada, minimizando assim os danos. Além disso, a implementação de sistemas de armazenamento de energia, como baterias ou super capacitores, pode fornecer uma fonte de energia temporária durante afundamentos, mantendo a operação dos equipamentos até que a tensão seja normalizada. Investir em equipamentos mais robustos, capazes de suportar variações momentâneas de tensão, também é uma consideração relevante. A análise aprofundada das causas

subjacentes aos afundamentos momentâneos é crucial para a seleção da estratégia mais adequada, assegurando um fornecimento de energia estável e confiável, além de proteger os equipamentos e processos conectados à rede elétrica.

5. CONCLUSÃO

Este estudo proporcionou uma visão esclarecedora sobre diversos aspectos cruciais do sistema elétrico do IFSC - Itajaí. Ao analisar cuidadosamente os parâmetros definidos pelo PRODIST no módulo 8 e na norma da IEEE Std. 519, pode-se confirmar a conformidade dos indicadores de tensão em regime permanente, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, distorção harmônica total de tensão, variação de frequência e perturbações de curta e longa duração.

No entanto, o estudo também ressalta a presença de indicadores que estão fora dos parâmetros estabelecidos pelas diretrizes regulatórias. A detecção de afundamento de tensão serve como um alerta, indicando a necessidade de um acompanhamento periódico para identificar possíveis causas desse fenômeno. Essa descoberta auxiliará na proteção dos equipamentos elétricos sensíveis.

Outro indicador que merece atenção é o fator de potência. Após uma análise detalhada de todos os resultados, constatou-se a presença de um excesso de reatância capacitiva no sistema elétrico. O estudo revelou que o banco de capacitores instalado na subestação excedeu as necessidades de correção do fator de potência. Para resolver essa questão, sugere-se a automação desse banco de capacitores, permitindo um controle mais preciso e eficiente. Além disso, para futuras manutenções ou substituições, foi determinado que o valor adequado do banco de capacitores é de 10,18 kVAr. Essas medidas visam otimizar o desempenho do sistema elétrico, garantindo uma operação mais eficiente e econômica.

Além dos indicadores citados acima, outro ponto que chamou a atenção foi o índice de distorção total de corrente. O resultado encontrado, mostra a necessidade de realizar um estudo mais detalhado para identificar as possíveis fontes de distorção harmônica no sistema, como cargas não lineares e interferências externas.

Para trabalhos futuros, sugere-se a viabilidade de automatizar o banco de capacitores. A automação desse sistema pode melhorar a eficiência na correção do fator de potência, reduzindo perdas e otimizando o consumo de energia elétrica. Além disso, recomenda-se um estudo aprofundado sobre os equipamentos presentes no IFSC – Câmpus Itajaí que são mais sensíveis aos efeitos das distorções harmônicas de corrente. Esse estudo pode identificar os dispositivos mais vulneráveis e propor soluções para mitigar os impactos das distorções harmônicas, garantindo uma maior confiabilidade e longevidade dos equipamentos.

Este estudo proporcionou uma oportunidade valiosa para o desenvolvimento de competências em diversas áreas da engenharia elétrica, incluindo projetos elétricos, sistemas de potência, eletrônica e familiarização com o uso de instrumentos de medição. Através da análise e interpretação dos resultados, foi possível aprimorar habilidades técnicas e práticas, além de ganhar uma compreensão mais profunda dos princípios fundamentais que regem o funcionamento dos sistemas elétricos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANELL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19>. Data de acesso: 19/08/2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1415: Compatibilidade eletromagnética (EMC) - Limites para emissão de correntes harmônicas em sistemas elétricos de potência com tensão de alimentação igual ou inferior a 35 kV.** Rio de Janeiro, 2018.

AGALAR, S.; KAPLAN, Y. A. Power quality improvement using STS and DVR in wind energy system. **Renewable energy**, v. 118, p. 1031–1040, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 6100-4-5: Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4-5: Ensaios e técnicas de medição - Ensaio de imunidade a surtos.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5356-5: Transformador de potência Parte 5: Capacidade de resistir a curto circuitos.** Rio de Janeiro, 2015.

B. D. Bonatto, B.D., E. A. Mertens Jr., e F. A. Fernandes. **Diagnóstico da Qualidade de Energia Elétrica no Sistema de Distribuição.** III Conferência Latino-Americana de Distribuição de Energia Elétrica (III CONLADIS), Escola Politécnica da USP, Cidade Universitária, São Paulo - SP, Brasil, 8 - 13 de setembro de 1998.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à Análise De Circuitos.** 12. ed. [S. L.]: Pearson, 2012. 980 p.

CCPG ENGENHARIA ELÉTRICA. **Relações entre o fator de potência FP, DPF, $\cos \varphi$ e a $\tan \varphi$.** 2017. Disponível em: <<http://ccpg.eng.br/resources/Rela%C3%A7%C3%B5es%20entre%20FP%20e%20cos%20fi.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2023.

Contecc 2021. [S.L.]: Contecc, 2021. v. 1, p. 1-6. Disponível em: <<https://www.confefa.org.br/midias/uploads->

imce/Contecc2021/Eletricista/AN%C3%81LISE%20DA%20QUALIDADE%20DA%20ENERGIA%20EL%C3%89TRICA%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2023.

EMBRASUL. **O que é fator de potência.** Disponível em: <https://embrasul.com.br/o-que-e-fator-de-potencia-e-quais-os-tipos/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

EMBRASUL. **RE7000.** Disponível em: <<https://embrasul.com.br/produtos/re7000/>>. Data de acesso: 19 de agosto de 2023.

GONZAGA, L. **Análise de Distorções Harmônicas em Sistemas Elétricos de Potência.** Editora Érica, 2013.

IEEE. **Recommended practices and requirements for harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE Std 519 – 2014.** [S.l.: s.n.], 2014.

IFELL, E. **Instalação de Banco de Capacitor para Correção do Fator de Potência.** Disponível em: <<https://www.ifell.com.br/instalacao-de-banco-de-capacitor-para-correcao-do-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MÁRIO OLESKOVICZ et al. Estudo comparativo de ferramentas modernas de análise aplicadas à qualidade da energia elétrica. **Controle & Automação**, v. 17, n. 3, p. 331–341, 1 set. 2006.

MERKLE, Anne. **Análise da qualidade de energia.** Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST. Santa Catarina, p.75. 2018.

MERTENS, E. A. et al. **SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA GCQ-08 19 a 24 Outubro de 2003 Uberlândia -Minas Gerais GRUPO XIII GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA -GCQ IMPACTO DE VARIAÇÕES DE FREQUÊNCIA VERSUS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO.** Disponível em: <<https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/IMPACTO-DE-VARIA%C3%87%C3%95ES-DE-FREQ%C3%9C%C3%8ANCIA-VERSUS-VARIA%C3%87%C3%95ES-DE-TENS%C3%83O-DE-CURTA-DURA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

(Mestrado em engenharia elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRGS. Rio Grande do Sul, p.20 - 21. 2019.

OLIVEIRA, Aline Soares de; ARAÏJO, Francisco José Costa. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 7., 2021, Recife. **Anais do**

ROSA, F. et al. **Harmonic Analysis and Power Quality**. Editora CRC Press, 2016.

R. C. Dugan, M. F. McGranaghan and H. W. Beaty. **Electrical Power Systems Quality**. McGraw-Hill, 1996.

SANTOS, L. **Consequências da distorção harmônica para a saúde da rede elétrica**. Disponível em: <<https://teslajunior.com.br/?p=60>>. Data de acesso: 19/08/2023.

SCARPIN, Bruno. **O que é Fator de Potência?**. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/o-que-e-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

SILVA, Luiz Carlos Evangelista da. **Efeitos das Distorções Harmônicas (Tensões e Correntes) e Desequilíbrios (Tensões) em Medidores Eletrônicos Trifásicos de Energia Elétrica Ativa**. 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

S.M. Deckmann, e J. A. Pomilio. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a4.pdf>>. Data de acesso: 20/08/2023.

STAROSTA, José; MACEDO JUNIOR, José Rubens. **A nova abordagem da cobrança da energia reativa e o limite do fator de potência**. 2010. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/a-nova-abordagem-da-cobranca-da-energia-reativa-e-o-limite-do-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

TAVARES, Taís. **Estudo da distorção harmônica em redes de distribuição de baixa tensão com sistemas fotovoltaicos e veículos elétricos**. Dissertação

ANEXO A - Analisador de Energia RE7000

EMBRASUL

Analizador de Energia RE7000



- Atende PRODIST módulo 8 da ANEEL;
- Flicker, Harmônicas e outros eventos;
- Acesso remoto via 4G e WiFi;
- Amplo display gráfico;
- Fácil instalação e operação;
- Configurado por módulos opcionais;
- Excelente faixa de medição;
- Corrente de 50mA a 3000A (para correntes acima de 3000A consulte o Ti6000).
- Medição Bidirecional.

embrasul.com.br

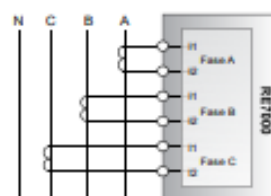
1. Módulos opcionais

O RE7000 pode ser composto de módulos opcionais específicos de medição, de forma a configurar um produto adequado para cada necessidade. Insira tantos módulos quantos forem necessários para sua aplicação.

O equipamento básico é a configuração inicial de todos analisadores da série RE7000 sem módulos adicionais. O equipamento sai de fábrica com comunicação ethernet.

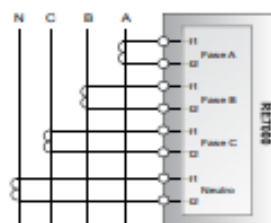
EQUIPAMENTO BÁSICO

Dotado de entradas trifásicas de tensão e corrente, o equipamento básico permite a análise de tensões, correntes, potências ativas, reativas e aparentes, fator de potência, desbalanceamentos, frequência, distorção total de demanda, consumos, geração, demandas e variações de tensão de curta duração (VTCDs). O Equipamento básico possui comunicação ETHERNET.



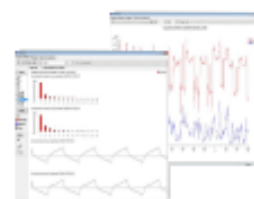
MÓDULO N (Neutro)

O RE7000/N é o modelo configurado com o módulo de Neutro (N), o qual possui quatro entradas de medição de corrente e quatro entradas de medição de tensão. Este módulo é especialmente indicado para sistemas desbalanceados, ou onde há incidências de harmônicas na rede.



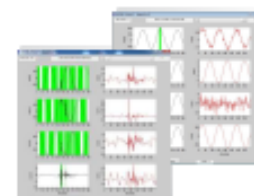
MÓDULO H (Harmônicas)

O RE7000/H é o modelo configurado com o módulo de Harmônicas (H), que indica a medição das perturbações na rede. Este modelo é indicado para aplicação em sistemas elétricos onde se pretende medir os níveis e as características das distorções harmônicas presentes no circuito. A medição pode ser feita até a 41ª ordem, analisando harmônicas de ordens pares e ímpares de tensão e corrente.



MÓDULO T (Transientes)

O RE7000/T é o modelo configurado com o módulo de Transientes (T), que indica a capacidade de captura de eventos transitórios. Com avançadas técnicas de processamento de sinais o RE7000 é capaz de identificar e registrar perturbações e distorções presentes em meio ciclo da forma de onda.



MÓDULO P (Produst)

O RE7000/P é o modelo configurado com o módulo de compatibilidade a exigências do módulo 8 do PRODUST - ANEEL (P). Projetado para atender todos os requisitos do Módulo de Qualidade, o equipamento adquire, entre outras características, a capacidade de medição de flicker. O analisador classifica eventos como afundamentos (SAG), elevações (SWELL) e interrupções da tensão RMS.



2. Funcionalidades

O Analisador de energia RE7000 foi projetado para adquirir simultaneamente os sinais de quatro canais de corrente e quatro de tensão. A partir de uma sistema de aquisição de 16 bits são feitas 128 amostras por ciclo de forma simultânea nos oito canais quando em

medição de grandezas RMS. E com a frequência de 8kHz no sistema de aquisição é possível a medição de perturbações a partir de 130us. Todo este sistema de amostras é executado de forma simultânea e contínua para todas as grandezas e eventos.

PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição – PRODIST, são normas que regulam o relacionamento entre as distribuidoras de energia elétrica e demais agentes (unidades consumidoras e centrais geradores).

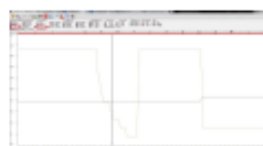
Segundo a ANEEL, são consideradas como características imprescindíveis da qualidade, conforme o módulo 8, os seguintes parâmetros elétricos, respeitando limites estabelecidos:

- Tensão em regime permanente;
- Flutuação de tensão (FLICKER);
- Fator de potência;
- Variações de tensão de curta duração (VTCD);
- Harmônicos;
- Variação de frequência;
- Desequilíbrio de tensão;



ENTRADAS ANALÓGICAS

O RE7000 possui como módulo opcional, dois canais para medição de sinais CC, sendo um canal para tensão, abrangendo medições entre 0 e 10Vcc, e um canal de corrente, abrangendo de 4 a 20mAcc.



CONECTIVIDADE

A linha RE7000 possui diversos opcionais de comunicação, entre elas, a conectividade remota do módulo 4G, onde é possível conectar-se ao equipamento de qualquer computador com acesso a internet e visualizar as grandezas em tempo real, além de parametrizar e descarregar as medições. Também com opcionais de comunicação WiFi e adaptador USB/ETHERNET.

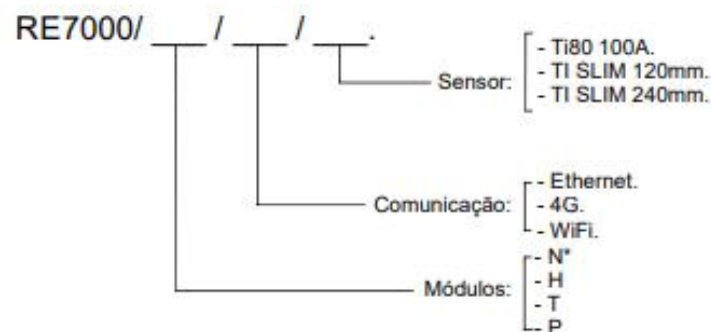


EMBRASUL

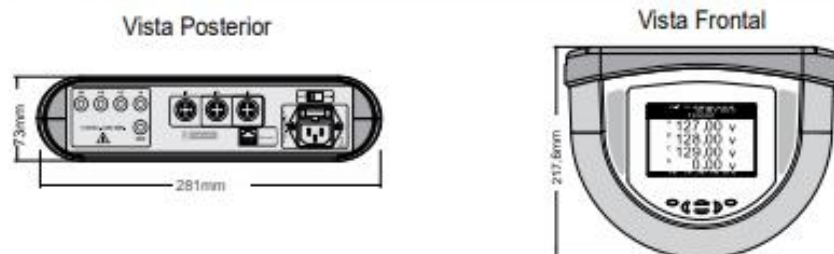
4. Acessórios (Acompanham Analisador)



5. Escolha sua configuração

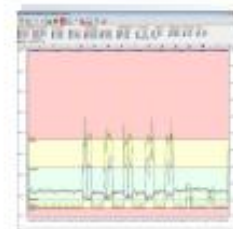


6. Dimensões



7. Software de análise ANL7000

O software de análise ANL7000 para tratamento dos dados coletados acompanha este produto. Compatível com Windows 7 e superiores, este software permite gerar gráficos, tabelas e relatórios nas mais diversas formas, além de simulações e outras opções de análise. Para informações detalhadas consulte o catálogo específico do ANL7000.



8. Especificações Técnicas

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Alimentação auxiliar ou pela medição de tensão	
Faixa Vac:	70 a 500Vac (Fase/Neutro)
Consumo:	5VA
Entradas de tensão	
Número de entradas:	3 (VA,VB,VC) ou 4 (VA,VB,VC,VN)*
Faixa de Medição:	50 a 500Vac (Fase-Neutro) 866V (F-F)***
Resolução:	0,01V
Precisão:	0,2%
Sobrecarga de tensão:	+10% valor máximo durante 1 segundo.
Impedância de entrada:	2M Ω
Amplitude de banda:	2460Hz
***Para equipamento com medição até 1000V consulte opcional	Opcional
Entradas de corrente	
Número de entradas:	3 (IA,IB,IC) ou 4 (IA,IB,IC,IN)*
Tipo:	Sensor flexível** ou TI80
Faixa de medição:	Com sensor flexível: 0,1A a 3000A Com TI150: 0,1A a 150A
* Para equipamento com módulo (N) de medição de Neutro.	Opcional
Resolução:	0,01A
Precisão:	0,2% + precisão do sensor de corrente
Amplitude de banda:	1500Hz
Frequência nominal	
Frequência:	45 a 70Hz
Resolução:	0,01Hz
Precisão:	$\pm 0,01$ Hz
Combinações de fiação	
Monofásicas:	2F
Bifásicas:	2F, 3F
Trifásicas:	3F, 4F e 5F
PARÂMETROS MEDIDOS (4 quadrantes)	
Tensões:	Por fase e trifásicas
Correntes:	Por fase e trifásicas
Desequilíbrios:	Percentuais de desbalanceamentos entre as fases de tensão (NEMA e IEC)
Potências:	Ativas, reativas e aparentes por fase e totais
Precisão das potências:	$\pm 0,5\%$ + precisão do sensor de corrente
Fator de potência:	Indutivo e capacitivo
Faixa do FP:	0,001 até 1 indutivo e 0,001 até 1 capacitivo
Precisão do FP:	$\pm 0,5\%$

Especificações Técnicas

Fator de deslocamento:	Indutivo e capacitivo
Precisão do FP:	±0,5%
Distorções:	DHTi, DHTv, TDD, DHT GLOBAL
CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS	
Para módulo H (Harmônicas)	
Ordens medidas:	1° (fund) até 41° (pares e ímpares) Conforme IEC 61000-4-7
Ângulo de fase:	0° a 360°
ANL7000:	Formas de onda
	Planilhas pré configuradas
	Gráficos e relatório pré-definidos
	Filtro de extremos em V ou I Para todas as fases
Histogramas (Espectro harmônico):	Percentuais e valores absolutos
Para módulo T (Captura de Transientes)	
Distúrbios de tensão:	Até 700V (F-N) de pico
Duração mínima detectada:	130i s
Para módulo P (Conformidade com Prodist)*	
Flicker:	PST e PLT conforme IEC61000-4-15
Harmônicas:	1° (fund) até 41° (pares e ímpares) conforme módulo 8 do PRODIST da ANEEL
VTCD (Variações de tensão de curta duração):	Data, hora, magnitude, duração, classificação do evento (Afundamentos "SAG", Elevações "SWELL" e Interrupções) [Momentâneos ou temporários] Conforme módulo 8 do PRODIST da ANEEL
*Este módulo atende INTEGRALMENTE todas as exigências especificadas pelo módulo 8 dos procedimentos de distribuição da ANEEL (PRODIST)	
NORMAS	
Métodos de medição utilizados:	IEC 61000-4-30 (Classe S)
Flicker:	IEC 61000-4-15
Harmônicos:	IEC 61000-4-7
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS	
Sistema de amostragem	
Resolução:	128 amostras por ciclo (Simultaneamente em todos os canais)
Intervalo de integração:	De 200 milissegundos a 15 minutos
Memória para registros	
Capacidade da memória interna:	2GB
Autonomia:	Integração em 1 segundo: superior a 2 semanas*
	Integração em 10 minutos: 24 anos*