

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

HENRIQUE TAVARES SCHUBERT

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE REDE ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA  
E SUA ESTRUTURA**

Porto Alegre  
2025

HENRIQUE TAVARES SCHUBERT

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE REDE ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA  
E SUA ESTRUTURA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2025

## **AGRADECIMENTO**

À diversas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que este projeto se tornasse realidade devo meu profundo agradecimento.

Agradeço aos meu pais, Luis Henrique e Zorika, que sempre me incentivaram e entenderam os momentos de dedicação ao projeto. Também agradeço ao restante dos meus familiares por todo apoio durante este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Luiz Tiarajú, por toda paciência e dedicação que foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Agradeço a empresa onde trabalho por toda ajuda e liberdade para realização do projeto em suas dependências.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente me apoiaram para o desenvolvimento deste trabalho e durante a minha trajetória acadêmica.

## RESUMO

Esse projeto de diplomação tem como objetivo realizar um levantamento da instalação elétrica de uma indústria de produtos químicos, assim como analisar a instalação elétrica dela, mapeando infraestrutura, painéis e o uso de transformador, gerando diagramas e plantas baixas atualizadas para uso em projetos futuros, entre outros objetivos específicos. Em suma, foi dado o enfoque na identificação dos pontos de vulnerabilidade elétrica da planta como cabeamentos subdimensionados, infraestrutura fora de norma, e a qualidade da energia elétrica nas instalações da fábrica visando melhorar o consumo.

**Palavras-chave:** *Engenharia Elétrica. Qualidade de Rede Elétrica. Estruturas Elétricas. Indústria Química.*

## **ABSTRACT**

*This diploma project aims to conduct a survey of the electrical installation of a chemical products industry, as well as analyze its electrical system, mapping the infrastructure, panels, and transformer usage. The project also includes the generation of updated diagrams and floor plans for use in future projects, among other specific objectives. In summary, the focus was placed on identifying the electrical vulnerabilities of the plant, such as undersized cables, non-compliant infrastructure, and the quality of electrical energy in the factory's installations, with the goal of improving energy consumption.*

**Keywords:** *Electrical Engineering. Power Quality. Electrical Structures. Chemical Industry.*

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Exemplos de distúrbios elétricos.
- Figura 2 – Interrupção de tensão.
- Figura 3 – Afundamento de tensão (SAG).
- Figura 4 – Elevações de tensão (SWELL).
- Figura 5 – Flutuação de tensão.
- Figura 6 – Onda fundamental e ondas com harmônicas.
- Figura 7 – Forma de onda e espectro do sinal distorcido.
- Figura 8 – P55 – Analisador Portátil de Qualidade de Energia.
- Figura 9 – Flir E4 Wi-Fi – Câmera termográfica portátil.
- Figura 10 – Exemplo de imagem fotográfica.
- Figura 11 – Exemplo de imagem termográfica.
- Figura 12 – Exemplo gráfico gerado pelo software de análise.
- Figura 13 – Diagrama unifilar da planta na inauguração.
- Figura 14 – Diagrama unifilar da planta atualizado.
- Figura 15 – Eletroduto com taxa de ocupação inadequada.
- Figura 16 – Eletrocalha superlotada, desorganizada e sem tampa.
- Figura 17 – Emenda de cabeamento fora de padrão e em local inadequado.
- Figura 18 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 1.
- Figura 19 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 12.
- Figura 20 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 11.
- Figura 21 – Análise termográfica do disjuntor geral do painel 08.
- Figura 22 – Análise termográfica painel 08.
- Figura 23 – Modo de instalação do analisador.
- Figura 24 – Pontos de análise da qualidade de energia.
- Figura 25 – Potência ativa trifásica e potência aparente trifásica no ponto 1.
- Figura 26 – Fator de potência das fases A, B e C e fator de potência médio no ponto 1.
- Figura 27 – Correntes A, B e C e desequilíbrio de corrente no ponto 1.
- Figura 28 – Espectro de harmônicas de tensão das fases A, B e C no ponto 1.
- Figura 29 – Espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C no ponto 1.
- Figura 30 – Potência aparente trifásica, fatores de potência das fases A, B e C e fator de potência médio no ponto 2.

Figura 31 – Correntes A, B e C e desequilíbrio de corrente no ponto 2.

Figura 32 – Potência aparente trifásica, fatores de potência das fases A, B e C e fator de potência trifásico no ponto 3.

Figura 33 – Espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C no ponto 2.

Figura 34 – Potência aparente trifásica, fatores de potência das fases A, B e C e fator de potência médio no ponto 3.

Figura 35 – Comparação de eletrocalhas.

Figura 36 – Comparação de painéis elétricos.

Figura 37 – Potência reativa necessária para correção do FP do ponto 2.

Figura 38 – Potência reativa necessária para correção do FP do ponto 3.

Figura 39 – Plano diretor planejado.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação da tensão em regime permanente.

Quadro 2 – Classificação das variações de tensão de curta duração.

Quadro 3 - Estratificação dos parâmetros amplitude e duração para contabilização de eventos de VTCD.

Quadro 4 – Estratificação das VTCD com base nos níveis de sensibilidade das diversas cargas.

Quadro 5 - Fatores de ponderação e Fator de Impacto Base de acordo com a tensão nominal ( $V_n$ ).

Quadro 6 – Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão Indicador.

Quadro 7 - Limites para flutuação de tensão.

Quadro 8 – Sequência dos componentes harmônicos.

Quadro 9 - Indicadores de distorções harmônicas.

Quadro 10 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

Quadro 11 – Classificação técnica dos aquecimentos medidos e a determinação da providência.

Quadro 12 – Fator de correção de velocidade do vento.

Quadro 13 – Resumo das verificações de análise de painéis elétricos.

Quadro 14 – Fator de elevação da temperatura dos componentes analisados.

Quadro 15 – Classificação dos eventos de VTDC.

Quadro 16 – Estratificação dos dados registrados.

Quadro 17 – Valor do indicador FD95%.

Quadro 18 – Valores de Pst95% das tensões A, B e C.

Quadro 19 – Valores de distorção harmônica individual, de tensão máxima, média e percentil 95% para as fases A, B e C no ponto 1.

Quadro 20 – Valores de distorção harmônica total de tensão, para percentil 95%, máximo e médio das fases A, B e C no ponto 1.

Quadro 21 – Valores de distorção harmônica individual, de corrente máxima, média e percentil 95% para as fases A, B e C no ponto 1.

Quadro 22 – Valor do indicador FD95% no ponto 2.

Quadro 23 – Valores de Pst95% das tensões A, B e C.

Quadro 24 – Valores de distorção harmônica total de tensão, para percentil 95%, máximo e médio das fases A, B e C no ponto 2.

Quadro 25 – Classificação térmica dos componentes medidos e a determinação da providência

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica  
A Amperes  
AT Alta tensão  
BT Baixa tensão  
CA Corrente alternada  
CC Corrente contínua  
DEC Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora  
DTT Distorção harmônica total de tensão  
EPI Equipamentos de Proteção Individual  
FEC Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora  
FP Fator de Potência  
IEC Comissão Eletrotécnica Internacional  
ISO Organização Internacional de Normalização  
kV Quilovolt  
kVA Quilovolt-ampère  
kVAr Quilovolt-ampère reativo  
MT Média tensão  
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PRODIST Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional  
QDC Quadro de cargas  
QDF Quadro de força  
QEE Qualidade da Energia Elétrica  
QGBT Quadro Geral de Baixa Tensão  
SEP Sistema Elétrico de Potência  
THD Distorção harmônica total  
TR Tensão de referência  
V Volts  
VTCD Variação de Tensão de Curta Duração

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 AS REDES ELÉTRICAS BRASILEIRAS .....	14
2.2 AS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS CONFORME NBR 5410 .....	15
2.3 QUALIDADE DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA.....	16
<b>2.3.1 Distúrbios Elétricos</b> .....	16
<b>2.3.2 Termografia na Qualidade da Instalação</b> .....	33
<b>3METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
3.1 MÉTODOS .....	36
3.2 MATERIAIS .....	37
3.2.1 Local de aplicação .....	37
3.2.2 Sistemática de análise .....	39
3.2.3 Instrumento de análise da qualidade da energia elétrica.....	39
3.2.4 Instrumento de análise termográfica .....	40
3.2.4 Registros da vistoria e análise .....	41
<b>4ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>45</b>
4.1 AVALIAÇÃO DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA .....	47
4.1.1 Avaliação da infraestrutura e quadros elétricos.....	49
4.1.2 Avaliação termográfica de quadros elétricos.....	53
4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA .....	57
4.2.1 Avaliação da qualidade de energia no ponto 1.....	59
4.2.2 Avaliação da qualidade de energia no ponto 2.....	70
4.2.3 Avaliação da qualidade de energia no ponto 3.....	78
4.3 PONTOS CRÍTICOS COM NECESSIDADES DE ADEQUAÇÕES.....	80
4.3.1 Adequações necessárias na infraestrutura .....	80
4.3.1 Adequações necessárias a partir das imagens termográficas.....	82
4.3.1 Adequações necessárias para melhoria na qualidade da energia elétrica .....	83
4.4 PLANEJAMENTO PARA O FUTURO .....	85
<b>5CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>87</b>
<b>6REFERÊNCIAS</b> .....	<b>88</b>
<b>7APÊNDICES</b> .....	<b>90</b>
<b>APÊNDICE A – VERIFICAÇÕES PARA ANÁLISE DE PAINÉIS ELÉTRICOS</b> .....	<b>91</b>

<b>8ANEXOS.....</b>	<b>92</b>
ANEXO 1 – DATASHEET DO EQUIPAMENTO ANALISADOR P55 .....	93
ANEXO 2 – DATASHEET DA CÂMERA TERMOGRÁFICA PORTÁTIL FLIR E4 WIFI .....	100

## 1 INTRODUÇÃO

A correta utilização da energia é essencial para o desenvolvimento humano e sua ampla empregabilidade em processos e equipamentos para a produção de insumos e serviços necessários, sendo de grande importância a execução de sua análise a fim de evitar problemas ambientais e econômicos relacionados ao emprego ineficiente da energia elétrica e seu desperdício, proporcionando a identificação e resolução de problemas em seus componentes e funcionamento e permitir o aproveitamento máximo da energia. (SANTOS, 2015).

O estudo da eficiência energética envolve a avaliação das instalações elétricas e da qualidade da energia elétrica presente nas mesmas, podendo ser realizado em benefício dos diferentes tipos de consumidores de energia elétrica, especialmente no setor industrial, responsável por uma grande parte do consumo de energia elétrica do país. (SANTOS, 2015).

De acordo com Copel (2005, p.1) “na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, com a consequente melhoria da qualidade dos produtos fabricados”.

As normas para as Instalações Elétricas de Baixa Tensão são orientadas pela NBR 5410, as quais são adotadas em todas as instalações elétricas com tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada (CA) ou 1500 V em corrente contínua (CC), e estipula diretrizes para as instalações elétricas de baixa tensão, com o objetivo de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a preservação dos bens, devendo ser executadas manutenções periódicas, conforme o tipo de instalação necessita. (ABNT, 2004; FERRAZ, 2016).

No âmbito industrial, os responsáveis técnicos pelo gerenciamento da energia devem buscar métodos mais eficientes para as instalações, os sistemas e os equipamentos, bem como executar a avaliação do consumo e da demanda de energia e suas instalações necessárias para atender suas demandas atuais e futuras. (ZOTESSO, 2019).

Nesse sentido, a qualidade da rede elétrica é fundamental para garantir o bom funcionamento das atividades em uma indústria química. Problemas como oscilações de tensão, quedas de energia, sobrecargas, entre outros, podem resultar em perdas

financeiras significativas, interrupção da produção, danos a equipamentos e até mesmo colocar em risco a segurança dos trabalhadores.

A indústria química estudada, localizada no município de Nova Santa Rita/RS, realizou ampliações em sua área desde sua implantação inicial em 2012, aumentou sua capacidade produtiva e, para tal, realizou a instalação de mais equipamentos, aumentando a rede elétrica e o consumo energético, possuindo ainda projetos de expansão em um futuro próximo, os quais demandarão maior consumo de energia e atualização destas instalações.

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa foi realizar a avaliação da instalação elétrica e sua qualidade em uma indústria química. Para tanto, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) analisar a instalação elétrica da indústria e sua qualidade;
- b) identificar os pontos de vulnerabilidade elétrica da planta;
- c) avaliar a qualidade da energia elétrica e possíveis distúrbios elétricos;
- d) sugerir ações para a melhoria imediata da qualidade da rede elétrica;
- e) propor ações considerando a ampliação da indústria em seus projetos futuros de curto, médio e longo prazos.

Dessa forma, esse estudo se justifica pela importância do entendimento sobre a qualidade das redes elétricas e sua estrutura na indústria química. Esse conhecimento é essencial para garantir a manutenção plena do funcionamento da planta.

A análise da qualidade de energia e a correção dos problemas diagnosticados são passos fundamentais. Esses aspectos, aliados à correta distribuição da demanda durante os horários de funcionamento, tornam-se ainda mais relevantes.

Além disso, o adequado dimensionamento da subestação da fábrica pode proporcionar uma maior economia no consumo de energia.

Essa pesquisa também possui relevância acadêmica, para servir de referencial para pesquisas e atividades futuras no ramo da engenharia elétrica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 AS REDES ELÉTRICAS BRASILEIRAS

As redes elétricas brasileiras são responsáveis por garantir o fornecimento de energia elétrica para todo o país, atendendo a diversos setores, como residencial, industrial e comercial.

O sistema elétrico brasileiro é complexo e possui características regionais distintas, com diferentes fontes de energia, como hidrelétricas, termelétricas, eólicas e solares. A coordenação e regulação das atividades relacionadas ao sistema elétrico são de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem como objetivo garantir a qualidade e a segurança do fornecimento de energia elétrica para a população.

A energia gerada nas usinas, sejam térmicas, hidráulicas, nucleares, eólicas, solares, etc., deve ser transferida para os centros das cidades - onde é consumida a maior parte da energia elétrica. Por isso é necessário construir redes elétricas - caso contrário a energia produzida não teria chance de chegar ao seu destino final. (ABRADEE, 2021).

Saindo das usinas e seus geradores, a eletricidade é transportada por cabos aéreos, fixados a torres metálicas. Os transmissores de energia geralmente dominam as linhas de transmissão de tensão mais alta. As distribuidoras de energia elétrica possuem redes de baixa tensão, para que possam levar energia de tensão mais baixa e segura aos clientes em sua área de concessão (ABRADEE, 2021).

Os sistemas de transmissão de energia consistem em subestações de transformação equipadas com transformadores e dispositivos de proteção e controle, além de linhas de energia. (ABRADEE, 2021).

Devem ser respeitadas as múltiplas dimensões da qualidade do atendimento: confiabilidade, adequação e agilidade no atendimento. A qualidade depende da colaboração de muitas partes interessadas, incluindo produtores, emissoras e distribuidores.

As interrupções no fornecimento de energia são avaliadas através de índices que analisam os parâmetros de frequência e duração das interrupções nos consumidores, as métricas são calculadas para interrupções de mais de 3 minutos, os

indicadores são classificados da seguinte forma:

DEC (Intervalo de tempo que, em média, no período de apuração, em cada unidade consumidora do conjunto considerado ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica);

FEC (Número de interrupções ocorridas, em média, no período de apuração, em cada unidade consumidora do conjunto considerado);

DIC (Intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica);

FIC (Número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão).

## 2.2 AS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS CONFORME NBR 5410

Uma instalação elétrica se constitui de “um conjunto de componentes elétricos associados e coordenados entre si, composto para um fim específico”, os quais podem ser condutores de eletricidade, ou não, mas possuem igual importância para sua operação, a exemplo os quadros, caixas de passagem e eletrodutos. (COTRIM, 2006).

As instalações elétricas são executadas a partir do projeto elétrico, que compreende os detalhes, a localização de pontos de utilização da eletricidade, os comandos, as características e trajeto de condutores, a divisão de circuitos, as cargas, entre outros (CREDER, 2016). Para garantir a segurança e eficácia do projeto e das instalações elétricas, estes devem ser realizados em acordo com as prescrições das normas técnicas aplicáveis. A Norma NBR 5410: 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão. Esta Norma estabelece 1.000 volts como limite para a baixa tensão em corrente alternada e 1.500 volts para corrente contínua e se aplica à uma frequência máxima de 400 Hz. A aplicação correta das normas técnicas, especificação e uso de materiais adequados e montagem seguindo fielmente o projeto elétrico são imprescindíveis para o funcionamento adequado das instalações industriais. Segundo dados da Abracopel (2018), em 2017 foram registrados 1.302 acidentes de origem elétrica no Brasil, por choque elétrico ou incêndio por curto-circuito, dos quais resultaram em 627 mortes.

## 2.3 QUALIDADE DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A qualidade da instalação elétrica está diretamente relacionada à qualidade da energia resultante da qualidade de tensão, da corrente e da frequência, de modo que alterações na qualidade de tensão decorrem do desvio da tensão ideal e problemas da qualidade de corrente constituem desvios da corrente ideal: senoidal de frequência e amplitude constante em ambos. Portanto, são identificadas má qualidade elétrica quando ocorrem distúrbios ou problemas nesses três fatores (tensão, corrente ou frequência) produzindo falhas ou mau funcionamento dos equipamentos de clientes/consumidores. (SUED, 2017)

A análise da qualidade da energia elétrica aparece tornou-se um processo essencial para garantir que a instalação esteja funcionando adequadamente e que não existam riscos para a segurança dos consumidores, e perante a sofisticação tecnológica e a constatação de interrupções no fornecimento de energia, esta avaliação é necessária (MEHL, 2013).

Para realizar a análise da qualidade de uma instalação elétrica e identificar os distúrbios elétricos, é necessário realizar testes e medições utilizando equipamentos específicos. Com base nos resultados obtidos, é possível identificar as causas dos distúrbios elétricos e adotar medidas corretivas para evitar problemas futuros. Além disso, a análise da qualidade de uma instalação elétrica também pode ajudar a identificar áreas de melhoria e otimizar a eficiência energética.

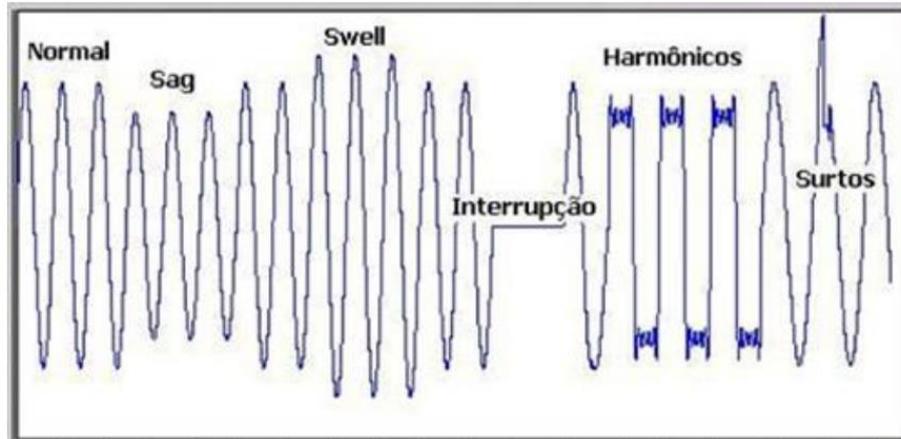
O Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) elaborado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é considerado referência quanto aos procedimentos relativos à qualidade de energia (qualidade do produto e serviços prestados), apresentando parâmetros, valores de referência e estabelecendo a metodologia para apuração dos indicadores da qualidade.

### 2.3.1 Distúrbios Elétricos

Sued (2017) refere que a qualidade de uma instalação elétrica pode ser afetada por diversos fatores, designado distúrbio elétrico, classificados conforme suas características principais em sete grupos, os quais são definidos pela ANEEL: tensão de regime permanente, variações de tensão de curta duração (*SAG/SWELL*), fator de

potência, desequilíbrio de tensão, distorções harmônicas, flutuação de tensão (Flicker) e variação de frequência. (ANEEL, 2021). A Figura 1 representa estas categorias.

Figura 1 - Exemplos de distúrbios elétricos



Fonte: Eletron Energia (2023)<sup>1</sup>.

### 2.3.1.1 Variações na tensão de regime permanente

Esse distúrbio elétrico ocorre quando a tensão aplicada ao equipamento é incompatível com a tensão projetada. O problema pode gerar defeitos ou causar a inutilização do equipamento. Por isso, é essencial executar medidas para controlar a tensão. É necessário identificar a faixa aceitável de variações que não prejudiquem o sistema. Quando há variações de tensão, deve-se realizar sua regularização. (VILELA, 2018")

Nesse sentido, Vilela (2018) descreve que devem ser executadas leituras utilizando equipamentos de medição apropriados. Esses equipamentos devem ser regulamentados pela ANEEL. As leituras devem ocorrer nos pontos de conexão da Rede de Distribuição. Também devem ser realizadas nos pontos de conexão entre distribuidoras e nos pontos de conexão com consumidores. Os valores identificados devem ser comparados com os valores de referência estabelecidos pelo PRODIST. Além disso, é necessário considerar a tensão contratada no ponto de conexão. A tensão pode ser classificada como adequada, precária ou crítica, conforme o quadro 1.

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.eletronenergia.com.br/qualidade-de-energia-eletrica/>

Quadro 1 – Classificação da tensão em regime permanente

Tensão de Atendimento	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL)	
	380 V	220 V
Adequada	$350 \leq TL \leq 399$	$202 \leq TL \leq 231$
Precária Inferior	$331 \leq TL < 350$	$191 \leq TL < 202$
Precária Superior	$399 < TL \leq 403$	$231 < TL \leq 233$
Crítica Inferior	$TL < 331$	$TL < 191$
Crítica Superior	$TL > 403$	$TL > 233$

Fonte: ANEEL (2021).

Após executar as leituras válidas devem ser calculados o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC) (VILELA, 2018), entretanto, as equações para tais cálculos não serão abordadas neste estudo, visto que este distúrbio elétrico não foi avaliado.

#### 2.3.1.2 Fator de Potência

O fator de potência refere-se à relação entre a potência ativa, medida em kW, e a potência aparente, medida em kVA. Ele é um indicador da eficiência com que a potência ativa é transferida para a carga. Quanto maior o consumo de energia reativa, menor será o fator de potência. Entretanto, essa definição é inválida em instalações com altos índices de distorção harmônica. Nesses casos, as ondas de tensão e corrente não possuem características senoidais puras. (ZOTESSO, 2019).

A ANEEL (2021) refere que o fator de potência no ponto de conexão mínimo deve ser de 92%, ou seja, deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de forma que a concessionária de energia deverá reajustar os valores da fatura de energia nos casos em que o fator de potência da indústria esteja abaixo deste valor de referência. (RIOS, ALMEIDA, 2016).

Segundo a ANEEL (2021), o valor do fator de potência (fp) é calculado a partir dos valores registrados das potências ativa (P) e reativa (Q) ou das respectivas energia ativa (EA) e energia reativa (ER), utilizando-se as equações abaixo descritas, entretanto, instrumentos de análise da qualidade de energia, tal como o empregado neste estudo, já executam o registro destas grandezas elétricas e calculam

automaticamente o fator de potência, monofásico e trifásico, não sendo necessário emprego das equações e seu cálculo.

Na Equação 1 é mostrado o cálculo do fator de potência.

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (01)$$

A Equação 2 traz o cálculo alternativo do fator de potência.

$$fp = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (02)$$

A correção do fator de potência em instalações industriais deve ser realizada de forma criteriosa, levando em consideração as características específicas das cargas conectadas. Na presença de cargas não lineares que correspondam a mais de 20% da carga total conectada, torna-se imprescindível considerar os efeitos das componentes harmônicas no processo de correção. Nesse contexto, é recomendada a instalação de filtros harmônicos em conjunto com os capacitores, de modo a mitigar as distorções harmônicas e garantir uma correção eficaz do fator de potência. (LEÃO, 2024).

A Equação 3 apresenta o cálculo do fator de potência corrigido (fpr).

$$fpr = \frac{fp}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \quad (03)$$

### 2.3.1.3 Variação de frequência

As variações na frequência correspondem aos desvios no valor aferido da frequência do sistema elétrico. Elas refletem a velocidade de rotação dos geradores que alimentam o sistema. Pequenas variações são resultado do balanço entre carga e geração. A amplitude da variação e seu tempo estão associados às propriedades da carga. Além disso, também dependem da regulação de velocidade instalada na geração.

A presença de variações que ultrapassem a faixa aceitável da frequência é provocada, na maioria das vezes, pelo acréscimo ou retirada de cargas com alto consumo de potência do sistema ou falhas na transmissão. (VILELA, 2018).

Conforme a ANEEL (2021, p.14-15),

O sistema de distribuição e as instalações de geração a ele conectadas devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração. Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante os 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; e pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 5 segundos.

#### 2.3.1.4 Variações de tensão de curta duração (VTCD)

As variações de tensão de curta duração ocorrem quando há aumento ou redução da tensão em relação à tensão nominal. Essas variações têm um período máximo de até 1 minuto. Geralmente, são causadas pela energização de grandes cargas que consomem alta corrente de partida. Podem resultar em sobretensões, subtensões, interrupções ou outros fenômenos. Os efeitos dependem da localização e da condição do sistema elétrico. (MUNDINS, 2020; POLL, 2013).

O quadro 2 apresenta a classificação das VTCD conforme ANEEL (2021).

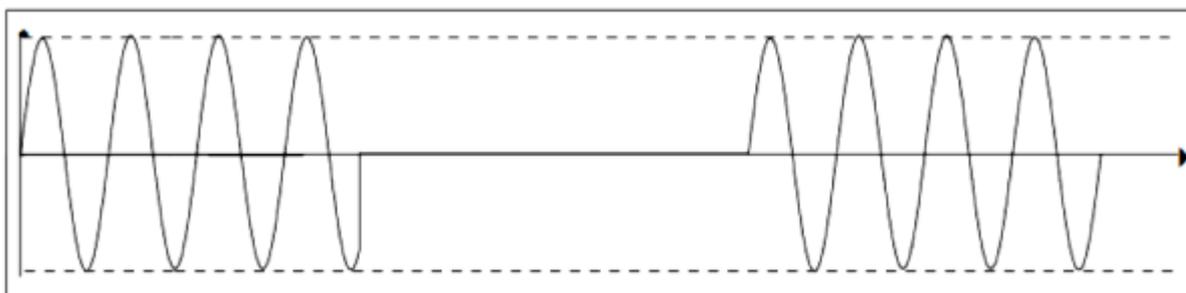
Quadro 2 – Classificação das variações de tensão de curta duração

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: ANAEEEL (2021).

A Figura 2 representa uma interrupção de tensão que, segundo MUNDINS (2020), estão relacionadas às falhas nos sistemas elétricos, falhas de equipamentos ou mau funcionamento no controle da rede elétrica, podendo ocorrer, primeiramente, um afundamento, e a conseqüente interrupção devido acionamento dos dispositivos de proteção.

Figura 2 - Interrupção de tensão

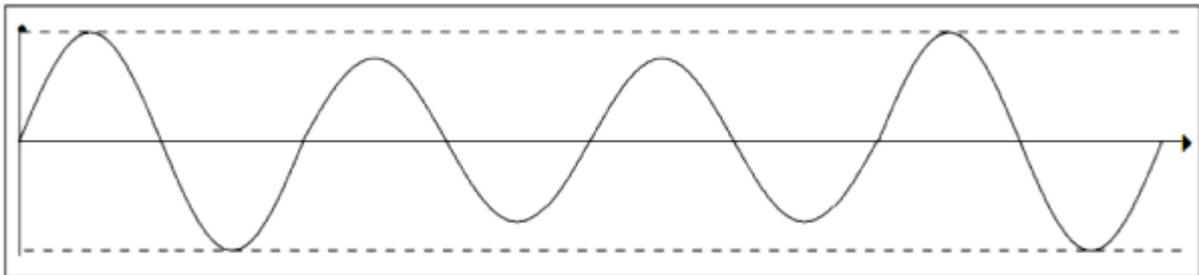


Fonte: Poll (2013).

Os afundamentos de tensão, também denominados como fenômeno *sag*, e representado na Figura 3, são originados pela conexão de cargas pesadas à rede elétrica, muito frequentes nos sistemas industriais, podendo ocorrer em decorrência

de problemas externos como tempestades, árvores em contato com a fiação elétrica e acidentes envolvendo os mesmos. (MUNDINS, 2020).

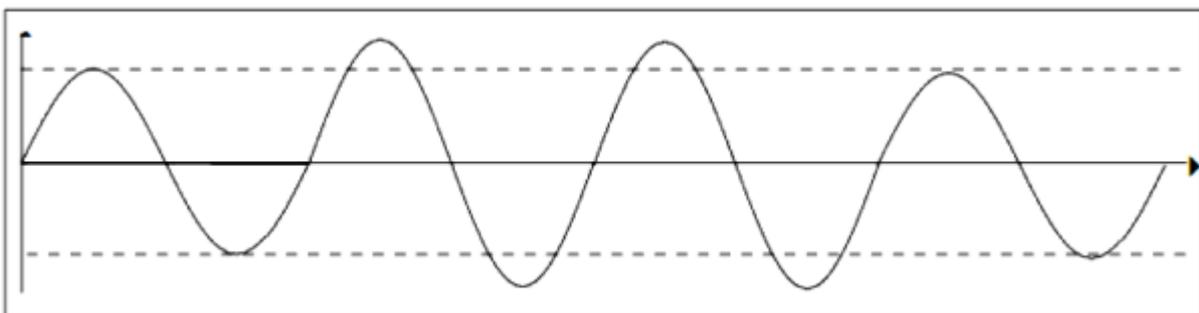
Figura 3 – Afundamento de tensão (SAG)



Fonte: Poll (2013).

Já as elevações de tensão, conhecidas como fenômeno *swell*, são causados pela desconexão de cargas pesadas da rede elétrica, mas também devido descargas atmosféricas induzidas, ocasionando danos nos componentes eletrônicos, os quais são mais sensíveis às variações de tensão. Estes são demonstrados pela Figura 4. (MUNDINS, 2020).

Figura 4 – Elevações de tensão (SWELL)



Fonte: Poll (2013).

Conforme ANEEL (2021) os indicadores de VTCD são:

a) Amplitude do evento de VTCD –  $V_e$ , a qual utiliza a seguinte fórmula:

$$V_e = \frac{V_{res}}{V_{ref}} * 100[\%] \quad (04)$$

sendo:

$V_e$  = amplitude do evento de VTCD (em %);

$V_{res}$  = tensão residual do evento de VTCD (em Volts); e

$V_{ref}$  = tensão de referência (em Volts).

b) Duração do evento de VTCD –  $\Delta t_e$ , calculado através da fórmula:

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (05)$$

sendo:

$\Delta t_e$  = duração do evento de VTDC (em milissegundos);

$t_f$  = instante final do evento de VTCD; e

$t_i$  = instante inicial do evento de VTCD.

c) Frequência de ocorrência de eventos de VTCD –  $f_e$ , identificada com a aplicação da fórmula:

$$f_e = n \quad (06)$$

sendo:

$f_e$  = frequência de ocorrência de eventos de VTCD; e

$n$  = quantidade de eventos de VTCD registrados no período de avaliação.

d) Fator de Impacto – FI, utilizando a fórmula:

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} * f_{pondi})}{FI_{base}} \quad (07)$$

sendo:

$f_{ei}$  = frequência de ocorrência de eventos de VTCD, apurada por meio de medição apropriada, em um período de 30 dias consecutivos, para cada região de sensibilidade  $i$ , sendo  $i = A, B, C, D, E, F, G, H$  e  $I$ ;

$f_{pondi}$  = fator de ponderação para cada região de sensibilidade  $i$ , estabelecido de acordo com a relevância do evento, correlacionando sua amplitude e duração;

$FI_{base}$  = Fator de Impacto base, obtido do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em um período de 30 dias de VTCD para cada região de sensibilidade.

O registro dos eventos de variação de tensão de curta duração, em termos de duração e amplitude, deve ser realizado conforme estratificação apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Estratificação dos parâmetros amplitude e duração para contabilização de eventos de VTCD

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15							
(1,10 - 1,15]							
(0,85 - 0,90]							
(0,80 - 0,85]							
(0,70 - 0,80]							
(0,60 - 0,70]							
(0,50 - 0,60]							
(0,40 - 0,50]							
(0,30 - 0,40]							
(0,20 - 0,30]							
(0,10 - 0,20]							
≤ 0,10							

Fonte: ANEEL (2021).

O Quadro 4 apresenta a estratificação do Quadro 3 em nove regiões de sensibilidade, visando correlacionar a importância de cada evento de VTCD com os níveis de sensibilidade das diferentes cargas conectadas aos sistemas de distribuição, em média e alta tensão. (ANEEL, 2021).

Quadro 4 – Estratificação das VTCD com base nos níveis de sensibilidade das diversas cargas

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15	REGIÃO H			REGIÃO I			
(1,10 - 1,15]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A						
(0,80 - 0,85]	REGIÃO A						REGIÃO G
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B	REGIÃO D		REGIÃO G			
(0,60 - 0,70]	REGIÃO B	REGIÃO D		REGIÃO G			
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C	REGIÃO D		REGIÃO F			
(0,40 - 0,50]	REGIÃO C	REGIÃO D		REGIÃO F			
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,20 - 0,30]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,10 - 0,20]	REGIÃO E			REGIÃO F			
≤ 0,10	REGIÃO E			REGIÃO F			

Fonte: ANEEL (2021).

O Fator de Ponderação – fpond para cada região de sensibilidade e o Fator de Impacto base – Flbase são indicados no Quadro 5.

Quadro 5 - Fatores de ponderação e Fator de Impacto Base de acordo com a tensão nominal ( $V_n$ )

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação ( $f_{pond}$ )	Fator de Impacto Base ( $FI_{BASE}$ )	
		$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Fonte: ANEEL (2021).

No planejamento do sistema de distribuição, utiliza-se o valor de referência para os indicadores de VTCD como parâmetro de comparação.

### 2.3.1.5 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão está ligado à distribuição incorreta das cargas entre as fases do sistema, determinado pela diferença dos valores de tensão de uma instalação elétrica através da variação desigual da amplitude das tensões trifásicas, ou na defasagem elétrica de  $120^\circ$  entre as tensões de fase do mesmo sistema, resultado da má distribuição das fases em consumidores monofásicos, gerando uma sequência negativa, e/ou resultado da não utilização adequada, pelos consumidores trifásico, do balanceamento das fases em suas instalações. (VILELA, 2018; POLL, 2013).

O indicador a ser comparado com os limites é o FD95%, que representa o valor do Fator de Desequilíbrio de Tensão – FD% que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas. (ANEEL, 2021). A equação para o cálculo do indicador FD% é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} * 100[\%] \quad (08)$$

sendo:

FD% = fator de desequilíbrio de tensão;

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

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

Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão FD95% estão apresentados no quadro 6, e correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição. (ANEEL, 2021). Este indicador é medido e calculado pelo instrumento avaliador da qualidade elétrica utilizado neste estudo.

Quadro 6 – Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão Indicador

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%

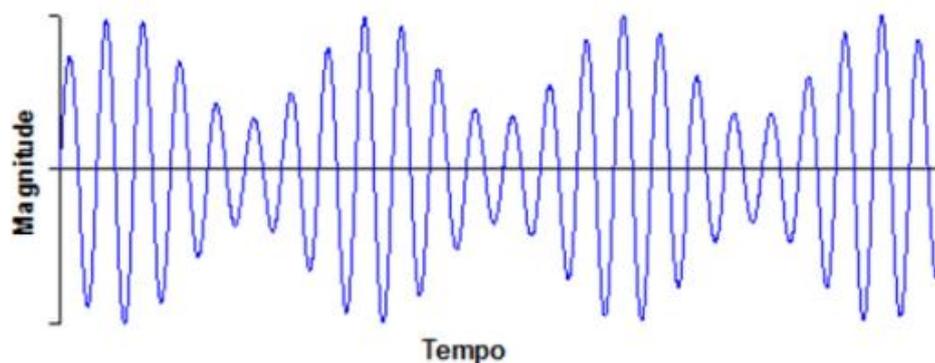
Fonte: ANEEL (2021).

### 2.3.1.6 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão é a variação aleatória, repetitiva ou esporádica da tensão em relação ao seu valor eficaz ou de pico. Geralmente, é causada por variações de carga no sistema, provocadas por equipamentos como bombas, compressores e elevadores. Essa flutuação gera instabilidades de potência em motores elétricos e perturbações em sistemas de proteção. Também causa redução no rendimento de equipamentos e o conhecido efeito de cintilação luminosa, ou *flicker*. O *flicker* provoca incômodos e sensação desagradável na visão. Pode gerar irritabilidade, desconforto, fadiga e redução da concentração. (VILELA, 2018; ZOTESSO, 2019).

Segundo Vilela (2018) esse indicador é avaliado pela variação sistemática de envoltória da tensão ou uma série de variações aleatórias, em que sua magnitude se mantém entre 0,9 p.u (por unidade) e 1,1 p.u., e está representado pela Figura 5, a qual demonstra a forma de onda no momento da flutuação de tensão.

Figura 5 – Flutuação de tensão



Fonte: Vilela (2018).

A ANEEL (2021) define os indicadores de flutuação de tensão: Pst, o Plt e o Pst95%. O indicador Pst é relativo à severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos; o indicador Plt refere-se à severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão avaliada continuamente por 2 horas e; o indicador Pst95% representa o valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas. Para seu cálculo é empregada a equação:

$$Pst = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{050}} \quad (09)$$

em que:

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 nas Normas IEC (International Electrotechnical Commission): IEC 61000-4-15.

O Quadro 7 apresenta os valores máximos de flutuação de tensão desejáveis em sistema de distribuição local. (ANEEL, 2021), este indicador é medido e calculado pelo instrumento avaliador da qualidade elétrica utilizado neste estudo.

Quadro 7 - Limites para flutuação de tensão

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1kV$	$1 kV < V_n < 69kV$	$69 kV < V_n < 230kV$
Pst95%	1 pu	1,5 pu	2 pu

Fonte: ANEEL (2021).

### 2.3.1.7 Distorções harmônicas

Para Poll (2013, p.23),

[...] uma determinada forma de onda pode ser sintetizada por meio de um somatório de componentes senoidais de frequência múltipla do sinal original. Então qualquer outra forma de onda que não seja a senoidal pura é uma composição de infinitas formas de ondas senoidais, com isso a primeira é conhecida como forma de onda fundamental e as demais são múltiplas da fundamental, conhecidas como harmônicas.

Na descrição de Moreno (2001, p.11) “uma tensão ou corrente harmônica pode ser definida como um sinal senoidal cuja frequência é múltipla inteira da frequência fundamental do sinal de alimentação”.

As harmônicas causam diversos efeitos na rede. Alguns podem ser observados visualmente ou escutados. Outros são identificados por meio da medição da temperatura. Em alguns casos, é necessário utilizar equipamentos específicos para sua detecção. As principais repercussões das harmônicas em instalações incluem: acionamento de dispositivos de proteção, aquecimento excessivo de motores e transformadores, e aumento nas quedas de tensão. Também causam elevação da tensão entre neutro e terra, redução do fator de potência, presença de ressonância, vibrações e acoplamentos. (VILELA, 2018).

Campos (2016) acrescenta outros problemas originados pelas distorções harmônicas, como impactos eletromagnéticos deslocados através dos cabos ou difundidos pelo ar; o aquecimento dos cabos e; a minimização da vida útil dos equipamentos em geral.

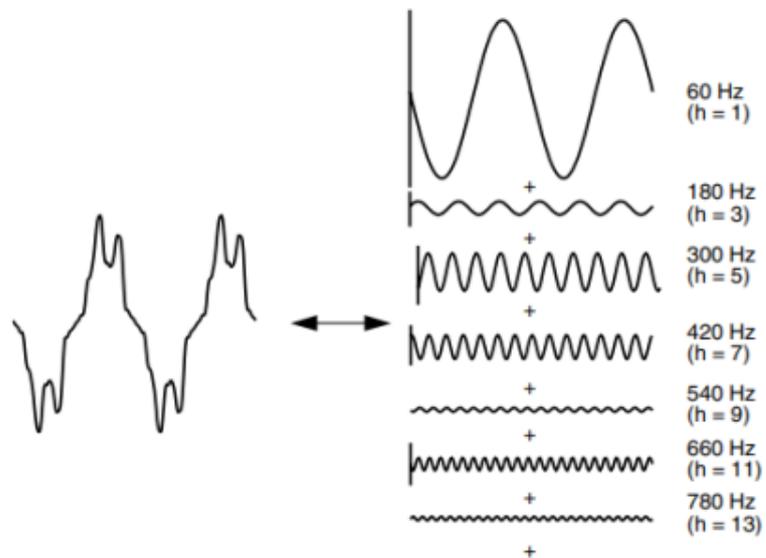
A ANEEL (2021) determina que a frequência fundamental adotada no Brasil seja de 60 Hz (sessenta Hertz), de modo que o Quadro 8 apresenta exemplos de ordens ímpares de harmônicos com suas frequências equivalentes, múltiplas de um sistema de 60 Hz, e a Figura 6 representa a influência das distorções harmônicas.

Quadro 8 – Sequência dos componentes harmônicos

Ordem	Frequência em Hz
Fundamental	60
3 <sup>o</sup>	180
5 <sup>o</sup>	300
7 <sup>o</sup>	420
9 <sup>o</sup>	540
11 <sup>o</sup>	660
13 <sup>o</sup>	780
15 <sup>o</sup>	900

Fonte: Campos (2016).

A Figura 6 – Onda fundamental e ondas com harmônicas



Fonte: Dugan et al. (2003).

O Quadro 9 apresenta os indicadores de distorções harmônicas.

Quadro 9 - Indicadores de distorções harmônicas

<b>Descrição</b>	<b>Símbolo</b>
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DTI_h\%$
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 (2021).

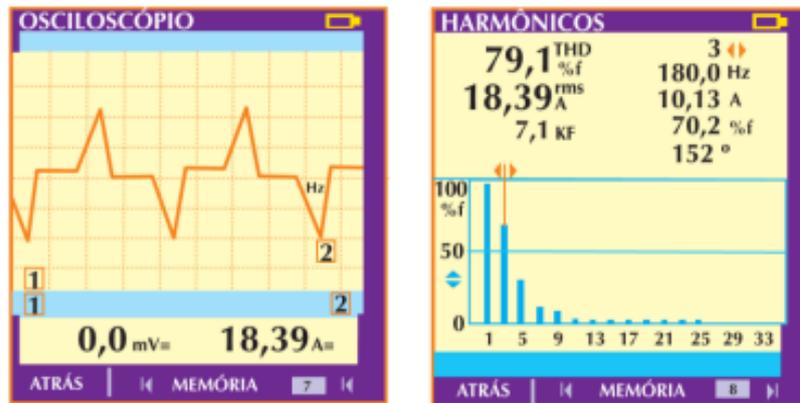
Poll (2013) descreve que “as harmônicas de ordem ímpar são as que causam maior distorção na onda da corrente e quanto menor sua frequência, maior a distorção causada”. Entendendo que os componentes harmônicos geram redução na qualidade da energia elétrica, é necessária a análise e quantificação dos efeitos das distorções harmônicas, sendo utilizados como principais indicadores o espectro harmônico, a distorção total de demanda (TDD) e a distorção harmônica total (THD), sendo este o indicador amplamente utilizado para quantificar harmônicos.

De acordo com Mundins (2020, p.24-25):

[...] o espectro harmônico exibe a distribuição de energia de um sinal em função da frequência, uma certa faixa de frequência é verificada e todos os componentes, harmônicos e inter-harmônicos do sinal, são analisados e exibidos. O espectro permite a análise do sinal através da representação de um gráfico de barras, havendo a representação de cada harmônica com sua respectiva frequência. Em instalações elétricas com predominância de corrente alternada, o espectro apresenta harmônicas de ordem ímpar, enquanto as harmônicas de ordem par são encontradas em instalações com predominância de corrente contínua.

A Figura 7 demonstra a forma de onda analisada e o espectro do sinal distorcido.

Figura 7 - Forma de onda e espectro do sinal distorcido



Fonte: Moreno (2001).

A ANEEL (2021) descreve as equações utilizadas para realização do cálculo dos indicadores DIT<sub>h</sub>%, DTT%, DTT<sub>p</sub>%, DTT<sub>i</sub>% e DTT<sub>3</sub>% são as seguintes:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} * 100[\%] \quad (10)$$

sendo:

$V_h$  = tensão harmônica de ordem  $h$ ;

$h$  = ordem harmônica individual; e

$V_1$  = tensão fundamental medida

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} * 100[\%] \quad (11)$$

sendo:

$h$  = 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  $h$ ; e

$V_1$  = tensão fundamental medida.

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}}{V_1} * 100[\%] \quad (12)$$

sendo:

$h$  = 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  $h$ ; e

$V_1$  = tensão fundamental medida.

$$DTTi\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}}{V_1} * 100[\%] \quad (13)$$

sendo:

$h$  = 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  $h$ ; e

$V_1$  = tensão fundamental medida.

$$DTT3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}}{V_1} * 100[\%] \quad (14)$$

sendo:

$h$  = 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  $h$ ; e

$V_1$  = tensão fundamental medida.

Os limites para os indicadores das distorções harmônicas totais constam no Quadro 10, os quais correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição. (ANEEL, 2021).

Quadro 10 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal ( $V_n$ )		
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT <sub>95%</sub>	10,0%	8,0%	5,0%
DTT <sub>p,95%</sub>	2,5%	2,0%	1,0%
DTT <sub>i,95%</sub>	7,5%	6,0%	4,0%
DTT <sub>3,95%</sub>	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2021).

Schmidt (2022) relata as instruções da Aneel para a instrumentação e metodologia de medição da qualidade do produto relacionado aos indicadores de distorções harmônicas, sendo necessária a execução de 1.008 leituras válidas, ou o máximo possível que represente o funcionamento do equipamento, obtidas em intervalos consecutivos (período de agregação) de 10 minutos cada, assim como após a obtenção dos registros válidos de medição, deve ser obtido um conjunto de valores para DTT, DTTp%, DTTi% e DTT3% que, devidamente tratado, conduzindo aos valores dos indicadores estatísticos DTT95%, DTTp95%, DTTi95%, DTT395%. Quanto às distorções harmônicas de corrente, não existem abordagens e para sistemas elétricos trifásicos, as medições das tensões devem ser feitas fase-neutro para sistema com estrela aterrada e fase-fase para as demais configurações.

Para avaliação desses indicadores instrumentos de avaliação da qualidade da energia elétrica, como o empregado neste estudo, realizam o registro e o cálculo da Taxa de Distorção harmônica total de Tensão e Corrente, Harmônica fundamental de Tensão e Corrente e; Taxa de distorção harmônica individual, em até 50ª harmônica de Tensão e Corrente.

### **2.3.2 Termografia na Qualidade da Instalação**

A termografia é uma técnica que amplia a capacidade de visão humana ao utilizar o espectro infravermelho. A propagação de campos elétricos e magnéticos no espaço, à velocidade da luz, gera ondas eletromagnéticas, cujo conjunto compõe o espectro eletromagnético analisado. Ela é uma ferramenta essencial no processo de diagnóstico, sendo uma das formas mais eficazes de iniciar uma análise técnica das condições das instalações elétricas em operação. (ENGELETRICA, 2024).

A termografia é uma técnica não intrusiva e não destrutiva que permite a obtenção de um termograma, representando a temperatura de um corpo por meio de uma câmera capaz de captar os raios infravermelhos emitidos. As variações de temperatura no objeto analisado geram contrastes visuais na imagem, sem a necessidade de aquecer o objeto. Por essa razão, a análise termográfica é amplamente utilizada, pois possibilita a observação remota de corpos com eficiência e segurança. (CABRAL, 2010).

O uso de uma câmera térmica facilita significativamente a identificação de regiões quentes e frias. Alguns modelos de câmeras são capazes de gerar

termogramas em faixas de temperatura que variam de 20°C a 1500°C, oferecendo imagens de alta qualidade com a possibilidade de aplicar filtros que eliminam ruídos causados, por exemplo, pela luz solar ou outras fontes de calor no ambiente. Além disso, o tamanho compacto, a leveza e a longa autonomia dos termovisores tornam sua utilização especialmente vantajosa em locais de difícil acesso. (CABRAL, 2010).

Segundo PETROBRAS (2005) para inspeção em equipamentos internos deve-se avaliar as conexões de entrada e saída dos seguintes componentes de painéis elétricos: fusíveis, disjuntores, chaves seccionadoras, garras, TPs, TCs, relés, contadoras, barramentos e semicondutores.

Para realização da classificação dos aquecimentos medidos a providência a ser tomada a PETROBRAS (2005) descreve no Quadro 11 as faixas do FET, fator de elevação de temperatura.

Quadro 11 – Classificação técnica dos aquecimentos medidos e a determinação da providência

<b>Fator de Elevação de Temperatura (FET)</b>	<b>Classificação Térmica</b>	<b>Providência</b>
0,9 ou mais	severamente aquecido	manutenção imediata
0,6 a 0,9	muito aquecido	manutenção programada
0,3 a 0,6	aquecido	em observação
até 0,3	normal	normal

Fonte: PETROBRAS (2005).

O FET é calculado a partir da seguinte equação:

$$FET = \frac{\Delta TC}{\Delta T_{m\acute{a}x}} \quad (15)$$

sendo:

FET = fator de elevação de temperatura;

$\Delta TC$  = elevação de temperatura corrigida; e

$\Delta T_{m\acute{a}x}$  = aquecimento máximo admissível.

Para definição de  $\Delta T_{m\acute{a}x}$  a equação abaixo é descrita por PETROBRAS (2005):

$$\Delta T_{m\acute{a}x} = T_{m\acute{a}x} - T_a \quad (16)$$

sendo:

$\Delta T_{m\acute{a}x}$  = aquecimento máximo admissível;

$T_{m\acute{a}x}$  = temperatura maxima admissivel para o componente; e  
 $T_a$  = temperatura ambiente no momento da medicao.

PETROBRAS (2005) define que,  $T_{m\acute{a}x}$  normalmente  especificada pelo fabricante do componente avaliado, a partir dela onde tem incio o processo de degradacao do material dele.

Para determinacao de  $\Delta TC$ , elevacao de temperatura corrigida, PETROBRAS (2005) determina que  necessrio utilizar dois fatores de correcao para os dados obtidos na anlise de campo. Um dos fatores  o FCVV, fator de correcao de velocidade do vento, apresentado no Quadro 12. A norma indica que para realizacao do ensaio termogrfico a velocidade do vento deve ser conhecida, e deve ser igual ou inferior a 7 m/s, acima disso o ensaio no  recomendado.

Quadro 12 – Fator de correcao de velocidade do vento

Velocidade do Vento (m/s)	At 1	2	3	4	5	6	7
FCVV	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23	2,39

Fonte: PETROBRAS (2005).

Outro fator utilizado  o FCC, fator de correcao de carga, onde:

$$FCC = \left( \frac{I_n}{I_m} \right)^2 \quad (17)$$

sendo:

FCC = fator de correcao de carga;

$I_n$  = carga nominal do componente avaliado (amperes); e

$I_m$  = carga medida do componente avaliado (amperes).

Neste caso os valores de FCC so validos apenas para cargas iguais ou superiores a 50 % da carga nominal.

Com os fatores conhecidos, a equacao para cculo de  $\Delta TC$  :

$$\Delta TC = (T_m - T_a) * FCC * FCVV \quad (18)$$

Onde:

$\Delta TC$  = elevacao de temperatura corrigida calculada para carga nominal (100 %);

FCC = fator de correcao de carga;

$T_m$  = temperatura medida;

$T_a$  = temperatura ambiente no momento da medicao; e

FCVV = temperatura de correcao da velocidade do vento.

### 3 METODOLOGIA

A fim de atingir o objetivo de avaliar de forma geral uma instalação elétrica e sua qualidade em uma indústria química situada no município de Nova Santa Rita/RS, foi primeiramente executado um levantamento bibliográfico das normas e parâmetros relacionados a fim de referenciar as aplicações em campo, por meio da análise das condições das instalações elétricas e a avaliação da qualidade de energia elétrica e os dados obtidos serão tabulados e apresentados, bem como serão propostas melhorias para as não conformidades encontradas.

#### 3.1 MÉTODOS

Foi realizado um estudo de campo, que envolveu a coleta de dados, a análise dos parâmetros pré-estabelecidos e a consequente definição dos efeitos resultantes em uma empresa, e em seu sistema de produção ou produto. (GIL, 2008).

Foram contempladas as seguintes etapas para o desenvolvimento do estudo:

- 1) Desenvolvimento de sistemática para análise da instalação elétrica utilizando como referência a NBR 5410/2004;
- 2) A instalação elétrica foi dividida por setores, sendo mapeados os cabeamentos, quadros de distribuição, caixas de passagem, entre outros componentes. A análise foi realizada com base em imagens termográficas de pontos críticos e foi elaborada uma relação especificamente para identificar pontos de vulnerabilidade elétrica da planta, como cabeamentos subdimensionados ou danificados, quadros sem diagramas ou desatualizados, disjuntores inadequados e infraestrutura elétrica precária.
- 3) A qualidade da energia elétrica foi avaliada para identificar possíveis distúrbios, como variações de tensão de curta e longa duração (*SAG/SWELL*), desequilíbrio de tensão, distorções harmônicas e flutuações de tensão (*Flicker*). O estudo também incluiu a análise do uso do transformador e a identificação de padrões inadequados de consumo, considerando os horários de pico e as tarifas da concessionária de energia, utilizando um Analisador Portátil de Qualidade de Energia.
- 4) Foram propostas ações imediatas para melhorar a qualidade da energia elétrica e reduzir custos com a fatura de energia, promovendo maior eficiência no consumo.
- 5) Foram elaborados diagramas e plantas baixas atualizados, contemplando estratégias para maior economia de energia e previsão de carga e demanda futura.

6) Foram determinadas ações corretivas para solucionar os problemas identificados, considerando o aumento de demanda energética ocorrido no passado e projetando um crescimento sustentável da capacidade elétrica para atender às necessidades futuras da planta.

## 3.2 MATERIAIS

### 3.2.1 Local de aplicação

O estudo foi realizado em uma indústria química localizada em Nova Santa Rita/RS. Essa empresa é fornecedora mundial de produtos químicos de processo e aditivos. Seus produtos atendem refinarias, petroquímicas, combustíveis, plásticos, lubrificantes e indústrias de estimulação de petróleo. A empresa é especializada em especialidades químicas para indústrias de hidrocarbonetos. Ela foi fundada em 1992 e possui instalações na Índia, América do Sul, Estados Unidos e Holanda.

Suas plantas são certificadas pela ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, bem como possui amplo desenvolvimento de pesquisas na área e outras inovações, e comprometimento em responsabilidade social.

Atualmente, a indústria estudada possui cerca de 50% a mais de área construída em comparação à sua implantação inicial em 2012. A quantidade de equipamentos para realizar misturas e reações mais que triplicou, com a adição de 3 reatores e 2 agitadores. Além disso, o número de equipamentos para utilidades, como compressor de ar, torre de resfriamento e caldeira, também aumentou consideravelmente.

Além disso, há projetos com previsão de aumento considerável no número de equipamentos presente na planta analisada em curto e médio prazo, como 10 novas bombas na tancagem, um novo reator, que terá um aquecedor de óleo térmico, um novo tanque com automação total entre outros, gerando grande impacto na demanda e consumo de energia.

Os incrementos realizados na infraestrutura fabril foram executados de forma escalonada e conforme a necessidade. No entanto, não foram feitos estudos sobre a capacidade elétrica da planta, especialmente do transformador atual de 300 kVA, instalado em 2012. Isso tem causado déficits operacionais, como o intertravamento do motor do maior misturador, de 75 kVA, com o motor da bomba de incêndio, também

de 75 kVA, pois a planta não possui capacidade elétrica para o funcionamento simultâneo desses dois motores.

As plantas e diagramas elétricos também não foram atualizados, o que causa grande impacto no desenvolvimento dos projetos atuais e futuros, pois nunca há certeza dos encaminhamentos elétricos da planta.

Além disso, por mais que a fábrica tenha a medição de corrente utilizada nas duas plantas, não há controle sobre o consumo das outras áreas da instalação fabril. Isso impede a realização de um levantamento detalhado dos horários de consumo de cada área.

A falta de atualização da documentação das instalações elétricas da fábrica também gera atrasos significativos nos projetos relacionados a essas instalações. Esse cenário frequentemente exige levantamentos em campo ou consultas a funcionários mais antigos, destacando a importância de manter plantas e diagramas elétricos atualizados.

Através da informação de que a planta fabril atual apresentou esse aumento expressivo de carga durante os 13 anos de funcionamento, mantendo o mesmo transformador instalado inicialmente, e considerando a previsão em um curto e médio prazo de um grande acréscimo de demanda devido aos projetos que estão sendo implementados pelo setor de Engenharia de Processos e Projetos.

O transformador funcionando com harmônicas apresenta maiores perdas e pode aquecer de forma inadequada, o que causa um maior consumo de energia. Sendo assim, é indicado fazer uma avaliação do transformador, e avaliar seu consumo, pois os transformadores em geral apresentam uma faixa de melhor rendimento entre 40 e 50% da capacidade.

Com isto, um estudo da capacidade de carga é importantíssimo para se manter o pleno funcionamento da planta, visto que já foram tomadas certas ações para evitar que alguns equipamentos entrem em operação ao mesmo tempo e derrube o fornecimento de energia da planta. E, paralelamente, um estudo da qualidade de energia elétrica na planta deve ser realizado, visto que, a instalação fabril possui um número elevado de motores e inversores, que são grandes causadores de distúrbios elétricos, prejudicando a maioria dos equipamentos eletrônicos, bem como verifica-se uma grande quantidade de quedas de curta duração de energia causados, na maioria dos casos, por distúrbios da concessionária de energia.

### 3.2.2 Sistemática de análise

Após execução de pesquisa bibliográfica para levantamento de estudos já desenvolvidos sobre a mesma temática, foi desenvolvida uma sistemática de análise a fim de facilitar a avaliação dos itens para serem checados na análise das instalações elétricas e dos parâmetros relacionados à análise da qualidade elétrica.

### 3.2.3 Instrumento de análise da qualidade da energia elétrica

Para realizar a análise da demanda e qualidade de energia, foi utilizado um equipamento específico adquirido pela indústria estudada identificado como Analisador Portátil de Qualidade de Energia, do modelo P55 da Primata Tecnologia Eletrônica, escolhido devido ao seu melhor custo-benefício, visto que atende a todas as necessidades da empresa.

Este equipamento foi projetado para realizar medições em sistemas de distribuição de energia elétrica. É a segunda geração de analisadores desenvolvidos pela PRIMATA ELETRÔNICA, visando a atender às demandas das concessionárias e permissionárias de energia e demais usuários em conformidade com o PRODIST – Módulo 8 da ANEEL (Classe S).

De uso ao tempo, inteligente e moderno, o Analisador P55 está homologado pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU (Núcleo de Qualidade da Energia Elétrica). Possui unidade de armazenagem de dados removível em Pendrive, fornecido com memória de 8GB (podendo ser maior dependendo de sua necessidade), além de comunicação via portas USB nativas, display e teclado que permitem realizar a programação diretamente no equipamento.

Por ter uma capacidade de memória elevada, o Analisador P55 calcula e registra todas as grandezas elétricas instantaneamente a cada 1 segundo, e o Software SMD permite que o usuário analise e filtre somente os dados necessários e com diferentes intervalos. Assim, não há necessidade de pré-programar ou restringir as grandezas elétricas a serem registradas em campo.

Na Figura 8 está apresentada a imagem do equipamento e seu datasheet está no **ANEXO 1**.

Figura 8 - P55 – Analisador Portátil de Qualidade de Energia



Fonte: Primata Tecnologia Eletrônica (2025)<sup>2</sup>

### 3.2.4 Instrumento de análise termográfica

Para realizar a análise termográfica dos painéis e quadros elétricos considerados críticos, foi utilizado um equipamento específico alugado pela indústria estudada identificado como Câmera Termográfica Portátil, do modelo E4 Wi-Fi da Flir, este equipamento foi escolhido pois atende todas as necessidades para a análise desejada, com um custo-benefício adequado ao trabalho proposto.

A câmera infravermelha FLIR E4 é uma solução acessível para diagnósticos em aplicações prediais, elétricas e mecânicas. Possui uma resolução de 80 x 60 pixels infravermelho, sendo capaz de atender diferentes demandas, como análise de alvos de variados tamanhos, distâncias de trabalho e níveis de detalhamento necessários.

Um dos principais diferenciais da FLIR E4 é a tecnologia MSX®, que proporciona imagens térmicas com detalhes aprimorados, facilitando a identificação

---

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.primataeletronica.com.br/produto/analizador-portatil-de-qualidade-de-energia/>

de anomalias. Além disso, sua conectividade Wi-Fi com dispositivos móveis, através do aplicativo FLIR Tools® Mobile, simplifica o compartilhamento de imagens e a elaboração de relatórios diretamente no local, contribuindo para a tomada de decisões rápidas e assertivas.

Essa câmera oferece a combinação de imagens térmicas detalhadas e medições precisas de temperatura, tornando-se uma ferramenta inovadora e de excelente relação custo-benefício para profissionais que buscam eficiência e modernidade em suas análises.

A imagem da câmera pode ser vista na Figura 9, assim como no **ANEXO 2** pode ser encontrado o seu datasheet.

Figura 9 – Flir E4 Wi-Fi – Câmera termográfica portátil



Fonte: Flir (2024)<sup>3</sup>

#### 3.2.4 Registros da vistoria e análise

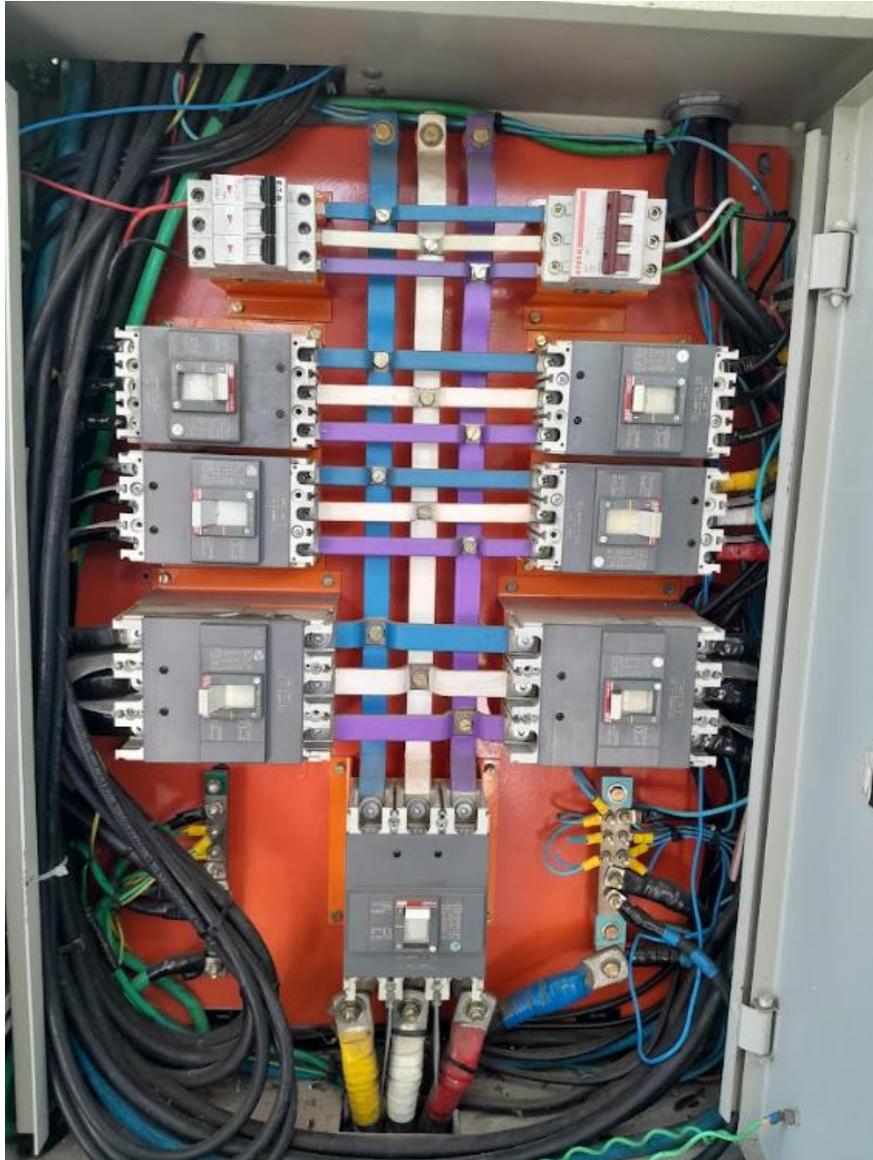
A documentação da vistoria e análise da instalação e qualidade elétrica é composta por registro fotográficos, checklists de análise dos quadros e painéis elétricos, imagens termográficas e gráficos elaborados pelo sistema informatizado do analisador da qualidade de energia.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.flir.com.br/support/products/e4-wifi/#Overview>

A Figura 10 ilustra um exemplo de uma imagem fotográfica tirada durante uma vistoria de campo de um quadro elétrico.

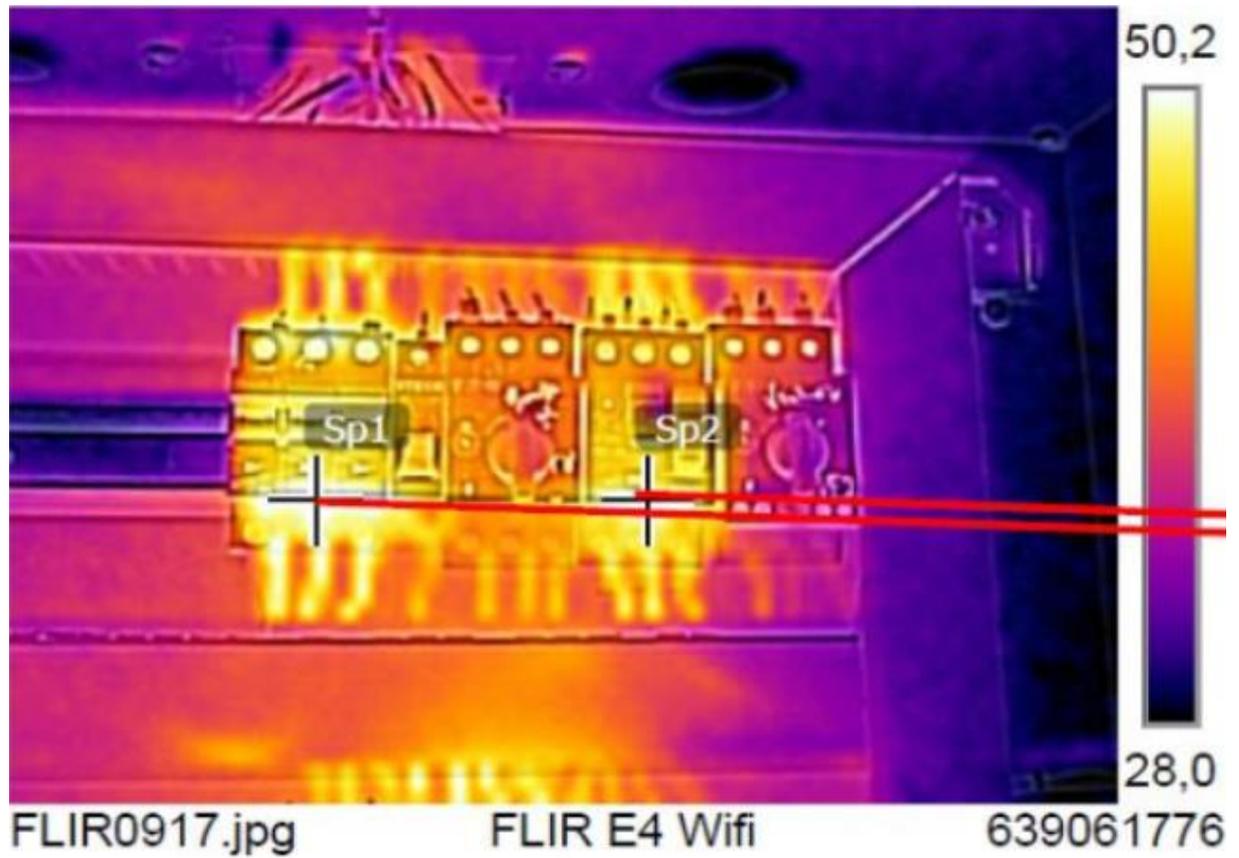
Figura 10 – Exemplo de imagem fotográfica



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 11 é mostrado um exemplo de uma imagem termográfica adquirida com a câmera termográfica portátil.

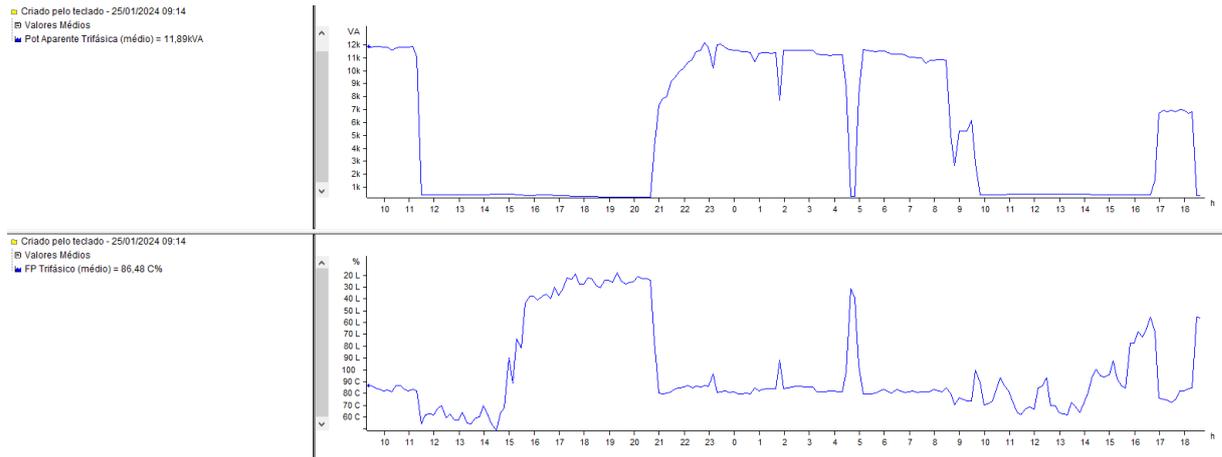
Figura 11 – Exemplo de imagem termográfica



Fonte: Elaboração própria

Um exemplo de gráfico gerado no software de análise de qualidade de energia está mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Exemplo gráfico gerado pelo software de análise



Fonte: Elaboração própria

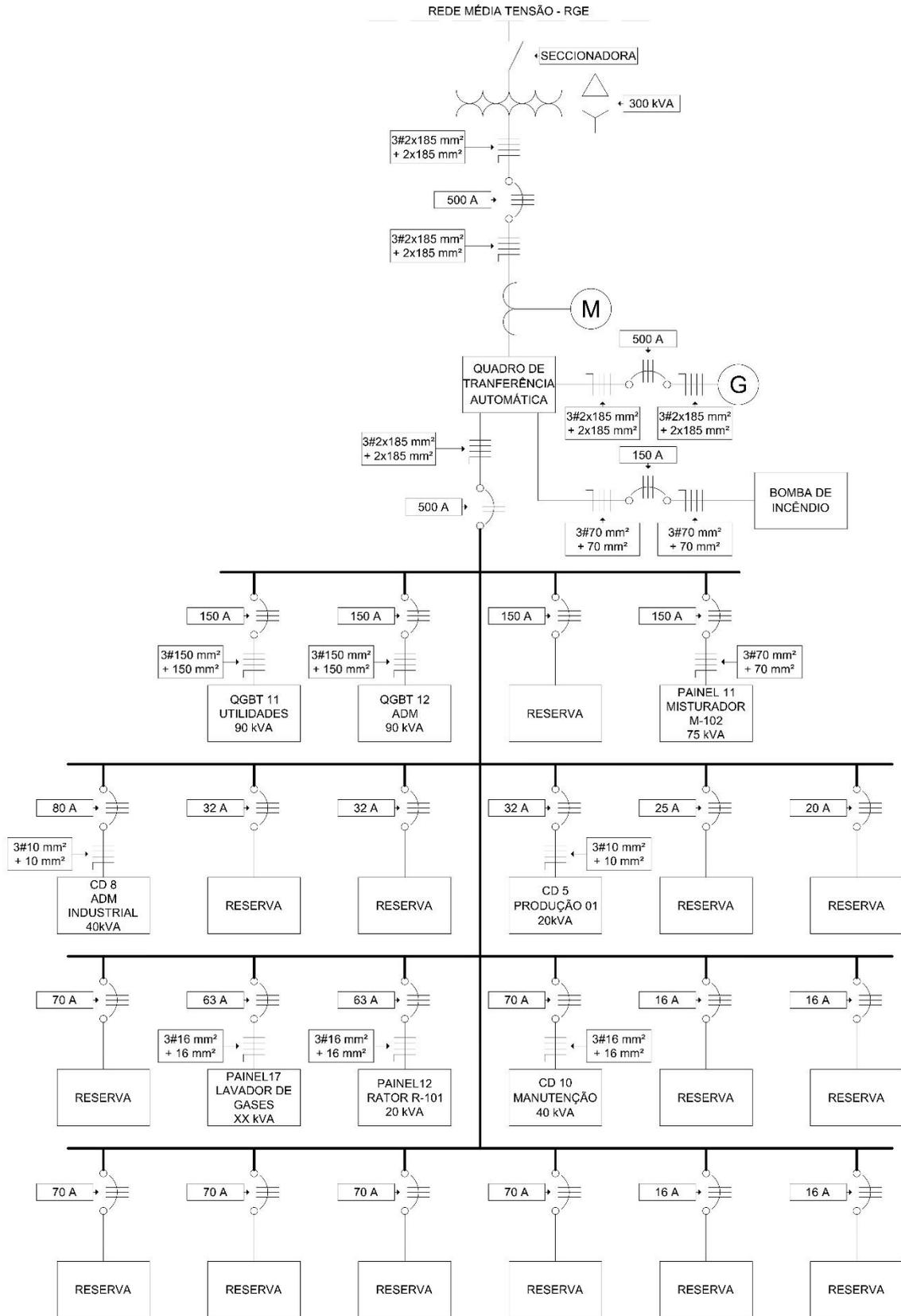
Além desses exemplos o checklist de análise de quadros e painéis elétricos é mostrado no **APÊNDICE A**.

#### **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Devido as muitas modificações que foram executadas na infraestrutura elétrica da planta industrial, somado ao fato de ter pouca documentação atualizada, para buscar um resultado mais assertivo, o trabalho limitou-se a avaliar a instalação elétrica da fábrica até segundo ponto de distribuição de energia, ou seja, foi analisado a infraestrutura existente do transformador até o QGBT, e do QGBT até os quadros e painéis alimentados por ele.

Como já mencionado houve um grande aumento na área construída da fábrica e na quantidade de carga instalada nela, na Figura 13 e mostrado o diagrama unifilar de quando a planta foi inaugurada em meados de 2012, nota-se que este diagrama compreende até o segundo ponto de distribuição.

Figura 13 – Diagrama unifilar da planta na inauguração

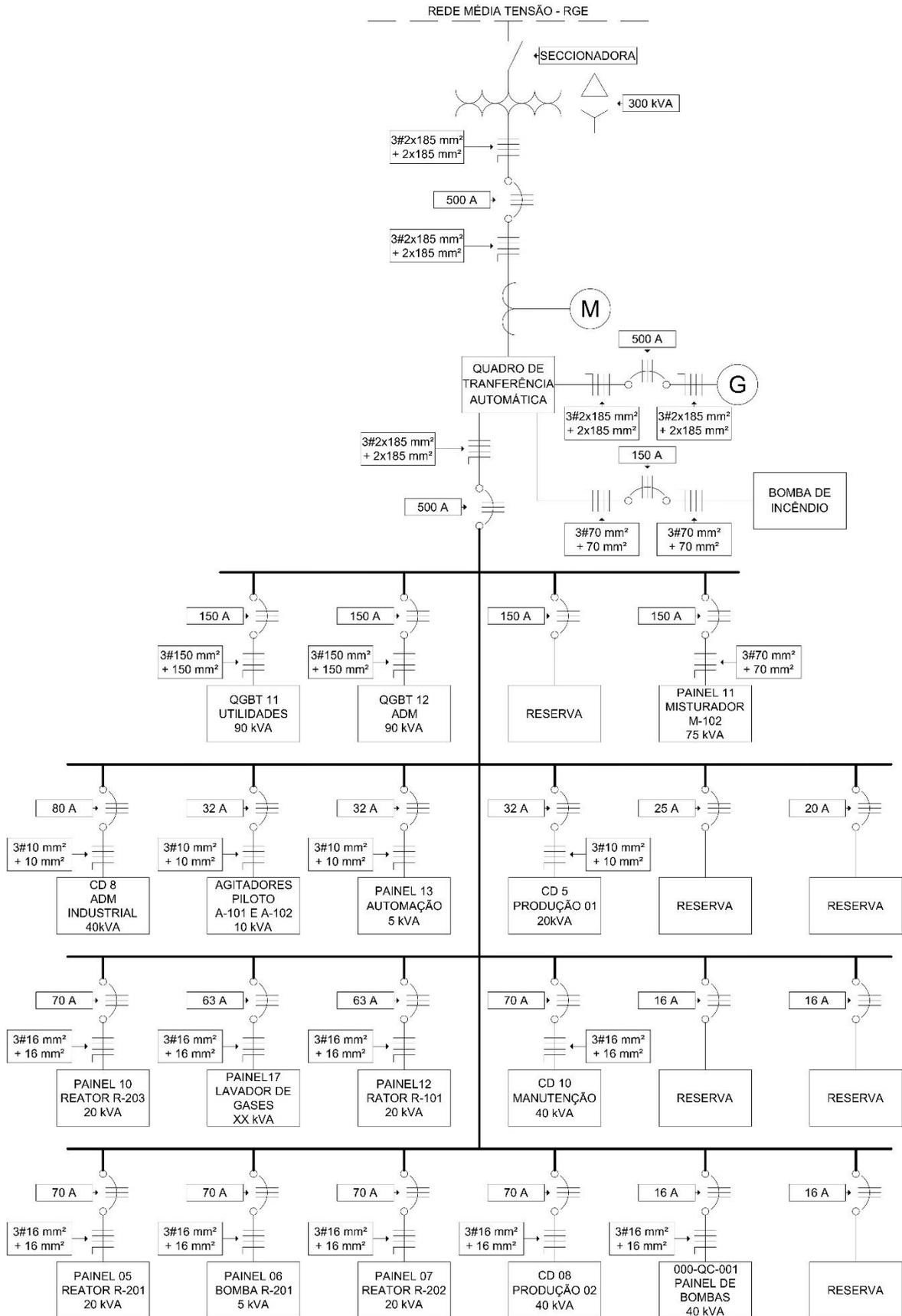


Fonte: Elaboração própria

#### 4.1 AVALIAÇÃO DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Para realizar a avaliação da instalação elétrica um diagrama unifilar da planta atual foi desenvolvido, e pode ser visto na Figura 14, ele mostra o novo encaminhamento elétrico da fábrica após as expansões. Como nesta análise foi avaliado até o segundo ponto de distribuição elétrica, o diagrama mostra os painéis e quadros até os referidos pontos.

Figura 14 – Diagrama unifilar da planta atualizado



Fonte: Elaboração própria

Para uma avaliação mais assertiva a planta baixa contendo os encaminhamentos elétricos atuais até os pontos de interesse foi atualizada, porém não teve autorização da empresa para compartilhamento.

#### 4.1.1 Avaliação da infraestrutura e quadros elétricos

A partir da atualização do diagrama unifilar e planta baixa uma inspeção de campo foi feita, a fim de buscar problemas na infraestrutura elétrica e nos quadros elétricos. Essa inspeção foi desenvolvida de acordo com a NBR 5410, sendo registrada a partir de imagens fotográficas e do checklist criado para análise de painéis elétricos, **APÊNDICE A**.

##### 4.1.1.1 Análise da infraestrutura

Para realizar a análise da infraestrutura foi utilizado a planta baixa atualizada e seguido os cabeamentos, dos pontos de distribuição até os pontos de consumo, e através de imagens fotográficas feito os registos fotográficos.

Os problemas encontrados foram: taxa de ocupação de eletrocalhas e eletrodutos acima do permitido pela NBR 5410, eletrocalhas desorganizadas e sem tampa, emendas de cabos em lugares inadequados e de má qualidade e falta de identificação no cabeamento.

Nas Figura 15, é ilustrado um exemplo de um eletroduto com a taxa de ocupação superior à permitida e montado de forma inadequada permitindo a entrada de sujeira.

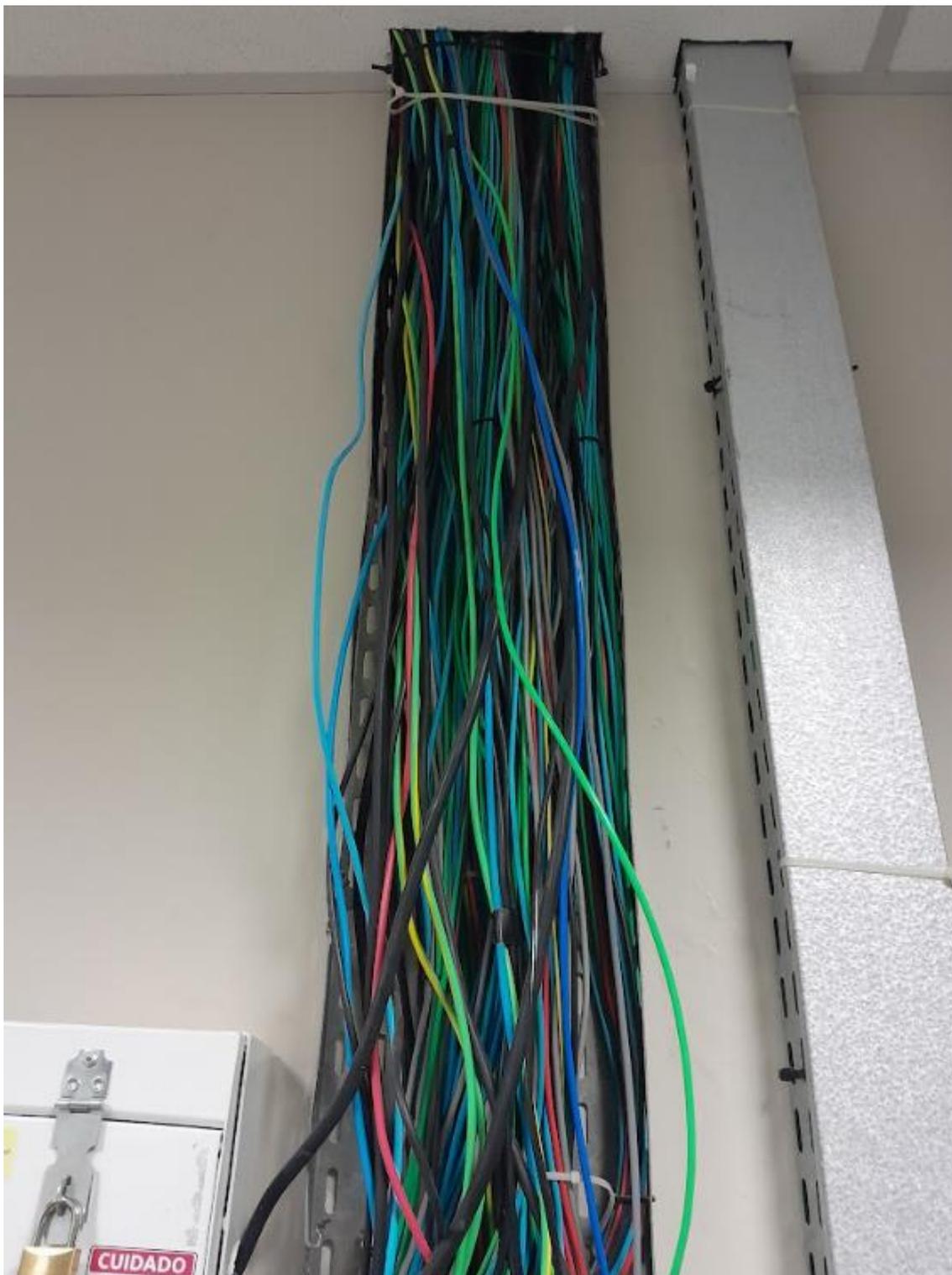
Figura 15 – Eletroduto com taxa de ocupação inadequada



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 16, um exemplo de um trecho de eletrocalha superlotada, com cabos desorganizados e sem identificação e sem tampa.

Figura 16 – Eletrocalha superlotada, desorganizada e sem tampa.



Fonte: Elaboração própria

Nas Figura 17, um exemplo de emendas do cabeamento neutro dentro do painel de QGBT 12, onde deveria ser utilizado um barramento para conexão de todos os cabos de neutro, além disso as emendas estão com um padrão inadequado.

Figura 17 – Emenda de cabeamento fora de padrão e em local inadequado



Fonte: Elaboração própria

Devido à complexidade de avaliação da infraestrutura em alguns pontos, pela sua localização, os mesmos não puderam ser vistoriados, porém como muitos problemas foram encontrados nas partes analisadas, sugere-se como trabalho futura

uma avaliação completa da infraestrutura.

#### 4.1.1.2 Análise dos quadros elétricos

Para buscar um resultado adequado ao trabalho foram analisados todos os quadros presentes no diagrama atualizado da Figura 16, a análise dos quadros elétricos foi baseada no checklist já apresentado no capítulo anterior.

Após fazer o registro da avaliação através do checklist em campo dos painéis elétricos, o Quadro 13 foi montado contendo um resumo de toda análise, onde pode ser encontrado todos os itens perguntados do checklist, assim como a resposta para cada quadro. As repostas do checklist podem ser C, NC e NA, representando quando um item está conforme, não conforme ou não é aplicável, respectivamente.

Quadro 13 – Resumo das verificações de análise de painéis elétricos

QUADRO	ITEM																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
QGBT 1	C	C	C	NC	C	C	C	NC	C	C	NC	NC	NC	NA	NA	NA	C	NC	NA	C	NC	C
QGBT 11	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	C	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	NC	NA	C	NC	C
QGBT 12	NC	C	NA	NA	C	C	C	NC	C	C	NC	NA	C	NC	C							
PAINEL 11	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	NA	C	NA	C	C	C
CD 8	NC	C	NA	NA	C	C	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NA	NA	C	NC	NC	C	C	C
AGITADORES	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	NA	C	C	C
PAINEL 13	NC	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	NA	C	C	C
CD 5	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	C	NC	NC	NC	NC	NA	NA	NA	C	NC	NA	C	C	C
PAINEL 10	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	NA	C	C	C
PAINEL 17	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	NA	C	C	C
PAINEL 12	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	NA	C	C	C
CD 10	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NA	NA	NC	NC	NC	C	NC	C
PAINEL 05	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	NA	C	C	C
PAINEL 06	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	NA	C	C	C
PAINEL 07	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	NA	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	NA	C	C	C
CD 06	C	C	NA	NA	C	C	C	NC	C	NC	NC	NC	NC	NA	NA	NA	NC	NC	NA	C	NC	C
000-QC-001	NC	C	NA	NA	NC	C	C	C	C	C	NC	C	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	C	C	C

Fonte: Elaboração própria

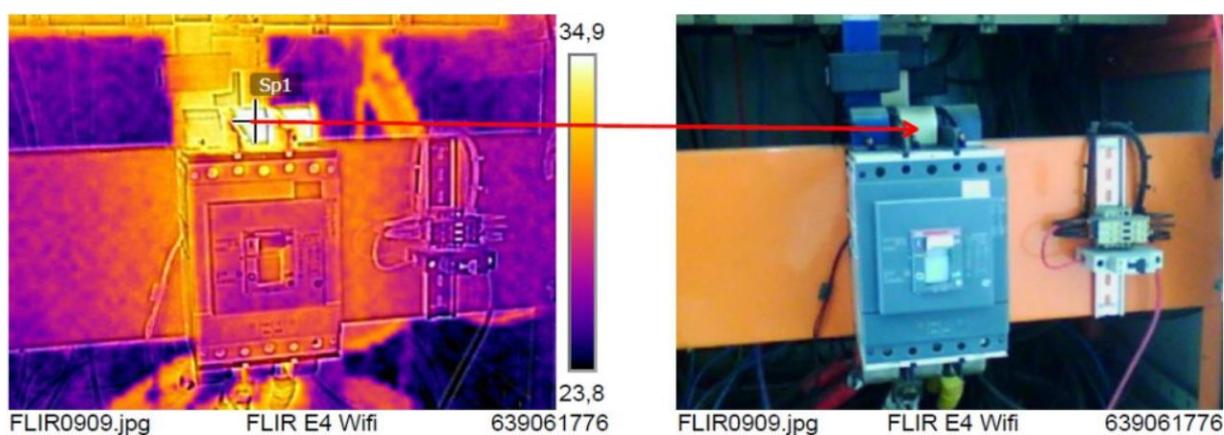
#### 4.1.2 Avaliação termográfica de quadros elétricos

Alguns pontos críticos de quadros elétricos foram analisados através de imagens termográficas, a partir dessas imagens foi possível calcular o fator de elevação da temperatura (FET), e a classificação térmica dos componentes conforme

o Quadro 11 já mostrado. Todas as imagens foram registradas no dia 05/12/2024, em uma temperatura ambiente de 28 °C e com a velocidade de deslocamento do ar em até 1 m/s<sup>2</sup>.

A análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 1, quadro geral de baixa tensão de distribuição primário da planta, é apresentada na Figura 18, ela, assim como as demais, é dividida em duas fotos, a esquerda o termograma e a direita uma imagem digital. Nela é possível ver que a maior temperatura medida foi de 34,9 °C, também percebeu-se que há um desequilíbrio de corrente entre as fases, visto que os barramentos de saída do disjuntor apresentaram temperaturas distintas.

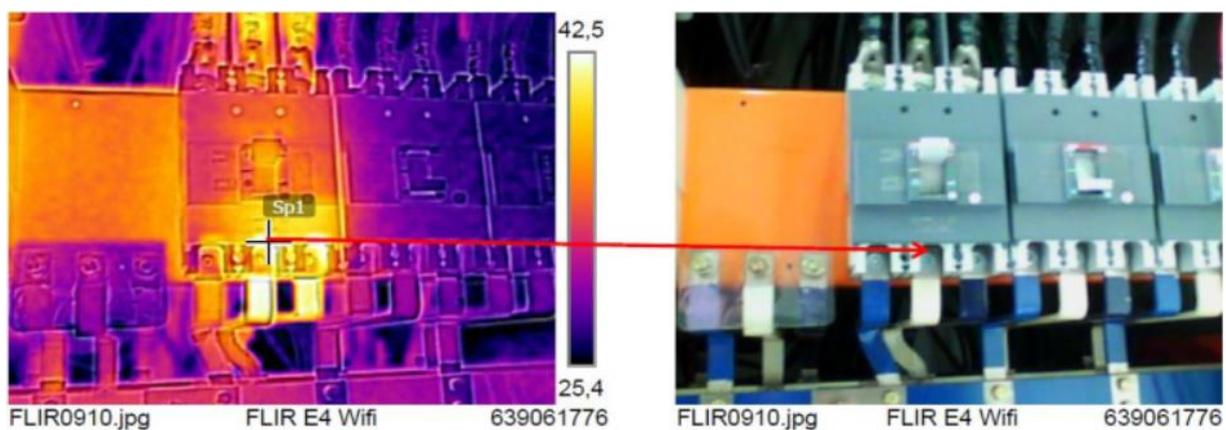
Figura 18 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 1



Fonte: Elaboração própria

A termografia do disjuntor de proteção do QGBT 12, quadro geral de distribuição do prédio administrativo, é ilustrada na Figura 19, pode-se observar que a maior temperatura registrada foi de 42,5 °C. Além disso, constatou-se um desequilíbrio de corrente entre as fases, evidenciado pelas diferentes temperaturas nos barramentos do disjuntor.

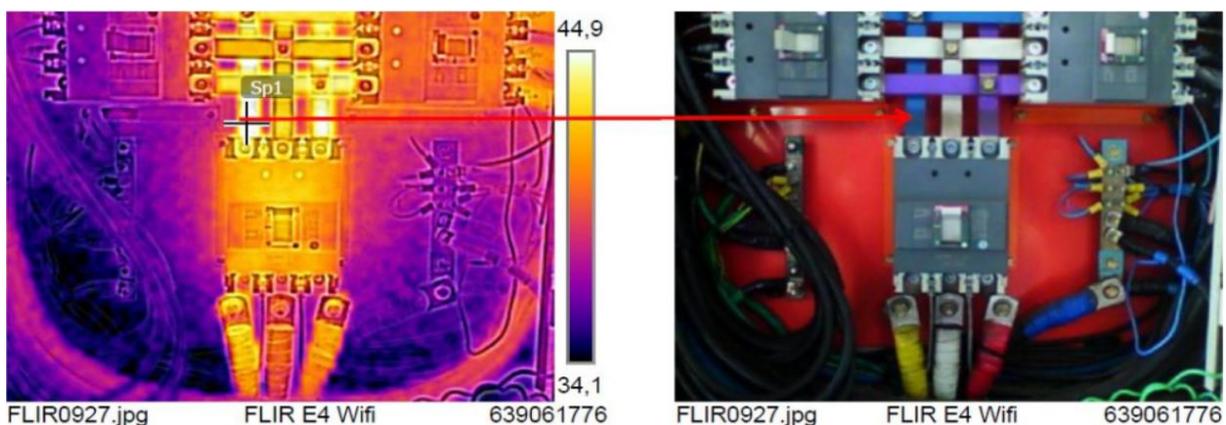
Figura 19 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 12



Fonte: Elaboração própria

A Figura 20 ilustra a termografia do disjuntor de proteção do QGBT 11, quadro geral de distribuição das utilidades da planta, a maior temperatura registrada foi de 44,9 °C. Ademais, verificou-se um desequilíbrio de corrente entre as fases, indicado pelas variações de temperatura nos barramentos do disjuntor.

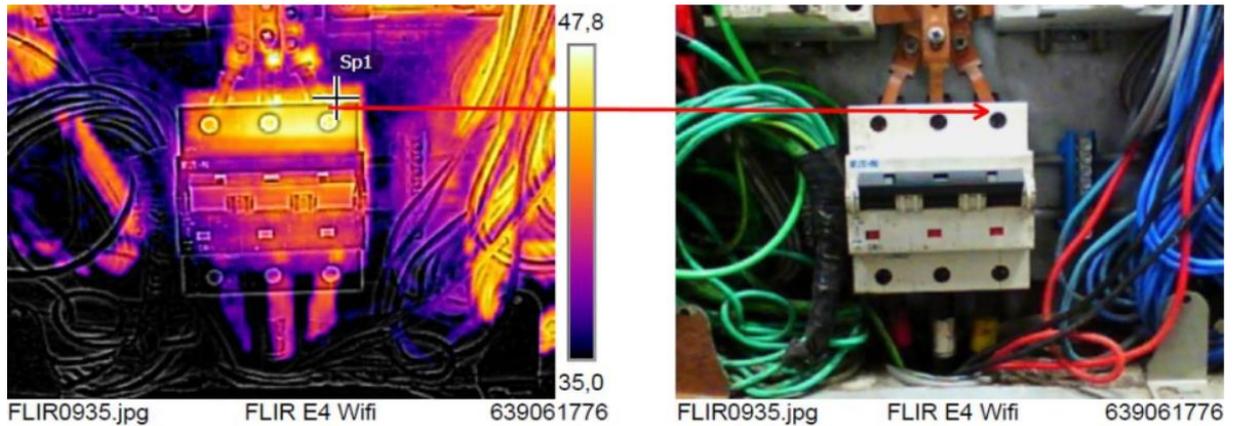
Figura 20 – Análise termográfica do disjuntor geral do QGBT 11



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 21 é mostrada imagem termográfica do disjuntor geral do CD 08, quadro geral de distribuição da planta 02, a maior temperatura registrada foi de 47,8 °C.

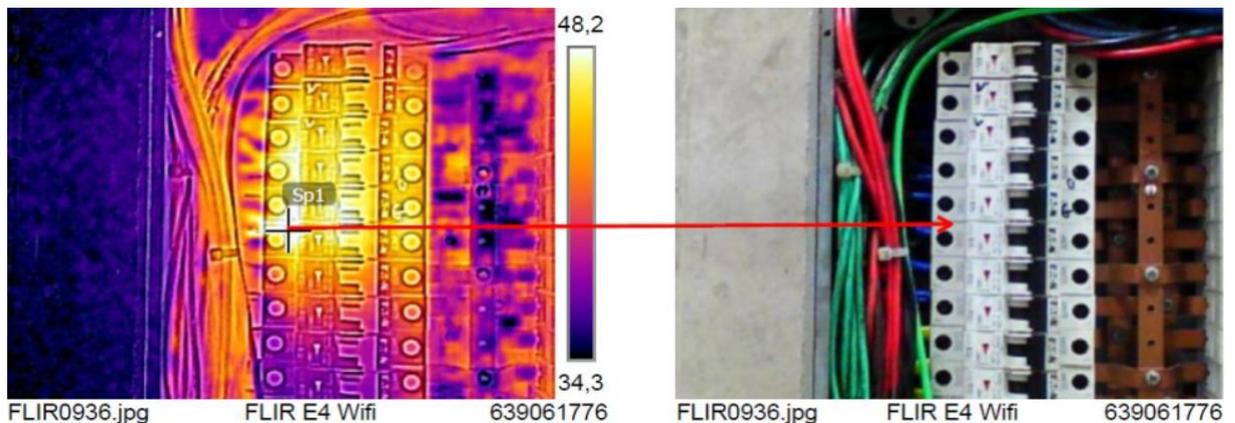
Figura 21 – Análise termográfica do disjuntor geral do painel 08



Fonte: Elaboração própria

A Figura 22 apresenta a análise termográfica de um setor do CD 08, a maior temperatura registrada foi de 48,2 °C, em um dos disjuntores de distribuição.

Figura 22 – Análise termográfica painel 08



Fonte: Elaboração própria

A norma utilizada para o tratamento dos dados obtidos a partir das imagens termográficas foi a N-2475 da PETROBRAS. O Quadro 14 mostra os dados utilizados para o cálculo do fator de elevação da temperatura (FET), calculados a partir das Equações 15, 16, 17 e 18 apresentadas no capítulo anterior.

Quadro 14 – Fator de elevação da temperatura dos componentes analisados

Componente avaliado	Fator de correção da velocidade do vento (FCVV)	Fator de correção de carga (FCC)	Temperatura ambiente (Ta)	Temperatura máxima admissível para o componente (Tmáx)	Temperatura medida (Tm)	Elevação de temperatura corrigida ( $\Delta TC$ )	Elevação máxima de temperatura admissível ( $\Delta Tmáx$ )	Fator de elevação de temperatura (FET)
Disjuntor QGBT 1	1	1	28	60	34,9	6,9	32	0,22
Disjuntor QGBT 12	1	1	28	60	42,5	14,5	32	0,45
Disjuntor QGBT 11	1	1	28	60	44,9	16,9	32	0,53
Disjuntor CD 08	1	1	28	60	47,8	19,8	32	0,62
Disjuntor 2 CD 08	1	1	28	60	48,2	20,2	32	0,63

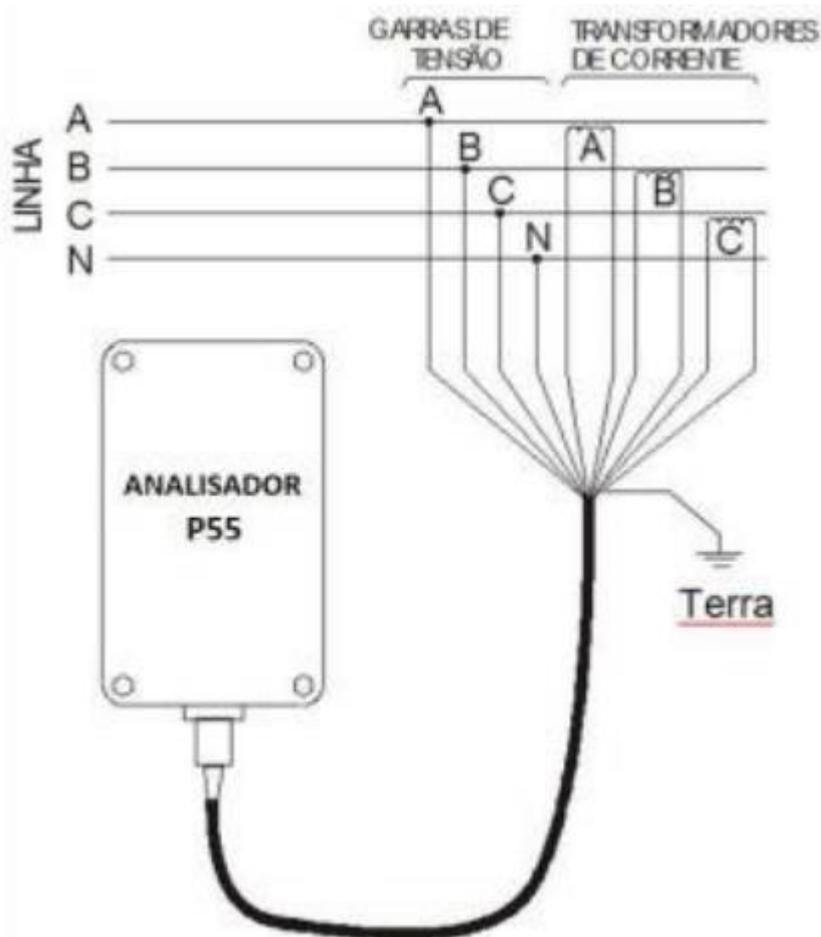
Fonte: Elaboração própria

## 4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Para realizar as medições de análise da qualidade da energia elétrica da planta o equipamento P55 já citado nos capítulos anteriores foi utilizado.

Para fazer a instalação do analisador em um ponto de interesse, deve-se colocar as 5 garras de tensão diretamente em pontos dos barramentos de fase, neutro e terra, no local desejado, sendo uma garra em cada fase, outra no neutro e outra no terra. Já os 4 transformadores de corrente devem ser colocados um em cada fase e no neutro, sempre deve-se avaliar o ponto correto de instalação, a fim de registrar somente os dados de interesse e realizar a montagem das garras e transformadores na sequência correta, conforme mostra a Figura 23.

Figura 23 – Modo de instalação do analisador



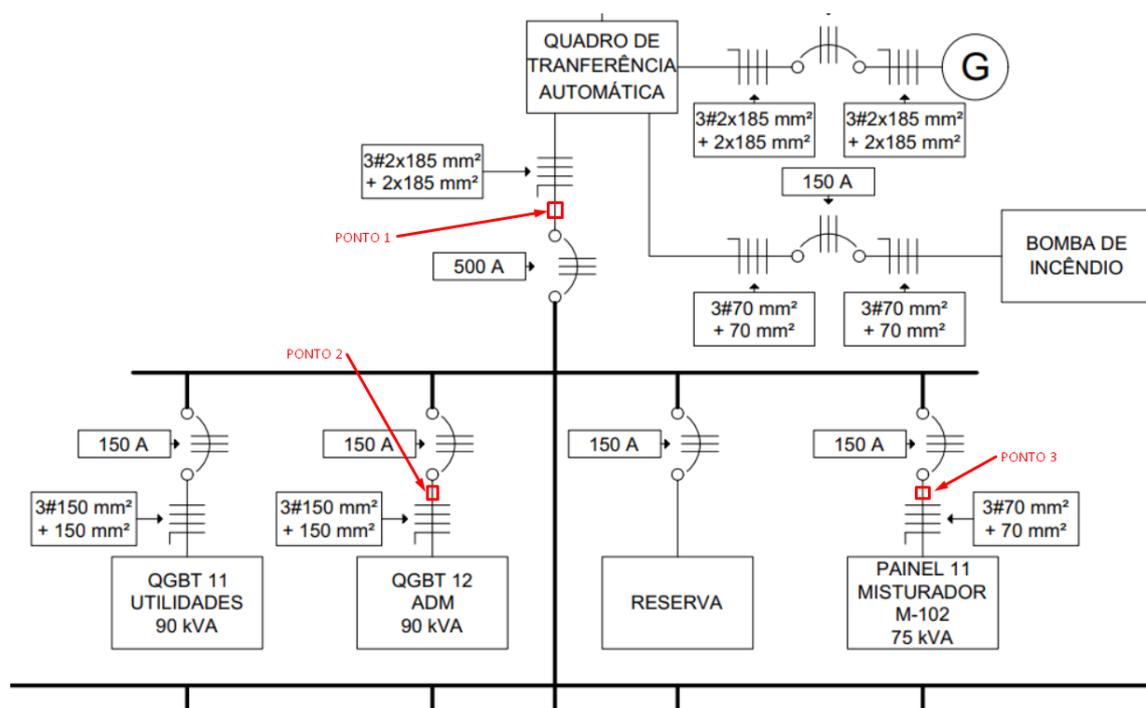
Fonte: Elaboração própria

Devido à complexidade de instalação do equipamento, que, por exigência do setor de segurança do trabalho da indústria, foi instalado somente quando os pontos de interesse estavam desenergizado, e para buscar uma análise mais enxuta e assertiva, foram analisados 3 pontos de interesse.

As escolhas dos 3 pontos de interesse que foram analisados, foi realizada para buscar uma visão geral dos maiores pontos de consumo da planta industrial. O ponto 1 é a entrada do QGBT 1, onde foi possível medir o consumo de toda planta, o ponto 2 é na entrada do QGBT 12, assim os dados da qualidade de energia do prédio administrativo foram adquiridos e o ponto 3 é na entrada do painel 11, painel de força do misturador M-102, a fim de medir a influência do equipamento mais potente da planta na qualidade da energia geral.

Na Figura 24 os 3 pontos de interesse são ilustrados em um detalhe do diagrama unifilar atualizado.

Figura 24 – Pontos de análise da qualidade de energia



Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1 Avaliação da qualidade de energia no ponto 1

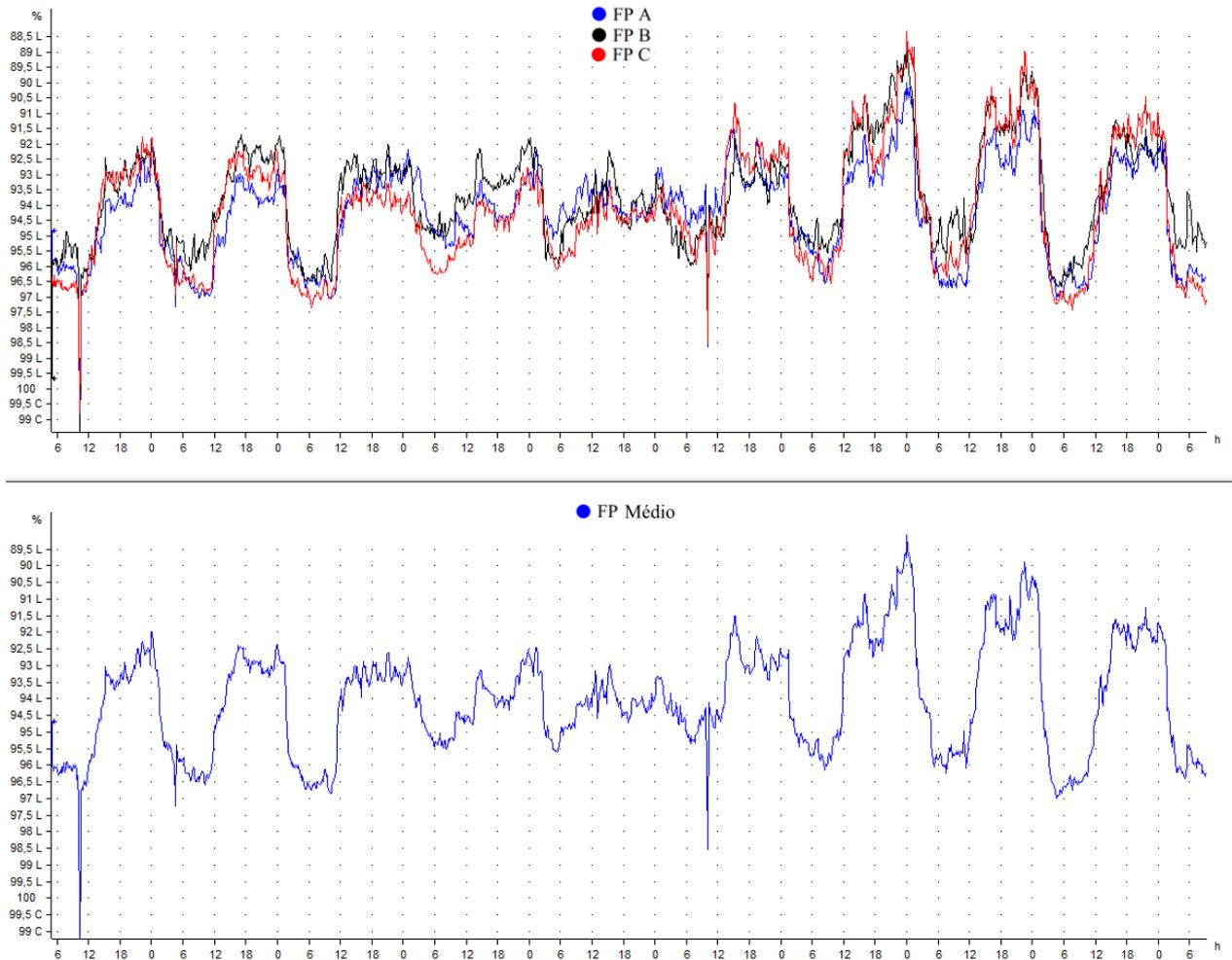
O ponto 1 de medição foi escolhido a fim de realizar a medição da qualidade de energia total da planta, por isso ele se localiza antes do disjuntor geral do QGBT 1. Foram realizadas medições a cada 10 minutos entre os dias 11/12/2024 às 10:56 até o dia 20/12/2024 às 15:06, totalizando 1322 valores válidos. Por um problema de ajuste do analisador, os dados registrados ficaram com um erro de 6 horas a menos do horário real medido, portanto ao ser realizada a análise dos gráficos e quadros foi considerado essa diferença.

##### 4.2.1.1 Análise da Potência e FP do ponto 1

Na Figura 25 é mostrado o gráfico da potência ativa trifásica no ponto 1, ou seja, a potência consumida por toda planta durante o período de medição, notou-se que a potência varia de forma cíclica, tendo picos durante o horário diurno, das 8 às 18 horas, quando os funcionários dos setores administrativos e laboratórios de pesquisa estão presentes na indústria. Isso mostra que equipamentos como os ar-condicionados, máquinas dos laboratórios entre outros, tem grande impacto no



Figura 26 – Fator de potência das fases A, B e C e fator de potência médio no ponto 1



Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1.2 Análise da variação de frequência no ponto 1

Durante o monitoramento do ponto 1, foram registrados valores de frequência máxima de 60,1 Hz e mínima de 59,9 Hz. De acordo com o PRODIST, os limites de variação de frequência em condições normais de operação devem estar entre 59,9 Hz e 60,1 Hz, admitindo uma oscilação de aproximadamente  $\pm 0,1$  Hz. Assim, os valores obtidos encontram-se dentro dos limites regulamentados pela norma.

#### 4.2.1.3 Análise das variações de tensão de curta duração no ponto 1

Durante o período analisado pelo equipamento analisador de qualidade de energia, foram registrados 53 eventos de variações de tensão de curta duração. No Quadro 15 é mostrado a duração, amplitude, fase do evento e a classificação do tipo de evento, conforme apresentado no Quadro 2 no capítulo anterior.

Quadro 15 – Classificação dos eventos de VTDC

Seq	Duração (ms)	Amplitude (%)	Fase do Evento	Tipo de Evento
1	8322,00	0,15	A	ITT
2	381,00	0,15	A	IMT
3	339,00	0,17	A	IMT
4	11282,00	0,15	B	ITT
5	82,00	0,21	B	IMT
6	190,00	0,20	B	IMT
7	32,00	17,44	A	AMT
8	64514,00	0,14	A	ITT
9	69192,00	0,14	B	ITT
10	383,00	88,81	C	AMT
11	233,00	13,38	A	AMT
12	70,00	10,15	C	AMT
13	68,00	12,77	B	AMT
14	77,00	17,23	A	AMT
15	1753,00	0,09	B	IMT
16	1757,00	0,07	A	IMT
17	1761,00	0,07	C	IMT
18	225,00	14,10	C	AMT
19	67,00	15,61	B	AMT
20	77,00	11,24	B	AMT
21	102,00	11,87	A	AMT
22	129,00	10,06	C	AMT
23	1726,00	0,09	B	IMT
24	1680,00	0,08	C	IMT
25	1711,00	0,09	A	IMT
26	75,00	83,57	B	AMT
27	41,00	84,78	A	AMT
28	16,00	89,08	A	AMT
29	58,00	84,27	B	AMT
30	58,00	85,87	C	AMT
31	58,00	87,28	B	AMT
32	58,00	87,72	C	AMT
33	17,00	65,50	B	AMT
34	17,00	81,19	C	AMT
35	76,00	80,69	C	AMT
36	75,00	55,03	A	AMT
37	203,00	10,41	B	AMT
38	222,00	10,40	A	AMT
39	240,00	10,37	C	AMT
40	1552,00	0,08	A	IMT
41	1527,00	0,07	C	IMT
42	1573,00	0,09	B	IMT
43	17,00	81,09	B	AMT
44	25,00	78,71	C	AMT
45	10985,00	0,00	A	ITT
46	10985,00	0,00	B	ITT
47	10985,00	0,00	C	ITT
48	11778,00	0,00	A	ITT
49	11778,00	0,00	B	ITT
50	11778,00	0,00	C	ITT
51	5903,00	0,00	A	ITT
52	5903,00	0,00	B	ITT
53	5903,00	0,00	C	ITT

Fonte: Elaboração própria

Os dados registrados foram estratificados para contabilização, conforme apresentado no capítulo anterior, o Quadro 16 apresenta essa estratificação.

Quadro 16 – Estratificação dos dados registrados

Amplitude (p.u)	Duração						
	16.67ms-100ms	100ms-300ms	300ms-600ms	600ms-1seg	1seg-3seg	3seg-1min	1min-3min
> 1.15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(1.10 - 1.15]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.85 - 0.90]	4,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.80 - 0.85]	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.70 - 0.80]	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.60 - 0.70]	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.50 - 0.60]	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.40 - 0.50]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.30 - 0.40]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.20 - 0.30]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(0.10 - 0.20]	6,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 0,10	1,00	1,00	2,00	0,00	9,00	11,00	2,00

Fonte: Elaboração própria

Como o período de análise foi inferior a 30 dias, o FI (fator de impacto) não foi calculado.

#### 4.2.1.4 Análise do desequilíbrio de tensão e corrente no ponto 1

A norma utilizada para comparação dos valores de desequilíbrio de tensão foi o PRODIST, no Quadro 17 é mostrado o valor de FD95%, esse dado foi medido pelo analisador de energia e calculado utilizando o software SMD. Conforme o Quadro 6 no capítulo anterior o limite para o FD95% é de 3,0% na faixa de tensão analisada, foi visto que o FD95% medido está dentro do limite estabelecido.

Quadro 17 – Valor do indicador FD95%

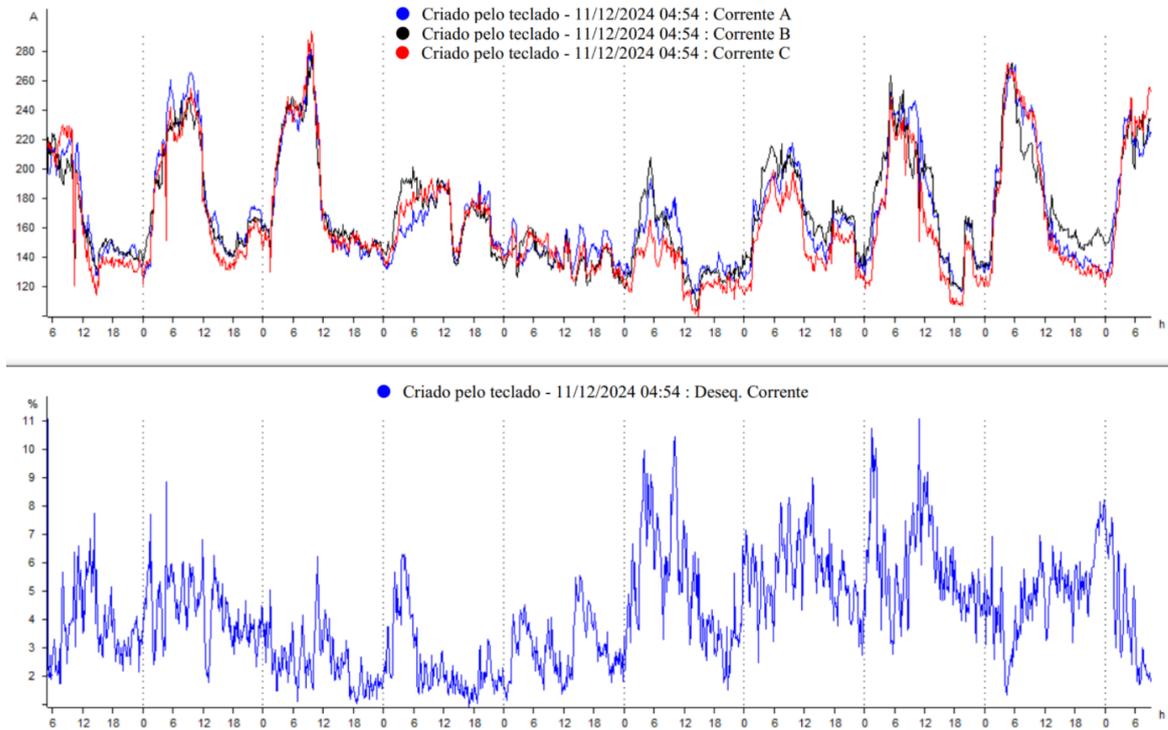
Indicador	Valor Medido	Limite PRODIST
<b>FD95%</b>	0,33%	3,00%

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 27 é mostrado os valores de corrente A, B e C comparado ao desequilíbrio de corrente do ponto 1 durante a análise realizada, notou-se que na

maioria dos pontos as nunca estão equilibradas, chegando a picos de desequilíbrio de mais de 10%.

Figura 27 – Correntes A, B e C e desequilíbrio de corrente no ponto 1



Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1.5 Análise da flutuação de tensão no ponto 1

O Quadro 18 foi elaborado para comparar os valores do indicador Pst95% das tensões A, B e C com o limite estabelecido pelo PRODIST, apresentado no capítulo anterior no Quadro 7. Esses dados foram medidos pelo analisador de energia e calculado utilizando o software SMD, pode-se constatar que os indicadores se encontram dentro do limite estabelecido para a tensão analisada.

Quadro 18 – Valores de Pst95% das tensões A, B e C

Indicador	Valores Medidos			Limite PRODIST
	Tensão A	Tensão B	Tensão C	
Pst95%	0,37 pu	0,40 pu	0,43 pu	1 pu

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1.6 Análise das distorções harmônicas no ponto 1

A análise baseou-se nas distorções harmônicas de tensão e corrente, com os dados apresentados em termos de valores máximos, médios e no percentil 95% das distorções registradas. Essas medições foram realizadas considerando o critério de "tempo curto" (10 minutos) (DECKMANN et al., 2020). O percentil é uma medida estatística que indica a posição relativa de um valor em relação a um conjunto de dados organizados em ordem crescente. Essa métrica informa que, no mínimo, p% dos valores estão abaixo do ponto considerado, enquanto (100 - p)% encontram-se acima. Trata-se de uma ferramenta importante para a análise de distribuições, permitindo compreender a posição de uma observação específica no contexto geral do conjunto de dados.

O Quadro 19 apresenta os dados de distorção harmônica de tensão medidos no ponto 1 de análise. Nele está apresentado as seguintes variáveis:

- DHIt95% significa o percentil 95% da distorção harmônica individual de tensão naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).
- DHItmáx significa o valor máximo de distorção harmônica individual de tensão naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).
- DHItméd significa o valor médio de distorção harmônica individual de tensão naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).

Quadro 19 – Valores de distorção harmônica individual, de tensão máxima, média e percentil 95% para as fases A, B e C no ponto 1

Ordem harmônica	Fase A			Fase B			Fase C		
	DHIt95%	DHItmáx	DHItméd	DHIt95%	DHItmáx	DHItméd	DHIt95%	DHItmáx	DHItméd
3	2,35%	2,58%	1,88%	2,23%	2,67%	1,86%	2,02%	2,20%	1,76%
5	2,31%	2,76%	1,37%	2,10%	2,56%	1,24%	2,17%	2,79%	1,29%
7	2,32%	2,85%	1,59%	2,84%	3,27%	2,04%	2,63%	3,18%	1,82%
9	1,27%	1,39%	1,01%	1,22%	1,40%	0,95%	1,15%	1,27%	0,90%
11	0,67%	0,91%	0,39%	0,65%	0,97%	0,33%	0,72%	0,96%	0,47%
13	0,81%	0,92%	0,50%	0,83%	1,01%	0,49%	0,55%	0,87%	0,31%
15	0,55%	0,68%	0,35%	0,87%	0,66%	0,29%	0,43%	0,56%	0,30%
17	0,65%	0,86%	0,38%	0,40%	0,66%	0,23%	0,41%	0,66%	0,24%
19	0,59%	0,75%	0,39%	0,64%	0,82%	0,41%	0,36%	0,48%	0,22%
21	0,60%	0,67%	0,34%	0,47%	0,62%	0,23%	0,41%	0,58%	0,25%
23	0,68%	0,88%	0,38%	0,54%	0,79%	0,31%	0,56%	0,68%	0,31%
25	0,45%	0,61%	0,26%	0,50%	0,68%	0,26%	0,41%	0,64%	0,24%

Fonte: Elaboração própria

O PRODIST foi utilizado como norma para comparação dos valores de distorção harmônica das tensões. No Quadro 20 pode ser visto a comparação dos valores de distorção harmônica total de tensão percentil 95%, máxima e média no ponto 1 de medição, com o valor limite estabelecido pela norma. Notou-se que as 3 fases apresentaram valores menores que o limite.

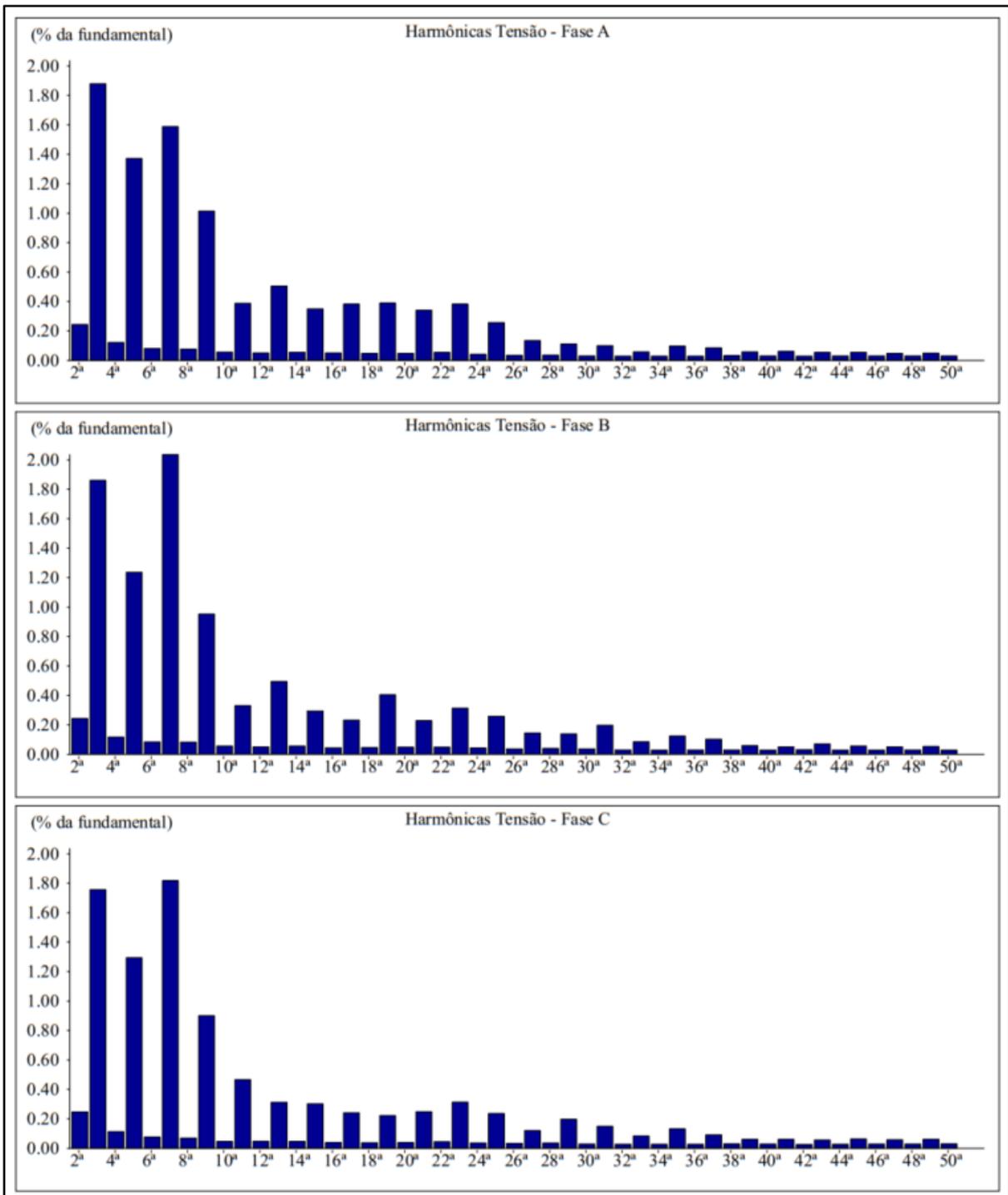
Quadro 20 – Valores de distorção harmônica total de tensão, para percentil 95%, máximo e médio das fases A, B e C no ponto 1

Fase A			Fase B			Fase C			Limite PRODIST
DTT95%	DTTmáx	DTTméd	DTT95%	DTTmáx	DTTméd	DTT95%	DTTmáx	DTTméd	
4,03%	4,49%	3,32%	4,17%	4,65%	3,44%	4,00%	4,57%	3,21%	10,00%

Fonte: Elaboração própria

O espectro de harmônicas de tensão das fases A, B e C está representado na Figura 28, pode-se confirmar, também, através da análise do gráfico que as harmônicas se encontram abaixo dos limites estabelecido.

Figura 28 – Espectro de harmônicas de tensão das fases A, B e C no ponto 1



Fonte: Elaboração própria

O Quadro 21 apresenta os dados de distorção harmônica de corrente medidos no ponto 1 de análise. Nele está apresentado as seguintes variáveis:

- DH<sub>i</sub>95% significa distorção harmônica individual de corrente em percentil 95% naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).

- DHlimáx significa o valor máximo de distorção harmônica individual de corrente naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).
- DHliméd significa o valor médio de distorção harmônica individual de corrente naquela ordem harmônica apresentada em porcentagem (%).

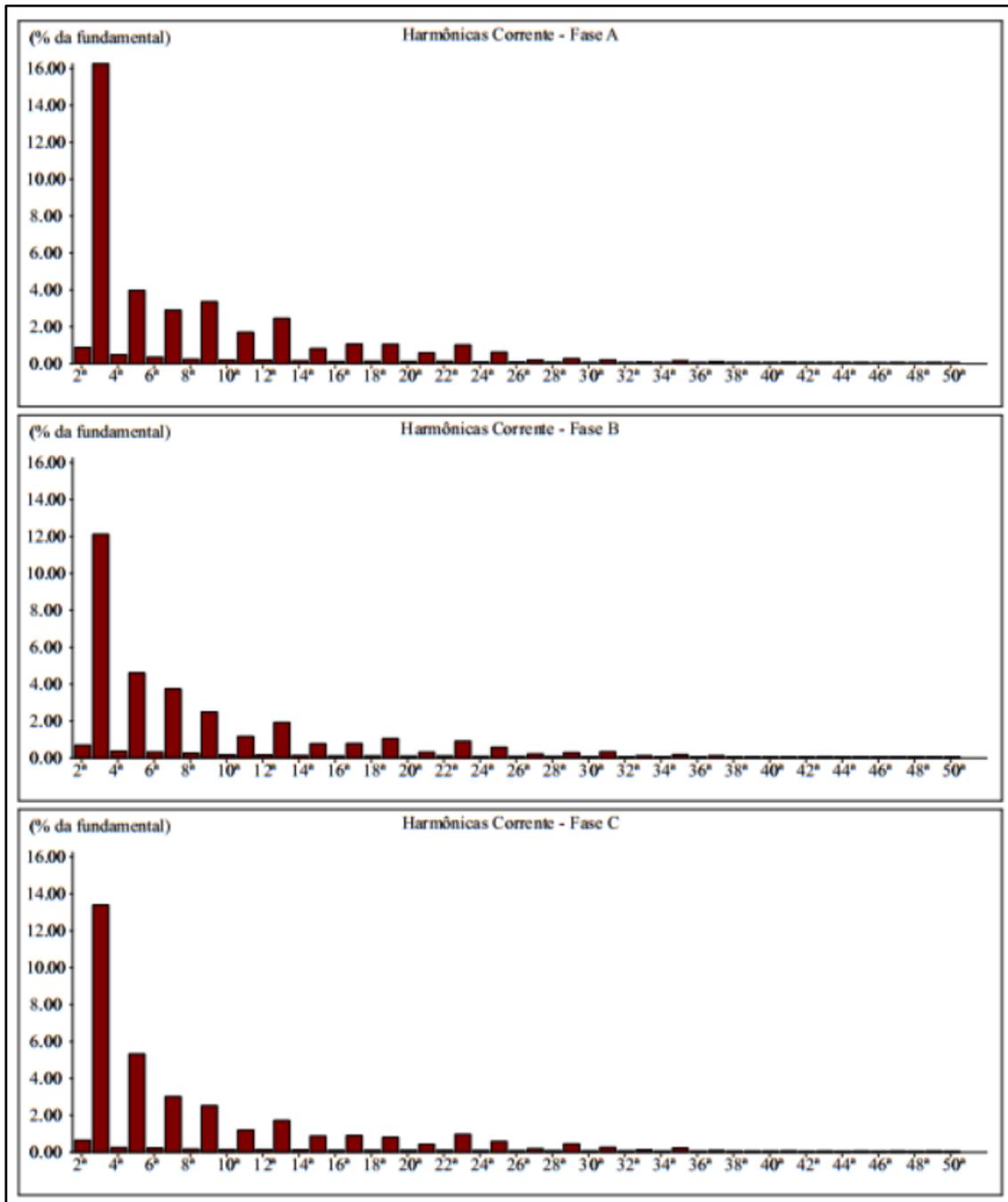
Quadro 21 – Valores de distorção harmônica individual, de corrente máxima, média e percentil 95% para as fases A, B e C no ponto 1

Ordem harmônica	Fase A			Fase B			Fase C		
	DHli95%	DHlimáx	DHliméd	DHli95%	DHlimáx	DHliméd	DHli95%	DHlimáx	DHliméd
3	20,75%	26,64%	16,26%	15,43%	22,04%	12,12%	17,74%	21,99%	13,41%
5	7,87%	11,71%	3,97%	8,91%	12,08%	4,61%	10,62%	12,87%	5,32%
7	4,69%	6,23%	2,90%	5,94%	8,56%	3,73%	5,25%	8,67%	3,01%
9	4,37%	4,95%	3,36%	3,78%	4,32%	2,49%	3,40%	4,56%	2,53%
11	2,62%	3,40%	1,70%	2,19%	2,93%	1,17%	2,02%	3,27%	1,19%
13	3,85%	4,26%	2,45%	3,12%	3,64%	1,92%	3,05%	3,63%	1,72%
15	1,43%	2,02%	0,81%	1,27%	1,69%	0,77%	1,35%	1,60%	0,87%
17	1,94%	2,69%	1,07%	1,43%	2,02%	0,79%	1,64%	2,34%	0,90%
19	1,81%	2,48%	1,05%	1,83%	2,22%	1,05%	1,41%	1,87%	0,80%
21	1,14%	1,69%	0,59%	1,66%	0,87%	0,31%	0,92%	1,41%	0,43%
23	1,81%	2,54%	1,01%	1,56%	1,89%	0,91%	1,81%	2,39%	0,97%
25	1,12%	1,35%	0,63%	1,05%	1,42%	0,58%	1,13%	1,67%	0,59%

Fonte: Elaboração própria

O espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C está representado na Figura 29, notou-se que a harmônica de terceira ordem está acima de 5%.

Figura 29 – Espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C no ponto 1



Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.2 Avaliação da qualidade de energia no ponto 2

Para realizar a análise da qualidade de energia elétrica total do prédio administrativo, o ponto 2 de medição foi escolhido, assim ele se localiza antes do disjuntor geral do QGBT 12. Foram realizadas medições a cada 10 minutos entre os

dias 21/09/2024 às 12:00 até o dia 01/10/2024 às 11:50, adquirindo um total de 1440 valores válidos.

#### 4.2.2.1 Análise da Potência e FP do ponto 2

A potência aparente consumida pelo prédio administrativo e laboratório durante o período de medição pode ser vista na Figura 30 através do gráfico da potência aparente trifásica no ponto 2, também pode ser visto os fatores de potência das fases A, B e C e o fator de potência médio. Notou-se que a potência varia de forma cíclica, tendo picos durante o horário diurno, das 8 às 18 horas, quando os funcionários dos setores estão presentes na indústria. Se comparado aos valores de potência ativa da Figura 27, percebe-se que o prédio administrativo é responsável por cerca 35% do consumo momentâneo da planta e de 15% do consumo da potência do transformador da planta.



#### 4.2.1.2 Análise das variações de tensão de curta duração no ponto 2

Durante o período analisado pelo equipamento somente 1 evento foi detectado, e o período de análise foi inferior a 30 dias, essa avaliação no ponto 2 será desconsiderada.

#### 4.2.1.3 Análise do desequilíbrio de tensão e corrente no ponto 2

A norma utilizada para comparação dos valores de desequilíbrio de tensão foi o PRODIST, no Quadro 22 é mostrado o valor de FD95%, esse dado foi medido pelo analisador de energia e calculado utilizando o software SMD. Conforme o Quadro 6 no capítulo anterior o limite para o FD95% é de 3,0% na faixa de tensão analisada, foi visto que o FD95% medido está dentro do limite estabelecido.

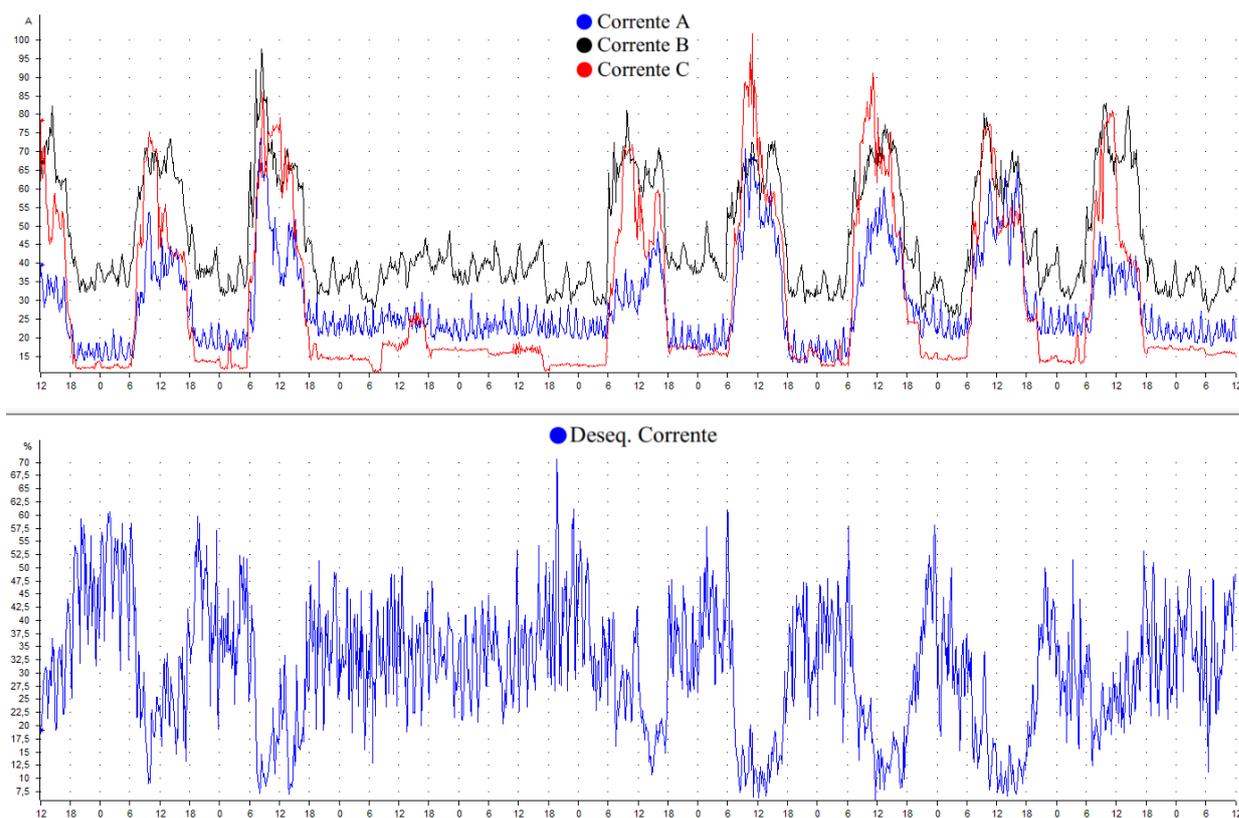
Quadro 22 – Valor do indicador FD95% no ponto 2

<b>Indicador</b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Limite PRODIST</b>
<b>FD95%</b>	1,35%	3,00%

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 31 foi mostrado os valores de corrente A, B e C comparado ao desequilíbrio de corrente do ponto 2 durante a análise realizada, notou-se que na maioria dos pontos as correntes nunca estão equilibradas, chegando a picos de desequilíbrio de mais de 70%.

Figura 31 – Correntes A, B e C e desequilíbrio de corrente no ponto 2



Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1.4 Análise da flutuação de tensão no ponto 2

O Quadro 18 foi elaborado para comparar os valores do indicador Pst95% das tensões A, B e C com o limite estabelecido pelo PRODIST, apresentado no capítulo anterior no Quadro 7. Esses dados foram medidos pelo analisador de energia e calculado utilizando o software SMD, pode-se constatar que os indicadores se encontram dentro do limite estabelecido para a tensão analisada.

Quadro 23 – Valores de Pst95% das tensões A, B e C

Indicador	Valores Medidos			Limite PRODIST
	Tensão A	Tensão B	Tensão C	
Pst95%	0,72 pu	0,71 pu	0,59 pu	1 pu

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.1.5 Análise das distorções harmônicas no ponto 2

O PRODIST foi utilizado como norma para comparação dos valores de distorção harmônica das tensões. No Quadro 24 pode ser visto a comparação dos valores de distorção harmônica total de tensão percentil 95%, máxima e média no ponto 1 de medição, com o valor limite estabelecido pela norma. Notou-se que as 3 fases apresentaram valores menores que o limite.

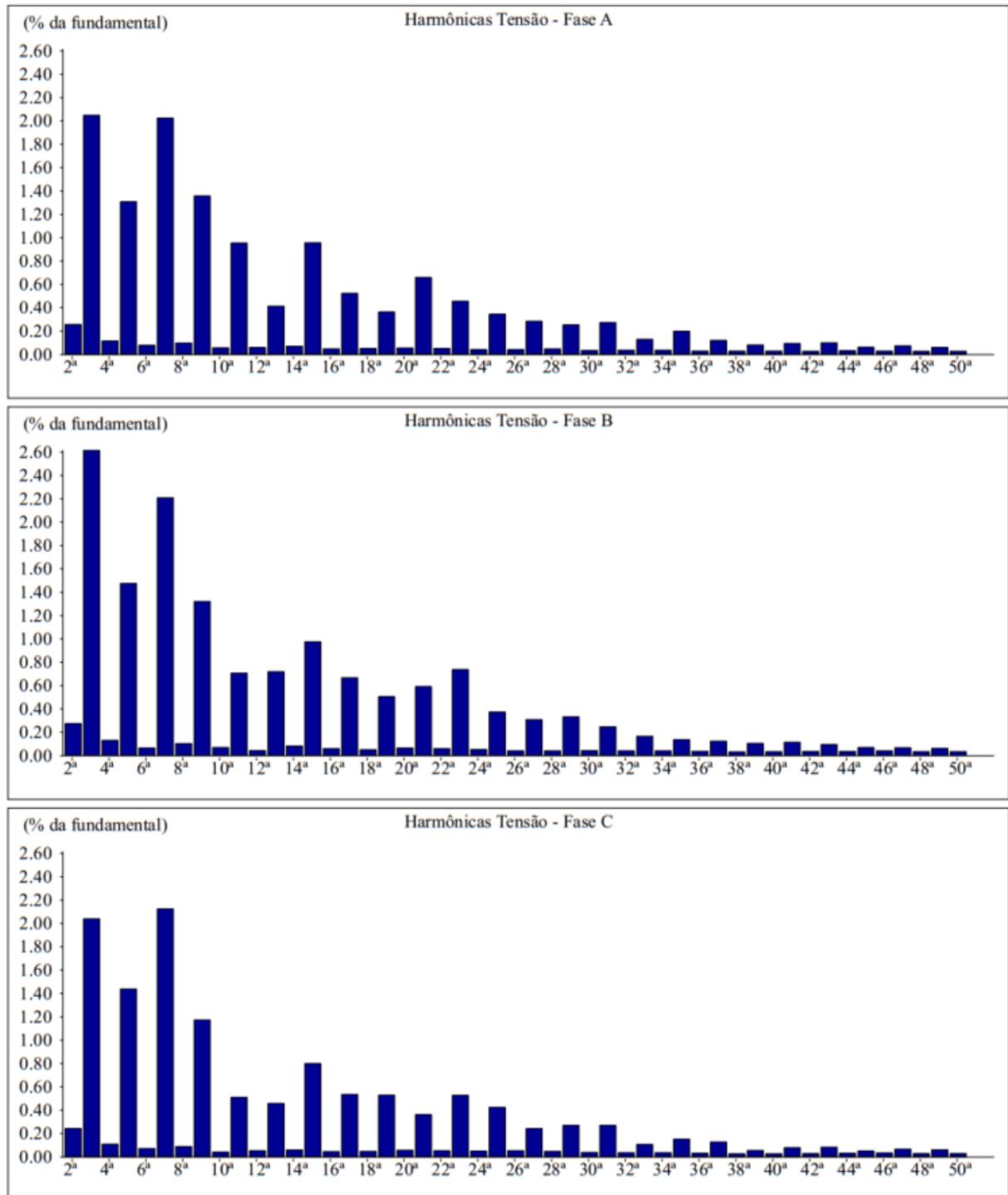
Quadro 24 – Valores de distorção harmônica total de tensão, para percentil 95%, máximo e médio das fases A, B e C no ponto 2

Fase A			Fase B			Fase C			Limite PRODIST
DTT95%	DTTmáx	DTTméd	DTT95%	DTTmáx	DTTméd	DTT95%	DTTmáx	DTTméd	
4,65%	4,99%	4,07%	5,22%	5,68%	4,61%	4,59%	5,15%	3,99%	10,00%

Fonte: Elaboração própria

O espectro de harmônicas de tensão das fases A, B e C está representado na Figura 32, pode-se confirmar, também, através da análise do gráfico que as harmônicas se encontram abaixo dos limites estabelecido.

Figura 32 – Potência aparente trifásica, fatores de potência das fases A, B e C e fator de potência trifásico no ponto 3

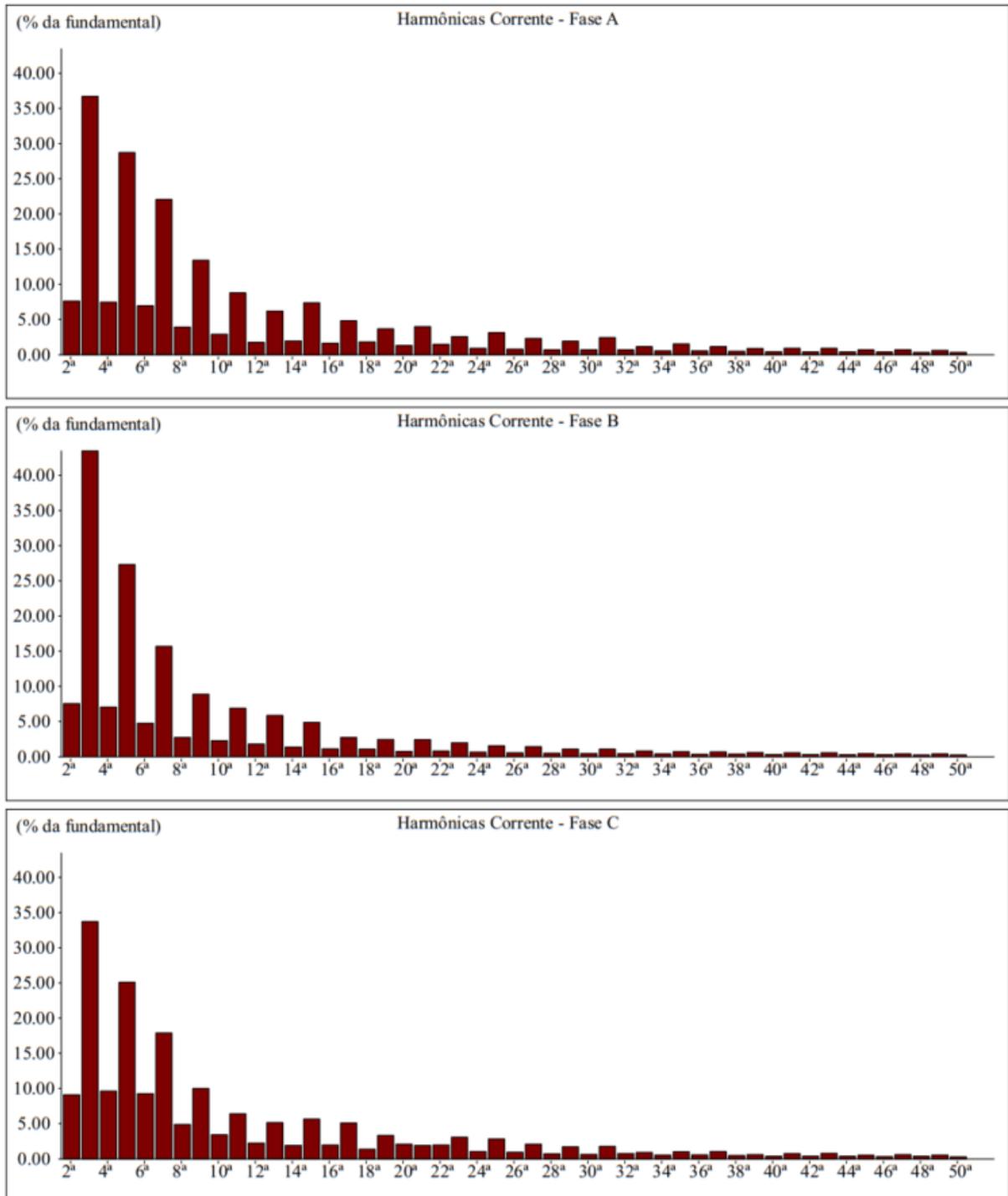


Fonte: Elaboração própria

O espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C está representado na Figura 33, notou-se que as harmônicas ímpares até a décima sétima ordem estão

acima de 5%, isso deve-se a grandes quantidades de equipamentos não lineares utilizados nos laboratórios.

Figura 33 – Espectro de harmônicas de corrente das fases A, B e C no ponto 2



Fonte: Elaboração própria

### 4.2.3 Avaliação da qualidade de energia no ponto 3

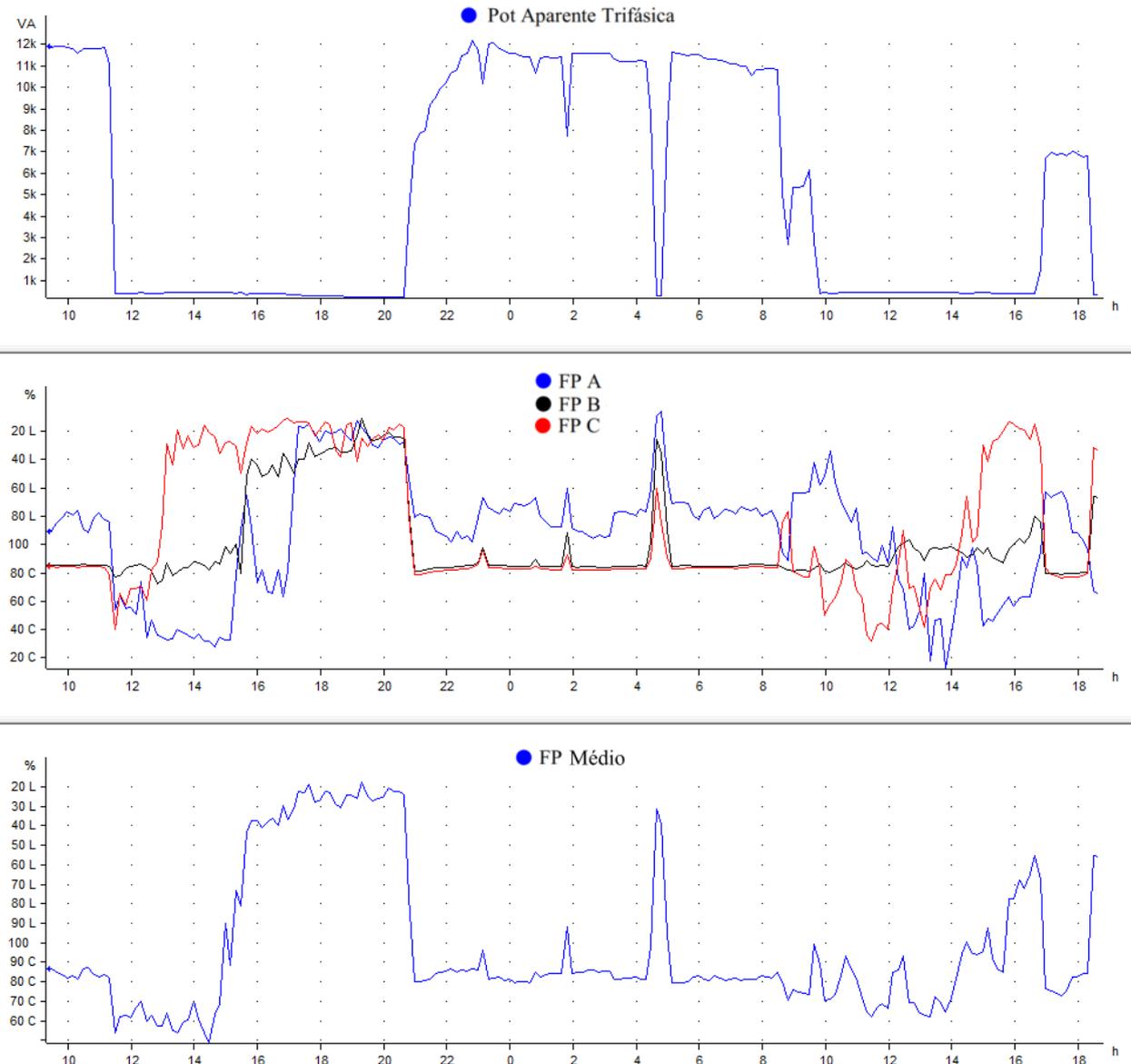
O ponto 3 de análise da qualidade de energia foi escolhido para avaliar a influência do equipamento de maior potência nominal instalado na planta, um reator de 75 kVA. Como os fenômenos de tensão e corrente que atingem esse equipamento já foram analisados no ponto de interesse 1, para este ponto foi realizada apenas a análise do FP.

Foram realizadas medições a cada 10 minutos entre os dias 25/01/2024 às 09:18 até o dia 26/01/2024 às 18:38, adquirindo um total de 201 valores válidos.

#### 4.2.3.1 Análise da Potência e FP do ponto 3

A potência consumida pelo reator ligado ao ponto de interesse 3, pode ser visto na Figura 34 através do gráfico da potência aparente trifásica, foi visto que o uso do reator não é contínuo, e mesmo que a potência nominal do motor seja de 75 kVA, através do uso de um inversor de frequência ele é utilizado em uma potência de aproximadamente 12 kVA.

Figura 34 – Potência aparente trifásica, fatores de potência das fases A, B e C e fator de potência médio no ponto 3



Fonte: Elaboração própria

Também pôde-se analisar na Figura 34, que a variação do fator de potência nesse ponto varia concomitantemente com a utilização do reator, além disso quando o motor não está em funcionamento o mesmo apresenta somente valores fora da faixa limite de 0,92 % indutivo ou capacitivo chegando a picos de 20% indutivo, quando o motor é acionado o fator de potência fica em torno de 90% capacitivo.

### 4.3 PONTOS CRÍTICOS COM NECESSIDADES DE ADEQUAÇÕES

Alguns pontos que foram levantados neste trabalho necessitam de adequações em curto e médio prazo, visto que trazem riscos a integridade da infraestrutura fabril e aos equipamentos.

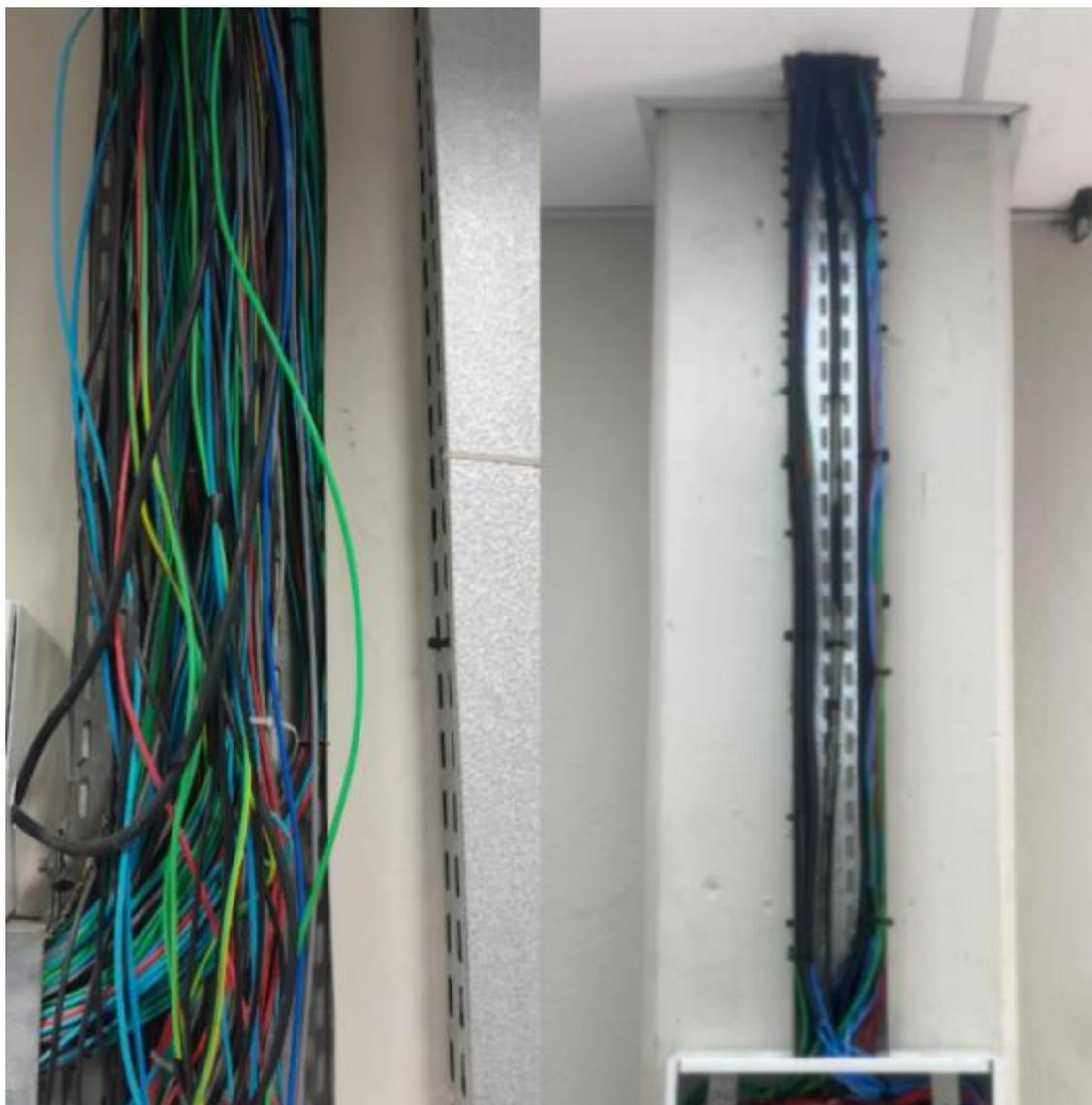
#### 4.3.1 Adequações necessárias na infraestrutura

A análise da infraestrutura foi realizada até o segundo ponto de distribuição conforme mostrado no capítulo anterior, neste contexto foi analisado cerca de 50% da infraestrutura. Mesmo com uma análise parcial muitos pontos de problemas foram encontrados, por isso sugere-se que seja realizada em médio prazo uma vistoria de toda a infraestrutura elétrica fabril.

Além disso, os pontos de vulnerabilidade já localizados necessitam de melhorias em curto prazo, como a construção de novos encaminhamentos, a fim de segregar os circuitos e diminuir a taxa de ocupação das eletrocalhas e eletrodutos.

Na Figura 35 pode ser visto um exemplo deste problema citado, a esquerda uma eletrocalha superlotada e desorganizada, e a direita uma eletrocalha montada dentro dos padrões normativos.

Figura 35 – Comparação de eletrocalhas

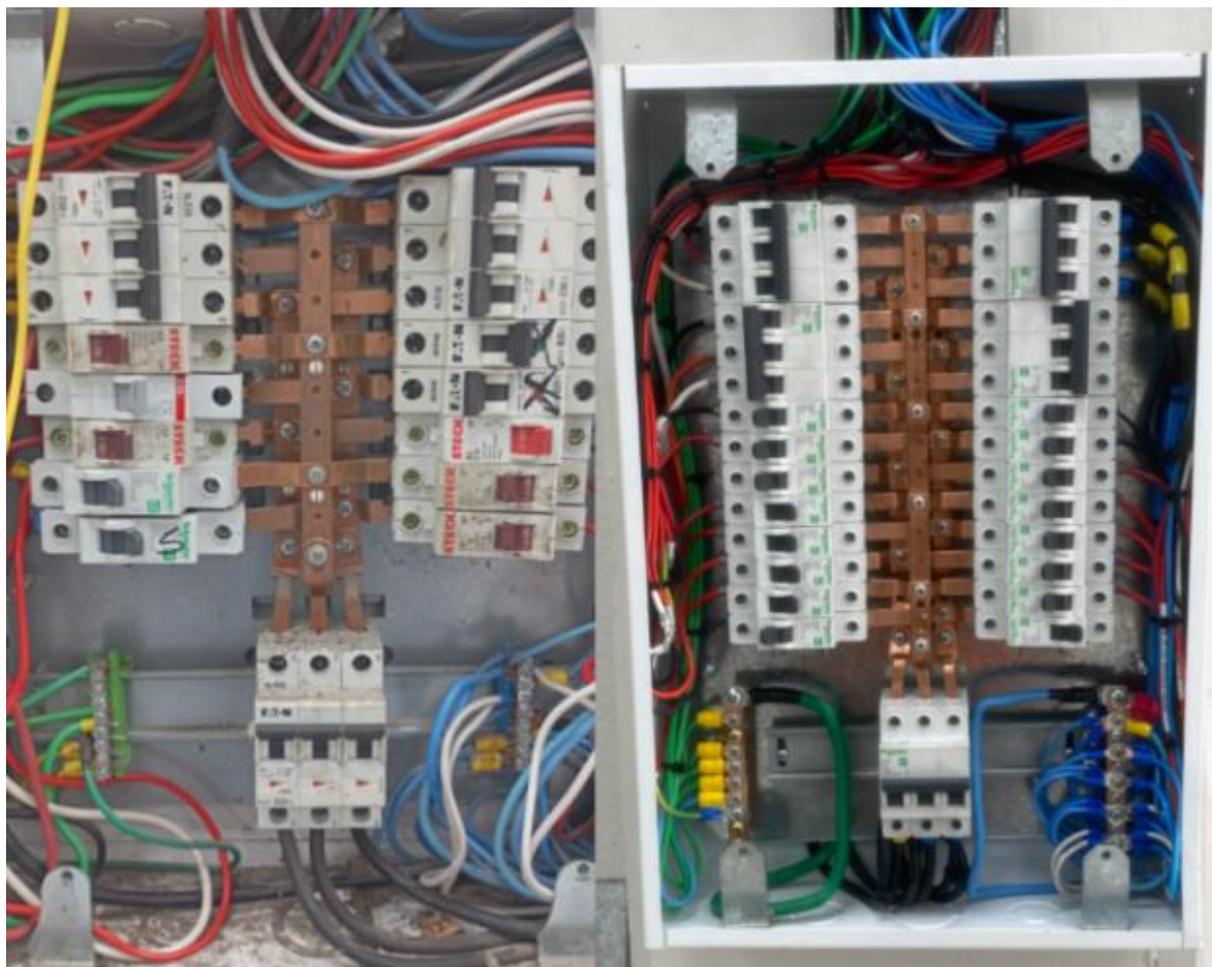


Fonte: Elaboração própria

Durante a análise dos painéis elétricos da planta através da sistemática descrita no capítulo anterior, o Quadro 13 foi montado mostrando um resumo das verificações. Ao avaliar o Quadro 13 notou-se que a maioria das não-conformidades comuns aos painéis tem a ver com itens de manutenção e identificação.

Na Figura 36 pode ser visto um exemplo de um painel com não conformidades á esquerda, e a direita um painel dentro das normas exigidas.

Figura 36 – Comparação de painéis elétricos



Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.1 Adequações necessárias a partir das imagens termográficas

Com base nas análises termográficas o Quadro 14 foi montado mostrando o fator de elevação de temperatura calculado dos componentes analisados, a partir desses dados o Quadro 25 foi elaborado para indicar a providência a ser tomada a fim de sanar os problemas encontrados, com base na norma PETROBRAS (2005).

Quadro 25 – Classificação térmica dos componentes medidos e a determinação da providência

<b>Componente avaliado</b>	<b>Fator de elevação de temperatura</b>	<b>Classificação Térmica</b>	<b>Providência</b>
Disjuntor QGBT 1	0,22	Normal	Normal
Disjuntor QGBT 12	0,45	Aquecido	Em observação
Disjuntor QGBT 11	0,53	Aquecido	Em observação
Disjuntor CD 08	0,62	Muito Aquecido	Manutenção programada
Disjuntor 2 CD 08	0,63	Muito Aquecido	Manutenção programada

Fonte: Elaboração própria

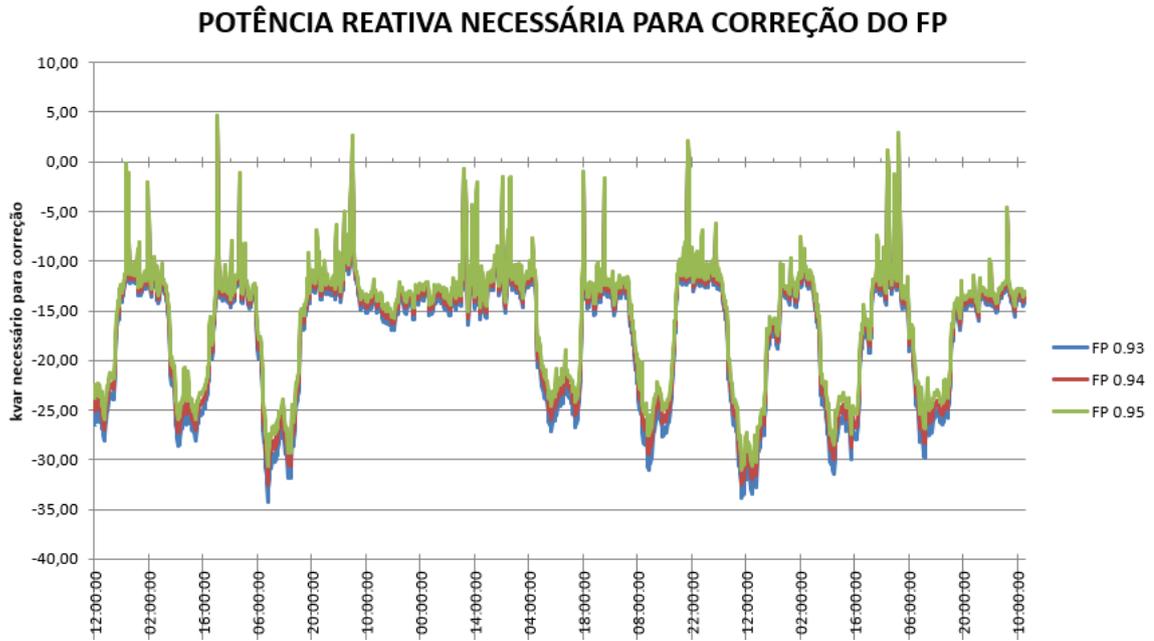
Por mais que alguns componentes não necessitam de providência imediata, indica-se que seja feito uma conferência no aperto de todos os parafusos dos componentes medidos, e caso o problema se mantenha em medições futuras seja realizada a troca dos mesmos.

#### 4.3.1 Adequações necessárias para melhoria na qualidade da energia elétrica

Na análise dos 3 pontos de interesse medidos com o equipamento analisador da qualidade de energia elétrica, três distúrbios avaliados foram problemas encontrados em mais de um ponto.

Notou-se que o fator de potência é um distúrbio presente nas 3 medições, sendo mais evidenciado seu impacto no ponto de interesse 2 e 3, na Figura 37 está representado um gráfico contendo a potência reativa, em kVAr, necessária para correção do fator de potência do ponto 2, para os índices de 0,93%, 0,94% e 0,95%.

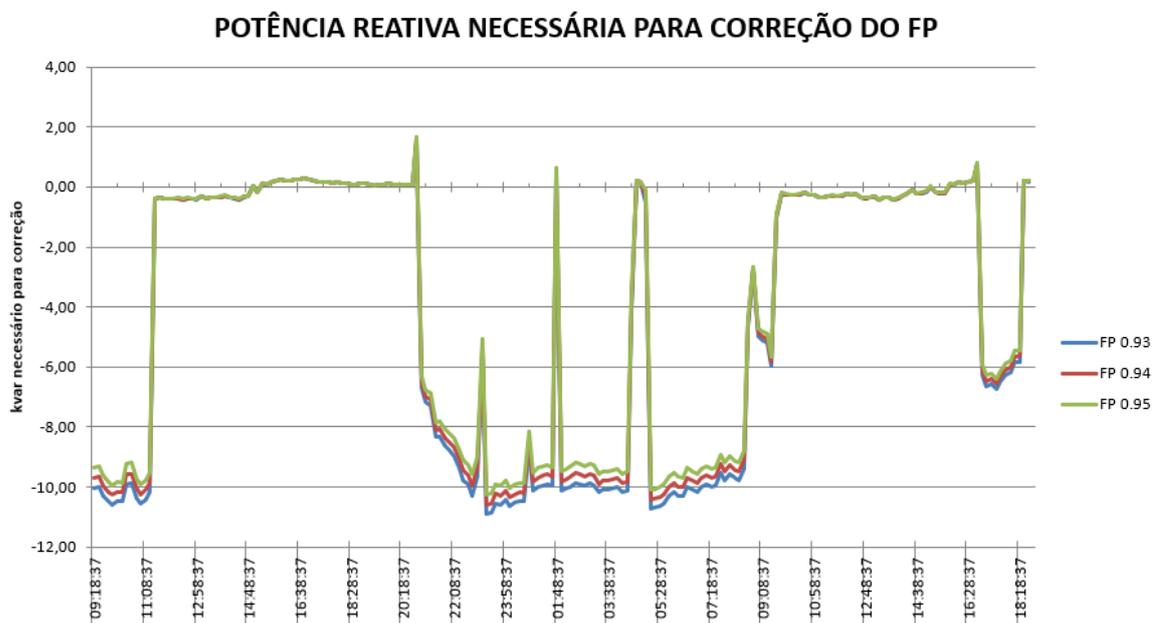
Figura 37 – Potência reativa necessária para correção do FP do ponto 2



Fonte: Elaboração própria

A Figura 38 mostra um gráfico contendo a potência reativa, em kVar, necessária para correção do fator de potência do ponto 3, para os índices de 0,93%, 0,94% e 0,95%.

Figura 38 – Potência reativa necessária para correção do FP do ponto 3



Fonte: Elaboração própria

O desequilíbrio de corrente foi um distúrbio avaliado como fora dos limites nos pontos de medição 1 e 2, esse distúrbio também contribuiu para uma piora nas medições de outros distúrbios elétricos. Indica-se fazer no curto prazo um balanceamento de todas as cargas dos quadros elétricos avaliados, assim como nos demais quadros em um médio prazo.

As distorções harmônicas de corrente foram avaliadas como fora dos limites estabelecidos no ponto 1 e 2, esse distúrbio se mostrou mais evidente no ponto de interesse 2, onde alcançou valores significativos, sugere-se que seja feito um estudo das harmônicas mais detalhado no ponto 2, onde seja indicados filtros a fim de amenizar esse distúrbio.

Em suma em um período de curto e médio prazo sugere-se que seja feita o balanceamento das cargas da planta, buscando a diminuição do desequilíbrio de corrente. Em médio prazo é indicado que seja realizado um estudo mais aprofundado do fator de potência da planta contendo todos os equipamentos, onde será possível definir melhorias no distúrbio com o uso de banco de capacitores. E no longo prazo é adequado que seja feito um estudo completo das harmônicas de corrente, a fim de buscar possíveis soluções para o distúrbio como o uso de filtros.

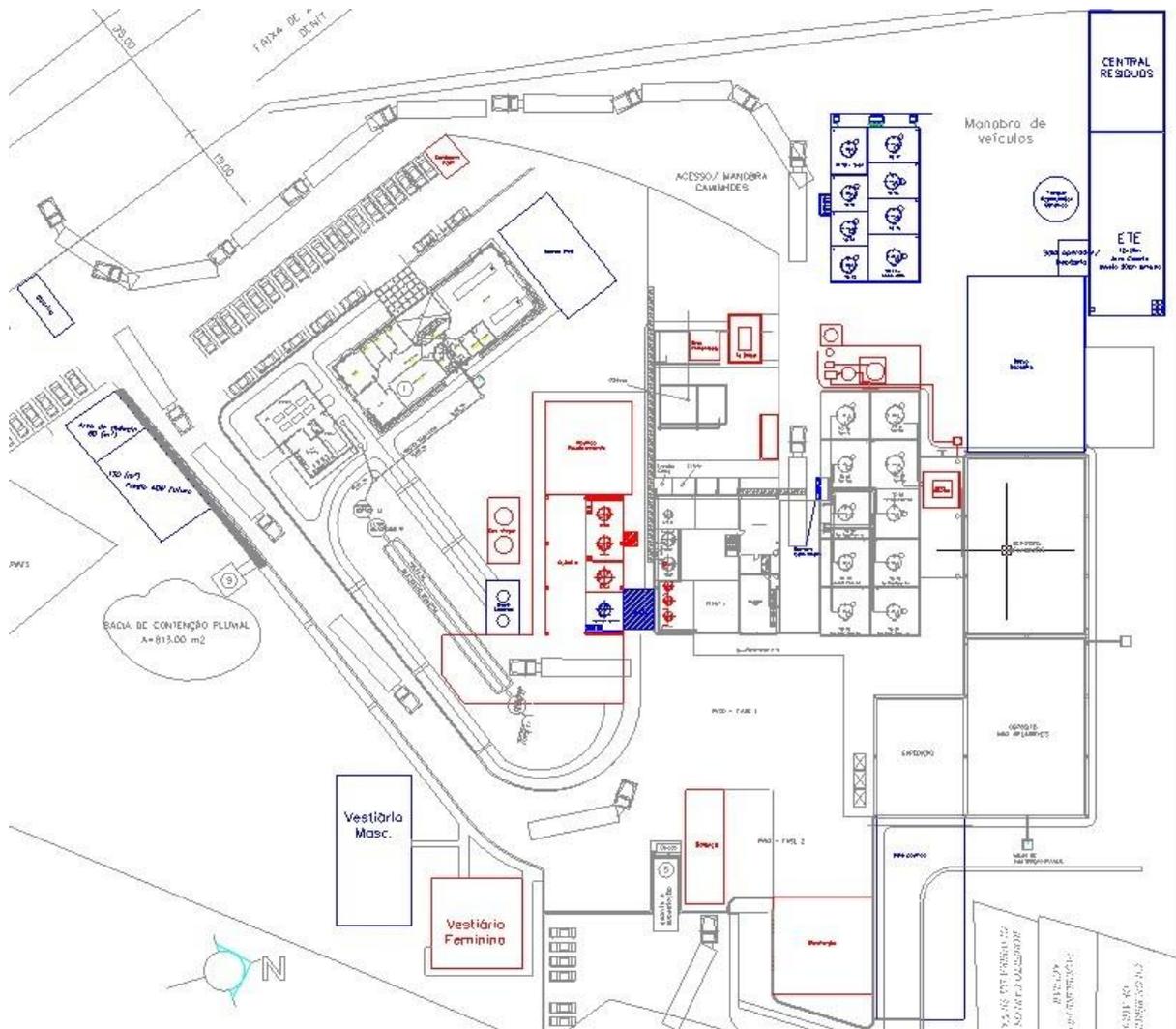
Vale ressaltar que ao ajustar os distúrbios como fator de potência e desequilíbrio de corrente, uma análise das harmônicas de corrente deve ser feita, pois deve ser percebido uma melhora significativa nas mesmas.

#### 4.4 PLANEJAMENTO PARA O FUTURO

Levando em consideração que a indústria está desenvolvendo projetos de aumento na capacidade fabril de médio e longo prazo, um planejamento para a futura inclusão de cargas na planta é fundamental.

Na Figura 39 é apresentado o plano diretor da planta, sendo em cinza o inicial, quando a fábrica inaugurou, em vermelho os projetos de aumento já finalizados e em azul os projetos planejados.

Figura 39 – Plano diretor planejado



Fonte: Elaboração própria

Nota-se na Figura 41 que a área construída praticamente dobrará, por isso uma análise completa das cargas é necessária, como neste trabalho não foi possível analisar o consumo total da planta com todos equipamentos ligados, pois a produção passava por um período de baixa produtividade, conforme foi visto na seção 4.2.1.1, sugere-se que seja feito um estudo das capacidades de carga do transformador com todas os equipamentos de potência significativa energizados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O expressivo avanço dos diversos setores tecnológicos na sociedade, aliado ao conseqüente aumento na demanda por energia, evidencia a crescente necessidade de fornecer energia com qualidade. Essa exigência tende a se intensificar continuamente, sendo impulsionada tanto pelos consumidores quanto pelos órgãos reguladores, o que demanda um esforço cada vez maior por parte das concessionárias e empresas do setor energético.

O presente trabalho teve como propósito demonstrar a importância da análise da qualidade de energia elétrica, abordando os diversos fatores que podem influenciar negativamente esse aspecto. São destacados os principais parâmetros que devem ser monitorados para assegurar uma energia de qualidade, além de serem seguidas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em seus Procedimentos de Distribuição, garantindo a conformidade com as regulamentações aplicáveis.

Foi possível analisar a infraestrutura elétrica e os painéis elétricos de uma indústria química, onde constatou-se problemas que necessitam de intervenção de curto, médio e longo prazo, como eletrocalhas e eletrodutos superlotas e mal organizados, quadros elétricos com falta de manutenção e mal distribuídos, além disso através de análises termográficas realizadas, foi visto que muitos componentes necessitam de providência, como disjuntores sobreaquecidos.

Utilizando um equipamento medidor da qualidade de energia e um software, foi analisado a energia em 3 pontos de interesse centrais para uma avaliação coesa dos distúrbios elétricos, como *SAG*, *SWELL*, *Flicker*, distorções harmônicas, fator de potência, variações de frequência e desequilíbrios de tensão e corrente.

Conclui-se que a análise de qualidade de energia e infraestrutura realizada neste estudo de caso foi satisfatória, mesmo que evidenciando alguns problemas foi possível buscar sugestões para melhorias, e através de possíveis trabalhos futuros pode buscar melhorias ainda maiores na indústria.

## 6 REFERÊNCIAS

SANTOS, Eduardo Piaia dos. **Avaliação de eficiência energética em instalação elétrica industrial**. 2015. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

FERRAZ, Lara Santos. **Avaliação das patologias nas instalações elétricas de baixa tensão**. 2016. 149 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

ZOTESSO, Evandro B. **Análise da eficiência energética e da qualidade da energia elétrica sob a ótica da melhoria das instalações elétricas em uma indústria na cidade de Toledo - PR**. 2019. 110f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2019.

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Redes de Energia Elétrica**. 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 10 out. 2023.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

SUED, Lucas Avila Neto. **Análise da qualidade de energia em uma unidade industrial**. 2017. 54 f. Trabalho de conclusão (especialização) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2017.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – UFPR. 2013.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEXO VIII DA RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 956, DE 7 DE DEZEMBRO 2021 PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL –PRODIST MÓDULO 8 – QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasília, DF: ANEEL, 2021.

VILELA, Welliton Pereira. **Análise da qualidade de energia através de um estudo de caso**. 2018. 56f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, Varginha, 2018.

RIOS, Bruna M.; ALMEIDA, John J. **Instalações Elétricas Industriais**: elaboração de um plano de manutenção para as instalações elétricas da indústria de laticínios Coluna-MG. 2016. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni, MG, 2016.

LEÃO, Fábio B. **Dedução do Fator de Potência na Presença de Harmônicas**. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/iei-deducao-do-fator-de-potencia-na-presenca-de-harmonicas.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2025.

MUNDINS, Christian W. **Análise da qualidade e energia elétrica em um estabelecimento de saúde**. 2020. 65f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, 2020

POLL, Fernando da Cruz. **Análise da qualidade de energia elétrica em baixa tensão**: estudo de caso em um ambiente universitário. 2013. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Elétrica, Alegrete, 2013.

CAMPOS, Gustavo D. **Análise da qualidade da energia elétrica**: um estudo de caso. 2016. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário do Sul de Minas UNIS-MG, Varginha, 2016.

DUGAN, C.R. et al. **Electrical Power System Quality**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MORENO, Hilton. **Harmônicas nas instalações elétricas**: causas, efeitos e soluções. Instituto Brasileiro do Cobre. São Paulo, 2001.

SCHMIDT, Renata B. **Análise de qualidade de energia elétrica**: distorções harmônicas em uma usina. 2022. 85f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2022.

Engeletrica. **Termografia**. Disponível em: <[http://www.engeletrica.com.br/eng\\_termografia.htm](http://www.engeletrica.com.br/eng_termografia.htm)>. Acesso em: 20 de dezembro de 2024.

CABRAL. Lucas G. **Aplicação da termografia na manutenção preditiva**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF fluminense. 2010.

PETROBRAS – NORMA N-2475, INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM SISTEMAS ELÉTRICOS. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2005.

DECKMANN, S.M. et al. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. 2020. 155f. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

## **7 APÊNDICES**

## APÊNDICE A – VERIFICAÇÕES PARA ANÁLISE DE PAINÉIS ELÉTRICOS

### CHECKLIST PARA ANÁLISE DE PAINÉIS ELÉTRICOS

#### PAINEL ELÉTRICO

DATA:	LOCAL:	TAG:
-------	--------	------

ÍTEM	DESCRIÇÃO	C	NC	NA	OBSERVAÇÕES
1	O painel está identificado?				
2	As partes vivas estão protegidas contra contatos acidentais?				
3	O painel tem iluminação?				
4	A lâmpada está funcionando?				
5	O sistema de aterramento (barra de terra e aterramento da porta) está adequado?				
6	O painel possui ventilação?				
7	O IP (grau de proteção) está adequado ao ambiente?				
8	Os cabos, disjuntores, e chaves estão identificados?				
9	Existe barramento neutro e terra?				
10	Existe corrosão ou ferrugem no painel?				
11	O painel está limpo internamente?				
12	Os esquemas elétricos – unifilares estão na no painel?				
13	Existe porta documentos?				
14	As canaletas estão com tampa?				
15	As canaletas estão muito cheias?				
16	Existe cabos passando por cima das canaletas?				
17	Existe fiação com emendas mal feitas?				
18	Há sinais de aquecimento de componentes do painel?				
19	Nos painéis instalados na parte externa do prédio bem como os circuitos da cozinha e banheiro existe DR instalado?				
20	Existe indicação de "ligado" e "desligado" p/os dispositivos de manobra dos circuitos?				
21	A infraestrutura elétrica de entrada/saída de cabos esta com a ocupação adequada ?				
22	O painel possui etiquetas de segurança e cadeado ou chave ?				

## **8 ANEXOS**

ANEXO 1 – DATASHEET DO EQUIPAMENTO ANALISADOR P55



**Especificações Técnicas**

**P55**

**Analizador de Qualidade de Energia**



### Analisador de Qualidade de Energia P55

#### Apresentação

O **Analisador de Qualidade de Energia P55** foi projetado para realizar medições em sistemas de distribuição de energia elétrica. É a segunda geração de analisadores desenvolvidos pela **PRIMATA ELETRÔNICA**, visando a atender às demandas das concessionárias e permissionárias de energia e demais usuários em conformidade com o **PRODIST – Módulo 8 da ANEEL (Classe S)**.

De uso ao tempo, portátil, inteligente e moderno, o **Analisador P55** está homologado pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU (Núcleo de Qualidade da Energia Elétrica). Possui unidade de armazenagem de dados removível em **Pendrive**, fornecido com **memória de 32GB**, além de comunicação via portas USB, display e teclado que permitem realizar a programação diretamente no equipamento.

Por ter uma capacidade de memória elevada, o **Analisador P55** calcula e registra todas as grandezas elétricas de forma irrestrita, e o **Software SMD** permite que o usuário analise e filtre somente os dados necessários e com diferentes intervalos. Assim, não há necessidade de pré-programar ou restringir as grandezas elétricas a serem registradas em campo.



#### Aplicações

- ✓ Análise e medição da qualidade de energia (tensões, correntes, potências, frequência, harmônicos, desequilíbrio de tensão e corrente, flutuação, registro de eventos, indicadores individuais de qualidade);
- ✓ Atendimento ao PRODIST – Módulo 8 da ANEEL (Classe S);
- ✓ Análise de energia bidirecional (quatro quadrantes), energia consumida e injetada;
- ✓ Gestão de modalidade tarifária, demanda e análise de crédito de ICMS;
- ✓ Correção de fator de potência, espectro e perdas harmônicas (tensão e corrente);
- ✓ Suporte nas definições dos filtros de capacitores, com gráficos de espectro harmônico de tensão e corrente e lista para análise detalhada de amplitudes e perdas harmônicas;
- ✓ Determinação de *K-Factor* para análise da capacidade de um novo transformador em alimentar cargas não-lineares, e do Fator-K para *De-rating* (“desclassificação”) de transformadores em uso;
- ✓ Análise gráfica de curva de corrente *in-rush* de motores (>1s);



### Analizador de Qualidade de Energia P55

#### Grandezas Elétricas Registradas/Calculadas

- ✓ Tensão RMS;
  - Fase-Neutro e Fase-Fase (A, B e C);
  - Instantânea, Máxima, Mínima e Média;
  - Tensão de neutro de aterramento;
- ✓ Corrente RMS (A, B e C);
  - Instantânea, Máxima, Mínima e Média;
- ✓ Corrente de neutro calculada (teórica);
- ✓ Corrente de neutro medida (real);
- ✓ Potências ativa, reativa e aparente (monofásicas e trifásicas);
- ✓ Fator de potência (monofásico e trifásico);
- ✓ Frequência (A, B e C);
- ✓ Taxa de distorção harmônica total (Tensão e Corrente);
- ✓ Harmônica fundamental (Tensão e Corrente);
- ✓ Taxa de distorção harmônica individual (até 50ª harmônica – Tensão e Corrente);
- ✓ Desequilíbrio de tensão em (%) de sequência negativa (Norma IEC 61000-4-7);
- ✓ Desequilíbrio de corrente em (%) de sequência negativa (Norma IEC 61000-4-7);
- ✓ Severidade de flutuação de tensão (IEC 61000-4-15);
- ✓ Registro de eventos de Variação de Tensão de Curta Duração – VTCD (Norma IEC 61000-4-30 – com valor eficaz calculado a cada 1 ciclo) e Curva CBEMA de dispersão de eventos;
- ✓ Fator-K (*De-rating*) e *K-Factor* (Norma IEEE C57.110) para transformadores;
- ✓ Energia Bidirecional (Quatro Quadrantes) e Demanda;

#### Principais Informações Exibidas no Display

- ✓ Programa ativo no analisador;
- ✓ Valores de tensões instantâneas (Fase-Neutro e Fase-Fase);
- ✓ Valores de correntes instantâneas;
- ✓ Valor de corrente de neutro;
- ✓ Valores de potências ativa, reativa e aparente (monofásicas e trifásica);
- ✓ Fator de potência (monofásico e trifásico);
- ✓ Taxa de distorções harmônicas por fase;
- ✓ Frequência da rede;
- ✓ Número de medidas válidas coletadas em tempo real para cálculo dos relatórios DRP/DRC;
- ✓ Verificação da correta instalação do analisador e indicação de eventuais erros;
- ✓ Memória disponível no Pendrive (em dias, horas ou minutos);
- ✓ Status da bateria do relógio-calendário;
- ✓ Data / Hora;



*Analizador de Qualidade de Energia P55*

**Características Elétricas**

<b>Fonte de alimentação</b>	
<b>Tensão de alimentação</b>	Máxima: 520 Vca (Fase-Fase) Mínima: 70 Vca (Fase-Neutro)
<b>Fase de alimentação</b>	Qualquer uma das fases
<b>Consumo (alimentado pelas 3 fases)</b>	3,5 Wh em 127 V ou 4,5 Wh em 220 V
<b>Relógio-calendário</b>	Com bateria NiCd recarregável (autonomia de 200 dias sem alimentação)
<b>Comunicação</b>	
<b>Porta</b>	USB
<b>Velocidade</b>	115 kbps (conexão direta de alta-velocidade com computador)
<b>Fundo de escala (tensão)</b>	520 Vca (Fase-Fase)
<b>Resolução</b>	0,1 V
<b>Exatidão</b>	± 0,5%
<b>Fundo de escala (corrente)</b>	10A, 200A, 1000A, 3000A ou 5000A
<b>Exatidão (condutor centralizado)</b>	± 0,2% do valor lido ± 1,0% do sensor
<b>Medição da tensão de neutro de aterramento</b>	Sim
<b>Corrente de neutro</b>	Calculada (teórica) e Medida (real)
<b>Tipos de ligação</b>	Monofásica, Bifásica, Trifásica (Estrela), Delta Aberto, Delta Fechado e Indireta (com transdutores externos – TP/TC)
<b>Condições ambientais de operação</b>	
<b>Nível de proteção</b>	IP 659
<b>Temperatura</b>	-10 a 60 °C
<b>Umidade</b>	0 a 100% sem condensação
<b>Isolação dos conectores</b>	600 V
<b>MTBF (<i>Mean Time Between Failures</i>)</b>	68.400
<b>Registro de faltas</b>	Sim
<b>Blindagem eletromagnética</b>	Sim



*Analizador de Qualidade de Energia P55*

**Características Mecânicas**

<b>Dimensões (A x L x P)</b>	220 x 146 x 107 mm
<b>Peso (com cabos e garras, sem os TC's)</b>	2650 g
<b>Comprimento do cabo (sinais de tensão)</b>	2,0 m
<b>Comprimento do cabo (sinais de corrente)</b>	2,0 m
<b>Display com backlight</b>	2 linhas x 16 colunas
<b>Portátil</b>	Sim
<b>Caixa</b>	
<b>Material</b>	Termoplástico com proteção UV, alta resistência ao impacto e autoextinguível
<b>Nível de proteção</b>	IP 659
<b>Conectores para sinais</b>	Conectores circulares para painel (na parte inferior)
<b>Elemento para fixação em poste</b>	Sim (na parte superior)

**Programa Interno de Controle (Firmware)**

<b>Intervalo mínimo de registro de eventos</b>	16 milissegundos
<b>Tipo de memória</b>	Removível (Pendrive)
<b>Capacidade de memória</b>	32GB (equivalente a 170 dias ininterruptos de aquisição a cada 1 segundo, sem necessidade de restringir as grandezas elétricas a serem registradas)
<b>Armazenamento dos dados</b>	Programação independente para cada aquisição
<b>Programação de parâmetros internos</b>	Data e hora (automática durante a conexão com o computador)
	Relações de transformação (tensões e correntes)



### Analizador de Qualidade de Energia P55

#### Parâmetros Programáveis via Software SMD

- ✓ Nome e descrição da aquisição;
- ✓ Tipo de disparo: imediato ou por tempo (programado);
- ✓ Tipo de encerramento: por data/hora, por medidas (número de medidas válidas para relatórios DRP/DRC) ou indeterminado;
- ✓ Data e hora de início (habilitado para disparo programado);
- ✓ Data e hora de fim (habilitado para encerramento por data/hora);
- ✓ Tipo de ligação: estrela, delta aberto ou delta fechado;
- ✓ Relação de transformação dos TP's;
- ✓ Relação de transformação dos TC's;
- ✓ Sem necessidade de pré-programar ou restringir as grandezas elétricas a serem registradas;

#### Itens Fornecidos com o Produto

- ✓ Garras de tensão **P10 – Garra Golfinho – CAT III 1000V / 32A** (5 garras):
  - Neutro, Neutro de Aterramento, Fase A, Fase B e Fase C;
- ✓ Transformadores de corrente (4 TC's), rígidos (tipo *clamp*) ou flexíveis:
  - Neutro, Fase A, Fase B e Fase C;
- ✓ Pendrive com memória de 32GB para armazenamento dos dados;
- ✓ Cabo USB para comunicação com computador;
- ✓ Cabo de conexão para sinais de tensão;
- ✓ Cabo de conexão para sinais de corrente;
- ✓ Bolsa para transporte e armazenamento do equipamento e acessórios;
- ✓ Software SMD – Sistema de Manipulação de Dados;



*Analizador de Qualidade de Energia P55*

**Acessório Opcional: Maleta Personalizada (Hardcase) <sup>1</sup>**



<sup>1</sup> A bolsa não é fornecida quando a maleta é adquirida.

**Entre em Contato:**

Tel.: +55 (41) 3223-2176

Rua Visconde de Nácar, 288, Centro  
Curitiba - PR - 80410-200

[www.primataeletronica.com.br](http://www.primataeletronica.com.br)



**PRIMATA**  
Tecnologia Eletrônica

Os produtos da **PRIMATA ELETRÔNICA** estão em constante aprimoramento. Por isso, as especificações técnicas contidas neste material podem ser alteradas sem aviso prévio. Consulte nosso site para verificar eventuais atualizações.



**PRIMATA**  
Tecnologia Eletrônica

[www.primataeletronica.com.br](http://www.primataeletronica.com.br)  
[comercial@primataeletronica.com.br](mailto:comercial@primataeletronica.com.br)

Rev. 2024-03  
Página 7 de 7

Fonte: Primata Tecnologia Eletrônica (2025)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Disponível em: <https://primataeletronica.com.br/wp-content/uploads/2024/08/Especificacoes-Tecnicas-P55-Analisador-de-Qualidade-de-Energia-v2024-03.pdf>

## ANEXO 2 – DATASHEET DA CÂMERA TERMOGRÁFICA PORTÁTIL FLIR E4 WIFI



### FLIR *EX Series*

#### Point-and-Shoot Thermal Imaging Cameras

FLIR E4, E5, E6, and E8 infrared cameras are powerful and extremely cost-effective, easy-to-use troubleshooting tools for building, electrical, and mechanical applications. Four resolution options are available (ranging from 80 x 60 IR pixels to 320 x 240) to fit the target size, working distance, and detail you require. All include MSX® technology that provides extraordinary thermal imaging detail. Wi-Fi connectivity to smartphones and tablets via the FLIR Tools® Mobile app makes sharing images and sending reports from any location easier, enabling you to make critical decisions faster. By providing thermal images to help you find hidden problems along with accurate temperature measurements, an Ex-Series camera is the ideal budget-friendly replacement for old-school IR thermometers.

#### Easy to use

*Intuitive, user-friendly interface for measurements in thermal or MSX mode*

- Fully automatic and focus-free
- Simple button navigation to on-screen settings, imaging modes, and measurement tools
- MSX adds digital camera detail to IR images for better perspective and interpretation

#### Conveniently share images and findings

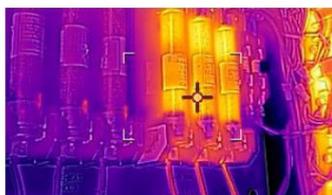
*Download images, create reports, and show what you've found instantly*

- Wi-Fi connectivity to mobile devices via FLIR Tools Mobile app
- Rapid Wi-Fi or USB image transfer for documentation
- Analyze and edit images, and create convincing reports with FLIR Tools

#### Compact and rugged

*Built for portability and use in harsh environments*

- Lightweight (1.2 lb / .0575 kg) and withstands 2-meter drop test
- 2-year warranty coverage on camera, 5 years on batteries, 10 years on detector



MSX shows you numbers, labels and structural features, eliminating the need to look at a visual image for detail



Variable emissivity and reflected temperature parameters give you reliable results fast

## Specifications

Features by Camera	E4	E5	E6	E8
IR resolution	80 × 60 pixels	120 × 90 pixels	160 × 120 pixels	320 × 240 pixels
Thermal sensitivity/NETD	<0.15°C (0.27°F) / <150 mK	<0.10°C (0.27°F) / <100 mK	<0.06°C (0.11°F) / <60 mK	
Image adjustment	Automatic adjust/lock image		Automatic/Manual	
<b>Common Features</b>				
Field of view (FOV)	45° × 34°			
Minimum focus distance	0.5 m (1.6 ft)			
Image frequency	9 Hz			
Focus	Focus free			
Wi-Fi	Peer-to-peer or network			
Detector type	Uncooled microbolometer			
<b>Image Presentation and Modes</b>				
Display	3.0 in. 320 × 240 color LCD			
Image modes	Thermal MSX®, thermal, picture-in-picture, thermal blending, digital camera			
Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX)	IR image enhanced with visible camera detail			
Picture-in-Picture	IR area on visual image			
Color palettes	Black & white, iron, and rainbow			
Digital camera resolution / FOV	640 × 480 / 55° × 43°			
<b>Measurement Features</b>				
Object temperature range	-20°C to 250°C (-4°F to 482°F)			
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading, for ambient temperature 10°C to 35°C (50°F to 95°F) and object temperature above 0°C (32°F)			
Spotmeter / area	Center spot; box with min./max.			
Emissivity table / correction	Emissivity table of predefined materials / variable from 0.1 to 1.0			
<b>Additional Data</b>				
File formats	Standard JPEG, 14-bit measurement data included			
Interfaces	USB Micro: Data transfer to and from PC and Mac device			
Battery type & operating time	Rechargeable 3.6 V Li ion battery; approx. 4 hours typical use			
Encapsulation / drop	IP 54 (IEC 60529) / 2 m (6.6 ft)			
Camera weight, incl. battery	0.575 kg (1.27 lb)			

Specifications are subject to change without notice. For the most up-to-date specifications, go to [www.flir.com](http://www.flir.com)



Download images fast via USB.



\*After product registration at [www.flir.com](http://www.flir.com)



Wireless connectivity to smartphones, tablets and more.

**PORTLAND**  
Corporate Headquarters  
FLIR Systems, Inc.  
27700 SW Parkway Ave.  
Wilsonville, OR 97070  
PH: +1 866.477.3687

**NASHUA**  
FLIR Systems, Inc.  
9 Townsend West  
Nashua, NH 03063  
PH: +1 866.477.3687

**CANADA**  
FLIR Systems, Ltd.  
920 Sheldon Court  
Burlington, ON L7L 5K6  
Canada  
PH: +1 800.613.0507

**LATIN AMERICA**  
FLIR Systems Brasil  
Av. Antonio Bardella,  
320 Sorocaba,  
SP 18085-852  
Brasil  
PH: +55 15 3238 7080

**CHINA**  
FLIR Systems Co., Ltd  
Rm 1613-16, Tower II  
Grand Central Plaza 1  
38 Shatin Rural  
Committee Rd.  
Shatin, New Territories  
Hong Kong  
PH: +852 2792 8955

**BELGIUM**  
FLIR Systems  
Luxemburgstraat 2  
2321 Meer  
Belgium  
PH: +32 (0) 3665 5100

**UNITED KINGDOM**  
FLIR Systems UK  
2 Kings Hill Ave., Kings Hill  
West Malling, Kent  
ME19 4AQ  
United Kingdom  
PH +44 (0)1732 220 011

Equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited. Imagery for illustration purposes only. Specifications are subject to change without notice. ©2018 FLIR Systems, Inc. All rights reserved. [Updated April 5] 17-086

[www.flir.com](http://www.flir.com)  
NASDAQ: FLIR

[flir.com/instruments/ex-series](http://flir.com/instruments/ex-series)



The World's Sixth Sense®

Fonte: Primata Tecnologia Eletrônica (2025)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Disponível em: <https://flir.netx.net/file/asset/12957/original/attachment>