

ANÁLISE DOS IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

GUIMARÃES, Rodrigo Goulart¹
Centro Universitário Academia – Uniacademia
NOGUEIRA, Fernando José²
Centro Universitário Academia – Uniacademia

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

O fator de potência (FP) é um indicador crucial da eficiência energética, juntamente com outras características dos sistemas elétricos. Um FP baixo representa consumo excessivo de energia reativa, acarretando diversos impactos negativos, como aumento nas perdas na rede elétrica, sobrecarga dos componentes do sistema e elevação dos custos de energia. A correção do fator de potência, por meio da instalação de bancos de capacitores ou outras técnicas, é fundamental para otimizar a utilização da energia elétrica em sistemas industriais. Minimizando os impactos negativos, como perdas na rede elétrica e sobrecarga dos componentes do sistema. Já os benefícios incluem redução de custos com energia, maior vida útil dos equipamentos e aumento da capacidade de fornecimento de energia, garantindo a estabilidade do sistema. A qualidade da energia elétrica em sistemas industriais, e a conformidade com normas técnicas são cruciais para o funcionamento adequado dos equipamentos. Anomalias no fator de potência demandam investigações detalhadas, pois podem comprometer a eficiência energética do sistema. A identificação e correção dessas irregularidades são cruciais para garantir um desempenho satisfatório e a confiabilidade das operações industriais, promovendo, assim, um ambiente mais eficiente e sustentável. O intuito é analisar os efeitos da correção do fator de potência, fornecer informações e soluções que ajudem a indústria a melhorar a eficiência energética, reduzir custos operacionais e contribuir para a sustentabilidade do processo produtivo.

Palavras-chave: Fator De Potência. Sistemas Elétricos Industriais. Eficiência Energética. Correção. Normas Técnicas.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia – Uniacademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - Uniacademia.

1 INTRODUÇÃO

A correção do fator de potência é um parâmetro essencial para garantir a eficiência energética e a correta operação dos sistemas elétricos industriais. No entanto, muitas plantas industriais enfrentam problemas relacionados à correção do fator de potência, resultando em uma série de impactos negativos tanto nos seus próprios sistemas de energia quanto nos sistemas das concessionárias de energia elétrica. Entre os efeitos indesejáveis de um fator de potência inadequado, destacam-se o aumento do consumo de energia reativa, o desperdício de energia elétrica, a sobrecarga dos equipamentos elétricos, a redução da vida útil dos equipamentos, o aumento das perdas nas redes de transmissão e distribuição, a diminuição da qualidade do fornecimento de energia, o aumento dos custos operacionais na indústria, além das questões relacionadas à sustentabilidade energética e à competitividade do mercado (Forti, 2017).

Diante dessa situação, é imprescindível realizar uma análise completa do sistema, a fim de identificar as causas do problema. Na maioria dos casos, essas causas estão relacionadas a cargas indutivas, cargas não lineares, desequilíbrios de corrente e tensão entre as fases, bem como erros na contratação da demanda elétrica. Frequentemente, os problemas com o fator de potência são resultados decorrentes de sistemas elétricos mal planejados e dimensionados. O tema da correção do fator de potência envolve a conformidade com normas técnicas e regulatórias, as quais podem variar de acordo com a região geográfica (Oliveira, 2011).

No contexto brasileiro, algumas das principais normas relacionadas ao fator de potência são:

- Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010: Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica no Brasil, definindo critérios para a medição, faturamento e compensação da energia reativa excedente. Além disso, aborda a possibilidade de aplicação de tarifas diferenciadas (multas) para consumidores com baixo fator de potência.
- Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021: Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist.

- Norma Técnica Brasileira (NBR) 5410: Estabelece requisitos para instalações elétricas de baixa tensão, incluindo a recomendação de correção do fator de potência como forma de evitar ineficiência energética.
- Norma Técnica Brasileira (NBR) 14039: Estabelece requisitos para instalações elétricas de média tensão, abordando aspectos relacionados ao fator de potência.
- Norma Técnica Brasileira (NBR) 14598: Estabelece requisitos específicos para instalações elétricas de média tensão em sistemas subterrâneos, considerando o fator de potência como um dos aspectos relevantes.

A tomada de decisões para a correção do fator de potência deve ser baseada nas características específicas de cada situação. Não existe uma solução universal que possa ser aplicada a todos os casos. Portanto, é crucial compreender profundamente o problema, obter dados e informações técnicas relevantes da planta industrial, bem como ter um entendimento abrangente dos procedimentos de operação e funcionamento. A partir dessas informações, podem-se adotar as medidas necessárias, levando em consideração a eficiência energética, os custos de implementação, a compatibilidade com a infraestrutura existente e as normas técnicas e regulatórias aplicáveis.

Dessa forma, o propósito deste trabalho consiste em analisar os efeitos da correção do fator de potência em sistemas elétricos industriais, identificar as causas desse problema e apresentar estratégias eficazes de correção. Assim, busca-se fornecer informações e soluções relevantes para que a indústria possa aprimorar sua eficiência energética, reduzir custos operacionais e contribuir para a sustentabilidade do processo produtivo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A análise dos efeitos e estratégias de correção do fator de potência em sistemas elétricos industriais é um tema muito relevante tanto do ponto de vista prático quanto teórico, pois afeta diretamente a eficiência e operação de sistemas industriais em diversos setores. Esta análise e correção é de grande importância para a indústria

e para toda a sociedade, considerando principalmente os seguintes aspectos (Mamede, 2015).

Em relação a melhoria na eficiência energética, a correção do fator de potência desempenha um papel importante. Ao minimizar o uso de energia reativa, que é desperdiçada e não realiza trabalho útil, torna-se possível utilizar a energia de forma mais eficaz. Como resultado, o consumo de energia ativa é reduzido, levando a menores custos operacionais industriais.

Um fator de potência insuficiente tem o potencial de interromper e desequilibrar o sistema elétrico, comprometendo a qualidade do fornecimento de energia. Essas variações afetam negativamente a funcionalidade de máquinas, interrompem os fluxos de trabalho da produção e, por fim, exigem manutenção mais frequente, resultando em contratempos financeiros para o setor industrial.

A redução da demanda de energia elétrica por meio da correção do fator de potência é parte importante da sustentabilidade ambiental. Isso, por sua vez, diminui a necessidade de geração de eletricidade e reduz tanto a pegada de carbono quanto o impacto ambiental associado à produção de energia, incluindo emissões de gases de efeito estufa e dependência de recursos não renováveis.

O fator de potência ruim, pode levar a diversas penalidades, como multas ou reajustes de tarifas, por descumprimento de normas e regulamentos estabelecidos na legislação brasileira. No contexto da competitividade industrial, a eficiência energética é um fator decisivo. As empresas que implementam medidas de correção do fator de potência podem obter uma vantagem competitiva ao reduzir os custos de produção, tornando seus produtos com preços mais competitivos.

Além disso, o estudo da eficácia e das estratégias de correção do fator de potência contribui para o desenvolvimento do conhecimento técnico e científico nesta área. As análises e soluções desenvolvidas podem servir de referência para futuras pesquisas e estimular a criação de novas tecnologias e métodos para correção do fator de potência, avançando assim no desenvolvimento científico e tecnológico nesta área (Mamede, 2015).

Entretanto, a análise dos impactos do sistema elétrico industrial e das estratégias de correção do fator de potência fornece argumentos convincentes para a implementação de medidas eficazes e sustentáveis para beneficiar a indústria e a

sociedade. Com foco na melhoria da eficiência energética, na redução de custos operacionais, na garantia da qualidade do fornecimento de energia, no cumprimento de normas e regulamentos, na melhoria da competitividade do mercado e na promoção do progresso científico e tecnológico, o assunto desempenha um papel fundamental na busca de formas mais eficientes de utilizar a energia no setor industrial, que de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEM) de 2021, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), indica que o setor representa 38% do consumo total de energia elétrica no país.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar análise energética em uma planta industrial para identificar e corrigir problemas relacionados ao fator de potência com o objetivo de melhorar a eficiência energética, qualidade de energia e custos operacionais.

1.2.2 Objetivo específicos

- Executar uma análise detalhada da planta, coletando dados reais sobre o fator de potência e identificar os problemas causados por fator de potência inadequado.
- Desenvolver um quadro de banco de capacitores customizado, levando em consideração os equipamentos necessários, características técnicas da planta e seus custos de aquisição, de forma a demonstrar a viabilidade financeira do projeto.
- Realizar a instalação do painel citado, seguindo rigorosamente os procedimentos de segurança e as normas técnicas aplicáveis.
- Realizar uma análise pós-correção de energia, comparando os resultados obtidos após a instalação do quadro de banco de capacitores com os dados obtidos na análise prévia, a fim de avaliar as melhorias alcançadas em termos de fator de potência e eficiência energética.

- Verificar e documentar os benefícios alcançados com a correção do fator de potência, incluindo a redução do consumo de energia reativa, a diminuição das perdas elétricas, o aumento da vida útil dos equipamentos elétricos, a melhoria da qualidade do fornecimento de energia e a redução dos custos operacionais.
- Avaliar a conformidade do sistema elétrico industrial com as normas técnicas e regulatórias aplicáveis, como a Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010 e as normas técnicas brasileiras (NBRs) 5410, 14039 e 14598, garantindo a aderência às diretrizes e requisitos estabelecidos.

Com isso espera-se obter uma compreensão aprofundada dos problemas relacionados ao fator de potência na planta industrial em estudo, bem como evidências concretas dos benefícios alcançados por meio da correção. Este trabalho contribuirá para a melhoria da eficiência energética, a redução dos custos operacionais e o cumprimento das normas e regulamentos, além de promover o avanço do conhecimento e o desenvolvimento tecnológico no campo da correção do fator de potência (Villanueva, 2015).

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho está organizado em sete capítulos. O segundo capítulo apresenta embasamento em um forte referencial teórico. No terceiro, são detalhados os métodos utilizados na pesquisa. O quarto capítulo inclui um estudo de caso, analisando a situação sem a correção do fator de potência e, em seguida, com a correção implementada. No quinto capítulo, são discutidos os resultados do estudo de caso, e, por fim, o último capítulo traz as conclusões do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A estrutura teórica para este trabalho foi elaborada a partir de múltiplas fontes, incluindo normas técnicas, trabalhos de autores profissionais, órgãos governamentais e concessionárias de energia elétrica. Essas fontes fornecem a base e a direção para explorar tópicos relacionados ao fator de potência.

As Normas ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 14039 fornecem diretrizes importantes para a prática e o cumprimento de padrões de segurança. A Norma

Técnica ABNT NBR 5410 estabelece condições mínimas de segurança para instalações elétricas de baixa tensão e também trata da correção do fator de potência. Já a Norma Técnica ABNT NBR 14039 define as condições exigidas para projeto, implantação, ensaios e manutenção de instalações elétricas de média tensão, tratando também da correção do fator de potência.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) são fundamentais para compreender as regulamentações e diretrizes relacionadas à correção do fator de potência no contexto do setor elétrico brasileiro. A ANEEL é responsável pela regulação do setor elétrico no Brasil e a ONS é responsável pela coordenação e controle das instalações de geração e transmissão de energia elétrica.

Tem-se as concessionárias de energia elétrica como Eletropaulo, Light e Cemig que fornecem manuais e procedimentos específicos, sendo fontes práticas e aplicadas do conhecimento sobre correção do fator de potência.

Fator de potência (FP) é importante na gestão energética, medindo a eficiência com que a energia elétrica é gasta no sistema. Um FP baixo significa que parte da energia consumida não está sendo convertida em trabalho útil, resultando em perdas e custos adicionais. A correção do fator de potência visa elevar o FP para um nível ideal, otimizando o uso da energia e gerando diversos benefícios (Castello, 2024).

O dimensionamento adequado de um sistema composto por banco de capacitores e indutores para a correção do fator de potência em redes elétricas de 50 Hz e 60 Hz é crucial para evitar problemas de ressonância com as harmônicas presentes na rede. Ao escolher uma frequência de sintonia que não se alinhe com as frequências harmônicas perigosas para o banco de capacitores, cria-se um sistema dessintonizado, também conhecido como filtro dessintonizado, que protege o banco de capacitores e preserva a integridade do conjunto, garantindo a eficiência e a segurança do sistema de correção do fator de potência (Silva, 2009).

A aplicação prática da correção do fator de potência em ambientes industriais é essencial para melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais. Ao corrigir o fator de potência, as indústrias evitam penalidades por baixo fator de potência cobradas pelas concessionárias de energia, reduzem as perdas de energia nas linhas de transmissão e distribuição, garantem a estabilidade do sistema elétrico,

melhoram a qualidade da energia fornecida aos equipamentos e cumprem normas e regulamentações relacionadas ao uso eficiente da energia elétrica. Isso envolve o dimensionamento adequado de bancos de capacitores, indutores e sistemas de controle para garantir uma correção eficaz e segura do fator de potência (Mamede, 2015).

O fator de potência tem uma relação significativa com diversos aspectos da qualidade da energia elétrica. Além de ser um indicador de eficiência energética, influenciando diretamente as perdas de energia e a estabilidade do sistema elétrico, o fator de potência também impacta a qualidade da tensão fornecida aos equipamentos, afetando seu desempenho e vida útil. Corrigir o fator de potência não apenas melhora a eficiência e reduz custos operacionais, mas também é essencial para garantir a conformidade com regulamentações e normas que visam o uso racional e eficiente da energia elétrica, destacando sua importância como um aspecto fundamental da qualidade global da energia elétrica (Mamede, 2015).

A correção do fator de potência envolve diversas técnicas e aplicações para melhorar a eficiência energética e garantir a estabilidade do sistema elétrico. Isso inclui o uso de bancos de capacitores, tanto estáticos quanto dinâmicos, controle automático para ajuste em tempo real, filtros de harmônicos quando necessário, análise detalhada do sistema e monitoramento contínuo do fator de potência. Essas abordagens são fundamentais para reduzir perdas de energia, evitar penalidades por baixo fator de potência, garantir a conformidade com normas e regulamentações e proteger a integridade dos equipamentos elétricos (Mamede, 2015).

A utilização dessas fontes no referencial teórico permitiu uma análise abrangente e embasada sobre a correção do fator de potência, considerando tanto os aspectos técnicos e regulamentares quanto as boas práticas e orientações dos especialistas no assunto.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para alcançar os objetivos propostos, são adotados os seguintes métodos:

- **Levantamento de informações e dados:** Sendo realizado um estudo detalhado da planta industrial em questão, coletando informações sobre a

configuração elétrica, equipamentos, cargas, demanda de energia, histórico de consumo e registros relacionados ao fator de potência. Esses dados serão essenciais para compreender a situação atual, identificar problemas e avaliar os impactos do fator de potência inadequado.

- **Análise prévia do sistema:** Com base nos dados coletados, será realizada uma análise energética prévia do sistema elétrico industrial. Isso incluirá a medição e avaliação do fator de potência, a identificação de cargas indutivas, cargas não lineares, desequilíbrios de corrente e tensão, bem como a verificação da conformidade com as normas técnicas e regulatórias aplicáveis.
- **Projeto de correção do fator de potência:** A partir dos resultados da análise prévia, será desenvolvido um projeto personalizado de correção do fator de potência. Esse projeto leva em consideração as necessidades específicas da planta industrial, os equipamentos necessários, as características técnicas dos capacitores, a compatibilidade com a infraestrutura existente e os custos de implementação. O projeto também aborda questões de segurança elétrica, como a proteção contra sobrecorrente e a correta seleção dos dispositivos de manobra.
- **Instalação do quadro de banco de capacitores:** Com base no projeto desenvolvido, será realizada a instalação do quadro de banco de capacitores. Esse processo envolverá a conexão dos capacitores ao sistema elétrico, seguindo os procedimentos de segurança e as normas técnicas aplicáveis. No decorrer da instalação, serão realizados testes e verificações para garantir o funcionamento correto do sistema de correção do fator de potência.
- **Análise pós-correção do sistema:** Após a instalação do quadro de banco de capacitores, será realizada uma nova análise energética para avaliar os resultados obtidos. Serão medidos e comparados o fator de potência, o consumo de energia reativa, as perdas elétricas e outros parâmetros relevantes. Essa análise permitirá avaliar a eficácia da correção do fator de potência e os benefícios alcançados em termos de eficiência energética, qualidade de energia e custos operacionais.

- **Verificação da conformidade com normas técnicas e regulatórias:** Será realizada uma avaliação da conformidade do sistema elétrico industrial com as normas técnicas e regulatórias aplicáveis, como a Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010 e as normas técnicas brasileiras (NBRs) 5410, 14039 e 14598. Será verificado se as diretrizes e requisitos estabelecidos estão sendo atendidos e, se necessário, serão propostas medidas adicionais para garantir a conformidade.

4 ESTUDO DE CASO

Nesse estudo de caso utilizou-se o modelo de medidor, o Embrasul RE7000 como mostra a Figura 1, para as medições realizadas no consumidor, uma indústria de laticínios. Esse analisador de energia é capaz de monitorar a qualidade da energia elétrica ao registrar grandezas como tensão, corrente, potência, distorção harmônica de tensão e corrente, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração e frequência. Além disso, ele atende aos requisitos do módulo 8 do PRODIST, permitindo a obtenção simultânea de um total de 128 amostras por ciclo, o que proporciona uma análise detalhada e precisa da qualidade da energia elétrica no sistema industrial (EMBRASUL, 2013).

FIGURA 1 – Analisador Embrasul RE7000



Fonte: Embrasul, 2021.

A Tabela 1 apresenta as características elétricas do analisador, conforme pode ser observado, o mesmo atende até níveis de 500 Vac entre fase e neutro (FN), e correntes de até 3000A.

TABELA 1 - Características Elétricas do Analisador

ANALISADOR DE ENERGIA		
Grandeza	Faixa de medição	Precisão
Tensão	50 a 500 Vac (F-N)	0,005
Correção	0,1 A 3000A	0,05% + 0,5% do sensor
Frequência	45 a 70 Hz	±0,01 Hz

Fonte: Autor, 2024.

4.1 ESTUDO DE CASO ANTES DA INSTALAÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO COM BANCO DE CAPACITORES

A instalação do medidor ocorreu na saída do disjuntor geral do Quadro de Transferência Automática 380V, essa instalação foi feita por meio de cabo pinça do tipo jacaré para os pontos de tensão das fases A, B, C e neutro respectivamente e espira de medição de corrente. Na Figura 2, pode ser vista as conexões do analisador no disjuntor.

FIGURA 2 - Instalação do medidor na saída do disjuntor geral do QTA 380V



Fonte: Autor, 2024.

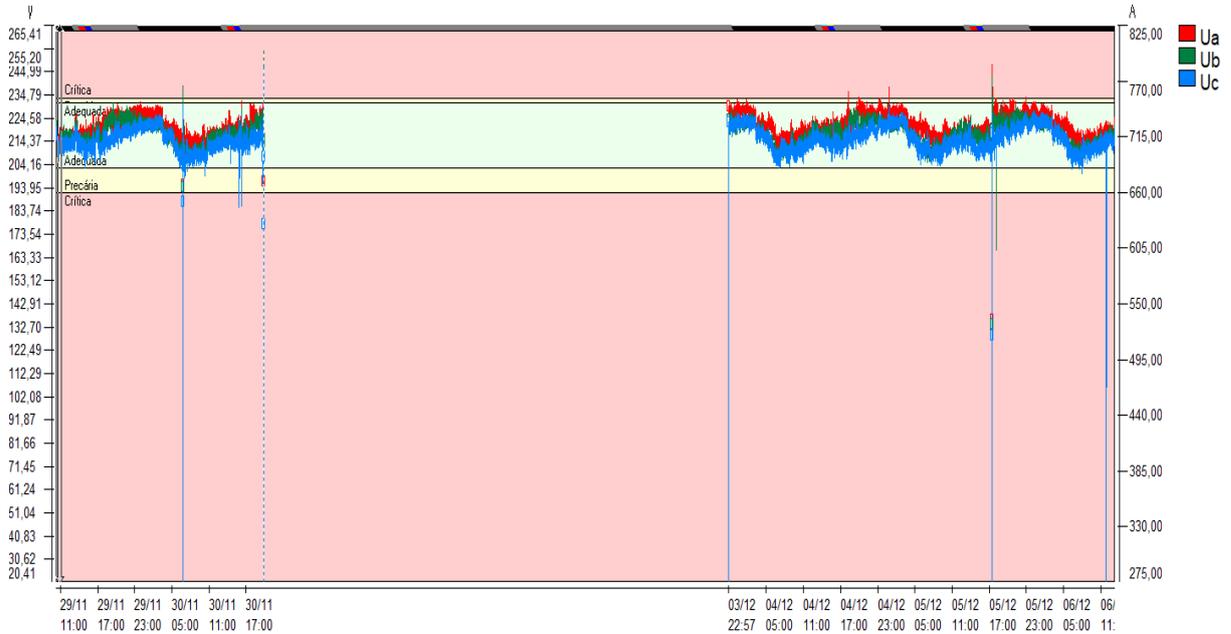
O analisador de energia foi configurado de modo a atender o menor período de integração possível, de maneira que permitisse a análise de qualidade de energia bem como a análise do fator de potência para correção com banco de capacitor. Sendo assim, a medição ocorreu com período de integralização de 2 segundos. Contudo para que possa analisar qualidade de energia e tomar como base (apenas como referência de dados) as recomendações solicitadas pelo PRODIST – Módulo 8, foi realizada uma conversão de intervalo dentro do software passando de um período de integração de 2 segundos para 10 minutos, para contemplar 1008 amostras válidas, em intervalos consecutivos, conforme será apresentado nas análises para a finalidade deste relatório.

As análises apresentadas para esse Quadro de transferência terão como base 577 registros válidos (não atendendo os 1008 registros válidos), porém as análises serão de acordo com os critérios da PRODIST. A Figura 3, apresenta o comportamento da tensão em regime permanente para a medição. Observa-se que as tensões medidas não estiveram fora das faixas adequadas de funcionamento, com exceção de apenas uma leitura que registrou como precário, portanto, os valores de tensão trabalharam dentro dos parâmetros de conformidade.

FIGURA 3 – Representação da tensão em regime permanente

EMBRASUL BPHA N.S:72000336 V.S.2,00 ANL 5,35 (2 segundos)

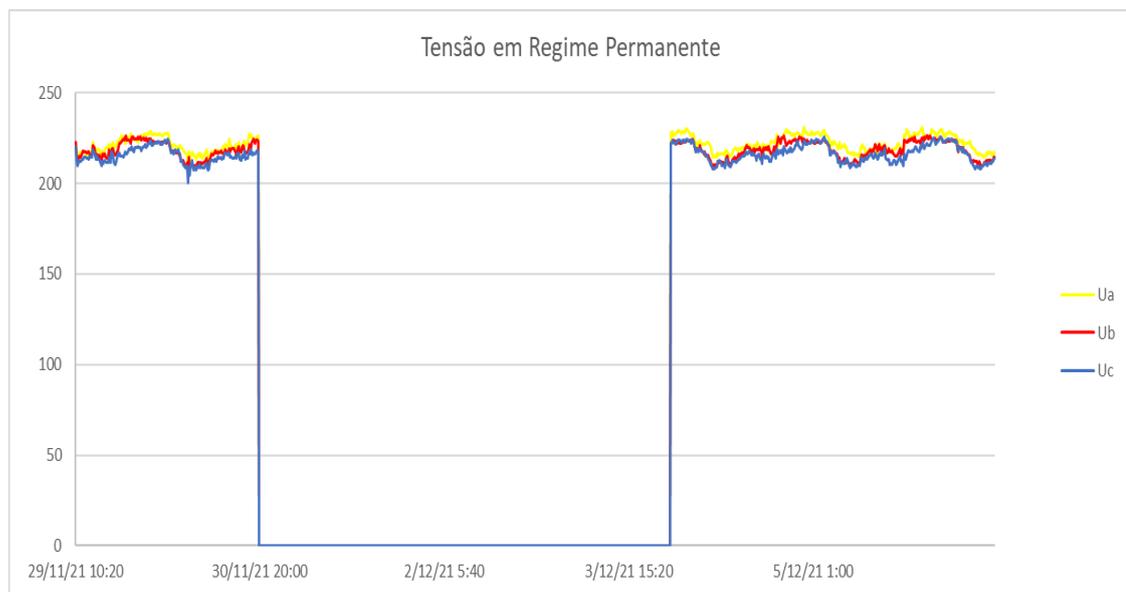
SEG 29/11/2021 , 10:19:27,00 até SEG 06/12/2021 , 13:21:55,00



Fonte: Autor, 2024.

Já na Figura 4 apresenta as medições de tensão em regime permanente.

FIGURA 4 - Tensão em regime permanente



Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar nessa figura a apresentação da quantidade de vezes em que a tensão do sistema varia percentualmente em relação a tensão de fase referência 220V, os valores medidos ficaram entre 94% e 105%.

A Tabela 2 apresenta os valores máximos, mínimos e médios, como pode ser visto, estão dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST – Módulo 8.

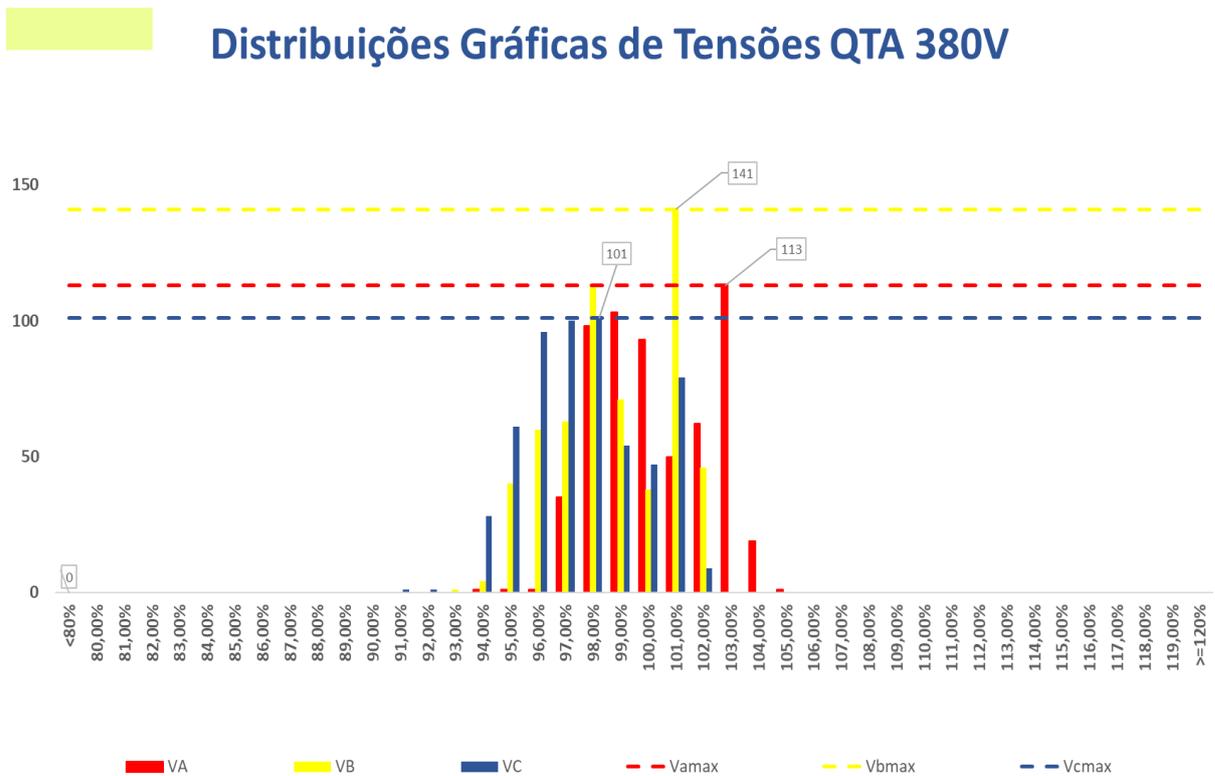
TABELA 2 - Distribuição das Tensões

Tensão (V)	Fase A	Fase B	Fase C
Média	221,85	218,43	216,08
Máxima	231,09	226,28	225,78
Mínima	208,38	205,00	200,23

Fonte: Autor, 2024.

Já a Figura 5 apresenta as distribuições gráficas de Tensões QTA 380V.

FIGURA 5 – Histograma Tensão de regime permanente



Fonte: Autor, 2024.

Como houve apenas uma ocorrência de variações de tensão para precário e nenhuma para o crítico, conclui-se que os valores dos índices de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e o os valores dos índices de duração relativa da transgressão para tensão crítica (DRC) atendem os limites estabelecidos por norma, conforme apresentados na Tabela 3, sendo 3% e 0,5% para DRP e DRC, respectivamente.

TABELA 3 - Indicadores Individuais - DCR E DRP.

Tabela de DRC/DRP				
Indicador	Fase A	Fase B	Fase C	Total
Nip	1	0	2	2
Nlc	0	0	0	0
DRP (%)	0,17%	0,00%	0,35%	0,35%
DRC (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Autor, 2024.

A Figura 6 apresenta o comportamento da tensão (em percentual).

FIGURA 6 – Desequilíbrio de tensão.



Fonte: Autor, 2024.

Apresentando o desequilíbrio durante o tempo de medição. O pior caso foi atingido o valor de 1,88% de desequilíbrio. Tal valor encontrado se manteve dentro do limite estabelecido de 3%. Na Tabela 4 é apresentado os piores valores para o desequilíbrio de tensão na presente análise.

TABELA 4 – Dez piores valores de desequilíbrio de tensão.

10 PIORES REGISTROS	
Data/Hora	Valor (%)
05/12/2021 18:00	1,88%
05/12/2021 17:50	1,72%
04/12/2021 20:00	1,67%
04/12/2021 20:10	1,62%
29/11/2021 19:00	1,54%
29/11/2021 19:00	1,54%
29/11/2021 18:50	1,52%
29/11/2021 18:40	1,50%
04/12/2021 17:20	1,47%
04/12/2021 17:20	1,47%

Fonte: Autor, 2024.

É possível concluir que os valores medidos se encontram dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL, ou seja, o sistema apresenta equilíbrio entre suas fases tanto em amplitude como em defasagem elétrica. O cálculo envolve três passos, medida das tensões de fase, cálculo da média das tensões das três fases e o desvio em relação à média, assim o fator de desequilíbrio de tensão pode ser calculado usando a fórmula: $\text{Fator de desequilíbrio} = D_{\text{máx}}/V_{\text{média}} \times 100$.

O resultado é expresso em porcentagem. Quanto menor o fator de desequilíbrio, mais equilibradas estão as tensões.

A Tabela 5 apresenta as informações de afundamentos e elevações momentâneas que ocorreram durante o período de medição.

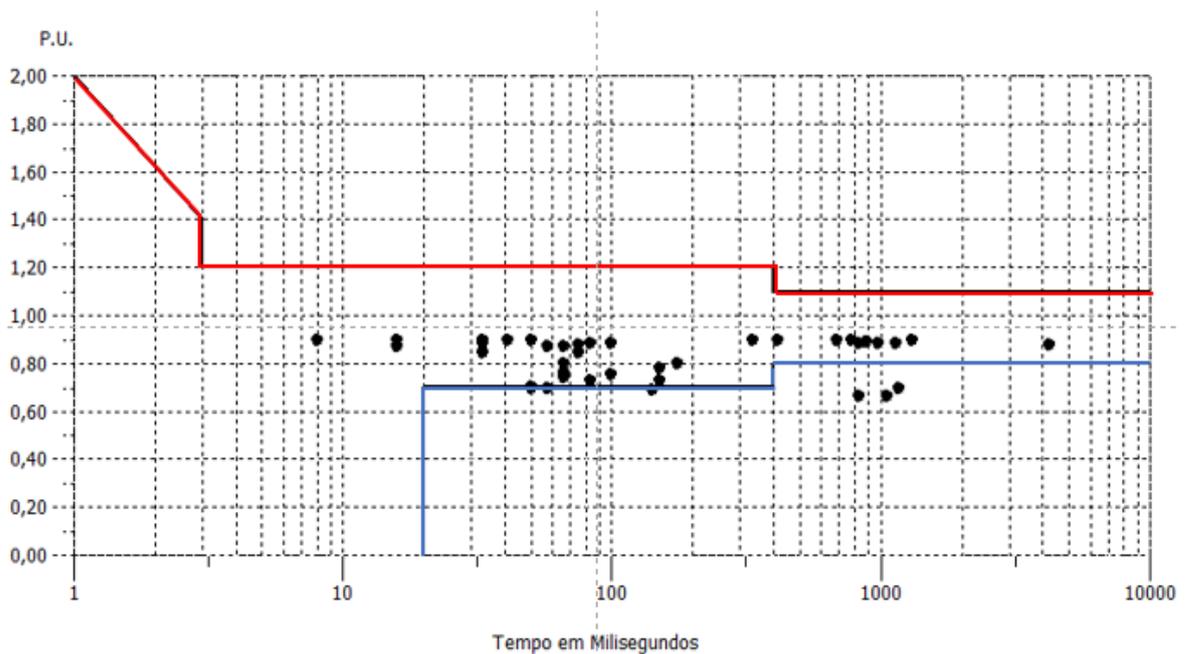
TABELA 5 – Registros de VTCD

Data	Hora	Magnitude (p.u)	Ciclos	Tempo (s)	Classificação	
29/11/2021	13:05:47.006	0,796	4,00	0,06667	Afundamento Momentâneo	B
29/11/2021	13:43:01.000	0,743	4,00	0,06667	Afundamento Momentâneo	B
30/11/2021	06:39:53.003	0,884	49,50	0,825	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	06:47:05.004	0,875	255,50	4,25833	Afundamento Temporário	A
30/11/2021	06:48:35.005	0,896	47,00	0,78333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	06:54:12.008	0,881	68,00	1,13333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	07:00:09.001	0,893	41,00	0,68333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	07:03:24.006	0,899	78,00	1,3	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	07:28:27.006	0,725	9,00	0,15	Afundamento Momentâneo	D
30/11/2021	10:14:11.007	0,881	59,00	0,98333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	14:00:43.004	0,776	9,00	0,15	Afundamento Momentâneo	D
30/11/2021	14:15:52.003	0,843	2,00	0,03333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	14:28:52.008	0,887	53,00	0,88333	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	14:56:22.003	0,872	3,50	0,05833	Afundamento Momentâneo	A
30/11/2021	15:49:18.002	0,689	8,50	0,14167	Afundamento Momentâneo	D
30/11/2021	15:50:54.006	0,694	70,50	1,175	Afundamento Momentâneo	F
30/11/2021	16:07:06.008	0,661	63,00	1,05	Afundamento Momentâneo	F
30/11/2021	19:15:21.009	0,696	3,00	0,05	Afundamento Momentâneo	B
30/11/2021	19:37:37.003	0,695	3,00	0,05	Afundamento Momentâneo	B
30/11/2021	19:45:00.008	0,699	3,00	0,05	Afundamento Momentâneo	B
30/11/2021	19:45:26.003	0,694	3,50	0,05833	Afundamento Momentâneo	B
04/12/2021	09:11:14.004	0,872	4,00	0,06667	Afundamento Momentâneo	A
04/12/2021	09:16:04.001	0,882	2,00	0,03333	Afundamento Momentâneo	A
04/12/2021	17:24:40.005	0,762	4,00	0,06667	Afundamento Momentâneo	B
05/12/2021	05:51:52.004	0,894	3,00	0,05	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	07:00:49.005	0,896	2,50	0,04167	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	07:16:18.008	0,872	1,00	0,01667	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	08:13:24.002	0,895	3,00	0,05	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	08:23:47.005	0,898	1,00	0,01667	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	08:39:37.008	0,881	5,00	0,08333	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	08:54:15.006	0,886	6,00	0,1	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	09:59:18.004	0,899	0,50	0,00833	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	17:26:58.005	0,899	25,00	0,41667	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	17:45:58.000	0,899	2,00	0,03333	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	18:05:27.000	0,665	49,50	0,825	Afundamento Momentâneo	F
05/12/2021	22:32:26.001	0,876	4,50	0,075	Afundamento Momentâneo	A
05/12/2021	22:55:03.000	0,847	4,50	0,075	Afundamento Momentâneo	A
06/12/2021	06:25:39.005	0,896	1,00	0,01667	Afundamento Momentâneo	A
06/12/2021	06:28:54.004	0,899	20,00	0,33333	Afundamento Momentâneo	A
06/12/2021	06:33:18.001	0,893	2,50	0,04167	Afundamento Momentâneo	A
06/12/2021	09:52:01.002	0,75	6,00	0,1	Afundamento Momentâneo	D
06/12/2021	09:56:17.005	0,796	10,50	0,175	Afundamento Momentâneo	D
06/12/2021	10:16:47.008	0,728	5,00	0,08333	Afundamento Momentâneo	B

Fonte: Autor, 2024.

Que são as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD). A Figura 7 apresenta aplicação da VTCD.

FIGURA 7 - Variação de tensão VTCD.



Fonte: Autor, 2024.

Como pode ser observado alguns dos registros ultrapassaram os limites estabelecidos (linhas azul e vermelha). A maioria dos equipamentos são projetados para suportarem variações de tensão de curta duração, parte dos afundamentos registrados estão localizados entre as linhas, nessa região os equipamentos não sofrem alteração em seu funcionamento. No caso de transgressão da linha inferior (linha azul), pode ocorrer mau funcionamento ou desligamento por afundamento ou interrupção de tensão, como ocorreram com alguns pontos.

No caso da transgressão da linha vermelha pode ocasionar danos aos equipamentos, por elevação de tensão. A Tabela 6 apresenta a quantidade de eventos que ocorrem por amplitude de tensão e período de ocorrência.

TABELA 6 – Estratificação, amplitude e duração dos 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								Região A
(1,10 - 1,15]								Região B
(0,85 - 0,90]	15		2	5	2	1		Região C
(0,80 - 0,85]	2							Região D
(0,70 - 0,80]	4	4						Região E
(0,60 - 0,70]	4	1		1	2			Região F
(0,50 - 0,60]								Região G
(0,40 - 0,50]								Região H
(0,30 - 0,40]								Região I
(0,20 - 0,30]								
(0,10 - 0,20]								
< 0,10								

Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 7 apresenta os valores registrados de frequência do sistema mínimo, média e máximo.

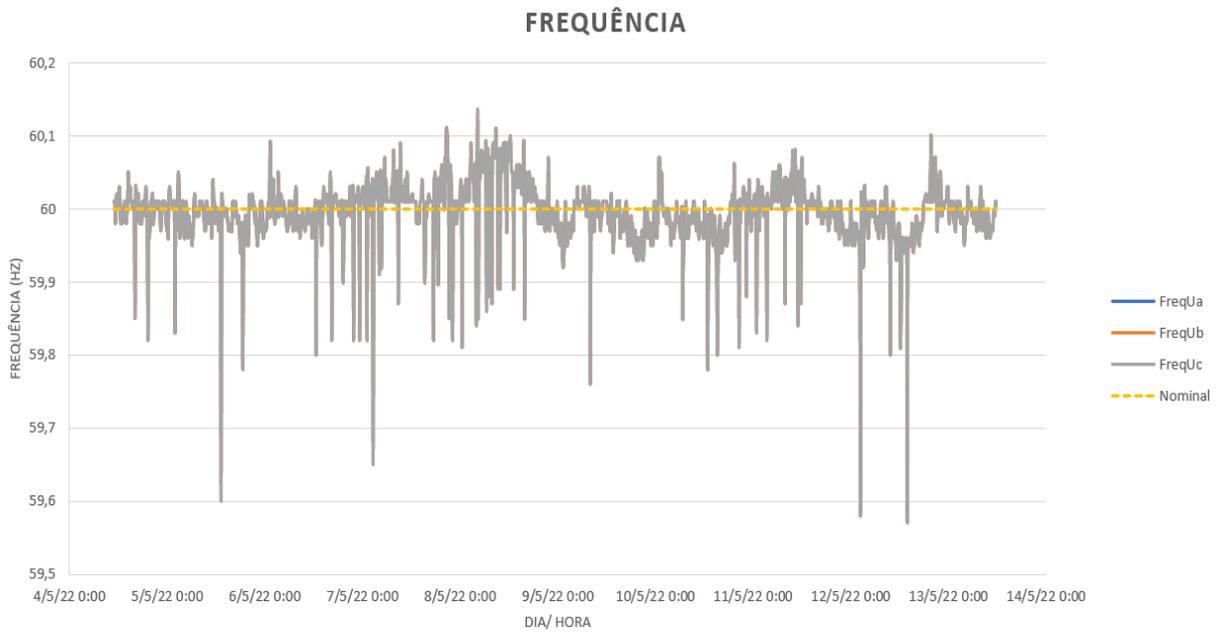
TABELA 7 – Frequência Registradas

Frequencia (Hz)	Mínimo	Médio	Máximo
	59,60	59,98	60,02

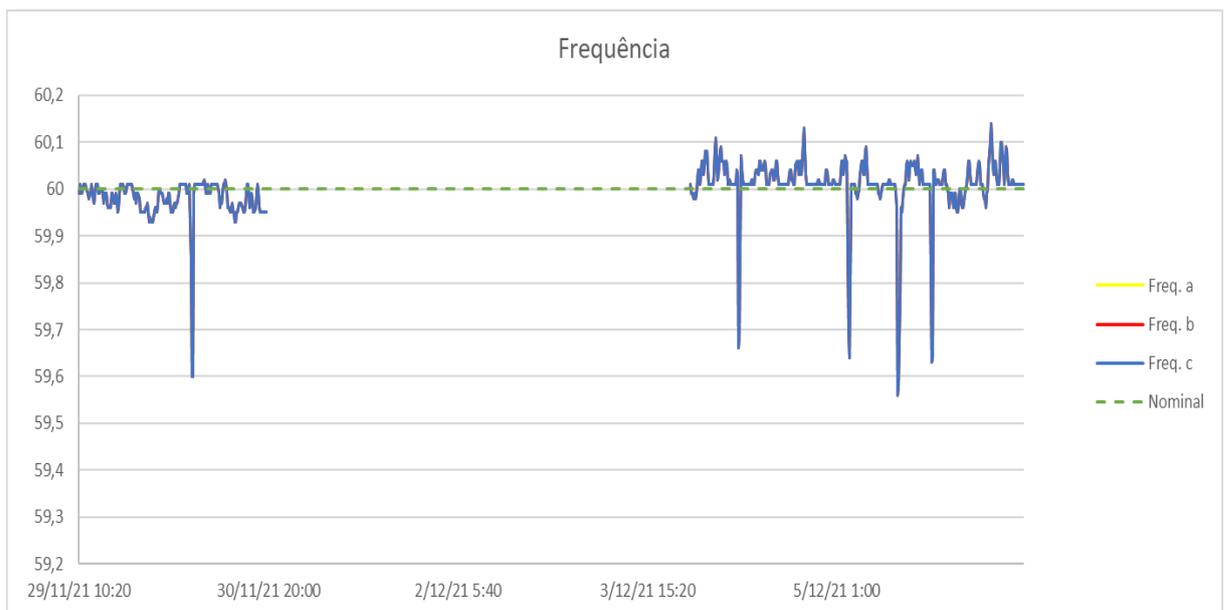
Fonte: Autor, 2024.

Como pode ser visto ocorreu variação em torno da nominal de 60 Hz, o valor mínimo encontrado foi 59,60 Hz e o valor máximo encontrado foi de 60,02 Hz.

O PRODIST estabelece limites de frequência situados entre 59,9Hz e 60,1 Hz. Apesar de em alguns momentos os valores registrados estarem fora da regulamentação, essa transgressão pode ocorrer por breves períodos conforme estabelecido por norma. As variações de frequência ao longo do período de medição válida podem ser vistas nas Figuras 8 e 9.

FIGURA 8 - Variação de frequência

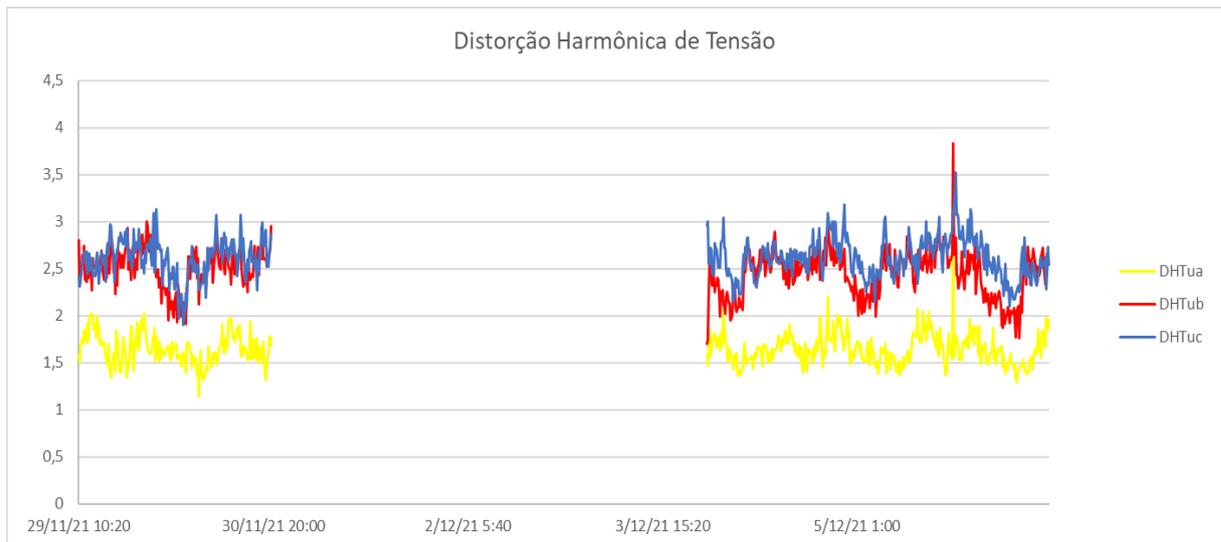
Fonte: Autor, 2024.

FIGURA 9 - Variação de Frequência

Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 10 é possível ver os níveis de distorções harmônicas de tensão para cada uma das fases.

FIGURA 10 - Distorção Harmônica de Tensão



Fonte: Autor, 2024.

Os valores registrados encontram-se com percentual abaixo de 4%. Os limites estabelecidos pela PRODIST, sendo 10% para todas as harmônicas, 2,5% para harmônicas de ordem par, 7,5% para harmônicas de ordem ímpar e 6,5% para harmônicas de ordem igual ou múltiplas de 3.

A Tabela 8 apresenta os valores máximos, mínimos e médios para os intervalos analisados.

TABELA 8 - Valores DTT (%) tensão - Intervalo 1

DTT	%A				%B				%C			
	Total	Par	Ímpar	M3	Total	Par	Ímpar	M3	Total	Par	Ímpar	M3
Máximo	22,51%	5,11%	14,66%	16,93%	22,09%	9,03%	13,60%	17,28%	23,34%	11,42%	14,77%	17,94%
Mínimo	0,58%	0,04%	0,48%	0,10%	0,77%	0,04%	0,66%	0,08%	1,12%	0,04%	0,77%	0,31%
Média	1,65%	0,56%	1,29%	0,79%	2,47%	0,96%	1,85%	1,24%	2,60%	0,93%	1,87%	1,49%

Fonte: Autor, 2024.

O valor total mais alto encontrado é 23,34% da fase C, o valor mais alto do harmônico de índice par é 11,42% da fase C, o valor mais alto da harmônica de índice ímpar (diferentes dos múltiplos de 3) é 14,77% na fase C e o valor mais alto para harmônicas de índice ímpar múltiplos de 3 é de 17,94% na fase C.

Como descrito acima os valores máximos encontrados para distorção harmônica total, harmônico par, harmônicos ímpar e harmônicos ímpar múltiplos de 3 estão ultrapassando os limites estabelecidos pela PRODIST para todas as fases. Porém a análise a ser feita é referente ao percentil de 95, que estabelece o percentual dos valores abaixo dos limites estabelecidos por norma, ou seja, apenas 5% dos valores podem ultrapassar o valor máximo estabelecido.

A Tabela 9, apresenta o percentil de 95% para os indicadores de harmônico de tensão, conforme PRODIST.

TABELA 9 - Valores DTT 95 (%) tensão – Intervalo 1

DTT 95%	A	B	C
Total	0,003%	0,005%	4,362%
Par	0,003%	0,003%	4,361%
Ímpar	0,003%	0,003%	4,361%
M3	0,003%	0,003%	4,362%

Fonte: Autor, 2024.

O valor estabelece limites que o sistema deve atender dentro das 1008 amostras medidas em 10 minutos. Sendo os valores encontrados a fase C é que registra valores que ultrapassam os limites toleráveis por norma em 4,36% dos eventos, sendo, portanto, inferior a 5% e assim obedecendo normativa adotada, ou seja, 95% dos valores registrados na medição estão dentro dos limites estabelecidos por norma.

A figura 11 apresenta os valores de corrente registrados nas medições.

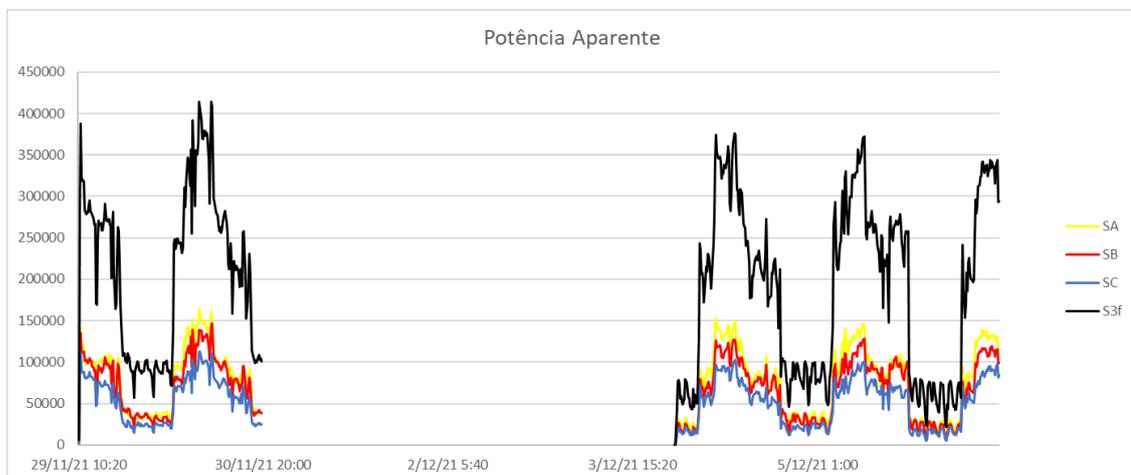
FIGURA 11 - Valores de Corrente

Fase A: Correntes [A]			
Média	351,102		
Mínimo	1,964	11:51:59,00	06/12/2021
Máximo	811,302	08:18:19,00	30/11/2021
Fase B: Correntes [A]			
Média	318,869		
Mínimo	1,636	11:51:59,00	06/12/2021
Máximo	741,921	10:26:07,00	30/11/2021
Fase C: Correntes [A]			
Média	248,177		
Mínimo	2,182	11:51:59,00	06/12/2021
Máximo	617,995	10:32:03,00	29/11/2021

Fonte: Autor, 2024.

Valores medidos de corrente média, mínima e máxima em cada fase do sistema.

A Figura 12 apresenta o comportamento da potência aparente solicitada pelo quadro de carga.

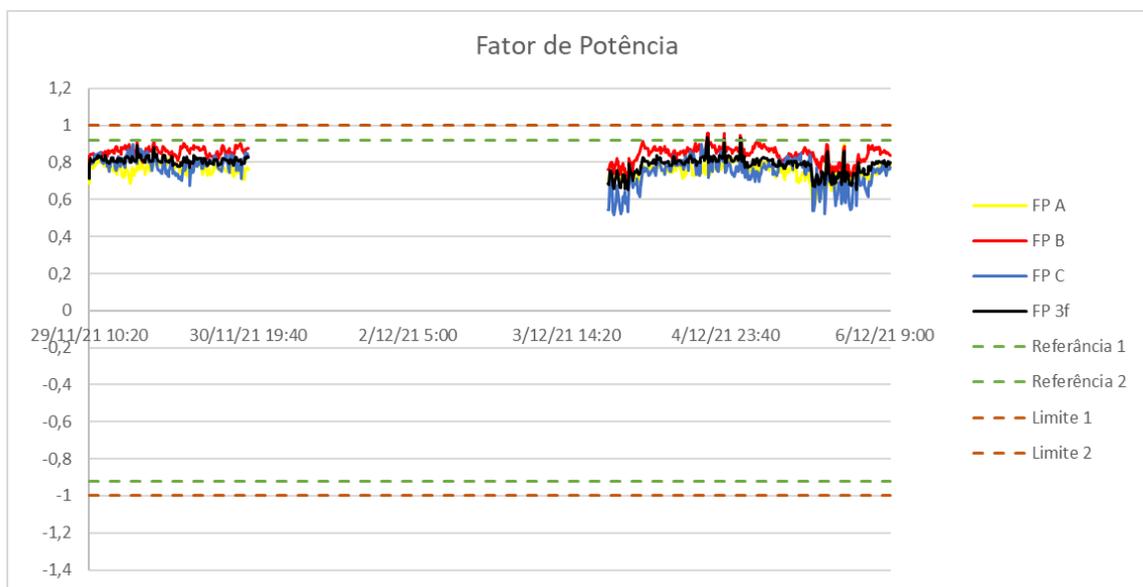
FIGURA 12 - Potência aparente do sistema.


Fonte: Autor, 2024.

Sendo possível observar seu comportamento trifásico conforme característica do sistema por fase.

A Figura 13 apresenta o fator de potência por fase e o trifásico do período de medição.

FIGURA 13 - Fator de potência



Fonte: Autor, 2024.

Os valores esperados pelas medições devem ficar entre 1 a 0,92 (característica indutiva) e -0,92 a 1 (característica capacitiva).

A figura 14 referente ao relatório semanal detalha as medições.

FIGURA 14 - Relatório semanal 2021**RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 2 segundos)****Intervalo considerado:**

segunda-feira 29/11/2021 10:19:25,00 até segunda-feira 06/12/2021 13:21:55,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 13:30 - 14:30 15:30 - 15:30 16:30 - 24:00

Intervalo - Ponta: 14:30 - 15:30

Intervalo - Reservado: 15:30 - 16:30

Semana: SEG 29/11/2021 a SAB 04/12/2021

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVArh]	FP
Ponta	394,412	0,000	284,631	0,811 ind
Fora de ponta	2,518 k	0,000	1,811 k	0,812 ind
Reservado	546,785	0,000	394,974	0,811 ind
Total	3,459 k	0,000	2,491 k	0,811 ind

Semana: DOM 05/12/2021 a SEG 06/12/2021

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVArh]	FP
Ponta	0,000	0,000	0,000	1,000 ind
Fora de ponta	864,822	0,000	722,493	0,767 ind
Reservado	205,920	0,000	157,899	0,793 ind
Total	1,071 k	0,000	880,393	0,772 ind

Fonte: Autor, 2024.

De acordo com a Figura 14 referente ao relatório semanal os valores se encontram fora das normas.

Como o sistema de distribuição de energia no Brasil é totalmente interligado, a planta industrial em questão influencia diretamente o sistema de energia da concessionária responsável pelo abastecimento da unidade. Nesse contexto, a concessionária estabelece multas para combater parâmetros indesejáveis na sua rede, como o baixo fator de potência, que pode levar ao aumento de perdas de energia e ao sobrecarregamento das infraestruturas de transmissão e distribuição. O fator de potência inadequado causa um excesso de energia reativa, que não realiza trabalho útil, mas exige capacidade adicional das redes para ser transportada, gerando custos operacionais para a concessionária.

Na Figura 15, podemos observar o valor mensal da multa relacionada ao fator de potência inferior a 0,92 (valor geralmente exigido pelas concessionárias), conforme especificado pela ANEEL e pelas normas técnicas, como a NBR 5410.

FIGURA 15 – Fatura de energia 2021

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
Componente Fio kW HFP	467	18,86720585	8.810,97
Componente Fio kW HFP s/ ICMS	133	15,47110880	2.057,65
Componente Fio kW HP	238	57,00791001	13.567,86
Ultrapassagem C. Fio. kW HP	98	114,01582001	11.173,53
Componente Encargo kWh HFP	129.245	0,10887368	14.071,35
Componente Encargo kWh HP	5.985	0,10887368	651,59
Energia Reativa kWh HFP	22.198	0,34701185	7.702,95
Energia Reativa kWh HP	1.773	0,34701185	615,23
Demanda Reativa kW HP	31	18,86720585	584,86
Encargos/Cobranças			
Ajuste de Desconto C. Fio HP			12,75
Ajuste de Desconto C. Fio HFP			10,87
Abatimentos e Devoluções			
Desconto Comp. Fio HP			-5.330,06
Desconto Comp. Fio HFP			-4.447,12
Liminar de ICMS			-8.278,20
Total a pagar			
R\$ 41.204,23			
Outubro/2021			

Fonte: Autor, 2024.

Esse valor é diretamente proporcional à quantidade de energia reativa gerada pela planta e enviada à rede, o que aumenta as perdas e diminui a eficiência geral do sistema. A aplicação de correção no fator de potência, geralmente por meio de bancos de capacitores, ajuda a reduzir o impacto dessas multas e melhora a qualidade da energia fornecida, resultando em menor sobrecarga no sistema de distribuição e redução de custos operacionais para a planta e para a concessionária.

Com todas as demonstrações nesse estudo de caso, concluo que nessa planta industrial é essencial adotar medidas corretivas para ajustar as características elétricas que apresentam não conformidades em relação às normas vigentes, garantindo a eficiência e a segurança do sistema. Deve-se verificar se os equipamentos estão operando dentro da faixa de tensão permitida em regime permanente, conforme as especificações da NBR 5410, para evitar danos e falhas. Além disso, é necessário avaliar o desequilíbrio de tensão em cada ponto de conexão,

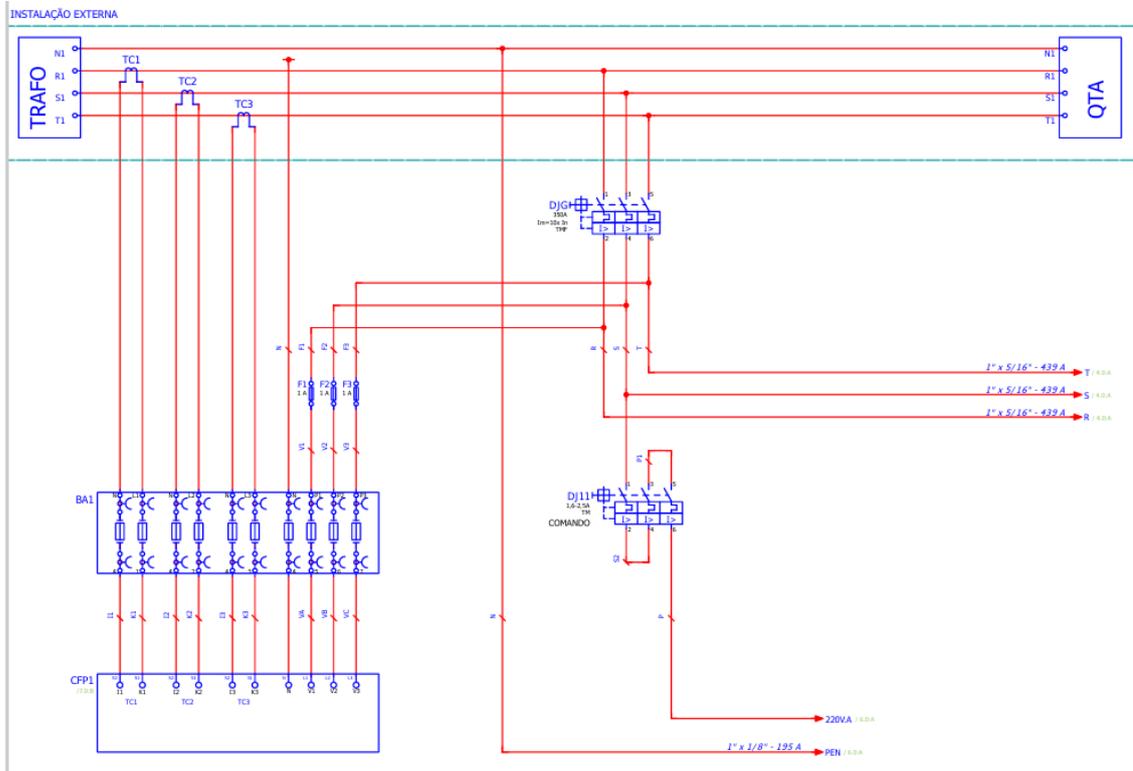
pois valores fora dos limites estabelecidos pela NBR 5101 podem sobrecarregar e reduzir a vida útil dos equipamentos. Por fim, é importante investigar as causas do baixo fator de potência, que pode ser ocasionado por cargas indutivas não compensadas ou pela falta de correção adequada, o que prejudica a eficiência

4.2 INSTALAÇÃO DE UM PAINEL ELÉTRICO COM BANCOS DE CAPACITORES

Os bancos de capacitores são conjuntos de capacitores instalados em sistemas elétricos industriais para melhorar o fator de potência, reduzindo perdas, diminuindo a conta de energia e aumentando a capacidade da rede. A rede elétrica mais eficiente suporta o aumento da carga, causa um menor impacto ambiental com a redução de perdas, a qualidade da energia mais estável aumenta a vida útil dos equipamentos. É ideal para indústrias com cargas indutivas (motores, transformadores), alto consumo de energia reativa e com preocupação com a eficiência energética e a sustentabilidade (Siqueira, 2022).

A seguir nas Figuras 16, 17, 18, e 19 tem-se o diagrama unifilar da conexão QTA 380V no painel elétrico com 10 bancos de capacitores conectados em paralelo com a rede, representação do layout de montagem e descrição de materiais.

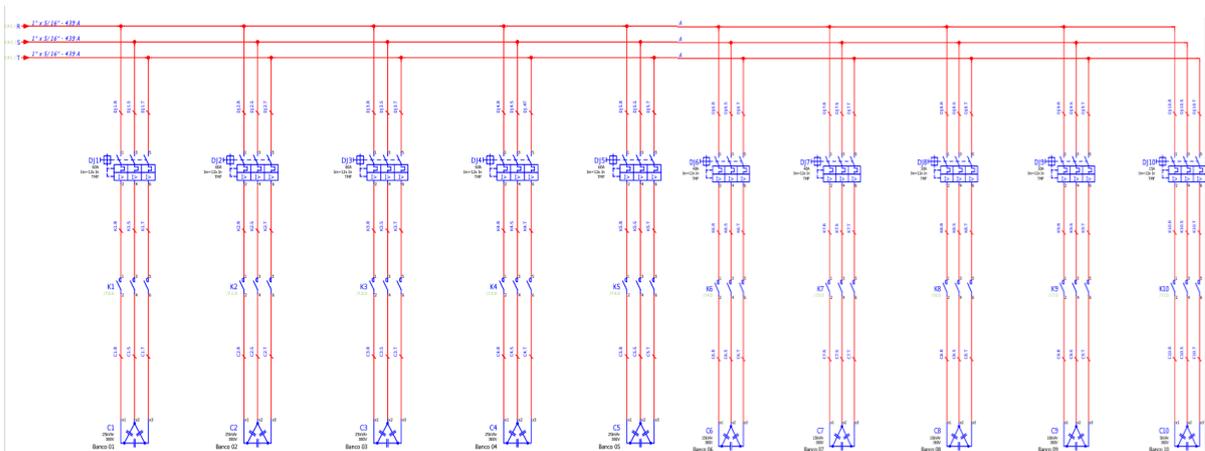
FIGURA 16 - Conexão do Banco de capacitores em paralelo com o QTA.



Fonte: Autor, 2024.

Diagrama unifilar representando o banco de capacitores em paralelo com o QTA.

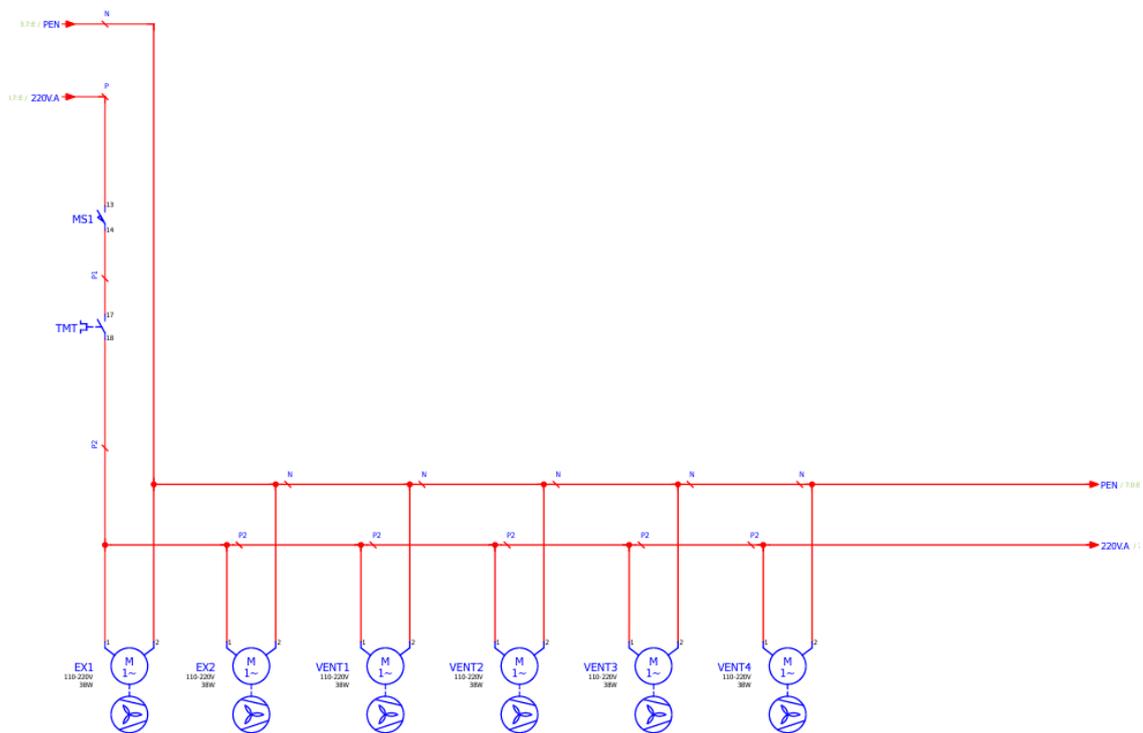
FIGURA 17 - Conexão dos 10 Bancos de capacitores em paralelo com o QTA.



Fonte: Autor, 2024.

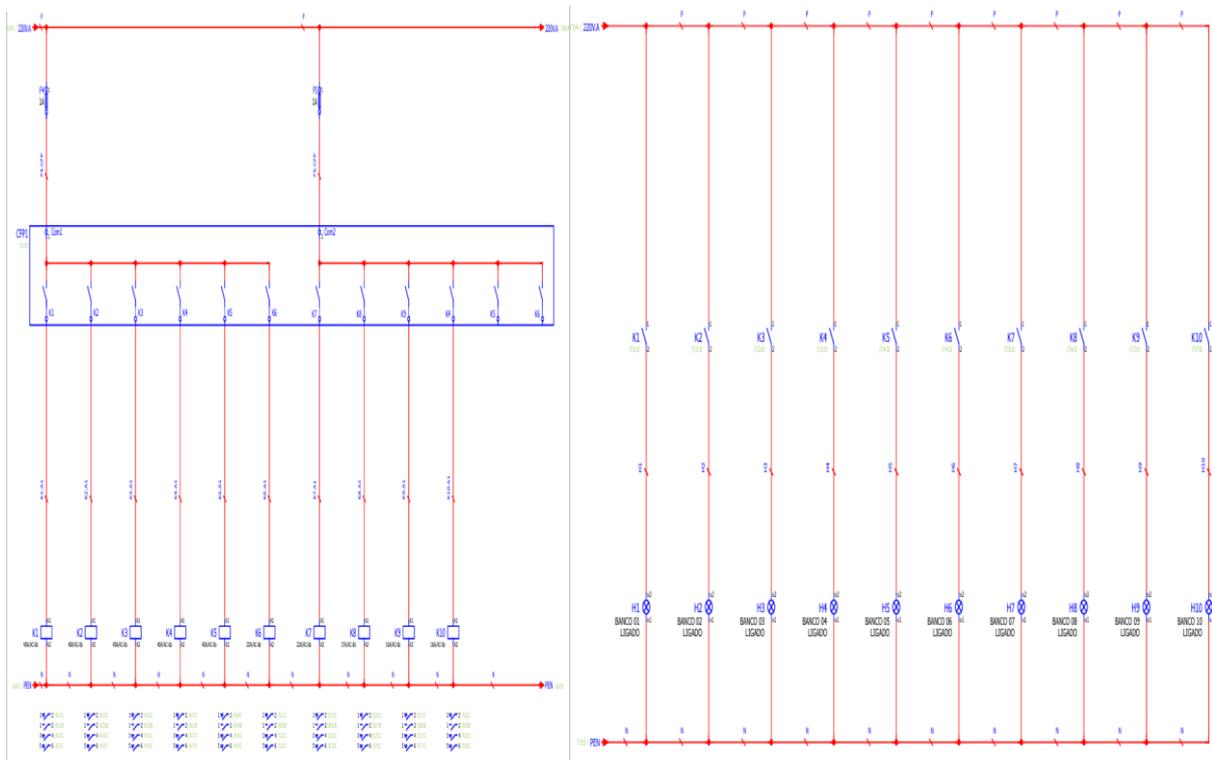
Diagrama unifilar de 10 unidades capacitivas conectados em paralelo com o QTA.

FIGURA 18 - Conexão do circuito de refrigeração do painel



Fonte: Autor, 2024.

Representação do sistema de refrigeração do painel, com ventiladores e exatores dispersando calor gerado pelas unidades capacitivas, afim de evitar sobre aquecimento nos equipamentos instalados no painel.

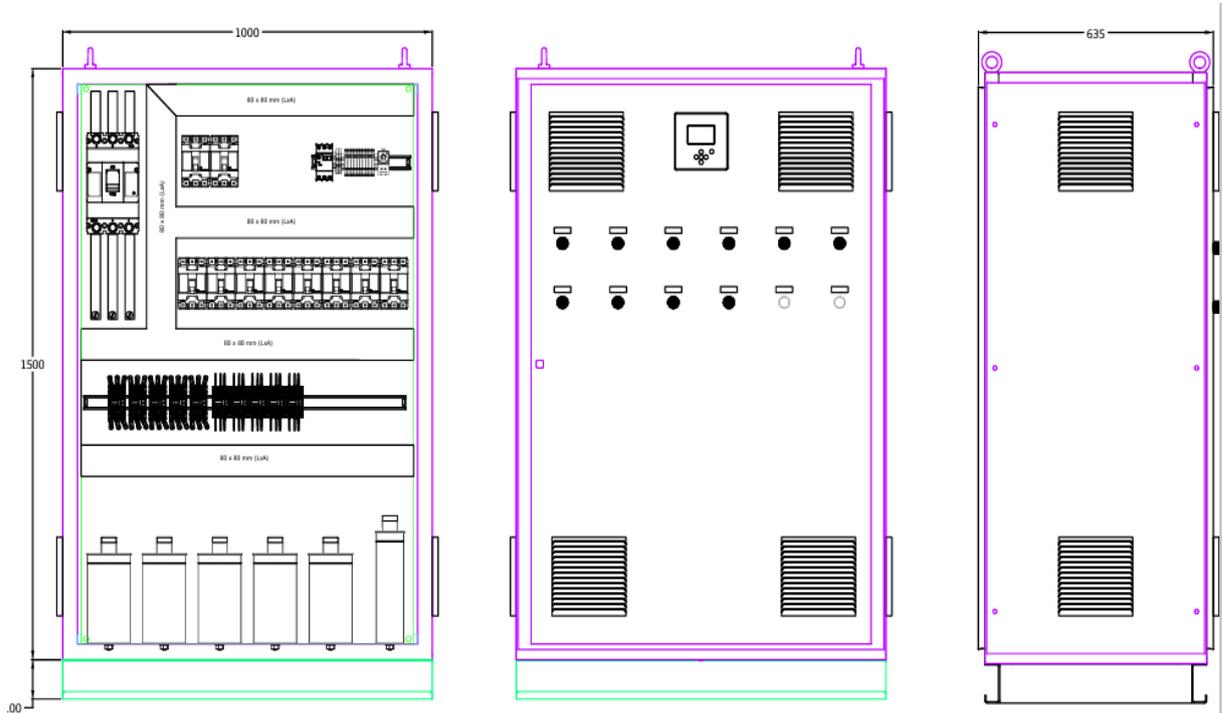
FIGURA 19 - Conexão da sinalização de conexão dos bancos de capacitores


Fonte: Autor, 2024.

Diagrama unifilar do sistema de sinalização do painel, indicando assim o modo de funcionamento e status de operação.

As Figuras 20 e 21 representam o layout de montagem do painel e lista de peças.

FIGURA 20 - Painel elétrico com o banco de capacitores e lista de material.



Fonte: Autor, 2024.

Layout de montagem do painel, com seus equipamentos e acessórios posicionados e identificados.

FIGURA 21 – Lista de material
Lista de peças totalizadas

Lista de Peças - Trisdão

Item	TAG	Descrição	Fabricante	Referência	Código	Un	Quantidade
1	BA1	BLOCO DE AFERIÇÃO, PARA 3 TCS + 3TPS COM NEUTRO; CONEXÃO POR PARAFUSO; PARA CONEXÃO DE CABOS DE ATÉ #4 MM; CONJUNTO MONTANDO EM TRILHO DIN (NS 35/7,5); COM SUPORTE PARA JUMPER.	CONNECTWELL	CWBAN-3TC-3TP+N	CWBAN-3TC-3TP+N	Peça	1
2	CL...CS	UNIDADE CAPACITIVA TRIFÁSICA; 25 KVAR@380V; COM RESISTORES DE DESCARGAS INCORPORADOS, TEMPO DE DESCARGA: 120 SEGUNDOS; DIMENSÕES: 116 X 230 MM (Ø X H).	WEG	UCWT25V40 S26 HD	11916924	Peça	5
3	C6;C7	UNIDADE CAPACITIVA TRIFÁSICA; 15 KVAR@380V; COM RESISTORES DE DESCARGAS INCORPORADOS, TEMPO DE DESCARGA: 30 SEGUNDOS; DIMENSÕES: 75 X 285 MM (Ø X H).	WEG	UCWT15V40 N22 HD	11313821	Peça	2
4	C8;C9	UNIDADE CAPACITIVA TRIFÁSICA; 10 KVAR@380V; COM RESISTORES DE DESCARGAS INCORPORADOS, TEMPO DE DESCARGA: 30 SEGUNDOS; DIMENSÕES: 75 X 225 MM (Ø X H).	WEG	UCWT10V40 N20 HD	11313787	Peça	2
5	CL0	UNIDADE CAPACITIVA TRIFÁSICA; 5 KVAR@380V; COM RESISTORES DE DESCARGAS INCORPORADOS, TEMPO DE DESCARGA: 30 SEGUNDOS; DIMENSÕES: 60 X 204 MM (Ø X H).	WEG	UCWT5V40 L16 HD	10046012	Peça	1
6	CPF1	MULTIMEDIDOR DE GRANDEZAS ELÉTRICAS TRIFÁSICO; COM CONTROLADOR DE FATOR DE POTÊNCIA DE 12 ÂNGULOS; COM DOIS RELÉS DE ALARME; MONITORAMENTO DINÂMICO DOS CAPACITORES; SENSOR DE TEMPERATURA; COM MEDIÇÕES DE: TENSÃO, CORRENTE, POTÊNCIA (P, Q, S), DISTORÇÃO HARM. TOTAL (DHT) E INDIVIDUAL (DH) DE TENSÃO E CORRENTE ATÉ 51ª ORDEM. ENTRADA DE TENSÃO DA ALIMENTAÇÃO/MEDIÇÃO: 95-272 VCA. COMUNICAÇÃO MODBUS-RTU, PORTA RS485 ISOLADA.	WEG	PFW03-T12	14387080	Peça	1
7	DJ1	DISJUNTOR MOTOR TRIPOLAR; IN=2,5A; COM DISPARADOR TÉRMICO AJUSTÁVEL: 1,6-2,5 A; DISPARADOR MAGNÉTICO FIXO: 15 X IN; CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO CONFORME NBR IEC 60947-2 (ICU/ICS): 80/80 KA @220-230 VCA; 65/65 KA @380-415 VCA; TENSÃO MÁX. DE OPERAÇÃO: 690 VCA.	WEG	MWL18-3-D025	14159087	peça	1
8	DJ2...DJ6	DISJUNTOR TRIPOLAR; C/ DISPARADOR SOBRECORRENTE/INSTANTÂNEO; IN=60A; DISPARADOR POR SOBRECORRENTE FIXO E DISPARADOR INSTANTÂNEO: 12 X IN; CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO MÁXIMA DE CURTO CIRCUITO, CONFORME NORMA NBR IEC-60947-2 (ICU): 35KA@220V; 18KA@380V; 18KA@440V; 5KA@690V; ICS=100% X ICU; TENSÃO MÁX. DE OPERAÇÃO (UE): 690VCA/500VCC.	WEG	AGW100N-DX60-3	12775100	Peça	5
9	DJ7;DJ8	DISJUNTOR TRIPOLAR; C/ DISPARADOR SOBRECORRENTE/INSTANTÂNEO; IN=40A; DISPARADOR POR SOBRECORRENTE FIXO E DISPARADOR INSTANTÂNEO: 12 X IN; CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO MÁXIMA DE CURTO CIRCUITO, CONFORME NORMA NBR IEC-60947-2 (ICU): 30KA@220V; 18KA@380V; 14KA@440V; 2,5KA@690V; ICS=100% X ICU; TENSÃO MÁX. DE OPERAÇÃO (UE): 690VCA/500VCC.	WEG	AGW50N-DX40-3	12775098	Peça	2
10	DJ9;DJ10	DISJUNTOR TRIPOLAR; C/ DISPARADOR SOBRECORRENTE/INSTANTÂNEO; IN=30A; DISPARADOR POR SOBRECORRENTE FIXO E DISPARADOR INSTANTÂNEO: 12 X IN; CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO MÁXIMA DE CURTO CIRCUITO, CONFORME NORMA NBR IEC-60947-2 (ICU): 30KA@220V; 18KA@380V; 14KA@440V; 2,5KA@690V; ICS=100% X ICU; TENSÃO MÁX. DE OPERAÇÃO (UE): 690VCA/500VCC.	WEG	AGW50N-DX30-3	12775087	Peça	2
11	DJ11	DISJUNTOR TRIPOLAR; C/ DISPARADOR TERMOMAGNÉTICO; IN=20A; TÉRMICO FIXO E MAGNÉTICO FIXO; CONFORME NORMA NBR IEC-60947-2, CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO MÁXIMA DE CURTO CIRCUITO: 30KA/220V; 18KA/380V; 14KA/440V; 2,5KA/690V; ICS=100% X ICU; TENSÃO DE EMPREGO (UE): 690VCA/500VCC.	WEG	AGW50N-DX15-3	12775085	Peça	1
12	DJG1	DISJUNTOR TRIPOLAR; C/ DISPARADOR SOBRECORRENTE/INSTANTÂNEO; IN=350A; DISPARADOR POR SOBRECORRENTE FIXO E DISPARADOR INSTANTÂNEO: 10 X IN; CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO MÁXIMA DE CURTO CIRCUITO, CONFORME NORMA NBR IEC-60947-2 (ICU): 50KA@220V; 35KA@380V; TENSÃO MÁX. DE OPERAÇÃO (UE): 400VCA.	WEG	DWP400L-350-3	14256842	Peça	1
13	F1...F3	FUSÍVEL COM CORPO EM VIDRO, Ø5X20 MM, IN=1A, COM TERMINAIS EM LATÃO NIQUELADO, DE AÇÃO RÁPIDA DE ACORDO COM AS NORMAS IEC60127-2-2 E NBR5372-20.	METALTEX	ZH212-1A	ZH212-1A	Peça	3
14	F1...F3	BORNE PORTA-FUSÍVEL, UMA LIGAÇÃO SIMPLES, ATÉ #6,0 MM; PARA FUSÍVEL Ø5X20 MM OU Ø5X25 MM; FIXAÇÃO EM TRILHO DIN 35MM	WEG	BTWS 2S	10261754	Peça	3
15	H1...H10	SINALIZEIRO LUMINOSO, MONOBLOCO COM LED, IPS4, 220V/60HZ - Ø22MM - BRANCO.	WEG	SMO-D23	10046534	peça	10
16	K1...K5	CONTATOR DE POTÊNCIA; TRIPOLAR (3 NA); IN=40A/AC-6B; 220 VCA; PARA ACIONAMENTO DE CAPACITORES: 40 KVAR/220V, 25 KVAR/380V, 25 KVAR/440V; 2 NA + 1 NF.	WEG	CWBC32-21-30023	14818235	peça	5
17	K6;K7	CONTATOR DE POTÊNCIA; TRIPOLAR (3 NA); IN=22A/AC-6B; 220 VCA; PARA ACIONAMENTO DE CAPACITORES: 22 KVAR/220V, 16 KVAR/380V, 16 KVAR/440V; 2 NA + 1 NF.	WEG	CWBC18-21-30023	14818233	peça	2
18	K8	CONTATOR DE POTÊNCIA; TRIPOLAR (3 NA); IN=17A/AC-6B; 220 VCA; PARA ACIONAMENTO DE CAPACITORES: 17 KVAR/220V, 10 KVAR/380V, 10 KVAR/440V; 2 NA + 1 NF.	WEG	CWBC9-21-30023	15044364	peça	1
19	K9;K10	CONTATOR DE POTÊNCIA; TRIPOLAR (3 NA); IN=16A/AC-6B; 220 VCA; PARA ACIONAMENTO DE CAPACITORES: 16 KVAR/220V, 10 KVAR/380V, 10 KVAR/440V; 1 NA.	WEG	CWMC9-10-30X26	12713060	peça	2

Fonte: Autor, 2024.

Lista de peças, com suas descrições detalhadas, com características elétricas e físicas, modelo e fabricante.

As Figuras 22, 23 e 24, apresentam o painel instalado na unidade.

Na Figura 22, vista frontal do painel com a porta fechada, já instalado e conectado à rede da unidade.

FIGURA 22 - Painel elétrico com o banco de capacitores



Na Figura 23, vista frontal do painel com a porta aberta, posicionado e conectado à rede da unidade.

FIGURA 23 - Painel elétrico com o banco de capacitores



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 24, vista frontal do painel já energizado, com o controlador de fator de potência em operação e os bancos de capacitores acionados, indicados pelos sinaleiros luminosos na porta do painel.

FIGURA 24 - Painel elétrico com o banco de capacitores



Fonte: Autor, 2024

Para a fabricação e instalação desse painel elétrico a 10 metros do ponto de conexão o investimento foi de 52 mil reais.

4.3 ANÁLISE APÓS A INSTALAÇÃO DE UM PAINEL ELÉTRICO

A instalação do medidor ocorreu na saída do disjuntor de baixa tensão do transformador de 500kVA, essa instalação foi feita por meio de cabo pinça do tipo jacaré para os pontos de tensão das fases A, B, C e neutro respectivamente e espira de medição de corrente. Na Figura 25 pode ser visto as conexões do analisador no disjuntor.

FIGURA 25 - Instalação do medidor na saída de baixa tensão do transformador de 500kVA



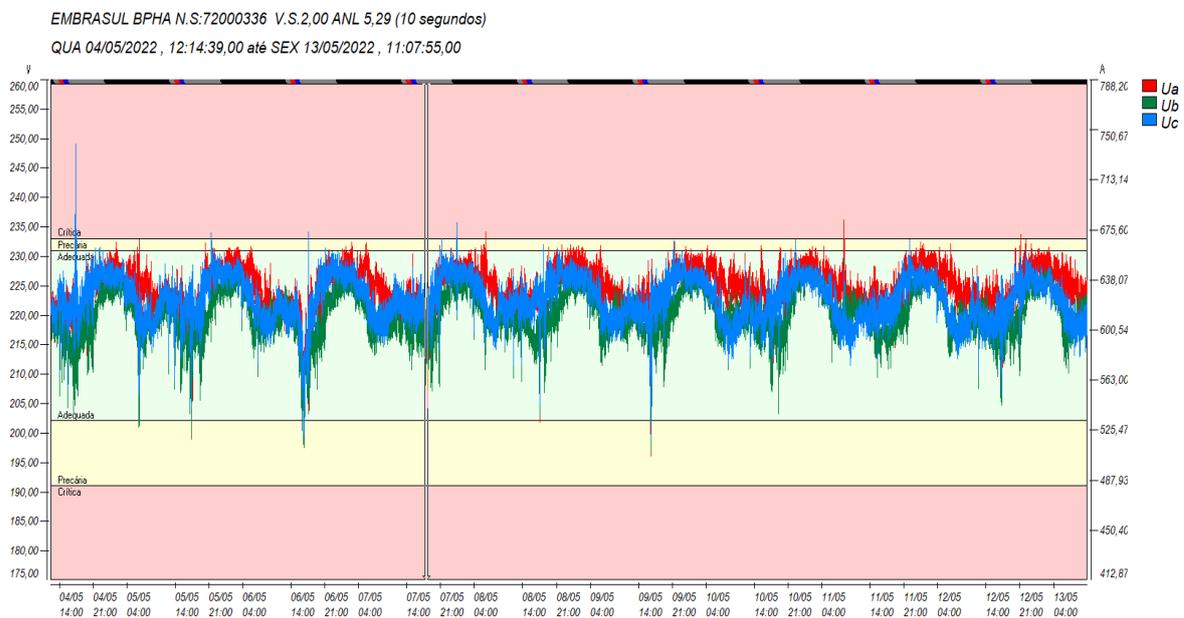
Fonte: Autor, 2024.

O analisador de energia foi configurado de modo a atender o menor período de integração possível, de maneira que permitisse a análise de qualidade de energia bem como a análise do fator de potência para comparação após a implementação do banco de capacitores. Sendo assim, a medição ocorreu com período de integralização de 1 segundo.

Nos próximos tópicos serão apresentados os registros e análises decorrentes da medição. Durante o período em que o analisador esteve instalado não houve registros de interrupções. As análises apresentadas para esse Quadro de transferência terão como base 77985 registros.

A Figura 26 apresenta o comportamento da tensão em regime permanente para a medição.

FIGURA 26 – Representação da tensão em regime permanente



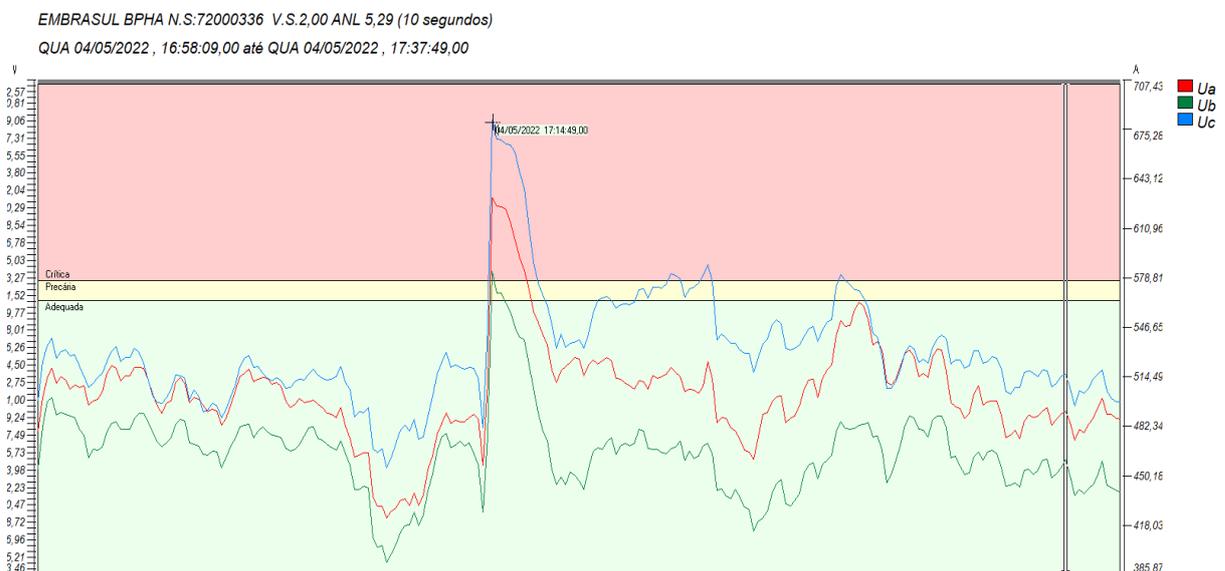
Fonte: Autor, 2024.

Observa-se que algumas tensões medidas estiveram fora da faixa adequada de funcionamento, estando na faixa de precário e crítica por um curto período de

tempo, portanto, os valores de tensão trabalharam dentro dos parâmetros de conformidade.

Ao discriminar o maior valor encontrado na faixa crítica, percebe-se que o Fator de Potência se encontra em $-0,008$, o que indica que a carga está com característica capacitiva como mostra a Figura 27.

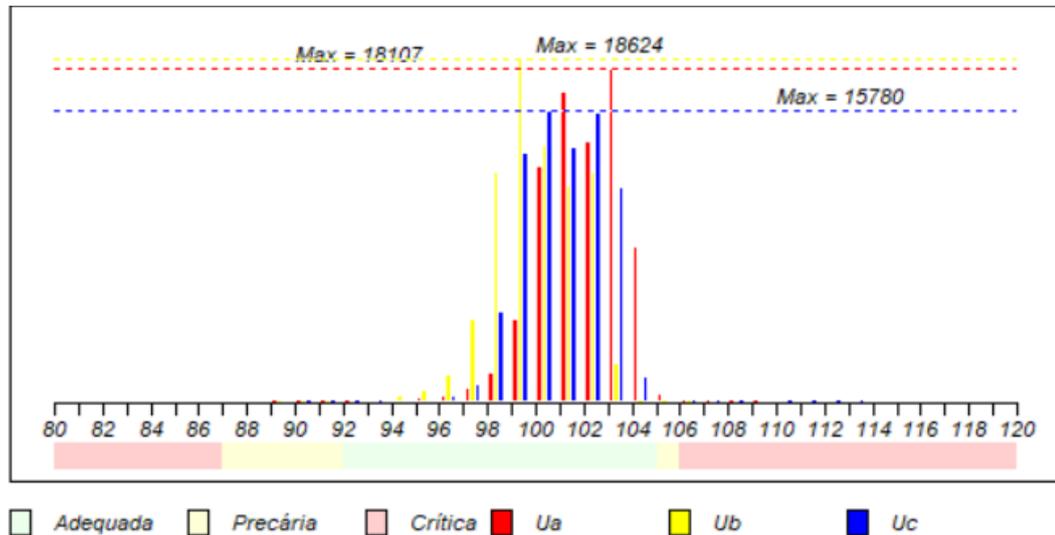
FIGURA 27 – Representação da tensão em regime permanente na faixa crítica



Fonte: Autor, 2024.

Ao comparar os horários do QTA 380V com os do QTA 220V viu-se que as quedas de tensão ocorrem ao mesmo tempo, podendo assim indicar um valor alto do controlador do banco de capacitor, refletindo assim em ambos os quadros.

A Figura 28 apresenta a quantidade de vezes em que a tensão do sistema varia percentualmente em relação a tensão de fase referência 220V.

FIGURA 28 – Histograma tensão de regime permanente


Fonte: Autor, 2024.

Os valores medidos ficam entre 89,7% e 109,7%. A Tabela 10 apresenta os valores máximos, mínimos e médios.

TABELA 10 - Distribuição das Tensões

Tensão (V)	Fase A	Fase B	Fase C
Média	224,53	220,35	222,371
Máxima	241,34	233,99	249,11
Mínima	196,09	196,97	199,45

Fonte: Autor, 2024.

Na medição há a ocorrência de variações de tensão para precário e crítico, porém, os valores dos índices de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e os valores dos índices de duração relativa de transgressão para

tensão crítica (DRC) atendem os limites estabelecidos por norma, conforme apresentada na Tabela 11, sendo de 3% e 0,5% para DRP e DRC, respectivamente.

TABELA 11 - Indicadores Individuais - DRC e DRP

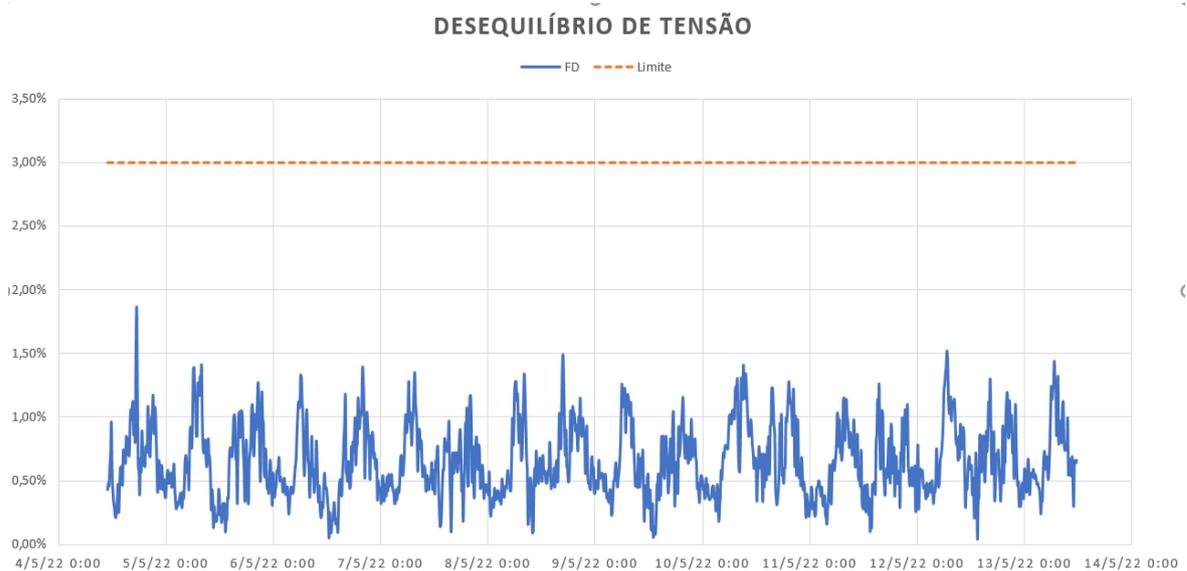
TABELA DE DRC/DRP			
Indicador	Fase A	Fase B	Fase C
nlp	413	44	120
nlc	23	1	29
DRC(%)	0,03%	0%	0,04%
DRP(%)	0,53%	0,06%	0,15%

Fonte: Autor, 2024.

Onde:

- nlp: número de leituras situadas nas faixas precárias
- nlc: número de leituras situadas nas faixas críticas

A Figura 29 apresenta o comportamento da tensão (em percentual) apresentando o desequilíbrio durante o tempo de medição.

FIGURA 29 – Desequilíbrio de tensão

Fonte: Autor, 2024.

O pior caso atingindo o valor de 1,86% de desequilíbrio, o valor encontrado se manteve dentro do limite estabelecido de 3%.

A Tabela 12 apresenta os piores valores para o desequilíbrio de tensão na presente análise.

TABELA 12 – Piores valores de desequilíbrio de tensão.

PIORES REGISTROS	
Data/ Hora	Valor (%)
4/5/22 17:30	1,86%
4/5/22 17:20	1,54%
12/5/22 6:40	1,52%
8/5/22 16:50	1,49%
12/5/22 0:00	1,44%
13/5/22 6:40	1,44%
05/05/200 08:00	1,41%
10/5/22 0:00	1,41%
12/5/22 6:30	1,40%
5/5/22 6:20	1,39%

Fonte: Autor, 2024.

É possível concluir que os valores medidos se encontram dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL, ou seja, o sistema apresenta equilíbrio entre suas fases tanto em amplitude quanto em defasagem elétrica.

A Tabela 13 apresenta as informações de afundamentos e elevações momentâneas que ocorreram durante o período de medição.

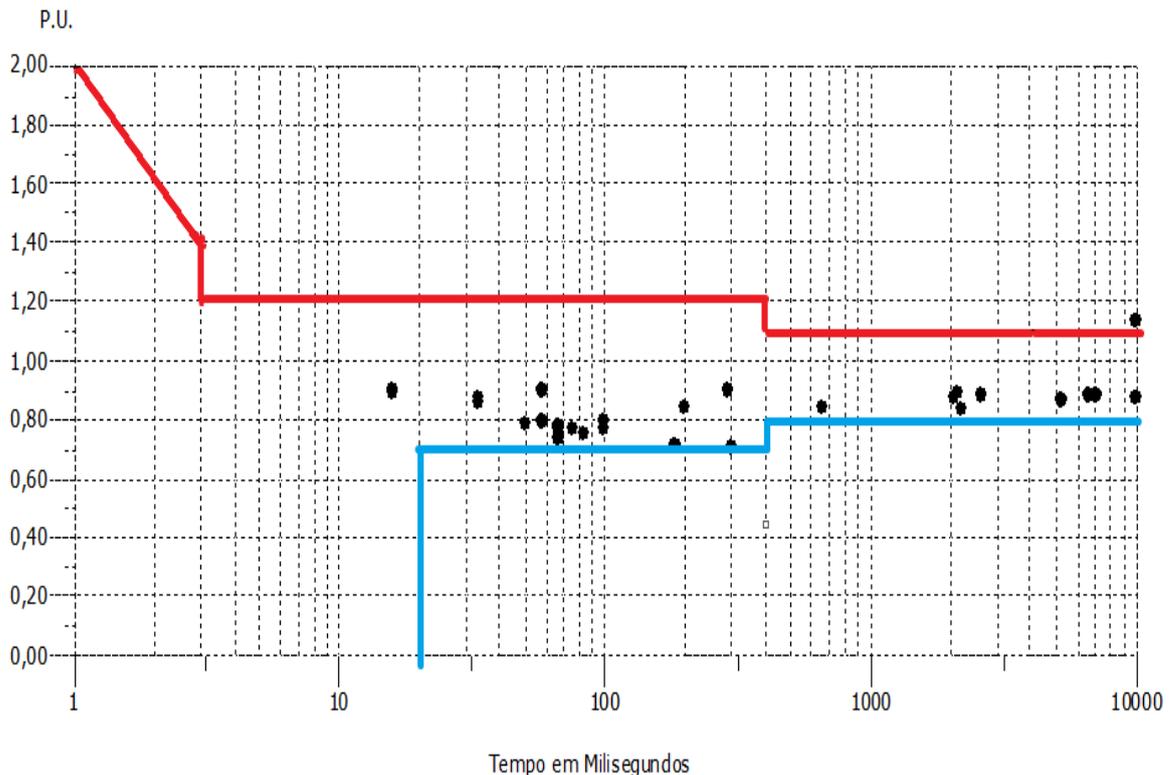
TABELA 13 – Registros de VTCD.

DATA/ HORA	MAGNITUDE (p.u.)	DURAÇÃO(s)	CLASSIFICAÇÃO	
04/05/2022 16:01:47.006	0,712	0,18333	Afundamento Momentâneo	D
04/05/2022 17:14:20.003	0,89	2,125	Afundamento Momentâneo	A
04/05/2022 17:14:28.003	1,137	82,09167	Elevação Temporária	I
04/05/2022 17:24:11.009	0,844	0,2	Afundamento Momentâneo	A
05/05/2022 06:24:39.007	0,883	6,99167	Afundamento Temporário	A
05/05/2022 08:50:56.008	0,896	0,01667	Afundamento Momentâneo	A
05/05/2022 16:59:40.004	0,777	0,06667	Afundamento Momentâneo	B
05/05/2022 17:14:14.009	0,883	6,6	Afundamento Temporário	A
05/05/2022 17:29:53.005	0,773	0,1	Afundamento Momentâneo	D
06/05/2022 15:33:30.009	0,844	0,65833	Afundamento Momentâneo	G
06/05/2022 15:37:42.002	0,897	0,05833	Afundamento Momentâneo	A
06/05/2022 16:09:09.007	0,835	2,19167	Afundamento Momentâneo	G
06/05/2022 16:28:34.005	0,879	2,05	Afundamento Momentâneo	A
06/05/2022 16:34:58.002	0,886	2,59167	Afundamento Momentâneo	A
06/05/2022 16:37:32.006	0,873	5,2	Afundamento Temporário	A
06/05/2022 17:32:33.000	0,896	0,29167	Afundamento Momentâneo	A
06/05/2022 20:44:52.009	0,768	0,06667	Afundamento Momentâneo	B
07/05/2022 09:47:31.001	0,79	0,05833	Afundamento Momentâneo	B
07/05/2022 11:56:00.004	0,752	0,08333	Afundamento Momentâneo	B
08/05/2022 10:27:21.007	0,736	0,0667	Afundamento Momentâneo	B
08/05/2022 16:58:22.003	0,875	0,03333	Afundamento Momentâneo	A
09/05/2022 16:27:03.000	0,876	42,4	Afundamento Temporário	A
09/05/2022 17:08:15.002	0,859	0,03333	Afundamento Momentâneo	A
09/05/2022 17:15:48.000	0,887	0,01667	Afundamento Momentâneo	A
11/05/2022 08:23:57.002	0,705	0,3	Afundamento Momentâneo	D
11/05/2022 14:21:38.007	0,773	0,075	Afundamento Momentâneo	B
12/05/2022 14:16:48.000	0,793	0,1	Afundamento Momentâneo	D
12/05/2022 14:20:11.002	0,787	0,05	Afundamento Momentâneo	B

Fonte: Autor, 2024.

A Figura 30 apresenta a aplicação da VTCD.

FIGURA 30 - Variação de tensão VTCD



Fonte: Autor, 2024.

Como pode ser observado somente um registro ultrapassou o limite estabelecido (linhas azul e vermelha). A maioria dos equipamentos são projetados para suportarem variações de tensão de curta duração, parte dos afundamentos registrados estão localizados entre as linhas, nessa região os equipamentos não sofrem alteração em seu funcionamento. No caso de transgressão da linha inferior (linha azul), pode ocorrer mau funcionamento ou desligamento por afundamento ou interrupção de tensão. No caso da linha vermelha, pode ocasionar danos aos equipamentos, por elevação de tensão.

A Tabela 14 apresenta a quantidade de eventos que ocorrem por amplitude e tensão e o período de ocorrência.

TABELA 14 - Estratificação amplitude e duração dos eventos de VTCD.

Amplitude (pu)	Duração							Região
	[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 A
(1,10 - 1,15]							1	Região B
(0,85 - 0,90]	5	1			4	3		Região C
(0,80 - 0,85]		1		1	1			Região D
(0,70 - 0,80]	7	4						Região E
(0,60 - 0,70]								Região F
(0,50 - 0,60]								Região G
(0,40 - 0,50]								Região H
(0,30 - 0,40]								Região I
(0,20 - 0,30]								
(0,10 - 0,20]								
< 0,10								

Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 15 apresenta os valores registrados de frequência do sistema mínimo, médio e máximo.

TABELA 15 – Frequências registradas

Frequência (Hz)	Mínimo	Médio	Máximo
	59,51	59,99	60,14

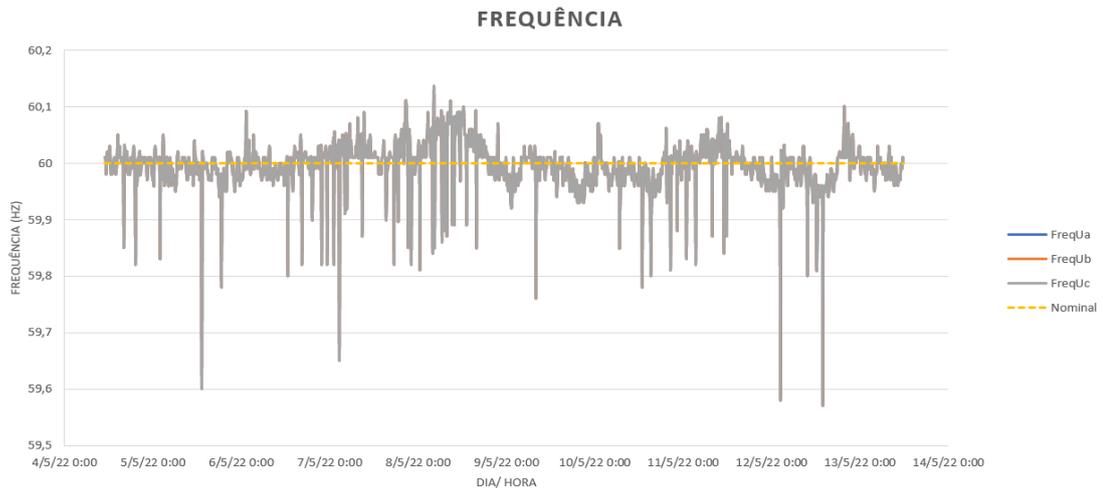
Fonte: Autor, 2024.

Como pode ser visto, ocorreu variação em torno da nominal de 60Hz, o valor mínimo encontrado foi de 59,51 Hz e o valor máximo encontrado foi de 60,14 Hz.

O PRODIST estabelece limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Apesar de em alguns momentos os valores registrados estarem fora da regulamentação, essa transgressão pode ocorrer por breves períodos conforme estabelecido por norma.

As variações de frequência ao longo do período de medição válido podem ser vistas na Figura 31.

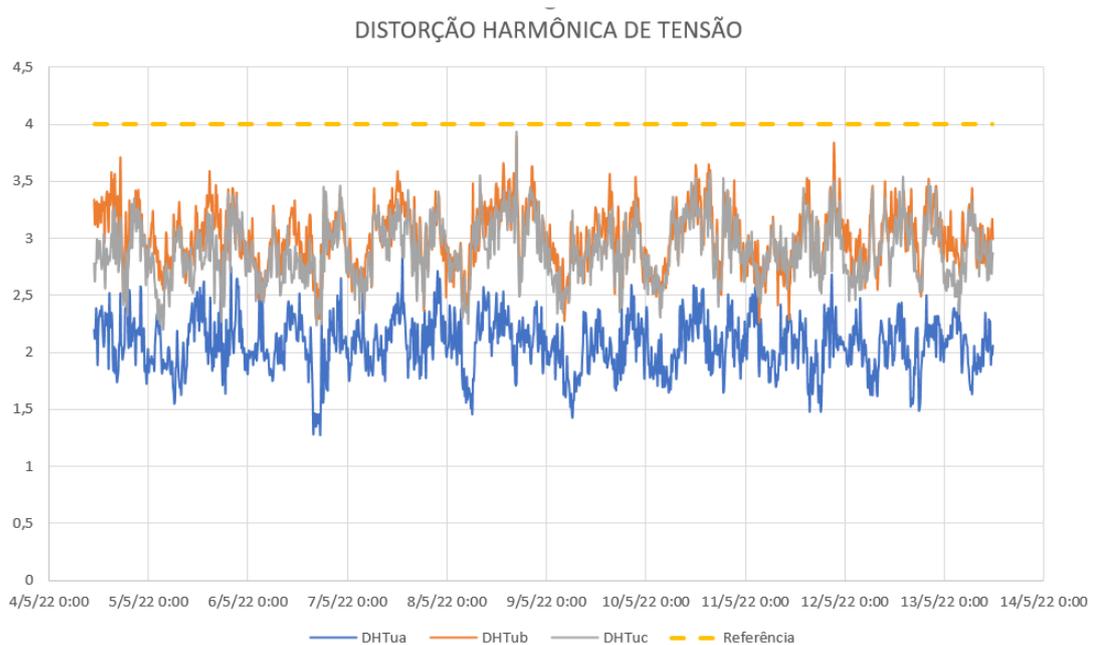
FIGURA 31 - Variação de frequência



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 32, é possível ver os níveis de distorções harmônicas de tensão para cada uma das fases.

FIGURA 32 - Distorção Harmônica de Tensão.



Fonte: Autor, 2024.

Os valores registrados se encontram com percentual abaixo de 4%. Os limites estabelecidos pelo PRODIST, sendo 10% para todas as harmônicas, 2,5% para harmônicas de ordem par, 7,5% para harmônicas de ordem ímpar e 6,5% para harmônicas de ordem igual ou múltipla de 3.

A Tabela 16 apresenta os valores máximos, mínimos e médios para os intervalos analisados.

TABELA 16 - Valores DHT (%)

REGISTROS DE HARMÔNICOS			
DHT	Fase A	Fase B	Fase C
Maior DHT	4,19%	4,87%	5,17%
Menor DHT	0,62%	1,05%	1,16%

Fonte: Autor, 2024.

A figura 33 apresenta os valores de corrente registrados nas medições.

FIGURA 33 - Valores de Corrente

Fase A: Correntes [A]

Média	358,465		
Mínimo	0,254	17:16:29,00	04/05/2022
Máximo	694,803	06:24:39,00	05/05/2022

Fase B: Correntes [A]

Média	315,218		
Mínimo	0,254	17:17:19,00	04/05/2022
Máximo	678,659	17:29:22,00	05/05/2022

Fase C: Correntes [A]

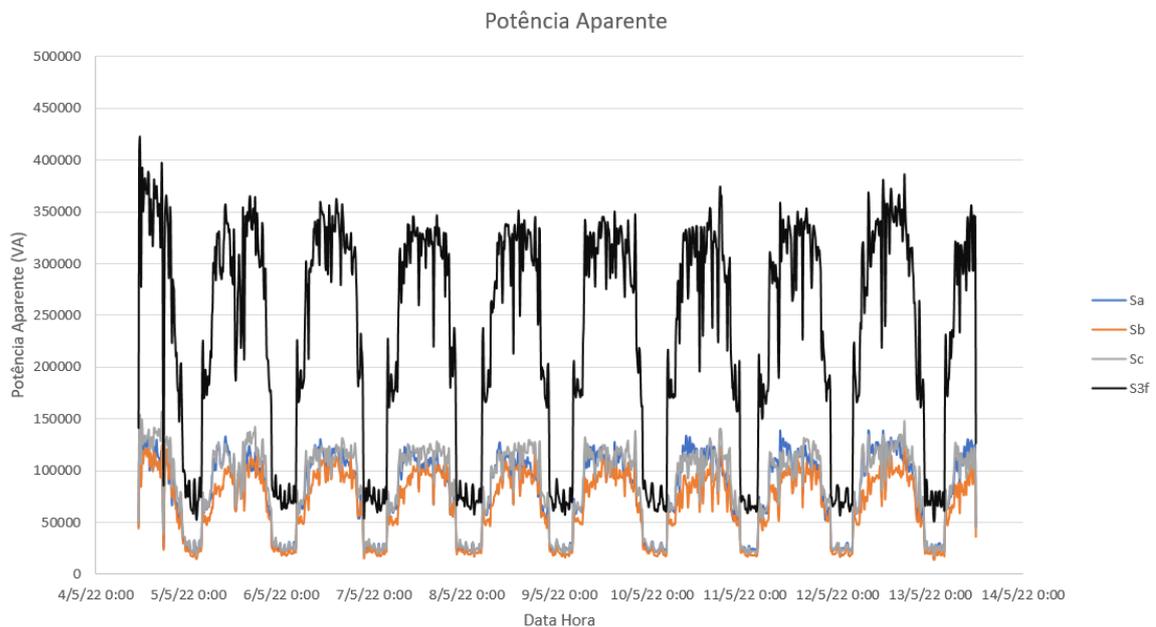
Média	385,672		
Mínimo	1,127	17:16:29,00	04/05/2022
Máximo	823,299	16:51:59,00	04/05/2022

Fonte: Autor, 2024.

Valores medidos de corrente média, mínima e máxima em cada fase do sistema.

A Figura 34 apresenta o comportamento da potência aparente solicitada pelo quadro de carga.

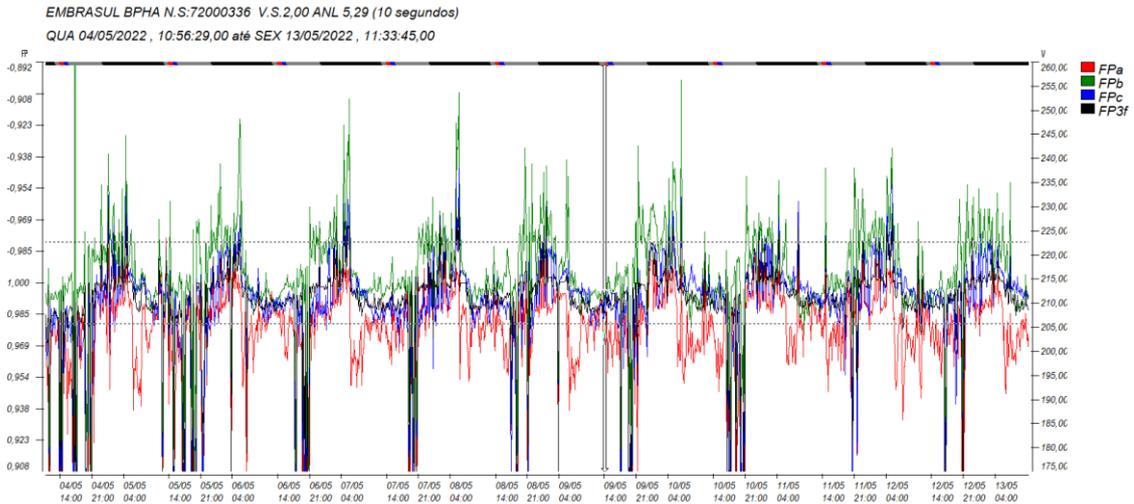
FIGURA 34 - Potência Aparente do sistema



Fonte: Autor, 2024.

Sendo possível observar seu comportamento trifásico conforme característica do sistema por fase.

A Figura 35 apresenta o Fator de Potência por fase e o trifásico do período de medição.

FIGURA 35 - Fator de potência

Fonte: Autor, 2024.

Os valores esperados pelas medições devem ficar entre 1 a 0,92 (característica indutiva) e -0,92 a 1 (característica capacitiva). A Figura 36 é referente ao relatório semanal detalha as medições.

FIGURA 36 - Relatório semanal

RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 10 segundos)

Intervalo considerado:

quarta-feira 04/05/2022 10:56:19,00 até sexta-feira 13/05/2022 11:33:45,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 13:30 - 14:30 15:30 - 15:30 16:30 - 24:00

Intervalo - Ponta: 14:30 - 15:30

Intervalo - Reservado: 15:30 - 16:30

Semana: QUA 04/05/2022 a SAB 07/05/2022

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVAh]	FP
Ponta	992,805	0,000	221,127	0,976 ind
Fora de ponta	7,530 k	0,000	1,435 k	0,982 ind
Reservado	1,344 k	0,000	226,556	0,986 ind
Total	9,867 k	0,000	1,883 k	0,982 ind

Semana: DOM 08/05/2022 a SEX 13/05/2022

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVAh]	FP
Ponta	1,291 k	0,000	171,968	0,991 ind
Fora de ponta	9,449 k	0,000	1,423 k	0,989 ind
Reservado	1,650 k	0,000	227,518	0,991 ind
Total	12,390 k	0,000	1,822 k	0,989 ind

Fonte: Autor, 2024

Assim os valores se encontram de acordo com as normas.

Na Figura 37, podemos observar o valor mensal da multa relacionada ao fator de potência inferior a 0,92 (valor geralmente exigido pelas concessionárias), conforme especificado pela ANEEL e pelas normas técnicas, como a NBR 5410.

FIGURA 37 – Fatura de energia 2024

Valores Faturados				
Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Valor (R\$)
Componente Fio HFP s/ ICMS	kW	72	22,99100217	1.655,34
Componente Fio HFP	kW	528	28,03780753	14.803,95
Componente Fio HP s/ ICMS	kW	155	68,49725928	10.617,07
Componente Encargo HFP	kWh	145.512	0,15507190	22.564,80
Componente Encargo HP	kWh	15.991	0,15507190	2.479,73
Energia Reativa HFP	kWh	7.569	0,39541759	2.992,89
Energia Reativa HP	kWh	1.002	0,39541759	396,18
Componente Fio HP	kW	445	83,53324303	37.172,28
Encargo Cta Covid REN 885/2020	kWh	161.503	0,00678558	1.095,87
Multa 2% sobre conta de 09/2024				1.411,48
Juros 1%am sobre pagamento em: 04/11/24				164,67
Correção IPCA/IGPM s/ conta 09/24 pg 04/11/24				71,50
Ajuste de Desconto C. Fio HFP				-1,92
Ajuste de Desconto C. Fio HP				-5,70
Desconto Comp. Fio HFP				-6.656,97
Desconto Comp. Fio HP				-19.833,16
TOTAL				68.928,01

Vencimento 27/11/2024	Total a pagar R\$ 68.928,01
--	--

Fonte: Autor, 2024.

Como descrito no estudo de caso, antes da instalação do banco de capacitores, a concessionária de energia aplica multas para combater o excesso de energia reativa na rede. Observa-se que o valor da multa, embora considerado baixo para uma planta industrial dessa dimensão, poderia ter sido ainda menor. Embora esse valor geralmente não seja zerado, na unidade em questão ele poderia ter se aproximado de zero, mesmo com o aumento de potência instalada. A planta possui em suas

instalações um transformador de 380V, que foi o foco deste estudo e recebeu as correções necessárias no fator de potência. No entanto, há também um transformador de 220V, no qual as correções não foram aplicadas. Como ambos os transformadores são alimentados pela mesma rede de alta tensão e compartilham o mesmo medidor de energia, o fator de potência inadequado nas instalações de 220V reflete diretamente na fatura de energia da unidade, resultando na aplicação da multa.

Com base nas demonstrações apresentadas neste estudo de caso, conclui-se que, após a implementação das medidas corretivas, o sistema da planta industrial encontra-se em equilíbrio e atende às normas na maioria de suas características, especialmente no que diz respeito ao fator de potência. No entanto, foi observada um aumento na carga das instalações, o qual, embora não tenha comprometido o fator de potência, foi realizado de maneira desequilibrada, gerando um desequilíbrio de corrente. Esse desequilíbrio sobrecarregou a corrente na fase C. Apesar desse ocorrido, as conclusões relacionadas ao fator de potência são tecnicamente satisfatórias, demonstrando a eficácia das correções aplicadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados obtidos, dados coletados, análises realizadas e conclusões alcançadas serão devidamente documentadas.

5.1 ESTUDO DE CASO SEM A INSTALAÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO COM BANCOS DE CAPACITORES

O estudo analisou a qualidade da energia elétrica através da medição de diversas variáveis: tensão em regime permanente, desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração, frequência, fator de potência e harmônicos de tensão. As conclusões para cada variável são:

Tensão em regime permanente: dentro dos limites da norma, mas deve-se verificar se o equipamento utilizado está dentro da faixa de operação aceita pelo seu manual.

Desequilíbrio de tensão: valor máximo de 1,88% (abaixo do limite de 3%), dentro dos valores esperados, mas deve ser avaliado em cada ponto de conexão para garantir o menor desequilíbrio possível.

Variações de tensão de curta duração: eventos pontuais de afundamentos dentro dos limites esperados e associados à carga e à estrutura de distribuição.

Frequência: todas as variações dentro dos limites de operação da norma (entre 59,9Hz e 60,1Hz), com alguns valores fora da norma por breves períodos.

Distorção harmônica da tensão: Dentro dos limites do Módulo 8 - PRODIST para todas as fases e intervalos.

Fator de potência: em sua maior parte fora dos limites esperados (0,92 a 1), indicando que o sistema opera fora das condições esperadas para o fator de potência.

Financeiro: a multa devido ao fator de potência fora da faixa tolerada estava sendo, em média, de R\$ 8.318,18.

Recomendou-se verificar se os equipamentos estão dentro da faixa de operação da tensão em regime permanente, avaliar o desequilíbrio de tensão em cada ponto de conexão e investigar as causas do baixo fator de potência.

5.2 ESTUDO DE CASO APÓS A INSTALAÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO COM BANCOS DE CAPACITORES

O estudo analisou a qualidade da energia elétrica através da medição de diversas variáveis: tensão em regime permanente, desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração, frequência, fator de potência e harmônicos de tensão. As conclusões para cada variável são:

Tensão em regime permanente: algumas tensões fora da faixa adequada, pico na faixa crítica a ser investigado, mas as fases estão dentro da faixa de operação.

Desequilíbrio de tensão: valor máximo de 1,86% (abaixo do limite de 3%), dentro dos valores esperados, mas deve ser avaliado em cada ponto de conexão para garantir o menor desequilíbrio possível.

Variações de tensão de curta duração: eventos pontuais de afundamentos e uma elevação, dentro dos limites esperados e associadas à carga e à estrutura de distribuição.

Frequência: variações dentro dos limites de operação (média de 59,99 Hz), com alguns valores fora da norma por breves períodos.

Distorção harmônica da tensão: dentro dos limites do Módulo 8 - PRODIST para todas as fases e intervalos.

Fator de potência: dentro dos limites esperados (0,92 a 1), com valores mínimos de 0,976 ind e máximos de 0,991 ind.

Financeiro: a multa devido ao fator de potência fora da faixa tolerada estava sendo, em média, de R\$ 3.389,07.

6 CONCLUSÃO

No estudo de caso, sem a existência do painel elétrico com os bancos de capacitores para a correção do fator de potência em sistemas elétricos industriais, conclui-se que uma correção eficiente do fator de potência é essencial para minimizar os impactos negativos, como o aumento das perdas na rede elétrica e a sobrecarga dos componentes do sistema. Os benefícios dessa correção incluem a redução de custos com energia, a maior vida útil dos equipamentos e o aumento da capacidade de fornecimento de energia, o que contribui para a estabilidade geral do sistema. Recomendou-se a realização de um estudo detalhado do sistema elétrico, a análise cuidadosa dos custos e benefícios das estratégias de correção e a implementação das soluções de forma planejada e monitorada para garantir resultados positivos.

No estudo subsequente, após a escolha da estratégia de correção, que envolveu a instalação do painel elétrico com bancos de capacitores, destaca-se a importância de garantir a conformidade com as normas técnicas e regulatórias vigentes para assegurar o funcionamento adequado dos equipamentos. Através dos estudos realizados, conclui-se que a solução adotada para a correção do fator de potência, por meio da instalação do painel, foi plenamente satisfatória, uma vez que corrigiu um fator de potência que estava fora dos limites recomendados (0,92 a 1) para valores dentro da faixa esperada, com um fator de potência mínimo de 0,976 ind e máximo de 0,991 ind.

Evitando o pagamento de multa mensal, com valor médio aproximado de R\$ 4.929,12, considerando o custo do investimento de R\$ 52.000,00, o retorno financeiro foi de aproximadamente 10,55 meses, e considerando a vida útil de um painel elétrico com as manutenções em dia, de 15 anos, pode se chegar a uma economia de aproximadamente R\$ 880.000,00.

ABSTRACT

Power factor (PF) is a crucial indicator of energy efficiency in electrical systems. A low PF represents excessive consumption of reactive energy, causing several negative impacts, such as increased losses in the electrical network, overload of system components and increased energy costs. PF correction, through the installation of capacitor banks or other techniques, mitigates these impacts and optimizes the use of electrical energy, and in industrial electrical systems, the importance of efficient power factor correction to mitigate negative impacts is highlighted, such as increased losses in the electrical network and overload of system components. The benefits include reduced energy costs, longer equipment life and increased energy supply capacity, ensuring system stability. The quality of electrical energy in an industrial installation, compliance with technical standards, is highlighted as crucial for the proper functioning of the equipment. Anomalies identified in steady-state voltage and power factor deactivated planned investigations to implement corrective measures and improve the energy efficiency of the system.

Keywords: Power Factor, Industrial Electrical Systems, Energy Efficiency, Correction, Technical Standards.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma Brasileira – Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **Norma Brasileira – Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV NBR 14039**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CASTELLO, Raphael Netto. **Fator de Potência**: Guia Completo para Otimizar o Consumo de Energia. 2024. Disponível em: [https://blog.squair.io/pt/fator-de-potência-guia-completo-para-otimizar-o-consumo-de-energia](https://blog.squair.io/pt/fator-de-potencia-guia-completo-para-otimizar-o-consumo-de-energia). Acesso em: 11 maio 2024

CASTRO, Newton; TADINI, Mário. **Qualidade de Energia Elétrica**: Harmônicos e Fator de Potência. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

CEMIG – **Estudo de Distribuição – ED 5 57 3** - Caracterização de cargas potencialmente perturbadora – CEMIG. Revisão 01.

CEMIG – **Estudo de Distribuição – ED 5 58 3** - Critérios e procedimentos para análise e correção dos impactos devidos à conexão de cargas e equipamentos potencialmente perturbadores – CEMIG.

ENEL: Website: **Enel Brasil**. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt.html>. Acesso em: 20 maio 2024

FORTI, Matheus Luis. **Estudo de caso da correção de fator de potência industrial**. Trabalho de Conclusão de curso, Dourados: UFGD, 2017.

LIGHT: Website: **Light**. Disponível em: <https://www.light.com.br/SitePages/home.aspx>. Acesso em: 20 maio 2024.

MAMEDE, JOÃO FILHO. **Instalações Elétricas Industriais**, 9^o edição, 2015. Rio de Janeiro LTC.

MARDEGAN, Claudio; SOUZA, André Nunes De. **Correção do Fator de Potência: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2015.

OLIVEIRA, Stanley César. **Influência de harmônicos no fator de potência**. Trabalho de Conclusão de curso, Itatiba, 2011.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST- Módulo 8 – **Qualidade da Energia Elétrica – Revisão 12**.

SANTOS, Euzeli Cipriano Dos. **Compensação de Energia Reativa: Fator de Potência**. São Paulo: Érica, 2010.

SILVA, Marcos Cesar Isoni. **Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida**. UFMG, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8D7HDF>. Acesso em: 29 maio 2024.

SIQUEIRA, Cintia De. **Banco De Capacitores: Como Corrigir O Baixo Fator De Potência E Dar Adeus Às Altas Contas De Luz**, 2022. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/blog/banco-de-capacitores/> Acesso em: 29 maio 2024.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015. Acesso em: 29 maio 2024.