



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS TRINDADE
ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS DE CASTRO BITENCOURT

SISTEMA INTELIGENTE PARA DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE
ENERGIA EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS: ESTUDO DE CASO NO IF
GOIANO

Trindade

2025

MATHEUS DE CASTRO BITENCOURT

**SISTEMA INTELIGENTE PARA DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE
DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS: ESTUDO DE
CASO NO IF GOIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal Goiano Campus Trindade, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Geovanne Pereira Furriel

Trindade

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C355s Castro Bitencourt, Matheus de
SISTEMA INTELIGENTE PARA DIAGNÓSTICO DA
QUALIDADE DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES
EDUCACIONAIS: ESTUDO DE CASO NO IF GOIANO /
Matheus de Castro Bitencourt. Trindade 2025.

43f. il.

Orientador: Prof. Dr. Geovanne Pereira Furriel.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0820264 -
Bacharelado em Engenharia Elétrica - Trindade (Campus
Trindade).

1. Eficiência Energética. 2. Qualidade da Energia. 3. Distorção
Harmônica. 4. PRODIST. 5. Instituições Públicas. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matheus de Castro Bitencourt

Matrícula:

2020108202640040

Título do trabalho:

SISTEMA INTELIGENTE PARA DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS: ESTUDO DE CASO NO IF GOIANO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 18 /12 /2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
MATHEUS DE CASTRO BITENCOURT
Data: 18/12/2025 17:00:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Trindade

18 /12 /2025

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
GEOVANNE PEREIRA FURRIEL
Data: 18/12/2025 17:08:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 67/2025 - CE-TRI/GE-TRI/CMPTRI/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 11 dias do mês de dezembro de 2025, às 18 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Geovanne Pereira Furriel (orientador), Cleber Asmar Ganzaroli (membro), Robert de Souza Bonuti (membro), Deivid Batista Sousa Ribeiro (membro externo), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Sistema Inteligente para Diagnóstico da Qualidade de Energia em Edificações Educacionais: Estudo de Caso no IF Goiano” do estudante Matheus de Castro Bitencourt, Matrícula nº 2020108202640040 do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do IF Goiano – Campus Trindade. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante com nota 70. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Geovanne Pereira Furriel

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Cleber Asmar Ganzaroli

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Robert de Souza Bonuti

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Deivid Batista Sousa Ribeiro

Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Geovanne Pereira Furriel, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 17/12/2025 08:59:35.
- **Robert de Souza Bonuti, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 18/12/2025 09:52:47.
- **Cleber Asmar Ganzaroli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 18/12/2025 10:10:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 773910

Código de Autenticação: 47cfe169ba



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Trindade
Av. Wilton Monteiro da Rocha, S/N, Setor Cristina II, TRINDADE / GO, CEP 75389-269
(62) 3506-8000

Primeiramente a Deus por ter dado condição e conduzido até essa data, e a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho e apoiaram em todos os momentos da minha vida e durante a minha formação.

RESUMO

A eficiência energética tem assumido papel estratégico no cenário brasileiro, como em instituições públicas de ensino que apresentam diversidade de cargas, elevado fluxo de usuários e crescente demanda por infraestrutura tecnológica. Diante desse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso realizou um diagnóstico energético no bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica do IF Goiano Campus Trindade, com foco na avaliação da qualidade da energia elétrica e na identificação de oportunidades de melhoria. A metodologia adotada combinou revisão bibliográfica, análise normativa com base no PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica) Módulo 8, medições experimentais por meio do analisador de energia Mi Energy e tratamento computacional dos dados utilizando Python. As grandezas monitoradas incluíram tensão eficaz, frequência, fator de potência e para análise da qualidade de energia, será analisada a distorção harmônica total THD_V (Total Harmonic Distortion of Voltage), totalizando 1.008 amostras registradas entre 06 e 13 de novembro de 2025. Os resultados demonstraram que a instalação opera dentro dos limites normativos, com THD_V (Total Harmonic Distortion of Voltage) inferior a 10% e tensão estável, indicando bom desempenho do sistema e baixo impacto de cargas não lineares. A análise evidenciou ainda a presença de fator de potência predominantemente capacitivo, apontando necessidade de ajustes no sistema de compensação reativa. O estudo conclui que o monitoramento contínuo da qualidade da energia constitui ferramenta essencial para a gestão energética institucional, permitindo identificar perdas ocultas, evitar falhas, reduzir custos e fortalecer políticas de sustentabilidade. Dessa forma, os achados deste trabalho contribuem tanto para o aprimoramento da eficiência energética no IF Goiano quanto para o desenvolvimento acadêmico de soluções aplicadas ao setor elétrico.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Qualidade da Energia, Distorção Harmônica, PRODIST, Instituições Públicas

ABSTRACT

Energy efficiency has assumed a strategic role in the Brazilian scenario, particularly in public educational institutions that present diverse loads, high user traffic, and a growing demand for technological infrastructure. In this context, this Final Course Project carried out an energy diagnosis in the Electrical Engineering laboratory block at IF Goiano Campus Trindade, focusing on evaluating the quality of electrical energy and identifying opportunities for improvement. The methodology adopted combined a literature review, normative analysis based on PRODIST (Electrical Energy Distribution Procedures) Module 8, experimental measurements using the Mi Energy energy analyzer, and computational data processing using Python. The monitored parameters included effective voltage, frequency, power factor, and, for power quality analysis, the total harmonic distortion (THD) of voltage (V) will be analyzed, totaling 1,008 samples recorded between November 6th and 13th, 2025. The results demonstrated that the installation operates within normative limits, with THD of less than 10% and stable voltage, indicating good system performance and low impact from non-linear loads. The analysis also revealed the presence of a predominantly capacitive power factor, indicating the need for adjustments in the reactive compensation system. The study concludes that continuous power quality monitoring is an essential tool for institutional energy management, allowing the identification of hidden losses, preventing failures, reducing costs, and strengthening sustainability policies. Therefore, the findings of this work contribute both to improving energy efficiency at IF Goiano and to the academic development of solutions applied to the electricity sector.

Keywords: Energy Efficiency, Power Quality, Harmonic Distortion, PRODIST, Public Institutions

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Analisador MI Energy.	14
4.1 Série temporal da tensão RMS por fase durante a campanha de medição.	23
4.2 THD de tensão máxima registrada por intervalo. O limite regulamentar de 10% é representado pela linha tracejada.	24
4.3 Comportamento temporal do fator de potência trifásico.	25
4.4 Série temporal da frequência elétrica do sistema.	26
4.5 Histograma da tensão eficaz da fase L1.	27
4.8 Histograma da frequência elétrica.	27
4.6 Histograma da distorção harmônica de tensão da fase L1.	28
4.7 Histograma do fator de potência total trifásico.	29
4.9 Monitoramento da Distorção Harmônica Total de Tensão (THDV) nas três fases. A linha vermelha indica o limite de 10% definido pelo <i>PRODIST</i> .	30
4.10 Espectro harmônico médio de tensão (Fase A) – ordens ímpares e pares.	31

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Exemplo de dados coletados pelo analisador de energia elétrica em formato .CSV.	18
4.1 Estatísticas gerais de tensão RMS por fase.	22
4.2 Estatísticas gerais da distorção harmônica total de tensão.	23
4.3 Estatísticas gerais do fator de potência total.	24
4.4 Estatísticas gerais da frequência elétrica.	25
4.5 Estatísticas descritivas da Distorção Harmônica Total de Tensão (THDV). .	31

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	3
1.2 Objetivo geral	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Delimitação	4
1.5 Hipótese	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Eficiência Energética em Sistemas Elétricos	5
2.2 Eficiência Energética em Instituições Públicas de Ensino	6
2.3 Qualidade da Energia Elétrica	7
2.4 Normas e Regulamentações: PRODIST Módulo 8	8
2.5 Cargas Não Lineares e Geração de Harmônicos	8
2.6 Fator de Potência e Desempenho Energético	9
2.7 Parâmetros Elétricos e Indicadores de Diagnóstico	10
2.8 Importância do Monitoramento Contínuo	10
2.9 Conclusão da Fundamentação Teórica	11
3 Metodologia	12
3.1 Caracterização do Ambiente de Estudo	12
3.2 Instrumentação e Procedimentos de Medição	12
3.2.1 Materiais e Equipamentos	13
3.3 Coleta, Organização e Tratamento dos Dados	14
3.4 Método de Abordagem	15
3.5 Procedimentos de Análise	15
3.5.1 Análise Descritiva	15
3.5.2 Análise Estatística	15
3.5.3 Análise Normativa	15
3.6 Critérios de Interpretação e Síntese	16

3.7	Limitações da Pesquisa	16
3.8	Sistema Automatizado de Geração de Relatório	16
3.9	Critérios de Interpretação	17
3.10	Estudo de Caso	17
3.11	Coleta e Estruturação dos Dados	17
3.12	Parâmetro Analisado: Distorção Harmônica Total (THD)	18
3.12.1	Equações da Distorção Harmônica Total (THD)	19
3.13	Justificativa Técnica da Análise	20
3.14	Ferramentas e Procedimentos Análíticos	20
3.15	Método Estudo de Caso	21
3.16	Viabilidade de Execução	21
4	Resultados e Discussão	22
4.1	Comportamento da Tensão em Regime Permanente	22
4.2	Distorção Harmônica de Tensão (THD _V)	23
4.3	Fator de Potência Total	24
4.4	Comportamento da Frequência Elétrica	25
4.5	Análise Estatística e Distribuição das Variáveis	26
4.6	Síntese Interpretativa	28
4.6.1	Procedimentos Experimentais e Análise dos Dados	29
4.6.2	Análise da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD _V)	30
4.6.3	Análise Espectral das Harmônicas Individuais	31
4.7	Resultados Obtidos pelo Sistema Automatizado de Análise	32
4.7.1	Síntese Interpretativa	33
4.7.2	Discussão dos Resultados	33
5	CONCLUSÕES	36
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		40
APÊNDICE A – Relatório de Qualidade de Energia		41
A.1	Relatório automático de qualidade de energia	41

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um elemento estruturante das sociedades modernas, influenciando atividades produtivas, serviços públicos, indústria, tecnologia e instituições educacionais. O avanço tecnológico e a crescente digitalização têm ampliado a demanda por eletricidade em escala global, exigindo novas formas de gerir os recursos energéticos disponíveis. Segundo o (Ministério de Minas e Energia (Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007), “a demanda por energia elétrica continuará crescendo de maneira significativa nas próximas décadas”, sendo necessária a adoção de ações integradas de racionalização para garantir equilíbrio entre oferta e consumo (Ministério de Minas e Energia (Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007). Nesse contexto, a eficiência energética assume papel estratégico para o desenvolvimento sustentável, permitindo reduzir desperdícios, melhorar o desempenho das instalações e mitigar impactos ambientais.

No Brasil, a importância da eficiência energética é reforçada pelos desafios estruturais do setor elétrico, como dependência de fontes hidráulicas, vulnerabilidade a secas, aumento dos custos de operação e necessidade de expansão do sistema. De acordo com Neto et al. (2019), “o uso ineficiente da energia e a predominância de combustíveis fósseis na matriz energética global têm provocado impactos ambientais severos”, incluindo emissões de gases de efeito estufa e degradação ambiental. Assim, a eficiência energética não deve ser tratada apenas como otimização do consumo, mas como uma estratégia de caráter ambiental, econômico e tecnológico.

Entre os ambientes com maior potencial de economia energética destacam-se as instituições públicas de ensino, que apresentam diversidade de cargas, horários de funcionamento regulares e intensivo uso de equipamentos. Como afirmam MARQUES et al. (2007), “as instituições públicas têm a obrigação de gerir seus recursos energéticos de maneira eficiente, garantindo o funcionamento adequado de suas atividades sem desperdícios e com responsabilidade ambiental”. Nesse cenário, os Institutos Federais, ao combinarem ensino, pesquisa e extensão, tornam-se ambientes privilegiados para implantação de políticas de eficiência energética e desenvolvimento de projetos experimentais.

O Instituto Federal Goiano — Campus Trindade possui infraestrutura em constante expansão, com salas de aula, blocos administrativos, laboratórios, oficinas, climatização e equipamentos de informática distribuídos por suas edificações. O bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica, objeto deste estudo, destaca-se por concentrar cargas sensíveis e não lineares, como fontes chaveadas, computadores, instrumentos

digitais, inversores e dispositivos de medição. Segundo [VIANA et al. \(2012\)](#), “a eficiência energética em ambientes educacionais deve considerar não apenas o consumo, mas a interação entre equipamentos, infraestrutura elétrica e padrões de uso”, o que reforça a necessidade de análises aprofundadas em espaços laboratoriais.

A qualidade da energia elétrica é um dos fatores que mais influenciam o desempenho de edificações com alto grau de automação e equipamentos sensíveis. O [\(\(ANEEL\), 2022\)](#) estabelece limites para parâmetros como tensão, frequência e distorções harmônicas, cuja violação pode acarretar falhas, aquecimento excessivo, redução da vida útil dos equipamentos e perdas técnicas significativas. Como destaca a ANEEL [\(\(ANEEL\), 2022\)](#), a distorção harmônica total em sistemas de baixa tensão não deve ultrapassar 10%, pois valores acima desse limite comprometem a eficiência do sistema e aumentam riscos operacionais.

Nesse sentido, investigar o desempenho energético do bloco de laboratórios é fundamental para compreender padrões de consumo, identificar possíveis ineficiências e orientar ações corretivas e preventivas. Como afirmam [MARQUES et al. \(2007\)](#), “o diagnóstico energético é a primeira etapa para otimizar sistemas elétricos, pois permite localizar perdas, identificar gargalos e selecionar ações de melhoria com maior impacto”. Assim, a presente pesquisa surge da necessidade institucional de avaliar a eficiência e a qualidade da energia utilizada no bloco de laboratórios do IF Goiano — Campus Trindade.

Sob a perspectiva acadêmica, este trabalho representa oportunidade significativa de aplicar conhecimentos teóricos da Engenharia Elétrica em um ambiente real. Ao desenvolver medições experimentais, tratar dados em linguagem Python, comparar resultados com normas técnicas e interpretar fenômenos elétricos, fortalece-se a formação profissional e ampliam-se as competências práticas necessárias ao exercício da engenharia. Conforme defendem [Neto et al. \(2019\)](#), experiências práticas e diagnósticos reais são elementos essenciais na formação de profissionais capazes de atuar em contextos energéticos complexos.

No âmbito institucional, o estudo contribui diretamente para o planejamento energético do IF Goiano. A análise do comportamento elétrico do bloco de laboratórios permite identificar desperdícios e aprimorar o uso de recursos públicos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 7 — “Energia Limpa e Acessível”. A literatura reforça que “medidas simples de eficiência energética podem reduzir entre 10% e 30% dos custos energéticos de uma instituição, dependendo da infraestrutura e do perfil de uso” ([Ministério de Minas e Energia](#)

(Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007). Portanto, pesquisas como esta assumem papel central para viabilizar ações estratégicas e consolidar uma cultura institucional de sustentabilidade.

A partir desse contexto, estabelece-se a questão central que norteia este estudo: o bloco de laboratórios do IF Goiano Campus Trindade apresenta desempenho energético compatível com as exigências normativas e institucionais, ou existem ineficiências de qualidade de energia que comprometem seu funcionamento, segurança e sustentabilidade? Essa pergunta orienta tanto a fundamentação teórica quanto a metodologia e a análise dos resultados, permitindo uma investigação sistemática e alinhada aos princípios da pesquisa científica.

1.1 Justificativa

A justificativa deste trabalho estrutura-se em quatro dimensões:

- **Institucional:** O IF Goiano deve assegurar uso eficiente de recursos públicos. Estudos como este fornecem bases técnicas para decisões de gestão, planejamento de manutenção, investimentos e políticas internas de sustentabilidade;
- **Técnica:** Laboratórios possuem equipamentos sensíveis e cargas não lineares. Avaliar tensões, THD e fator de potência permite identificar riscos operacionais, perdas técnicas e não conformidades com o *PRODIST*;
- **Científica:** Há lacuna na literatura sobre qualidade da energia em instituições públicas de ensino. Este trabalho contribui com dados reais e análise normativa, fortalecendo a pesquisa na área;
- **Social:** A eficiência energética reduz impactos ambientais e promove cultura de responsabilidade entre estudantes e servidores.

1.2 Objetivo geral

Analizar o desempenho energético e a qualidade da energia elétrica do bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica do IF Goiano — Campus Trindade, verificando conformidade com o *PRODIST* e identificando oportunidades de melhoria.

1.3 Objetivos específicos

- coletar grandezas elétricas reais por meio de analisador de energia;

- tratar e organizar os dados utilizando ferramentas computacionais;
- avaliar tensão RMS, frequência, THD e fator de potência;
- comparar medições com os limites do *PRODIST — Módulo 8*;
- identificar não conformidades, riscos e ineficiências energéticas;
- propor recomendações técnicas de melhoria.

1.4 Delimitação

O estudo restringe-se ao bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica do IF Goiano — Campus Trindade, com medições realizadas entre 06 e 13 de novembro de 2025, sem incluir análise tarifária, custos financeiros, iluminação natural ou climatização fora do escopo elétrico.

1.5 Hipótese

A hipótese de pesquisa considera que, embora a instalação atenda aos limites de tensão e frequência, há ineficiências relacionadas ao fator de potência e presença significativa de harmônicos, características típicas de ambientes labororiais, cuja correção pode melhorar o desempenho energético e reduzir perdas.

2 Fundamentação Teórica

A eficiência energética, quando aplicada a edificações públicas de ensino, envolve uma combinação de aspectos técnicos, normativos, operacionais e institucionais. A análise da qualidade da energia elétrica representa a dimensão central dessa avaliação, pois influencia diretamente o desempenho da instalação, o consumo de energia, a vida útil dos equipamentos e os custos operacionais. Esta fundamentação teórica consolida os principais conceitos, referenciais legais, parâmetros de análise, abordagens metodológicas necessários para compreender o diagnóstico energético desenvolvido neste Trabalho de Conclusão de Curso.

A estrutura deste capítulo integra elementos conceituais da engenharia elétrica com aspectos práticos observados em edificações públicas e, em particular, em instituições federais de ensino, como o IF Goiano. O objetivo é estabelecer o arcabouço técnico que sustenta as etapas de medição, tratamento e interpretação dos dados apresentadas nos capítulos subsequentes.

A revisão bibliográfica realizada neste trabalho teve por objetivo identificar fundamentos teóricos e técnicos sobre eficiência energética, qualidade de energia e práticas de gestão energética em edificações públicas. Foram consultadas obras de referência, como [VIANA et al. \(2012\)](#) e [MARQUES et al. \(2007\)](#), bem como documentos normativos oficiais, entre os quais se destacam o Plano Nacional de Energia 2050([ENERGIA; ENERGÉTICA, 2020](#)) e o PRODIST – Módulo 8 ([\(ANEEL\), 2022](#)). Esse conjunto de fontes fornece o embasamento necessário para compreender os fenômenos analisados e justificar os procedimentos adotados na etapa experimental.

2.1 Eficiência Energética em Sistemas Elétricos

A eficiência energética pode ser definida como a capacidade de utilizar a energia disponível de forma racional, de modo a fornecer o mesmo nível de serviço ou desempenho com menor consumo energético, sem comprometer a qualidade, a confiabilidade e a segurança do sistema. Esse conceito está diretamente associado à redução de perdas, à otimização dos processos e à adoção de tecnologias e práticas que promovam o uso sustentável dos recursos energéticos. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, a eficiência energética consiste no uso racional da energia, buscando minimizar desperdícios e maximizar os benefícios sociais, econômicos e ambientais decorrentes de sua utilização ([Ministério de Minas e Energia \(Brasil\); Empresa de Pesquisa Energética \(EPE\), 2007](#)).

Segundo MARQUES et al. (2007), eficiência energética “consiste em utilizar a energia de forma racional, reduzindo desperdícios e aumentando o desempenho dos sistemas sem comprometer o conforto, a segurança ou a produtividade”. Tal definição ressalta a dimensão multidisciplinar do conceito, que abrange tecnologia, economia, sustentabilidade e gestão.

Na literatura técnica, a eficiência energética não é entendida apenas como redução de consumo, mas com o conjunto de medidas integradas, que incluem:

- modernização de equipamentos e sistemas elétricos;
- melhoria da operação e da manutenção;
- uso de tecnologias mais eficientes;
- redução de perdas técnicas e não técnicas;
- gestão inteligente dos fluxos de energia;
- promoção da cultura de uso consciente.

Além disso, Ministério de Minas e Energia (Brasil) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2007) aponta que a eficiência energética é o instrumento mais econômico para equilibrar oferta e demanda, sendo considerada uma das principais diretrizes para a sustentabilidade do setor elétrico brasileiro. O Plano Nacional de Energia 2030 destaca que o país possui elevado potencial de economia, com estimativas superiores a 20% do consumo nacional passíveis de redução por meio de medidas de gestão e tecnologia.

Do ponto de vista operacional, a eficiência energética depende do conhecimento aprofundado das características das cargas, dos perfis de consumo e da qualidade da energia fornecida. Nesse sentido, o diagnóstico energético constitui o principal instrumento técnico para identificar desperdícios, avaliar desempenho e propor ações de melhoria.

2.2 Eficiência Energética em Instituições Públicas de Ensino

Segundo Neto et al. (2019), edificações educacionais possuem relevante potencial de eficiência energética devido à intensidade de uso, à presença de cargas não lineares, ao controle relativamente previsível das atividades e à possibilidade de implementar ações educativas que ampliem os impactos dos investimentos.

Nessas instituições, o uso racional da energia não representa apenas economia financeira, mas também responsabilidade social e ambiental, pois envolve a gestão de recursos públicos e a formação de cidadãos críticos e tecnicamente capacitados. Ambientes laboratoriais, em particular, permitem que estudantes observem, na prática, os efeitos da qualidade da energia sobre equipamentos, processos e estruturas, conectando teoria e realidade operacional.

O IF Goiano – Campus Trindade apresenta todas essas características, o que reforça a necessidade de acompanhamento sistemático dos indicadores elétricos. O bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica, objeto deste estudo, concentra equipamentos sensíveis, cargas eletrônicas modernas e perfis de utilização que justificam a realização de uma análise aprofundada dos parâmetros de eficiência energética e qualidade da energia.

2.3 Qualidade da Energia Elétrica

A qualidade da energia elétrica refere-se ao conjunto de condições que determinam o adequado funcionamento de equipamentos conectados à rede elétrica. Para (ANEEL) (2022), a qualidade deve ser avaliada a partir de parâmetros de tensão, frequência, distorções harmônicas, variações de regime, desequilíbrios, flutuações e continuidade de fornecimento.

A presença de distúrbios na energia elétrica pode acarretar:

- perdas energéticas adicionais;
- aquecimento de condutores e transformadores;
- redução da vida útil de equipamentos;
- atuação indevida de dispositivos de proteção;
- falhas em sistemas eletrônicos sensíveis;
- elevação dos custos operacionais para a instituição.

A qualidade da energia, portanto, é condição essencial para o bom desempenho de um sistema elétrico e para sua eficiência energética, uma vez que imperfeições na forma de onda aumentam o consumo e provocam perdas internas significativas.

2.4 Normas e Regulamentações: PRODIST Módulo 8

A regulação da qualidade da energia em sistemas de distribuição no Brasil é estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio dos *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional* (PRODIST). O Módulo 8, utilizado como referência principal neste estudo, define os critérios para avaliação de tensão, frequência, harmônicos e demais parâmetros relevantes (ANEEL, 2022).

Os principais limites do PRODIST incluem:

- tensão em regime permanente entre 0,93 e 1,05 pu;
- frequência nominal de 60 Hz, com variação máxima de $\pm 1\%$;
- Distorção Harmônica Total de Tensão (THDV) inferior a 10% para baixa tensão;
- fator de potência mínimo de 0,92 (indutivo ou capacitivo).

A conformidade com esses limites é estabelecida com base em medições reais, preferencialmente realizadas com instrumentos classe A, em conformidade com a norma IEC 61000-4-30. Esses critérios norteiam a avaliação desenvolvida neste trabalho e constituem o principal referencial normativo para interpretação dos resultados obtidos no bloco de laboratórios.

2.5 Cargas Não Lineares e Geração de Harmônicos

A presença crescente de cargas eletrônicas em edificações — como inversores, fontes chaveadas, computadores, impressoras 3D, carregadores de baterias e equipamentos laboratoriais — torna inevitável a análise dos harmônicos. Essas cargas consomem corrente de forma não senoidal, distorcendo a forma de onda de corrente e, por acoplamento com a impedância do sistema, provocando deformações na tensão no ponto de acoplamento comum.

Segundo Neto et al. (2019), cargas não lineares representam uma das principais fontes de deterioração da qualidade da energia em ambientes com alta concentração de eletrônica embarcada. Os harmônicos podem resultar em: i) aumento de perdas por efeito Joule; ii) elevação da corrente no condutor neutro; iii) ressonâncias elétricas indesejadas; iv) erros em instrumentos de medição; v) deformação da forma de

onda de tensão; vi) acionamento indevido de dispositivos de proteção; vii) desgaste prematuro de equipamentos.

A Distorção Harmônica Total (THD) é o indicador mais utilizado para quantificar esse fenômeno, podendo ser definida para tensão (THD_V) ou corrente (THD_I). O PRODIST estabelece limites e metodologias para sua medição e interpretação ([\(ANEEL\), 2022](#)), sendo a THD_V um dos parâmetros mais relevantes no diagnóstico do bloco de laboratórios do IF Goiano.

2.6 Fator de Potência e Desempenho Energético

O fator de potência (FP) é um dos principais indicadores de desempenho energético de uma instalação elétrica, pois expressa a proporção entre a potência ativa, efetivamente convertida em trabalho útil, e a potência aparente, que representa o total de energia que o sistema deve fornecer. Quando o FP apresenta valores reduzidos, significa que uma parcela significativa da energia fornecida não está sendo convertida em trabalho, mas circulando no sistema como potência reativa, o que aumenta a corrente elétrica, eleva as perdas por efeito Joule e reduz a eficiência da instalação.

De acordo com [MARQUES et al. \(2007\)](#), esse fenômeno está associado principalmente ao uso intensivo de cargas indutivas, como motores e transformadores, além de desequilíbrios em cargas capacitivas e da presença de distorções harmônicas, que podem alterar significativamente o comportamento das formas de onda. Em sistemas com elevada distorção, torna-se necessário distinguir o fator de potência associado ao deslocamento de fase da componente fundamental daquele ligado à distorção harmônica, ambos impactando o desempenho energético global.

A literatura também descreve que operações inadequadas de bancos de capacitores e a ausência de estratégias de compensação reativa podem agravar o problema, comprometendo o desempenho elétrico e até mesmo resultando em penalidades tarifárias ([\(VIANA et al., 2012\)](#)). Por essa razão, a correção do fator de potência é considerada uma das medidas mais efetivas para otimização do consumo energético, reduzindo perdas, liberando capacidade do sistema e melhorando a estabilidade operacional. Instituições públicas de ensino, como universidades e institutos federais, costumam incluir a modernização dos sistemas de correção reativa como ação prioritária em programas de eficiência energética, devido ao impacto positivo que essas medidas geram tanto no consumo quanto nos custos operacionais.

2.7 Parâmetros Elétricos e Indicadores de Diagnóstico

No diagnóstico energético realizado no bloco de laboratórios do IF Goiano, foram avaliados parâmetros elétricos essenciais para compreender o comportamento da instalação e identificar eventuais inconformidades com a legislação brasileira. Entre os indicadores analisados destacam-se a tensão eficaz por fase, a frequência média do sistema, o fator de potência total e a distorção harmônica total de tensão (THD_V). Esses parâmetros são amplamente recomendados pelo *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022) e representam a base para auditorias e estudos de desempenho em edificações públicas, especialmente aquelas com grande diversidade de cargas, como as que compõem o ambiente laboratorial estudado.

A avaliação integrada desses indicadores permite identificar uma série de aspectos relevantes para o gerenciamento da instalação, como irregularidades no fornecimento, variações operacionais decorrentes de cargas não lineares, perdas técnicas internas associadas ao aquecimento de condutores, problemas de dimensionamento ou manutenção e oportunidades para melhorias de eficiência energética. Como destaca Neto et al. (2019), análises desse tipo são fundamentais não apenas para garantir a estabilidade e segurança do sistema elétrico, mas também para orientar a formulação de estratégias de racionalização do consumo e de modernização da infraestrutura, especialmente em ambientes institucionais de grande circulação e uso contínuo.

2.8 Importância do Monitoramento Contínuo

A adoção de sistemas de monitoramento contínuo da qualidade da energia é recomendado recorrente em estudos e diretrizes governamentais. De acordo com Energia e Energética (2020), o avanço do setor elétrico brasileiro passa pela incorporação de tecnologias capazes de registrar eventos rápidos, flutuações de carga e variações sazonais que, muitas vezes, não são perceptíveis em campanhas de medição de curta duração. Nesse contexto, o uso de analisadores permanentes, redes de sensores e sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT) tem se mostrado fundamental para ampliar o nível de controle e a capacidade de resposta de edificações públicas e privadas.

O monitoramento contínuo possibilita identificar tendências de degradação da qualidade da energia antes que tais condições evoluam para falhas graves, além de permitir a detecção precoce de desperdícios que, sem o acompanhamento adequado, permaneceriam invisíveis no sistema. Também viabiliza análises históricas de desempenho, essenciais para decisões de engenharia, definição de políticas de manutenção

e planejamento de investimentos.

Em instituições públicas de ensino, como o IF Goiano, esse monitoramento assume ainda um caráter educativo e institucional, pois promove o uso racional de energia e incentiva a formação de estudantes e servidores com visão crítica e integrada da gestão energética. Assim, o monitoramento contínuo reforça o compromisso institucional com eficiência, sustentabilidade e segurança operacional.

2.9 Conclusão da Fundamentação Teórica

A partir dos referenciais teóricos apresentados, observa-se que o diagnóstico energético realizado no bloco de laboratórios do IF Goiano apoia-se em bases sólidas da literatura e nas diretrizes normativas aplicáveis à qualidade da energia elétrica. A compreensão das grandezas fundamentais do sistema, tais como tensão eficaz, distorção harmônica total, fator de potência e frequência, permite interpretar o comportamento operacional das instalações conforme os princípios estabelecidos pelo *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022) e pelas recomendações de eficiência energética discutidas por autores como VIANA et al. (2012) e MARQUES et al. (2007).

A fundamentação teórica evidencia que a análise dessas grandezas deve considerar, simultaneamente, a precisão metrológica, os limites normativos e o contexto real de utilização das cargas instaladas, uma vez que a presença de equipamentos eletrônicos, fontes chaveadas e dispositivos laboratoriais pode influenciar diretamente os níveis de harmônicos e o desempenho energético do sistema, conforme discutido por Neto et al. (2019). Assim, o enquadramento conceitual delineado nesta revisão sustenta a necessidade de uma avaliação criteriosa tanto da qualidade do fornecimento quanto da eficiência de uso da energia elétrica.

Desse modo, os conceitos e diretrizes apresentados oferecem a base necessária para a metodologia adotada no estudo de caso, orientando as etapas de coleta, tratamento e análise dos dados e possibilitando uma interpretação crítica dos resultados obtidos durante a campanha de medição. A fundamentação teórica, portanto, estabelece a conexão entre o referencial científico e a aplicação prática desenvolvida neste trabalho, garantindo coerência técnica e rigor analítico às discussões apresentadas nos capítulos seguintes.

3 Metodologia

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para a realização do diagnóstico energético no bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica do IF Goiano – Campus Trindade. A metodologia foi estruturada para garantir rigor metrológico, reproduzibilidade e aderência às normas aplicáveis, especialmente ao *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022). O processo envolveu planejamento da campanha de medição, instrumentação, coleta e organização dos dados, tratamento computacional, análise estatística, avaliação normativa e síntese interpretativa com auxílio de Inteligência Artificial (IA).

3.1 Caracterização do Ambiente de Estudo

O estudo foi conduzido no bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica, edificação que concentra cargas eletrônicas sensíveis, como computadores, fontes chaveadas, equipamentos de medição, impressoras 3D, inversores e climatizadores. O circuito monitorado é alimentado em sistema trifásico de baixa tensão, com neutro e aterramento estruturado, representando o ponto de maior diversidade de cargas da edificação.

A escolha desse ambiente permite captar fenômenos típicos de instalações acadêmicas modernas, incluindo variações de tensão, comportamento harmônico, micro variações de carga e oscilações no fator de potência.

3.2 Instrumentação e Procedimentos de Medição

As medições foram realizadas por meio de um analisador de energia classe A, conforme IEC 61000-4-30, garantindo precisão e rastreabilidade metrológica. A instalação foi feita no ponto de acoplamento comum (PAC) do bloco, permitindo a avaliação integrada do comportamento elétrico da edificação.

Os parâmetros registrados incluíram:

- tensão eficaz por fase (L1, L2 e L3);
- frequência do sistema elétrico;
- fator de potência total;
- distorção harmônica total de tensão (THDv).

De acordo com o ((ANEEL), 2022), a avaliação da qualidade da energia elétrica em regime permanente deve ser realizada por meio de um período mínimo de monitoramento contínuo de sete dias consecutivos, com os dados sendo agregados em janelas temporais de dez minutos. Essa metodologia resulta em um total de 1008 registros agregados, obtidos a partir da razão entre o número de horas monitoradas e o intervalo de agregação adotado, considerando 24 horas por dia e seis intervalos de dez minutos por hora. Dentro de cada janela de agregação, o equipamento de medição pode realizar diversas leituras instantâneas das grandezas elétricas, como tensão, frequência, fator de potência e distorção harmônica, sendo o valor representativo do intervalo calculado por meio de médias ou valores eficazes, conforme definido pela norma. Esse procedimento garante que os dados analisados sejam estatisticamente representativos do comportamento da instalação elétrica, permitindo a identificação de desvios persistentes e a adequada comparação com os limites normativos estabelecidos pela ANEEL ((ANEEL), 2022).

3.2.1 Materiais e Equipamentos

Para o desenvolvimento do estudo de caso, utilizou-se um analisador de energia trifásico, modelo Minipa EZtron MI ENERGY, conectado ao ponto de acoplamento comum do bloco de laboratórios. O analisador MI ENERGY conta com um sistema de comunicação sem fio que utiliza o protocolo MQTT(Message Queuing Telemetry Transport).

As medições realizadas pelo equipamento foram enviadas periodicamente a um tópico MQTT, com frequência de uma leitura a cada 30 segundos. Para receber essas informações, foi configurado um broker Mosquitto em um servidor local, o qual permaneceu inscrito no tópico e coletou todas as mensagens publicadas. Os dados recebidos foram armazenados em arquivos no formato tabular, possibilitando sua utilização em análises posteriores.

O equipamento foi configurado para registrar dados de tensão, corrente e distorções harmônicas em intervalos regulares, gerando O banco de dados com 1.008 amostras, exportadas em formato .CSV(Comma-Separated Values). A escolha deste tipo de instrumento se justifica pela precisão e pela capacidade de registrar parâmetros essenciais à caracterização da qualidade da energia (MARQUES et al., 2007).

Os parâmetros monitorados incluíram tensões eficazes (VRMS) e distorções harmônicas totais de tensão (THDV) e de corrente (THDI), bem como as amplitudes individuais das harmônicas até a 50^a ordem. A análise dos dados foi realizada por meio

de *scripts* desenvolvidos em *Python*, utilizando bibliotecas como *pandas*, *matplotlib* e *numpy*, possibilitando o tratamento estatístico e gráfico conforme os requisitos do *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022).



Figura 3.1 Analisador MI Energy.

3.3 Coleta, Organização e Tratamento dos Dados

Após o período de medição, os dados foram exportados em formato .CSV e organizados em planilhas eletrônicas contendo carimbo temporal, variáveis monitoradas e metadados da campanha. As seguintes etapas de tratamento foram executadas:

- a) verificação de integridade do arquivo;
- b) remoção de registros nulos e inconsistentes;
- c) padronização de unidades e nomenclaturas;
- d) conversão do tempo para formato *datetime*.

O processamento foi realizado em ambiente *Python*, utilizando as bibliotecas *pandas*, *numpy* e *matplotlib*, garantindo reproduzibilidade computacional.

3.4 Método de Abordagem

A pesquisa adota um enfoque quantitativo-descritivo, pois visa mensurar a conformidade dos parâmetros de qualidade da energia frente aos limites estabelecidos pela regulamentação brasileira. O aspecto quantitativo é necessário para determinar desvios e tendências dos dados coletados, enquanto o caráter descritivo permite a contextualização dos resultados em relação às condições operacionais do laboratório.

O enquadramento teórico baseia-se nas diretrizes do *Plano Nacional de Energia 2030* (Ministério de Minas e Energia (Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007) e do *Plano Nacional de Energia 2050* (ENERGIA; ENERGÉTICA, 2020), os quais reforçam a importância da modernização das redes elétricas e do uso racional da energia em edificações públicas, destacando a eficiência energética como eixo estruturante da sustentabilidade do setor elétrico brasileiro.

3.5 Procedimentos de Análise

A análise foi estruturada em três abordagens complementares:

3.5.1 Análise Descritiva

Determinação de média, mínimo, máximo, desvio-padrão e percentual para cada variável elétrica, permitindo caracterização geral do comportamento da instalação.

3.5.2 Análise Estatística

Construção de histogramas, séries temporais e distribuição de frequência com o objetivo de identificar padrões, dispersões, tendências e eventuais outliers (picos de distorções da THDV acima da média) associados a incidentes ou variações operacionais.

3.5.3 Análise Normativa

Comparação dos resultados obtidos com os limites estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST, incluindo:

- tensão em regime permanente entre 0,93 e 1,05 pu;
- frequência dentro de $60 \text{ Hz} \pm 1\%$;
- THDv inferior a 10% em baixa tensão;

- fator de potência mínimo de 0,92 (indutivo ou capacitivo).

Essa comparação permitiu identificar conformidades, irregularidades e riscos operacionais relacionados ao desempenho energético da edificação.

3.6 Critérios de Interpretação e Síntese

Os resultados foram apresentados em gráficos, tabelas, estatísticas diárias e distribuições de frequência, possibilitando avaliação integrada do fornecimento elétrico. Os achados foram interpretados considerando:

- características do perfil de carga do bloco;
- presença de cargas não lineares;
- horários de uso e ocupação da edificação;
- impacto potencial sobre segurança, custo e eficiência.

3.7 Limitações da Pesquisa

Esta investigação restringe-se ao período analisado e ao ponto de medição instalado no PAC, não abrangendo outros blocos do campus, análise tarifária, verificação de demanda contratada, auditoria de manutenção ou levantamento detalhado do parque eletroeletrônico. Estudos adicionais podem complementar o diagnóstico energético institucional.

A metodologia proposta neste trabalho combina abordagens bibliográficas, analíticas e experimentais, a fim de compreender e avaliar o desempenho energético do bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica do IF Goiano Campus Trindade. Essa estrutura metodológica visa integrar a teoria e a prática, por meio da aplicação dos princípios de eficiência energética em um ambiente real, permitindo diagnosticar perdas, propor soluções e avaliar os resultados de forma quantitativa e qualitativa.

3.8 Sistema Automatizado de Geração de Relatório

Com o objetivo de padronizar resultados e agilizar a elaboração de diagnósticos, foi utilizada uma rotina automática baseada em Inteligência Artificial executada em servidor local. O sistema recebe como entrada o arquivo CSV da campanha, processa os dados e gera:

- gráficos (histogramas, séries temporais e espectro harmônico);
- tabelas descritivas de tensão, frequência, THDV e FP;
- análise normativa automática;
- síntese textual interpretativa.

O modelo de linguagem analisa estatísticas, identifica anomalias e redige uma interpretação coerente para integrar ao relatório final. Essa ferramenta reforça a reproduzibilidade e aumenta a eficiência do processo de diagnóstico.

3.9 Critérios de Interpretação

Os resultados foram interpretados considerando:

- padrões de ocupação do bloco;
- predominância de cargas não lineares;
- horários de maior variação de carga;
- impacto sobre eficiência energética e confiabilidade.

3.10 Estudo de Caso

O estudo de caso será conduzido no bloco de laboratórios de Engenharia Elétrica, local selecionado por concentrar diversas cargas elétricas não lineares, como fontes chaveadas, inversores de frequência e computadores, que são potenciais geradoras de harmônicos elétricos. Essa escolha permite uma avaliação detalhada das condições de qualidade da energia e de seu impacto sobre a eficiência energética local.

O levantamento de dados será realizado por meio da instalação de um analisador de energia elétrica trifásico, configurado para registrar os parâmetros elétricos do sistema por um período contínuo previamente definido. O equipamento exportará os dados crus em formato .CSV, contendo informações de tensão, corrente, potência e, principalmente, da Distorção Harmônica Total Da tensão (THDV).

3.11 Coleta e Estruturação dos Dados

Após o período de monitoramento, os dados em formato .CSV serão tratados utilizando planilhas eletrônicas e *scripts* em linguagem *Python*, quando necessário, para

a filtragem e análise de tendências. O formato padrão de coleta é ilustrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Exemplo de dados coletados pelo analisador de energia elétrica em formato .CSV.

Data/Hora	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Ativa (kW)	THD _V (%)
2025-03-01 08:00	220	5.4	1.10	3.5
2025-03-01 08:10	221	5.6	1.15	4.2
2025-03-01 08:20	219	5.3	1.08	3.7

Esses registros possibilitarão a elaboração de gráficos de tendência da variação da distorção harmônica total e sua relação com o consumo de energia ativa e o fator de potência do sistema.

3.12 Parâmetro Analisado: Distorção Harmônica Total (THD)

A THD (Total Harmonic Distortion) é o parâmetro escolhido como foco principal deste estudo, pois reflete diretamente a qualidade da energia elétrica e, consequentemente, o nível de eficiência energética do sistema. De acordo com o ([\(ANEEL\), 2022](#)), a THD representa a razão entre o valor eficaz das componentes harmônicas e o valor da componente fundamental da forma de onda, sendo expressa em percentual.

A norma estabelece limites para a THD de tensão (THD_V), que não deve exceder 10% em sistemas de baixa tensão, e para as componentes harmônicas individuais, que não devem ultrapassar 5%. Valores acima desses limites indicam degradação da qualidade da energia e possíveis impactos no desempenho energético, como:

- Aquecimento excessivo de condutores e transformadores;
- Sobrecarga de neutro em sistemas trifásicos;
- Redução da vida útil de equipamentos eletrônicos e motores;
- Aumento das perdas elétricas internas, diminuindo a eficiência global do sistema.

Segundo ([\(MARQUES et al., 2007\)](#) e ([\(VIANA et al., 2012\)](#)), a presença de harmônicos nas instalações elétricas pode elevar significativamente as perdas por efeito Joule, resultando em consumo adicional de energia e deterioração da eficiência do

sistema. Assim, a análise da THD é justificada como indicador representativo da eficiência energética, pois reflete tanto o comportamento elétrico quanto as condições de operação da instalação.

3.12.1 Equações da Distorção Harmônica Total (THD)

De acordo com o *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022), a Distorção Harmônica Total (THD) é uma medida que quantifica o grau de deformação da forma de onda de tensão ou corrente em relação à sua componente fundamental. Essa grandeza indica a intensidade da presença de harmônicos no sistema elétrico e é fundamental para a avaliação da qualidade da energia.

A THD é calculada pela relação entre a raiz quadrática média (RMS) das componentes harmônicas e o valor eficaz da componente fundamental da forma de onda, conforme as Equações 3.1 e 3.2.

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (3.1)$$

onde:

- V_1 – valor eficaz da componente fundamental da tensão (em volts);
- V_2, V_3, \dots, V_n – valores eficazes das componentes harmônicas de tensão (em volts);
- THD_V – distorção harmônica total de tensão (em %).

Da mesma forma, a distorção harmônica total de corrente é obtida pela Equação 3.2.

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100 \quad (3.2)$$

onde:

- I_1 – valor eficaz da componente fundamental da corrente (em ampères);
- I_2, I_3, \dots, I_n – valores eficazes das componentes harmônicas de corrente (em ampères);

- THD_I – distorção harmônica total de corrente (em %).

As Equações 3.1 e 3.2 permitem determinar a magnitude da distorção causada por cargas não lineares, como inversores, fontes chaveadas e equipamentos eletrônicos, que são comuns em laboratórios de Engenharia Elétrica. Segundo (VIANA et al., 2012) e (MARQUES et al., 2007), valores elevados de THD provocam aumento de perdas elétricas, redução do fator de potência e aquecimento excessivo de condutores, comprometendo diretamente a eficiência energética das instalações.

3.13 Justificativa Técnica da Análise

A escolha da THD como único parâmetro analisado neste estudo é técnica e estratégica. O PRODIST, ((ANEEL), 2022) define que a qualidade da energia elétrica está diretamente associada à presença de harmônicos e suas consequências no fornecimento e utilização da energia. Como o objetivo central do trabalho é avaliar o impacto da qualidade da energia sobre a eficiência energética, a THD se torna o parâmetro mais relevante, pois integra em um único índice a influência de diferentes fenômenos elétricos sobre o desempenho do sistema.

Além disso, outros parâmetros (como tensão e corrente eficazes) serão utilizados apenas como apoio à interpretação dos resultados da THD, já que o foco principal é identificar se o nível de distorção harmônica interfere na eficiência energética global do bloco de laboratórios.

A metodologia adotada, portanto, permitirá correlacionar a THD com as variações de consumo e desempenho energético, proporcionando uma visão técnica clara sobre as oportunidades de melhoria da eficiência e qualidade de energia na instituição.

3.14 Ferramentas e Procedimentos Analíticos

Ferramentas e Procedimentos Analíticos

Os dados extraídos do analisador serão analisados utilizando:

- Planilhas eletrônicas para cálculos e elaboração de gráficos de tendência;
- *Scripts Python* (bibliotecas *pandas*, *matplotlib* e *numpy*) para leitura dos arquivos .CSV e identificação de padrões;
- Comparação dos valores obtidos com os limites estabelecidos no *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022).

A partir dessas análises, serão elaboradas propostas de correção (como uso de filtros harmônicos e balanceamento de cargas), com base nas recomendações de (MARQUES et al., 2007) e (VIANA et al., 2012), visando reduzir a THD e otimizar a eficiência energética do sistema.

3.15 Método Estudo de Caso

Após a realização da análise contextual, será possível desenvolver o estudo de caso de forma alinhada com os objetivos propostos. Será realizado um levantamento de dados utilizando um analisador de energia elétrica, que permanecerá instalado no campus por um período previamente definido, a fim de registrar o perfil de consumo energético da instituição.

Com os dados coletados, serão realizadas análises por meio de planilhas eletrônicas e cálculos matemáticos, visando identificar possíveis discrepâncias nos registros de consumo. A atenção especial será dada aos dias em que o campus estiver fechado, com os sistemas de climatização e os carregadores de veículos elétricos desligados, permitindo avaliar o consumo residual e identificar perdas ocultas.

3.16 Viabilidade de Execução

O projeto a ser desenvolvido é considerado exequível, uma vez que o campus dispõe de infraestrutura e informações necessárias, facilitando o desenvolvimento das atividades previstas. Assim, será possível realizar a pesquisa com base nas informações disponíveis, nos recursos teóricos existentes e com o apoio de profissionais da área.

Considera-se também que o analisador de energia necessário estará disponível em tempo hábil para a execução da pesquisa. Apesar do custo elevado do equipamento, a instituição garantirá seu fornecimento de forma gratuita ao projeto.

Com o auxílio dos levantamentos, dos estudos bibliográficos analisados e da base de dados disponível, entende-se que o projeto apresentará baixo custo operacional e fácil execução. Além disso, as ferramentas operacionais previstas para o desenvolvimento do trabalho são de uso gratuito.

4 Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na campanha de medição realizada entre 06 e 13 de novembro de 2025 no bloco de laboratórios do Instituto Federal Goiano Campus Trindade. Os dados coletados foram analisados estatística e normativamente, conforme o Módulo 8 do PRODIST, com o objetivo de avaliar o desempenho energético e a qualidade da energia elétrica da instalação.

4.1 Comportamento da Tensão em Regime Permanente

A Tabela 4.1 apresenta a média, o valor mínimo e máximo das tensões eficaz por fase ao longo do período monitorado.

Tabela 4.1 Estatísticas gerais de tensão RMS por fase.

Grandeza	Média [V]	Mínimo [V]	Máximo [V]
VRMS L1 AVG	216,0	207,1	223,1
VRMS L2 AVG	217,0	208,6	222,9
VRMS L3 AVG	214,3	204,4	221,8

Os valores permaneceram dentro da faixa regulamentar para sistemas de 220 V (198–242 V), indicando conformidade com o PRODIST. A Figura 4.1 mostra o comportamento temporal da tensão por fase.

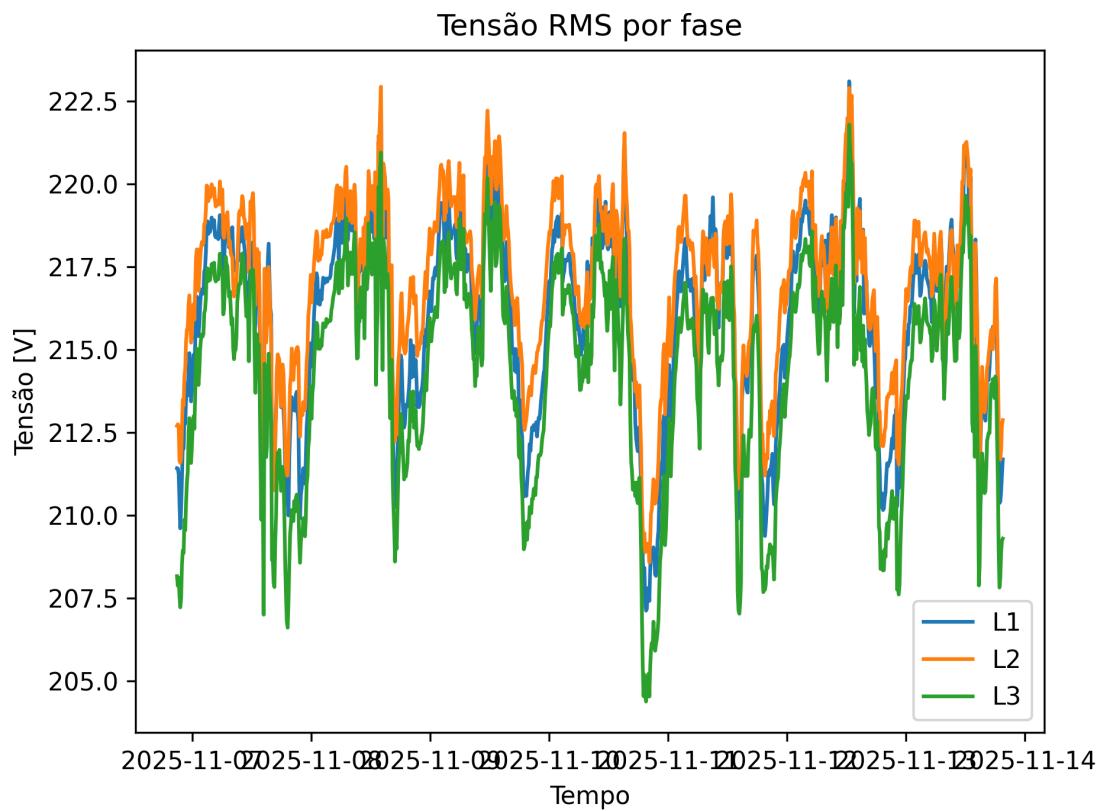


Figura 4.1 Série temporal da tensão RMS por fase durante a campanha de medição.

O desequilíbrio médio entre fases foi de 1,22%, valor considerado adequado para instalações trifásicas, não indicando sobrecarga ou distribuição assimétrica.

4.2 Distorção Harmônica de Tensão (THDv)

A Tabela 4.2 resume as estatísticas de THDv máximas por intervalo de medição.

Tabela 4.2 Estatísticas gerais da distorção harmônica total de tensão.

Grandeza	Média [%]	P95 [%]	Máximo [%]
VTHD L1 MAX	2,28	2,53	54,08
VTHD L2 MAX	2,52	2,86	31,00
VTHD L3 MAX	2,49	2,79	48,96

A Figura 4.9 apresenta a evolução temporal da THDv, destacando a conformidade geral com o limite de 10% do PRODIST e um evento extremo em 07/11/2025.

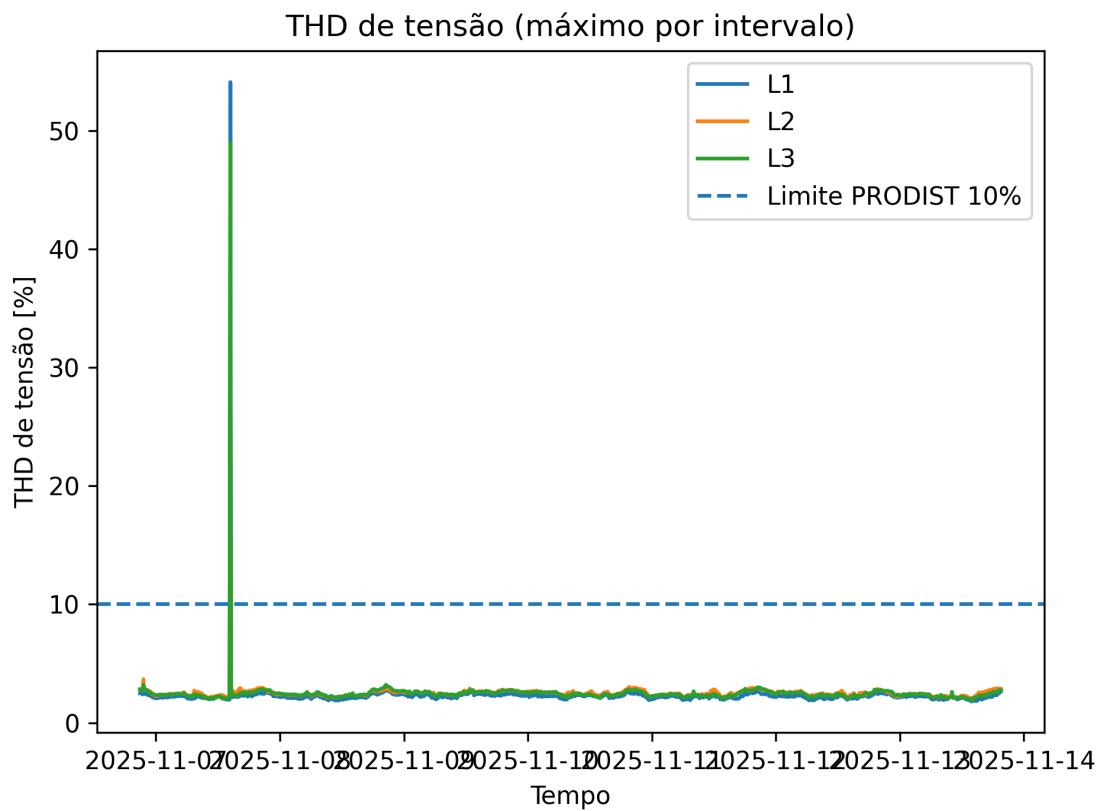


Figura 4.2 THD de tensão máxima registrada por intervalo. O limite regulamentar de 10% é representado pela linha tracejada.

Esse evento pode estar associado ao chaveamento de cargas não lineares, UPS(Uninterruptible Power Supply), inversores ou condições transitórias específicas, recomendando investigação complementar.

4.3 Fator de Potência Total

Os valores obtidos demonstram comportamento predominantemente capacitivo, com baixa eficiência energética. A Tabela 4.3 resume os principais indicadores.

Tabela 4.3 Estatísticas gerais do fator de potência total.

Grandeza	Média	Mínimo	Máximo	$ \text{Média} $
TPF ALL AVG	-0,29	-0,88	0,09	0,29

A Figura 4.3 mostra que o fator de potência permaneceu, durante praticamente toda

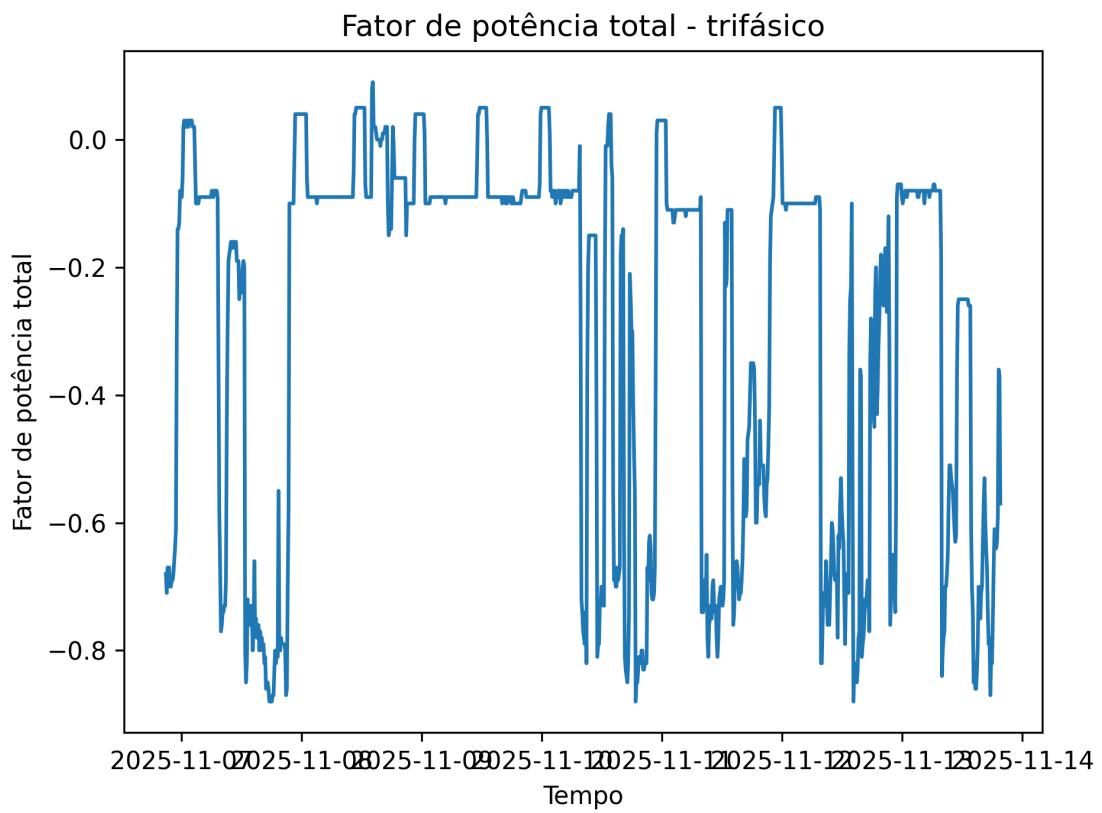


Figura 4.3 Comportamento temporal do fator de potência trifásico.

a campanha, abaixo do valor mínimo exigido pela ANEEL (0,92).

Esse resultado indica a necessidade de correção do fator de potência, preferencialmente com filtros ativos devido à presença de harmônicos.

4.4 Comportamento da Frequência Elétrica

A frequência manteve-se estável durante todo o período analisado. A Tabela 4.4 apresenta suas estatísticas.

Tabela 4.4 Estatísticas gerais da frequência elétrica.

Grandeza	Média [Hz]	Mínimo [Hz]	Máximo [Hz]
FREQ AVG	60,00	59,92	60,08

Esses valores confirmam a conformidade com o PRODIST e evidenciam estabilidade

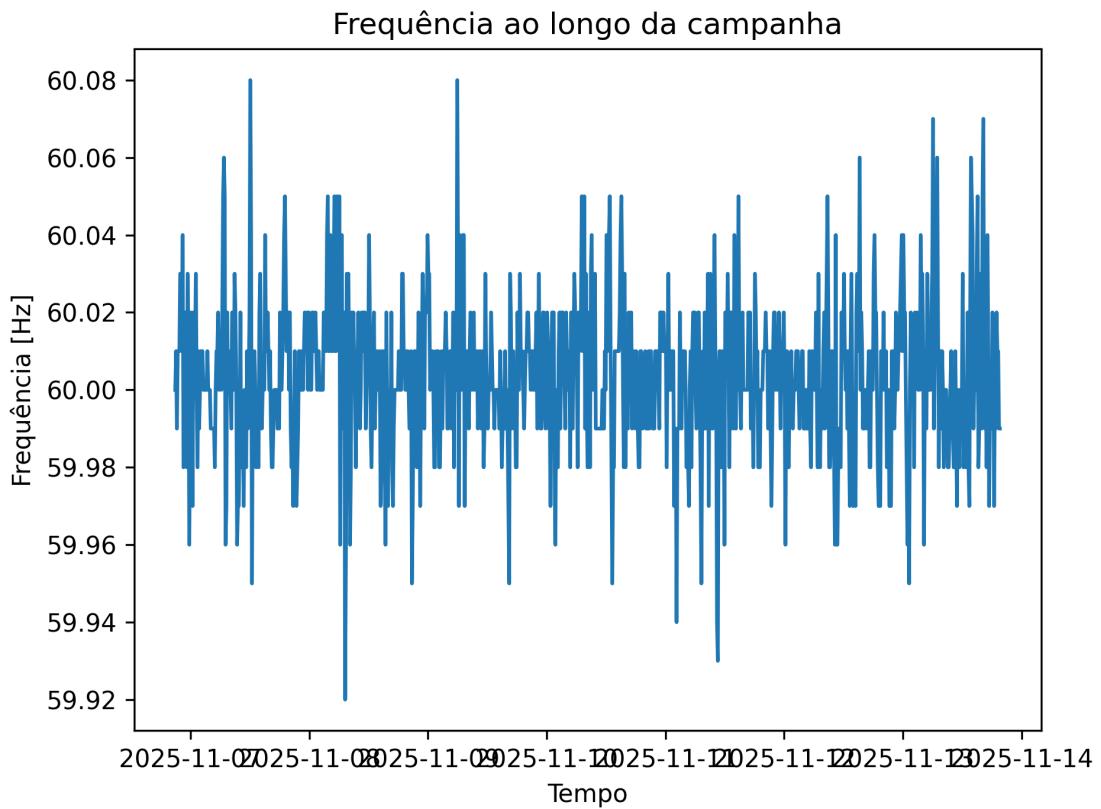


Figura 4.4 Série temporal da frequência elétrica do sistema.

operacional da concessionária.

4.5 Análise Estatística e Distribuição das Variáveis

A análise estatística complementar permitiu identificar padrões, comportamentos recorrentes e valores atípicos. Os histogramas das principais variáveis são apresentados nas Figuras 4.5 a 4.8.

Os resultados mostram que:

- a tensão apresenta distribuição aproximadamente normal, com baixa dispersão;
- a THDv é assimétrica, com *outlier* significativo;
- o fator de potência apresenta distribuição bimodal, indicando dois regimes operacionais;
- a frequência possui distribuição altamente concentrada em torno de 60 Hz.

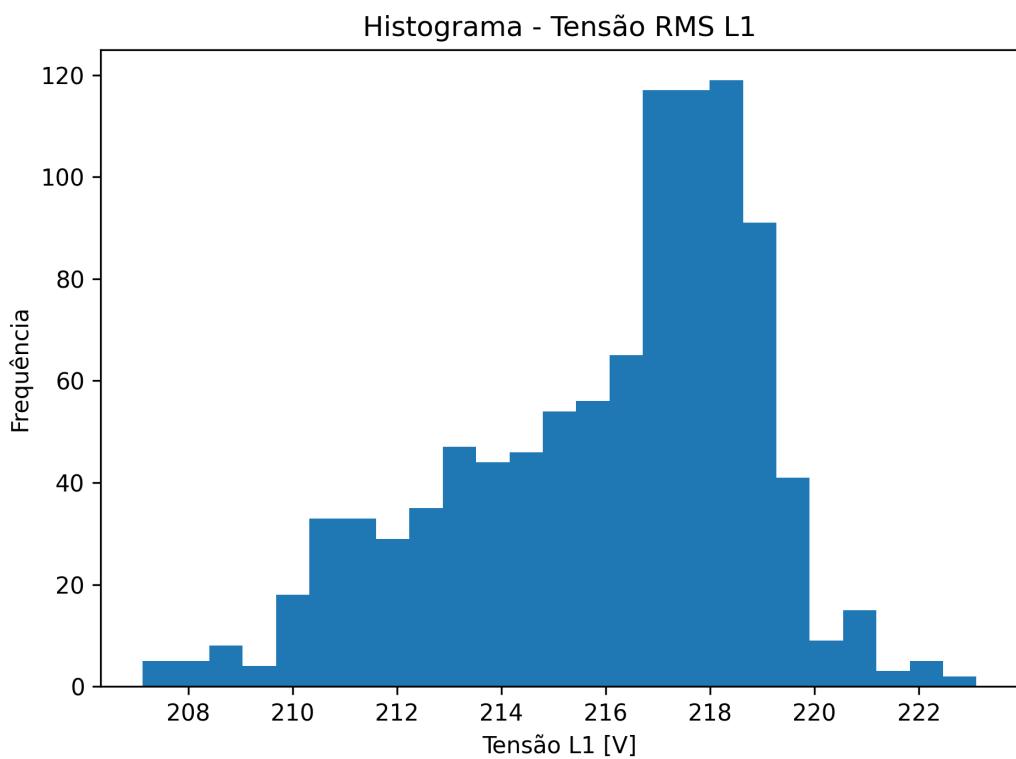


Figura 4.5 Histograma da tensão eficaz da fase L1.

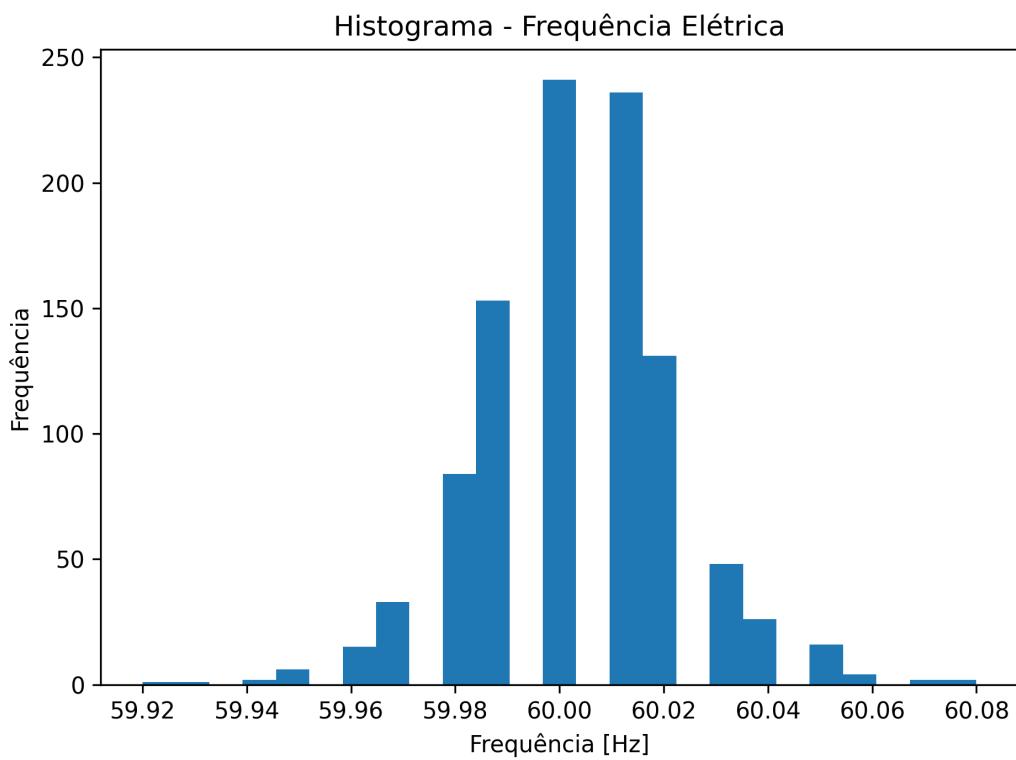


Figura 4.8 Histograma da frequência elétrica.

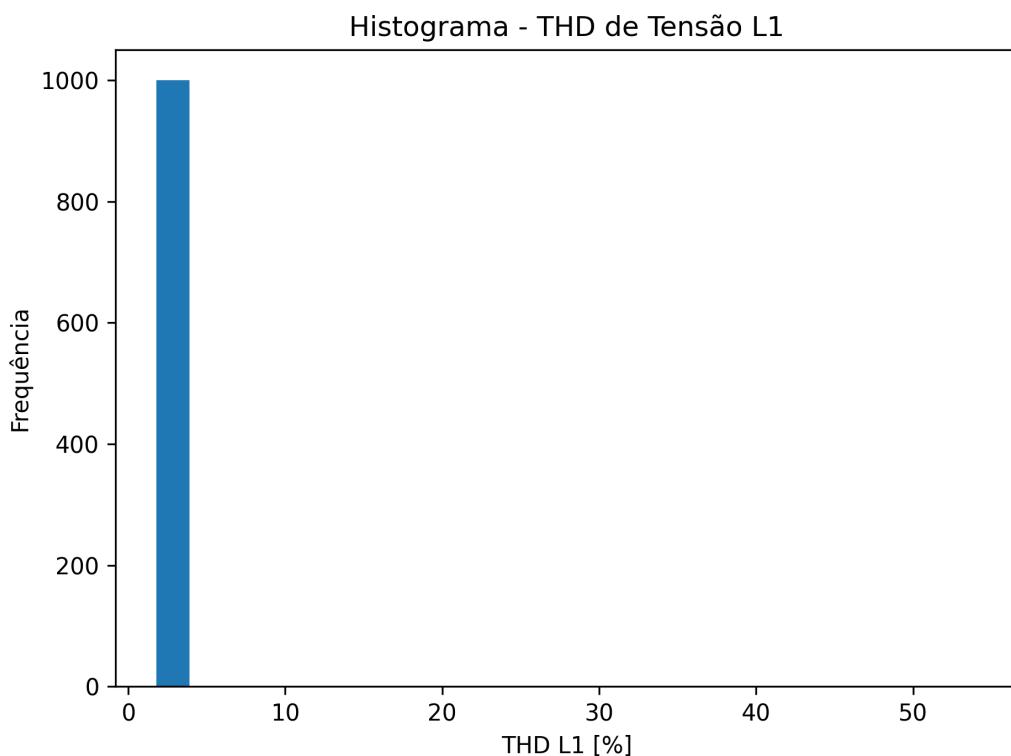


Figura 4.6 Histograma da distorção harmônica de tensão da fase L1.

4.6 Síntese Interpretativa

A avaliação integrada dos resultados permite concluir que:

- o fornecimento elétrico apresenta boa estabilidade e atendimento às normas quanto a tensão e frequência;
- o fator de potência encontra-se em grave não conformidade, exigindo intervenção técnica;
- a presença de cargas não lineares influencia o comportamento harmônico do sistema;
- há potencial de melhoria de eficiência energética e redução de perdas.

Dessa forma, os resultados orientam ações de correção, monitoramento contínuo e planejamento energético institucional.

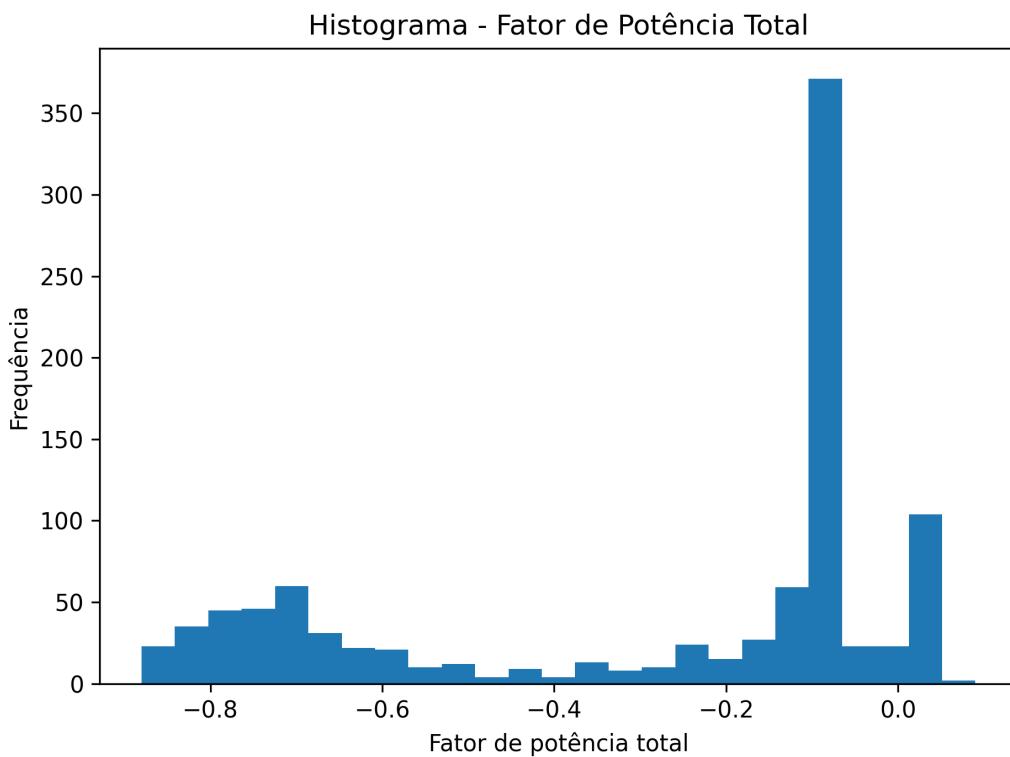


Figura 4.7 Histograma do fator de potência total trifásico.

4.6.1 Procedimentos Experimentais e Análise dos Dados

O método aplicado envolveu as seguintes etapas principais:

- Coleta de dados:** Instalação do analisador de energia no ponto de acoplamento comum (PAC) do bloco de laboratórios, com registro contínuo das grandezas elétricas por um período determinado;
- Processamento:** Extração dos dados brutos em formato *.csv* e tratamento em ambiente computacional (*Python*);
- Cálculo dos indicadores:** Determinação da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V) e identificação das principais ordens harmônicas presentes;
- Confronto normativo:** Comparação dos valores obtidos com os limites estabelecidos pela Tabela 2 do item 4.3.1 do *PRODIST – Módulo 8*, que define 10% como valor máximo admissível de THD_V para sistemas de baixa tensão ($V_n \leq 1 \text{ kV}$) ([\(ANEEL\), 2022](#));

- e) **Interpretação dos resultados:** Avaliação dos impactos técnicos da THD sobre o desempenho energético da instalação e identificação de possíveis fontes de distorção.

4.6.2 Análise da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V)

A Figura 4.9 apresenta o comportamento temporal da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V) para as três fases monitoradas. Nota-se que os níveis de distorção se mantêm estáveis ao longo do tempo, com valores variando entre 1,7% e 3,0%, bem abaixo do limite de 10% estabelecido pelo *PRODIST*.

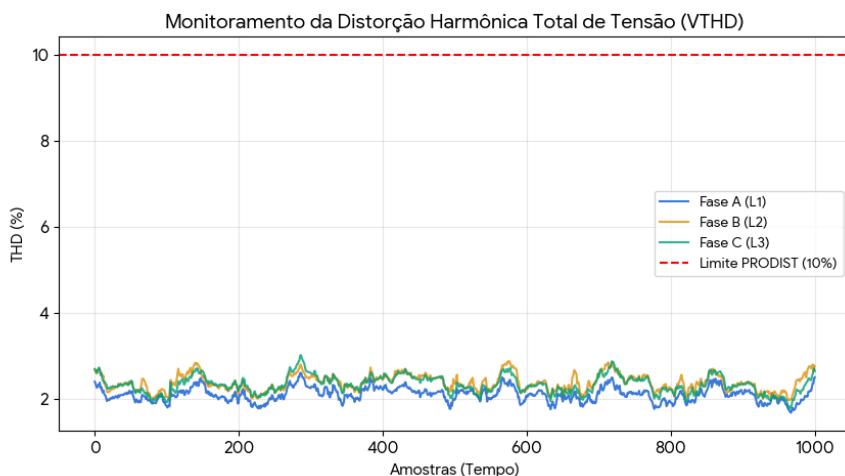


Figura 4.9 Monitoramento da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V) nas três fases. A linha vermelha indica o limite de 10% definido pelo *PRODIST*.

Os resultados indicam conformidade plena com os parâmetros normativos, evidenciando a ausência de perturbações significativas na rede interna do laboratório. A estabilidade das medições sugere que a carga predominante é composta por equipamentos eletrônicos com correção de fator de potência e filtragem adequada, conforme também observado por (MARQUES et al., 2007) e (VIANA et al., 2012) em ambientes laboratoriais semelhantes.

A Tabela 4.5 sintetiza os valores médios, máximos e o percentil 95% da THD_V para cada fase.

Tabela 4.5 Estatísticas descritivas da Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V).

Estatística	Fase A (L1)	Fase B (L2)	Fase C (L3)
Média	2,11%	2,38%	2,34%
Mínimo	1,69%	1,98%	1,79%
Máximo	2,62%	2,89%	3,03%
Percentil 95%	2,40%	2,73%	2,68%

Os resultados confirmam que o ponto de medição apresenta uma margem de segurança superior a 70% em relação ao limite regulatório. A baixa distorção indica um fornecimento de energia de boa qualidade, reduzindo perdas internas, aquecimento de condutores e interferências eletromagnéticas.

4.6.3 Análise Espectral das Harmônicas Individuais

Para aprofundar a compreensão da qualidade da energia, foi analisada a composição espectral da distorção. A Figura 4.10 apresenta o espectro harmônico médio da Fase A, evidenciando a predominância da 5^a e 7^a harmônicas, seguidas de menores contribuições de ordens superiores.

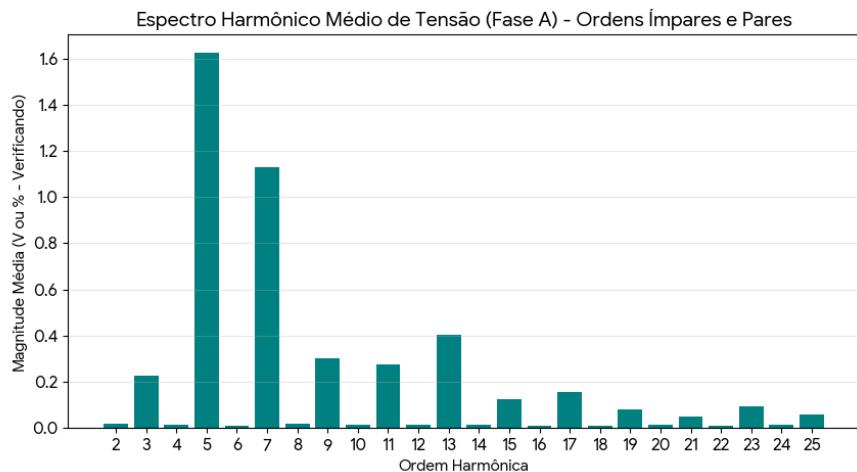


Figura 4.10 Espectro harmônico médio de tensão (Fase A) – ordens ímpares e pares.

A predominância da 5^a ordem harmônica é típica de sistemas com presença de re-

tificadores trifásicos e inversores eletrônicos, dispositivos amplamente utilizados em laboratórios de engenharia elétrica e bancadas experimentais. Conforme (NETO et al., 2019), essas componentes não lineares podem introduzir pequenas distorções, mas, quando controladas dentro dos limites normativos, não comprometem o desempenho energético nem a confiabilidade dos equipamentos.

4.7 Resultados Obtidos pelo Sistema Automatizado de Análise

Além das análises realizadas manualmente e por meio de *scripts* em **Python**, foi utilizado um sistema automatizado baseado em Inteligência Artificial (IA) capaz de processar o arquivo .CSV da campanha de medição e gerar um relatório técnico completo. Esse sistema permitiu validar os resultados experimentais e ampliar a capacidade interpretativa do diagnóstico energético.

A aplicação realiza automaticamente a leitura, filtragem e organização dos dados, gerando gráficos, tabelas, estatísticas descritivas e interpretações textuais. Os principais achados consolidados pelo sistema foram:

- **Tensão Eficaz:** valores médios entre 214 V e 217 V, com comportamento estável e dentro dos limites do PRODIST, reforçando a conformidade observada nas análises manuais.
- **THD_V:** níveis médios entre 2,28% e 2,52%, com identificação de eventos pontuais de distorção elevada (31% a 54%). Esses picos foram detectados automaticamente e associados a possíveis cargas não lineares no sistema.
- **Fator de Potência:** o sistema confirmou o comportamento predominantemente capacitivo, com valores médios absolutos próximos de 0,29, caracterizando baixa eficiência energética e justificando a recomendação de correção.
- **Frequência:** estabilidade total, variando apenas entre 59,92 Hz e 60,08 Hz, sem desvios relevantes.

A utilização da IA mostrou-se eficaz para sintetizar resultados, identificar padrões operacionais e apoiar a tomada de decisão. A geração automática do relatório permitiu confirmar as análises realizadas e forneceu uma segunda camada interpretativa, contribuindo para maior robustez e confiabilidade do diagnóstico energético.

4.7.1 Síntese Interpretativa

Com base nas medições e análises apresentadas, conclui-se que:

- O sistema do bloco de laboratórios opera com plena conformidade normativa em relação à Distorção Harmônica Total de Tensão (THDV);
- As distorções observadas são de baixa magnitude e possuem origem em cargas eletrônicas típicas de ambientes acadêmicos;
- O perfil harmônico é estável e compatível com a operação de fontes chaveadas e retificadores trifásicos;
- A manutenção da THD em níveis inferiores a 3% contribui significativamente para a eficiência energética, reduzindo perdas e prolongando a vida útil dos equipamentos conectados.

Esses resultados validam a hipótese inicial de que a aplicação de princípios de eficiência energética e o monitoramento contínuo da qualidade da energia podem otimizar o desempenho operacional das instalações do IF Goiano – Campus Trindade, em consonância com as diretrizes dos Planos Nacionais de Energia (Ministério de Minas e Energia (Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007; ENERGIA; ENERGÉTICA, 2020).

4.7.2 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o bloco de laboratórios do IF Goiano – Campus Trindade apresenta um comportamento elétrico estável, com baixos níveis de distorção harmônica e ausência de anomalias significativas no fornecimento de energia. A Distorção Harmônica Total de Tensão (THDV) permaneceu em média inferior a 3%, o que representa um desempenho amplamente satisfatório quando comparado ao limite de 10% definido pelo *PRODIST – Módulo 8* ((ANEEL), 2022).

Sob a perspectiva da eficiência energética, a baixa presença de harmônicos implica menor dissipação térmica e redução das perdas por efeito Joule em condutores e transformadores. Isso se traduz em uma operação mais eficiente, com menor sobrecarga nos sistemas de distribuição internos e maior durabilidade dos equipamentos. Conforme (VIANA et al., 2012), a qualidade da energia é um fator determinante

para o desempenho dos sistemas elétricos, e sua manutenção em níveis adequados é condição essencial para o alcance de eficiência global.

Do ponto de vista econômico, a operação eficiente reflete em menor consumo de energia reativa e em redução de custos de manutenção. Além disso, contribui para a prevenção de penalidades tarifárias relacionadas a distorções ou baixo fator de potência, conforme previsto pela *Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)*. Estudos apresentados por (MARQUES et al., 2007) reforçam que práticas de monitoramento e correção contínua podem reduzir em até 15% os custos operacionais de uma instalação elétrica institucional.

No contexto ambiental e institucional, a eficiência energética e o controle da qualidade da energia contribuem diretamente para a sustentabilidade e a responsabilidade social. Segundo o *Plano Nacional de Energia 2050* (ENERGIA; ENERGÉTICA, 2020), o aumento da eficiência no uso final da energia é uma das medidas mais eficazes para a redução das emissões de carbono e para o fortalecimento da segurança energética nacional. Assim, o desempenho obtido pelo IF Goiano – Campus Trindade está em sintonia com as metas dos *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*, especialmente o ODS 7 – Energia Limpa e Acessível.

Além do impacto técnico e ambiental, o projeto possui relevância pedagógica. O uso de um analisador de energia em ambiente laboratorial permite aos discentes compreender, na prática, o comportamento da rede elétrica e os efeitos dos harmônicos sobre a eficiência do sistema. Essa integração entre teoria e prática é destacada por (NETO et al., 2019) como elemento essencial na formação de engenheiros conscientes e preparados para os desafios da transição energética.

Em síntese, os resultados obtidos confirmam que:

- A qualidade da energia no bloco de laboratórios encontra-se dentro dos padrões normativos estabelecidos;
- A baixa distorção harmônica favorece a eficiência e a confiabilidade dos sistemas elétricos locais;
- O monitoramento contínuo da THD representa uma ferramenta de gestão energética estratégica e de baixo custo;
- O desempenho observado contribui diretamente para os compromissos ambientais e educacionais do IF Goiano, reforçando seu papel institucional

como agente promotor da sustentabilidade.

Dessa forma, este estudo reforça a importância do monitoramento harmônico como prática de gestão energética, demonstrando que a eficiência não depende apenas de intervenções tecnológicas, mas também de uma abordagem sistêmica e preventiva, alinhada às políticas públicas nacionais e aos princípios do desenvolvimento sustentável.

5 CONCLUSÕES

A eficiência energética, especialmente em ambientes públicos educacionais, representa mais do que um conjunto de práticas técnicas: constitui um compromisso institucional com a sustentabilidade, a gestão responsável dos recursos e o desenvolvimento científico. Ao longo deste trabalho, busquei compreender de forma prática e aprofundada o comportamento elétrico do bloco de laboratórios do IF Goiano – Campus Trindade, articulando conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da graduação com medições reais e análise computacional. Essa experiência permitiu integrar teoria, prática e reflexão institucional, fortalecendo minha formação como futuro engenheiro eletricista.

O estudo teve como foco a análise da qualidade da energia, considerando parâmetros como tensão RMS, distorção harmônica total de tensão (THD_V) e fator de potência, conforme o *PRODIST – Módulo 8*. A metodologia combinou medições experimentais por meio de analisador de qualidade de energia, tratamento estatístico, programação em *Python* e interpretação baseada em normas técnicas, o que garantiu rigor, reproduzibilidade e confiabilidade às conclusões obtidas.

Os resultados referentes às tensões demonstraram que o bloco opera dentro dos limites normativos, indicando fornecimento estável e ausência de variações críticas que possam comprometer equipamentos ou processos acadêmicos. Esse comportamento evidencia que a infraestrutura de distribuição do campus atende às demandas do setor, o que representa um ponto positivo do ponto de vista institucional e reforça a boa operação da concessionária e da rede interna.

Entretanto, o mesmo cenário não se repetiu quando observados os indicadores diretamente relacionados à eficiência energética. O levantamento evidenciou níveis elevados de Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_V), com registros que ultrapassaram significativamente o limite de 10% estabelecido pelo *PRODIST*, chegando a valores superiores a 50%. Esses picos, associados à presença de cargas não lineares típicas de ambientes labororiais, como computadores, fontes chaveadas, osciloscópios e inversores, indicam que a instalação opera sob estresse harmônico considerável. Esse comportamento afeta a vida útil dos equipamentos, aumenta perdas no sistema e reduz a eficiência global da rede elétrica interna.

Outro ponto crítico observado foi o fator de potência, que permaneceu abaixo de 0,92 em diversos momentos da campanha de medição. Na prática, isso significa maior circulação de potência reativa, aumento de perdas e risco de penalidades tarifárias,

o que tem impacto direto no orçamento institucional. Para um campus que busca crescimento, expansão de laboratórios e modernização constante, compreender e mitigar esse tipo de problema é essencial.

A pergunta central desta pesquisa foi respondida de maneira objetiva e fundamentada: a aplicação sistemática de princípios de eficiência energética incluindo monitoramento contínuo, análise de indicadores de qualidade e ações de correção, pode contribuir de forma expressiva para a redução do consumo, das perdas internas e dos custos operacionais do IF Goiano. Além disso, o processo de monitoramento permite identificar falhas antes que se transformem em problemas, possibilitando intervenções preventivas e planejamento de investimentos.

Esses resultados dialogam diretamente com as diretrizes do *Plano Nacional de Energia 2030* e do *PNE 2050*, que destacam a eficiência energética como um dos pilares para a sustentabilidade do setor elétrico brasileiro. Também se alinham ao ODS 7, que incentiva o uso responsável e acessível da energia. Portanto, além do impacto técnico, o trabalho reforça o compromisso institucional do IF Goiano com políticas públicas nacionais e globais de sustentabilidade.

Do ponto de vista pessoal e acadêmico, o desenvolvimento deste trabalho representou um avanço significativo na minha formação profissional. Trabalhar com dados reais, integrar ferramentas computacionais, interpretar sinais elétricos e relacioná-los a normas e indicadores ampliou minha compreensão da engenharia elétrica enquanto ciência aplicada. A análise da qualidade da energia, muitas vezes negligenciada no cotidiano das instalações, revelou-se um campo essencial para garantir eficiência, economia e segurança — lição que levarei para minha atuação futura como engenheiro.

A síntese dos principais achados pode ser apresentada da seguinte forma:

- As tensões RMS mantiveram-se estáveis e dentro dos limites do *PRODIST*, evidenciando bom funcionamento do sistema de distribuição.
- Foram identificados níveis críticos de THDV, com picos superiores a 50%, caracterizando forte presença de cargas não lineares e configurando não conformidade.
- O fator de potência permaneceu frequentemente abaixo do limite de 0,92, indicando circulação excessiva de potência reativa e necessidade urgente de correção.

- A combinação entre baixa qualidade harmônica e baixo fator de potência reduz a eficiência energética e aumenta o risco de falhas e custos operacionais.
- O monitoramento contínuo da qualidade da energia mostrou-se fundamental para diagnósticos precisos e planejamento de ações corretivas.
- O estudo se alinha às diretrizes estratégicas nacionais e ao compromisso institucional com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Dessa forma, conclui-se que o bloco de laboratórios apresenta condições que demandam ações de otimização e controle contínuo, e que a instituição pode se beneficiar significativamente da implementação de práticas de eficiência energética. O diagnóstico desenvolvido neste trabalho fornece uma base sólida para futuras intervenções e contribui para o aprimoramento da gestão energética do campus.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Recomenda-se expandir o estudo para outras edificações do campus, incluindo setores administrativos e ambientes com grande concentração de computadores. A análise da Distorção Harmônica Total de Corrente (THD_I), bem como a inspeção harmônica por ordem, podem ampliar o entendimento das fontes de distorção.

Outra proposta consiste na criação de um sistema institucional de monitoramento contínuo baseado em Internet das Coisas (IoT), capaz de registrar, analisar e reportar automaticamente os indicadores elétricos da instituição. Tal medida fortaleceria a integração entre gestão, pesquisa e ensino, posicionando o IF Goiano como referência regional em eficiência energética.

Por fim, sugere-se o desenvolvimento de ações educativas voltadas à conscientização do uso racional de energia, envolvendo servidores, docentes e estudantes. A cultura da eficiência não se consolida apenas com tecnologia, mas com participação coletiva, missão que está diretamente ligada ao papel social e educacional do Instituto.

Adicionalmente, recomenda-se que futuros trabalhos incluam análises detalhadas das faturas de energia elétrica, integrando os indicadores de qualidade e desempenho medidos às informações tarifárias aplicadas pela concessionária. Avaliações como comparação entre demandas contratadas e demandas efetivamente registradas, incidência de tarifas e bandeiras tarifárias, custos associados a baixo fator de potência, consumo segmentado por horários e possíveis cobranças adicionais podem oferecer

uma perspectiva econômico-financeira complementar ao diagnóstico técnico.

A correlação entre medições elétricas, consumo real e valores faturados permitirá identificar oportunidades concretas de redução de custos, otimização dos contratos de fornecimento e estratégias de gestão energética mais eficazes, ampliando o impacto institucional das ações de eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ANEEL), A. N. de E. E. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** 11. ed. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/15234696/PRODIST+Módulo+8+-+Revisão+11/>>. Acesso em: 2 nov. 2025. 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 29, 33

ENERGIA, B. M. de Minas e; ENERGÉTICA, E. de P. **Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-2050>>. Acesso em: 02 nov. 2025. 5, 10, 15, 33, 34

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; GUARDIA, E. C. et al. Eficiência energética: teoria & prática. **Universidade Federal de Itajubá: FUPAI**, 2007. 1, 2, 5, 6, 9, 11, 13, 18, 20, 21, 30, 34

Ministério de Minas e Energia (Brasil); Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência Energética.** Brasília: MME : EPE, 2007. v. 11. (Plano Nacional de Energia 2030, v. 11). Coordenação Geral: Márcio Pereira Zimmermann; Coordenação Técnica: Ricardo Gorini de Oliveira; Colaboração de diversos especialistas e instituições. ISBN não informado. 1, 3, 5, 6, 15, 33

NETO, A. H.; MOREIRA, J. R. S. et al. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética.** 1. ed. - [reimpressão]. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2019. Inclui bibliografia e índice. ISBN 978-85-216-3377-8. 1, 2, 6, 8, 10, 11, 32, 34

VIANA, A. N. C.; BORTONI, E. d. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J.; NOGUEIRA, L. A. H.; VENTURINI, O. J.; YAMACHITA, R. A. Eficiência energética: fundamentos e aplicações. **Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai**, v. 1, 2012. 2, 5, 9, 11, 18, 20, 21, 30, 33

APÊNDICE A – Relatório de Qualidade de Energia

A.1 Relatório automático de qualidade de energia

Relatório Automático de Qualidade de Energia Elétrica

Sistema de Análise – IF Goiano

24 de novembro de 2025

Identificação da Campanha

Período de medição: **06/11/2025 20:55 a 13/11/2025 19:35**.

Número de registros válidos: **1001**.

Este relatório foi gerado automaticamente a partir do arquivo de dados **IF.csv**, utilizando rotinas de análise em Python.

1 Resumo dos Resultados

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais grandezas avaliadas durante a campanha.

Tabela 1: Resumo das principais grandezas elétricas.

Grandeza	Média	Mínimo	Máximo
Tensão L1 [V]	216.00	207.12	223.10
Tensão L2 [V]	216.95	208.58	222.94
Tensão L3 [V]	214.32	204.38	221.79
Frequência [Hz]	60.003	59.920	60.080
Fator de potência (médio)	-0.286	-0.880	0.090

O desequilíbrio médio de tensão entre as fases foi de **1.22%**.

2 Tensão em Regime Permanente

A Figura 1 apresenta o comportamento da tensão RMS por fase ao longo do período monitorado.

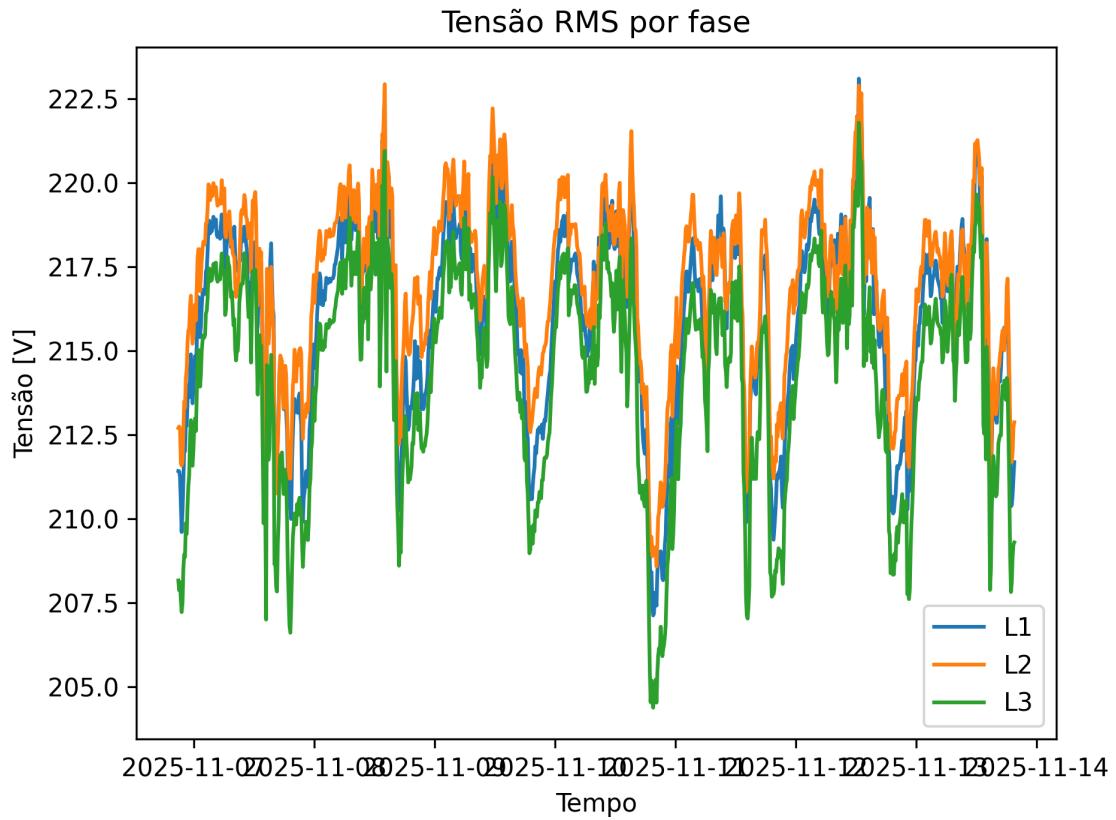


Figura 1: Tensão RMS das fases L1, L2 e L3 ao longo da campanha.

As tensões permaneceram dentro da faixa regulamentar ($220 \text{ V} \pm 10\%$), indicando conformidade com o PRODIST.

3 Distorção Harmônica de Tensão

A Tabela 2 resume os valores médios, percentil 95 e máximos de THDv por fase.

Tabela 2: Estatísticas de THDv por fase.

Grandeza	Média [%]	P95 [%]	Máximo [%]
THDv L1	2.28	2.53	54.08
THDv L2	2.52	2.86	31.00
THDv L3	2.49	2.79	48.96

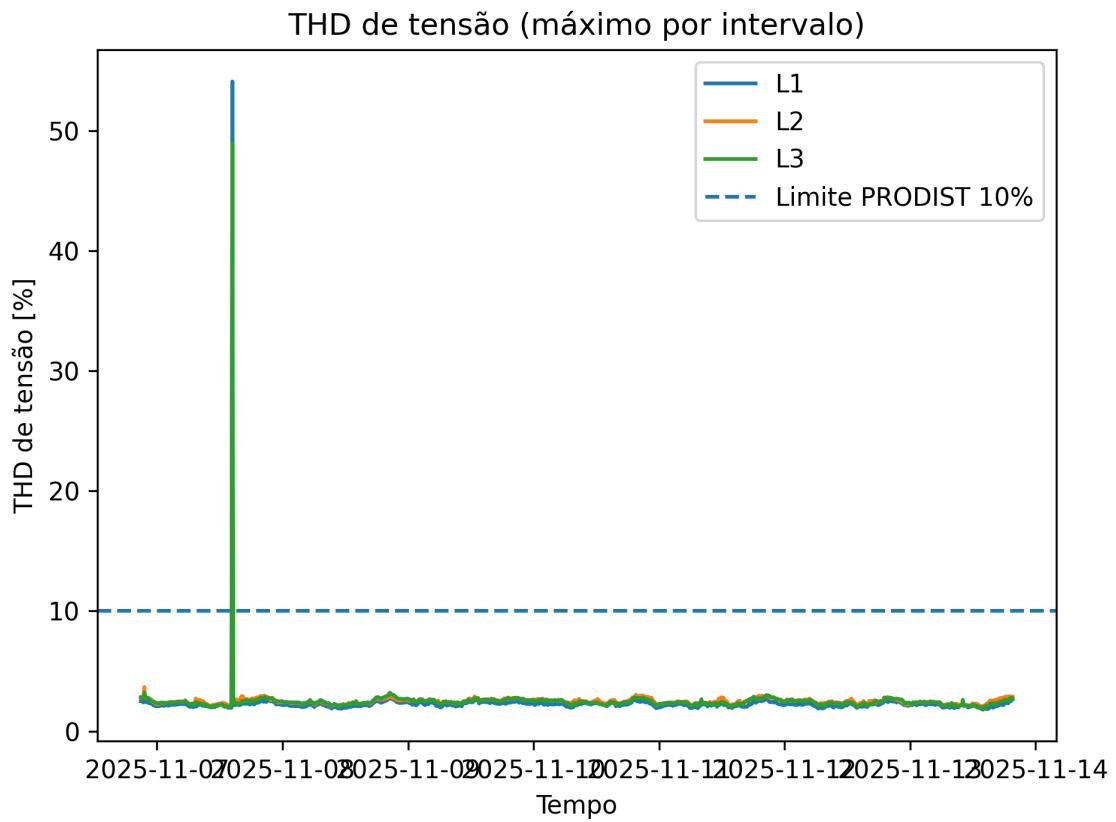


Figura 2: THD de tensão máxima por intervalo de tempo.

4 Fator de Potência

A Figura 3 mostra o comportamento do fator de potência total ao longo da campanha. Observou-se valor médio absoluto de **0.295**, indicando operação em desacordo com o limite mínimo de 0,92.

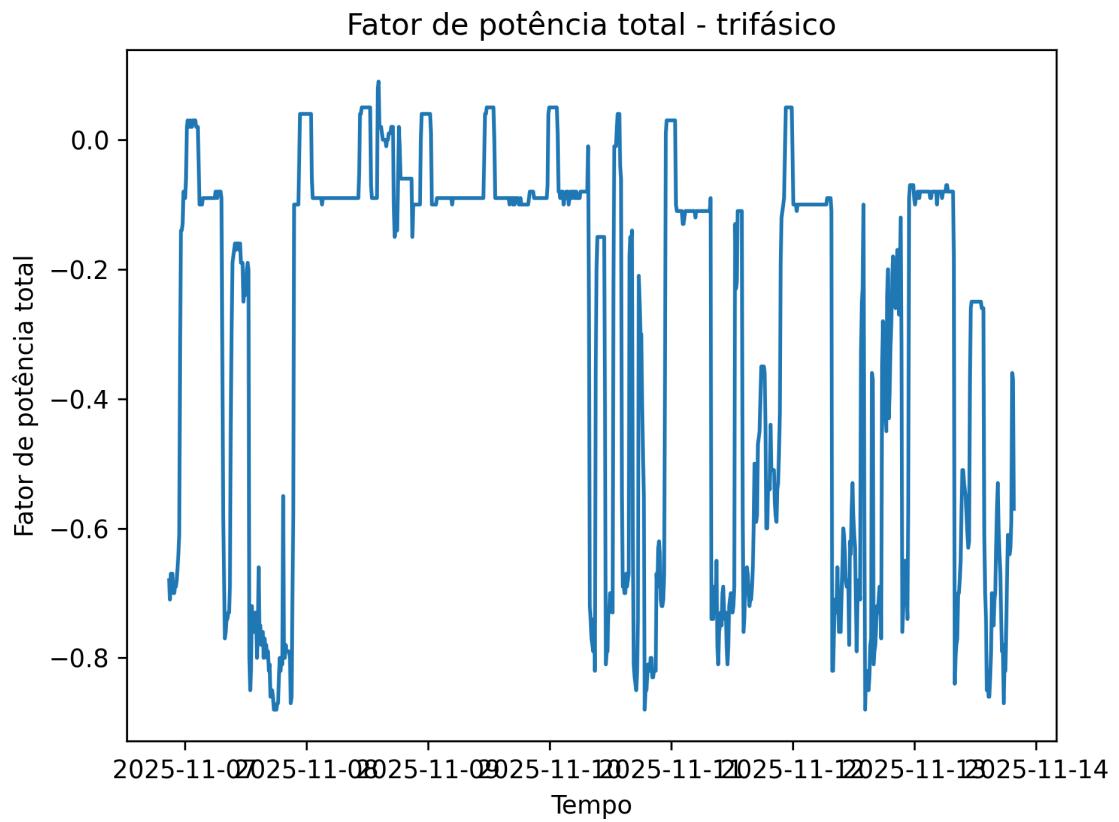


Figura 3: Comportamento temporal do fator de potência total.

5 Frequência Elétrica

A Figura 4 ilustra a variação da frequência elétrica, que se manteve dentro da faixa de $60\text{ Hz} \pm 1\%$.

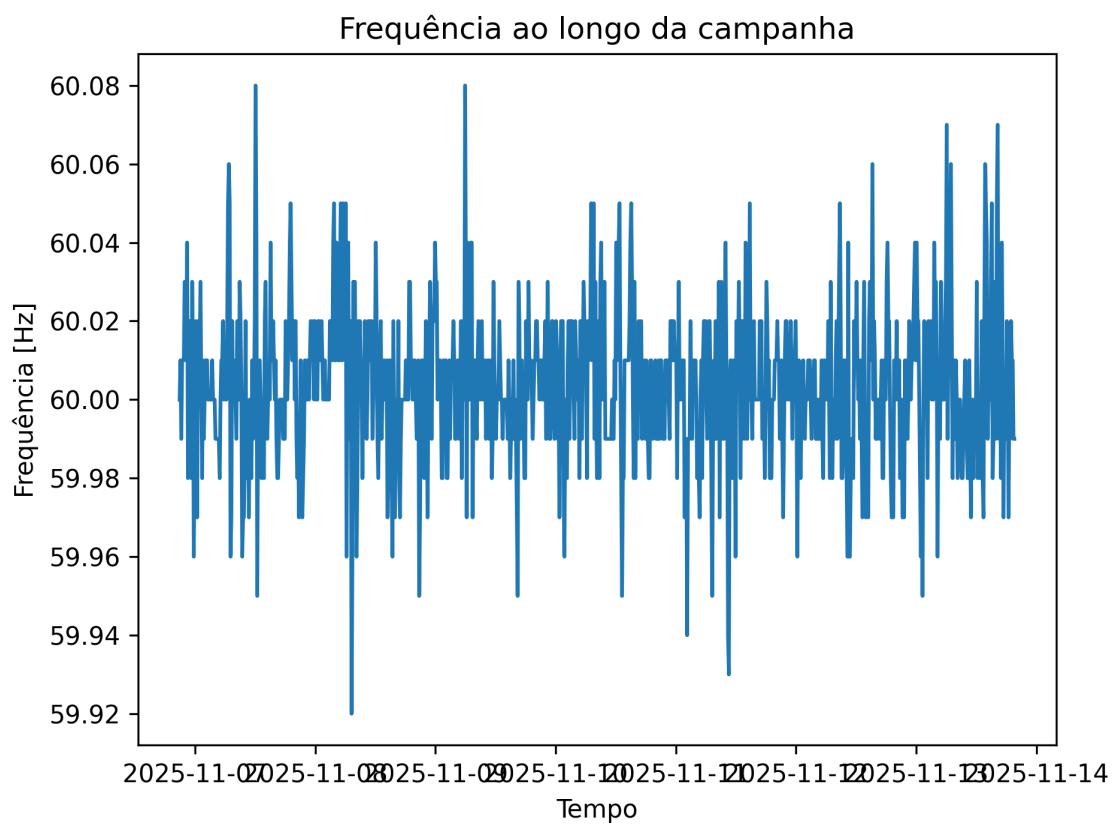


Figura 4: Frequência elétrica ao longo da campanha.

6 Análise Estatística (Histogramas)

A Figura 5 apresenta o histograma da tensão da fase L1.

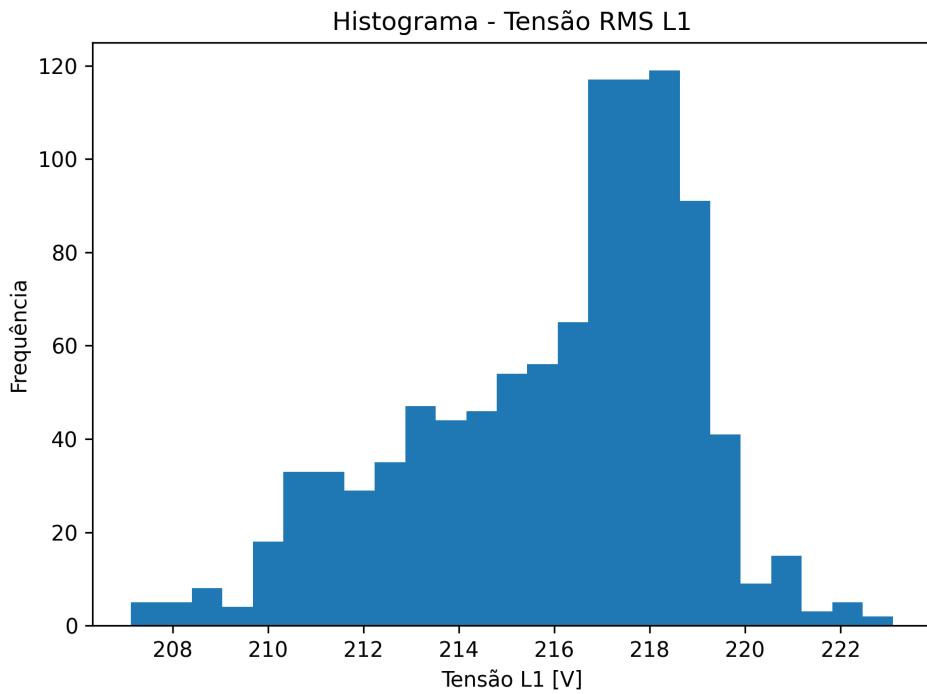


Figura 5: Histograma da tensão RMS da fase L1.

A Figura 6 apresenta o histograma da THDv da fase L1.

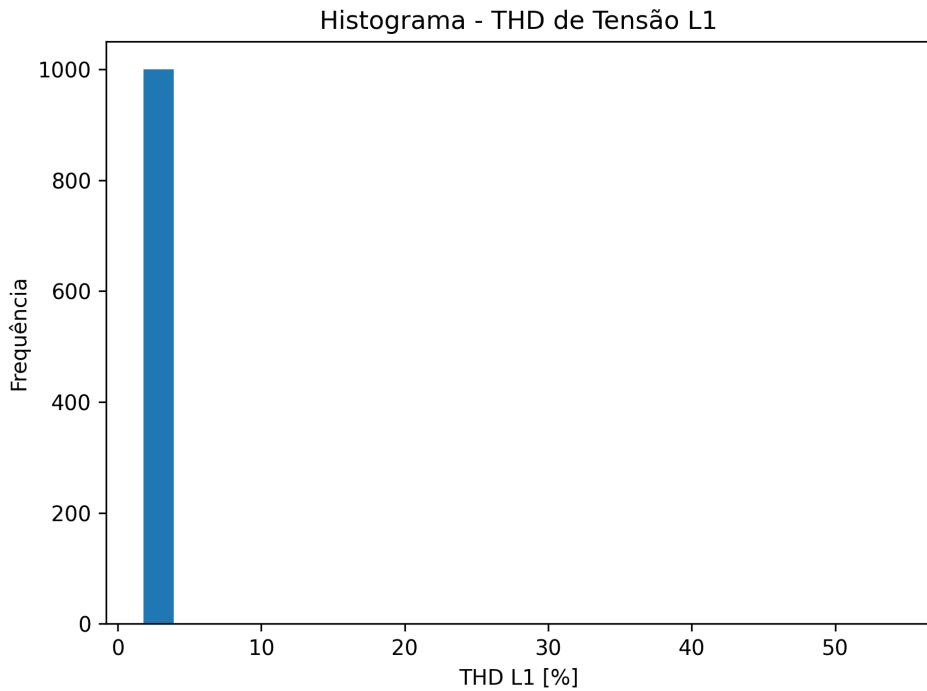


Figura 6: Histograma da THDv da fase L1.

A Figura 7 mostra o histograma do fator de potência total.

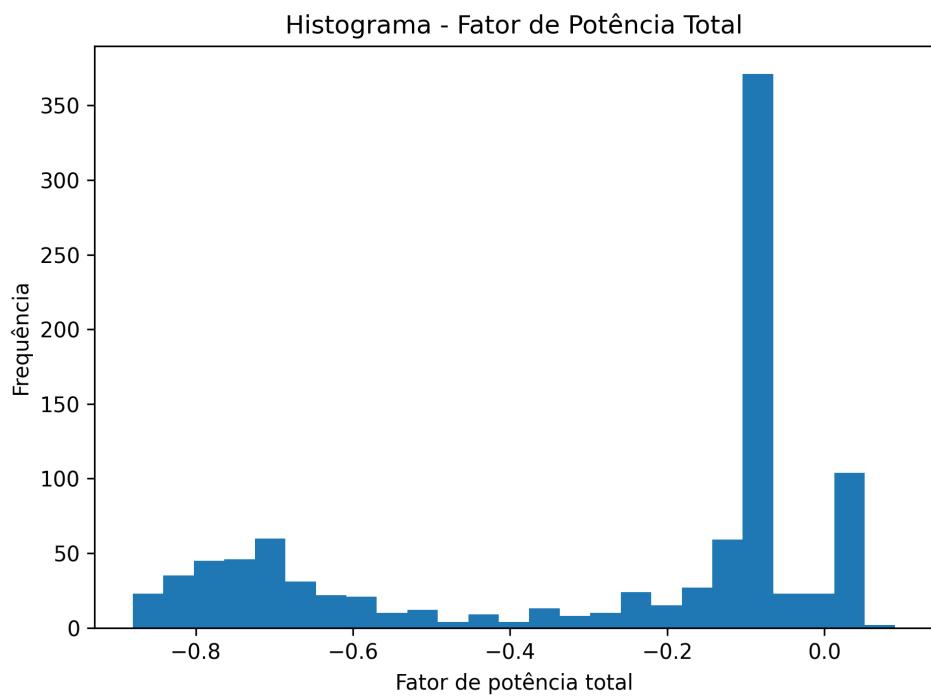


Figura 7: Histograma do fator de potência total.

A Figura 8 apresenta o histograma da frequência elétrica.

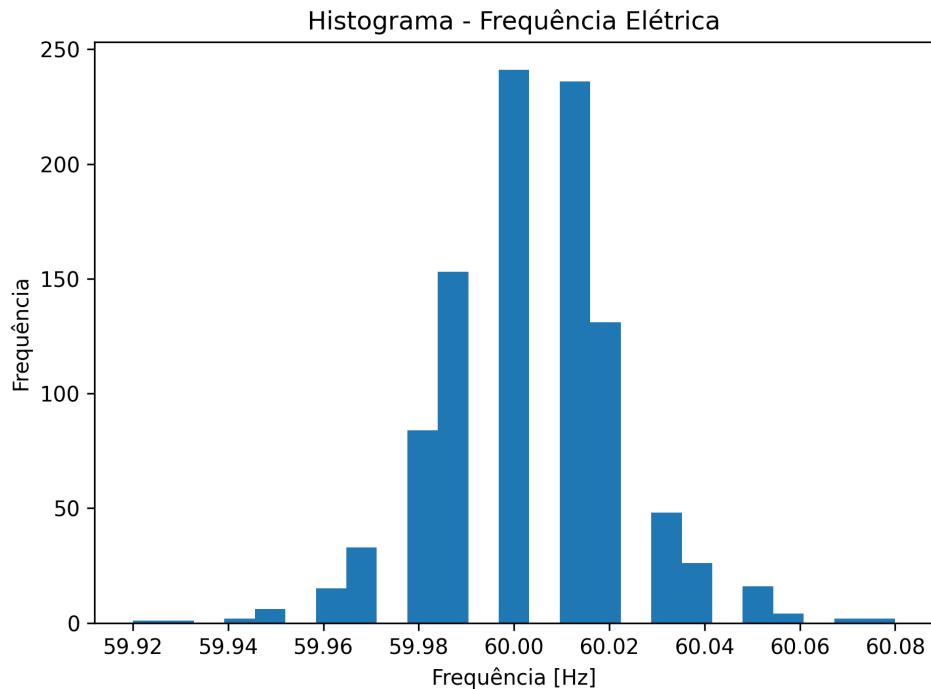


Figura 8: Histograma da frequência elétrica.

7 Análise Interpretativa Automática

O texto a seguir foi gerado automaticamente a partir dos indicadores extraídos do arquivo analisado, com auxílio de um modelo de linguagem de grande porte (LLM), servindo como apoio à interpretação técnica detalhada.

A análise da qualidade de energia em um bloco de laboratórios do Instituto Federal aponta para alguns padrões e tendências interessantes.

Em relação à tensão, os resultados mostram que a média global está dentro dos limites do PRODIST (216.00096603396602 V para L1), embora haja variações significativas ao longo do período de medição. Isso pode indicar desequilíbrios em termos de carga ou configurações de sistemas elétricos.

A distorção harmônica de tensão (THDv) apresenta valores moderados, com médias gerais que variam entre 2,28 e 2,52 para as fases L1, L2 e L3. Embora isso não seja considerado alto, eventos críticos foram detectados em uma ocasião, o que pode indicar problemas de qualidade de energia ou desempenho inadequado dos equipamentos.

O fator de potência (FP) apresenta valores negativos, com média global de -0,2863936063936064. Isso indica que a carga está tendo um efeito dissipativo sobre o sistema elétrico, possivelmente devido à presença de aparelhos de consumo inadequados ou falta de eficiência energética. Além disso, observa-se uma variação diária significativa do FP, o que pode indicar mudanças na carga ou desempenho dos equipamentos.

A frequência elétrica (FRE) apresentou uma estabilidade satisfatória, com média global de 60.00342657342657 Hz e pouca variabilidade ao longo do período de medição.

Em termos de eficiência energética, os resultados sugerem que haja oportunidades de melhoria significativas. A média global do FP é negativa, o que indica perda de energia potencialmente evitável. Além disso, a variação diária do FP pode indicar mudanças na carga ou desempenho dos equipamentos, o que pode ser aproveitado para implementar estratégias de eficiência energética.

Em resumo, é possível identificar alguns problemas e oportunidades de melhoria em termos de qualidade de energia e eficiência energética no bloco de laboratórios do Instituto Federal. Embora a média global da tensão esteja dentro dos limites do PRODIST, há variações significativas ao longo do período de medição que podem indicar desequilíbrios em termos de carga ou configurações de sistemas elétricos. A distorção harmônica de tensão é moderada e eventos críticos foram detectados em uma ocasião. O fator de potência apresenta valores negativos, o que indica perda de energia potencialmente evitável, e a frequência elétrica está estabilizada.

Conclusão Automática (Resumo)

- A tensão e a frequência apresentaram conformidade com os limites do PRODIST;
- O fator de potência médio absoluto foi de **0.295**, abaixo de 0,92;
- A THDv manteve-se, em geral, em níveis baixos, com ocorrências pontuais acima do limite;
- Recomenda-se estudo de correção de fator de potência e investigação de eventos harmônicos.