

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DO  
MARANHÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Adriele Silva Carvalho

**Gestão dos recursos elétricos no campus da  
UFMA: análise da qualidade de energia e  
proposta de boas práticas**

São Luís

2026

Adriele Silva Carvalho

**Gestão dos recursos elétricos no campus da UFMA: análise da qualidade de energia e proposta de boas práticas**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Shigeaki Leite de Lima

Coorientador: Prof. Dra. Silvangela Lilian da Silva Lima Barcelos

São Luís

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carvalho, Adriele Silva.

Gestão dos recursos elétricos no campus da UFMA:  
análise da qualidade de energia e proposta de boas  
práticas / Adriele Silva Carvalho. - 2026.

67 p.

Coorientador(a) 1: Silvangela Lilian da Silva Lima  
Barcelos.

Orientador(a): Shigeaki Leite de Lima.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2026.

1. Gestão Energética. 2. Qualidade de Energia. 3.  
Instituições de Ensino Superior. I. Silva Lima Barcelos,  
Silvangela Lilian da. II. Lima, Shigeaki Leite de. III.  
Título.

Adrielle Silva Carvalho

## **Gestão dos recursos elétricos no campus da UFMA: análise da qualidade de energia e proposta de boas práticas**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 20 de janeiro de 2026.

---

**Prof. Dr. Shigeaki Leite de Lima**  
Orientador

---

**Prof. Dra. Silvangela Lilian da Silva  
Lima Barcelos**  
Co-orientadora

---

**Prof. Dr. José Gomes de Matos**  
Examinador

---

**Prof. Dr. Denivaldo Cícero Pavão  
Lopes**  
Examinador

São Luís  
2026

# Agradecimentos

Agradeço a Deus e sua infinita bondade e misericórdia que me sustentaram durante toda minha trajetória. À Nossa Senhora que me amparou em todos os momentos independente da natureza.

Aos meus pais, Ribamar e Waldenice, aos meus irmãos Ari e Adriel por todo amor, apoio e confiança quando eu mesma não acreditei em mim.

Aos meus orientadores Shigeaki e Silvangela que me auxiliaram neste trabalho. Assim como os alunos e colaboradores do Instituto de Energia Elétrica, em especial aos integrantes do LABTIASP e a Ediliana.

À todo corpo docente, aos amigos que fiz durante o curso, todos foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Às minhas amigas que caminham comigo desde o início do curso Bianca, Iandara, Vitória e Thamires, vulgo Robozin da Win, Carina, Patrícia e Jéssica que sempre estiveram comigo em todos os momentos não só acadêmicos.

À empresa Atenas Engenharia pela oportunidade de desenvolvimento profissional e apresentação ao mercado de trabalho.

Aos meus amigos mejistas que me apresentaram ao Sagrado Coração de Jesus, sobretudo Natália, minha madrinha e amiga que sempre busca me mostrar a verdade através da amizade com Cristo.

Aos meus amigos, que desde o ensino médio, acompanharam e me ajudaram nesse trajetória, particularmente meus amigos da Gameplay.

*"Em tudo amar e servir."*

Santo Inácio de Loyola

# Resumo

As instituições de ensino superior enfrentam custos operacionais elevados e riscos de interrupção devido à gestão ineficiente de recursos elétricos e à degradação física de suas infraestruturas de distribuição. Este trabalho analisa a qualidade de energia e o estado das subestações em seis prédios da Universidade Federal do Maranhão, utilizando o *GreenMonitoring* como ferramenta de monitoramento em tempo real. Este trabalho justifica-se pela necessidade de gerar diagnósticos do comportamento dos recursos elétricos, uma vez que a falta de visibilidade sobre o comportamento do consumo de energia impede a gestão eficiente e a detecção de anomalias que oneram a instituição. A solução proposta integra o monitoramento de grandezas elétricas com uma inspeção técnica nas subestações fundamentada nas normas: Norma Técnica da Equatorial (critérios de projeto), ABNT NBR 5410 (baixa tensão), complementadas pela ABNT NBR 14039 (instalações de média tensão) e a NR 10 para garantir a segurança e saúde no trabalho com eletricidade. Os resultados identificaram o inconformidades em boa parte dos prédios, com níveis de tensão e fator de potência fora dos níveis adequados, além de revelarem inadequações críticas nas subestações, como emendas irregulares, obstrução de passagem, uso da subestação como depósito, falta de padronização dos quadros. A conclusão aponta que a gestão baseada em dados, aliada à adequação normativa das instalações, é capaz de otimizar o desempenho energético, reduzir a pegada de carbono e garantir a eficiência dos ativos institucionais.

**Palavras-chave:** Gestão Energética; Qualidade de Energia; Instituições de Ensino Superior.

# Abstract

Higher education institutions face elevated operating costs and disruption risks due to inefficient electrical resource management and the physical degradation of their distribution infrastructures. This study analyzes the power quality and condition of substations in six buildings at the Federal University of Maranhão, utilizing GreenMonitoring as a real-time monitoring tool. This work is justified by the need to generate diagnostics of the behavior of electrical resources, since the lack of visibility into energy consumption behavior prevents efficient management and detection of anomalies that burden the institution. The proposed solution integrates the monitoring of electrical quantities with a technical inspection of substations based on the following standards: Equatorial Technical Standard (design criteria), ABNT NBR 5410 (low voltage), supplemented by ABNT NBR 14039 (medium voltage installations) and NR 10 to ensure safety and health when working with electricity. The results identified non-conformities in most of the buildings, with voltage and power factor levels outside the appropriate ranges, in addition to revealing critical inadequacies in the substations, such as irregular splices, obstruction of passage, use of the substation as a warehouse, and lack of standardization of the panels. The conclusion points out that data-based management, combined with regulatory compliance of facilities, can optimize energy performance, reduce the carbon footprint, and ensure the efficiency of institutional assets.

**Keywords:** Energy Management; Power Quality; Higher Education Institutions.

# Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Representação das faixas de classificação de tensão de regime permanente.	18
Figura 2.2 – Diagrama de blocos do sistema de monitoramento e gestão energética da UFMA.	27
Figura 4.1 – Sistema de medição inteligente: (a) Medidor Telik Trafo e (b) Esquema de conexão e sensores.	32
Figura 4.2 – Representação da montagem interna do painel de monitoramento.	33
Figura 4.3 – Curva de Irradiação em São Luis.	36
Figura 5.1 – Montagem física do painel de monitoramento.	40
Figura 5.2 – Instalação sensores de corrente.	40
Figura 5.3 – Interface da Plataforma <i>WEB GreenMonitoring</i> .	41
Figura 5.4 – Perfis horários de demanda elétrica dos prédios analisados no campus da UFMA: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.	43
Figura 5.5 – Comparativo dos perfis horários de demanda elétrica dos prédios durante dias úteis e finais de semana: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO, (f) CCH.	45
Figura 5.6 – Ambiente interno de subestação utilizado como depósito.	47
Figura 5.7 – Materiais obstruindo a circulação.	47
Figura 5.8 – Emendas irregulares e fios desencapados.	48
Figura 5.9 – Barramento trifásico exposto.	48
Figura 5.10 – Falta de padronização dos cabos e quadro.	49
Figura 6.1 – Análise de conformidade da tensão em regime permanente para as edificações: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.	51
Figura 6.2 – Resumo da distribuição da qualidade de tensão em regime permanente por edificação.	52
Figura 6.3 – Perfis semanais médios de tensão fase-neutro por edificação.: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.	53
Figura 6.4 – Perfil horário médio do fator de potência por edificação.	54
Figura 6.5 – Perfis semanais médios de corrente elétrica por edificação.: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.	55
Figura 6.6 – Análise Temporal do Consumo Médio Semanal: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.	56
Figura 6.7 – Comparativo de geração fotovoltaica em um mesmo dia: (a) IEE, (b) CCET, (c) CCSO, (d) ODONTO e (e) CCH.	57

Figura 6.8 – Geração de energia e emissões evitadas de CO <sub>2</sub> : (a) IEE, (b) CCET, (c) CCSO, (d) ODONTO e (e) CCH. . . . .	58
Figura 6.9 – Concentração horária de eventos de tensão: (a) Afundamentos (Sags), (b) Sobretensões Críticas e (c) Elevações Temporárias (Swells). . . . .	59

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Limites de tensão de atendimento adotados para o sistema 380/220 V. . . . .	19
Tabela 2.2 – Fatores de emissão mensais do SIN para o ano de 2025. . . . .	20
Tabela 2.3 – Síntese dos principais distúrbios de qualidade de energia elétrica. . . . .	24
Tabela 4.1 – Localização dos medidores e respectivos status. . . . .	31
Tabela 4.2 – Descrição das variáveis do banco de dados de medição elétrica. . . . .	34
Tabela 4.3 – Resumo das medições por local . . . . .	35
Tabela 5.1 – Detalhamento de inversores e potência instalada por local. . . . .	46

# Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CCET	Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
CCH	Centro de Ciências Humanas
CCSo	Centro de Ciências Sociais
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de Carga
FD	Fator de Demanda
FP	Fator de Potência
IEE	Instituto de Energia Elétrica
IES	Instituições de Ensino Superior
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
ODONTO	Prédio de Odontologia
OR	<i>Overloading Ratio</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PEE	Programa de Eficiência Energética
PF	Centro Pedagógico Paulo Freire
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QGBT	Quadros de Distribuição Geral
QME	Quadros de Medição de Energia
RTC	<i>Real-Time Clock</i>

SIN	Sistema Interligado Nacional
TC	Transformador de Corrente
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UTC	Tempo Universal Coordenado
VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Objetivos	15
1.2	Estrutura do trabalho	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	Qualidade de Energia Elétrica	17
2.2	Normas e Regulamentações Aplicáveis	18
2.3	Parâmetros e Indicadores Elétricos	21
2.4	Distúrbios na Rede Elétrica	23
2.5	Sistemas Fotovoltaicos	24
2.6	Eficiência Energética	25
2.7	Sistemas de Medição e Monitoramento	26
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>31</b>
4.1	Seleção de locais de estudo	31
4.2	Instrumentação e equipamentos	31
4.3	Arquitetura e Estruturação dos Dados	33
4.3.1	Estruturação dos dados de consumo	34
4.3.2	Estruturação dos dados de geração	35
4.4	CrITÉrios de Avaliação e Normatização	36
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>38</b>
5.1	Caracterização das edificações analisadas	38
5.2	Plataforma <i>GreenMonitoring</i>	39
5.3	Perfil de consumo elétrico	41
5.3.1	Perfil horário médio por edificação	41
5.3.2	Comparação entre dias úteis e finais de semana	43
5.4	Análise de geração fotovoltaica	45
5.5	Avaliação das subestações	46
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>50</b>
6.1	Análise da Tensão em Regime Permanente	50
6.2	Distribuição Temporal da Tensão Elétrica	52
6.3	Análise do Fator de Potência	53
6.4	Perfis Semanais de Corrente Elétrica	54

6.5	Análise Temporal do Consumo de Energia . . . . .	55
6.6	Impacto da Geração Fotovoltaica e Emissões Evitadas . . . . .	56
6.7	Eventos de Variação de Tensão de Curta Duração . . . . .	58
7	<b>PROPOSTA DE BOAS PRÁTICAS PARA GESTÃO DE ENERGIA</b>	60
7.1	Diretrizes para Gestão e Eficiência Energética . . . . .	60
7.2	Diretrizes para Infraestrutura e Segurança das Subestações . . . . .	60
8	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	62
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	63

# 1 INTRODUÇÃO

O funcionamento e o desenvolvimento da sociedade moderna são intrinsecamente dependentes da disponibilidade de recursos energéticos, que sustentam desde as necessidades básicas residenciais até os complexos processos industriais e comerciais. O setor elétrico, especificamente, estrutura-se sobre um sistema robusto composto por três etapas fundamentais: geração, transmissão e distribuição. A geração é o estágio inicial, onde a energia primária é convertida em eletricidade, a transmissão é responsável pelo transporte dessa energia em altíssima tensão por extensas linhas que cortam o país e a distribuição atua na etapa final, reduzindo a tensão para níveis seguros e garantindo a entrega aos consumidores.

No cenário brasileiro, a matriz elétrica destaca-se pelo seu caráter predominantemente renovável. De acordo com dados recentes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), aproximadamente 85,4% da capacidade instalada no país provém de fontes limpas (EPE, 2025). Contudo, a existência de uma matriz energética limpa não exime o país de enfrentar desafios críticos relacionados ao desperdício e à ineficiência energética.

Historicamente, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) tem sido o principal promotor de políticas para diminuir esses impactos, promovendo a eficiência energética como uma estratégia fundamental para reduzir a demanda sem comprometer a qualidade dos serviços prestados (TRINDADE, 2020). Entretanto, as diretrizes de conservação estabelecem que a base para qualquer gestão eficaz é a medição precisa: sem o monitoramento de parâmetros de Qualidade de Energia Elétrica (QEE), como fator de potência e distorções harmônicas, as ações de eficiência tornam-se superficiais.

No contexto das Instituições de Ensino Superior (IES), o gerenciamento desses recursos assume uma dimensão estratégica e financeira de grande escala. Complexos universitários possuem cargas heterogêneas, que variam de sistemas de iluminação e climatização a laboratórios de alta precisão com equipamentos sensíveis. Na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), os gastos com energia representam uma parcela expressiva do orçamento institucional. Em 2023, o montante destinado a esses serviços foi de aproximadamente R\$ 11,2 milhões, o que correspondeu a cerca de 10% dos seus custos operacionais totais (JUNIOR et al., 2025).

O problema central deste estudo reside na ausência de um sistema de monitoramento detalhado e em tempo real no campus. Atualmente, a dependência exclusiva das faturas das concessionárias impede a identificação de anomalias operacionais. Assim, a falta de

visibilidade sobre a ocorrência dos picos de demanda ou as quedas na qualidade do sinal elétrico impossibilita a implementação de medidas corretivas eficazes.

Para enfrentar essa lacuna, este trabalho fundamenta-se na utilização da plataforma *GreenMonitoring* que permite a coleta e a análise de dados elétricos através de medidores inteligentes, transformando medições de grandezas elétricas em indicadores técnicos para a tomada de decisão.

Dessa forma, este trabalho propõe a análise da qualidade de energia e a proposição de boas práticas para a gestão dos recursos elétricos na UFMA, fundamentando-se na instrumentação e análise de dados provenientes da plataforma *GreenMonitoring*. A implementação de mecanismos de monitoramento contínuo permitirá a geração de indicadores técnicos que subsidiem a tomada de decisão estratégica e a identificação de distúrbios de QEE. Ao final, espera-se que a adoção dessas tecnologias e metodologias proporcione não apenas entendimento acerca do comportamento do consumo elétrico do campus, mas também consolide a universidade como um modelo de eficiência energética e sustentabilidade operacional.

## 1.1 Objetivos

Objetivo geral: analisar os dados de energia elétrica de prédios da UFMA obtidos a partir do levantamento dos dados de energia pela plataforma *Green Monitoring*.

Os objetivos específicos são:

- instalar medidores para monitoramento contínuo do consumo de energia elétrica nas instalações da UFMA;
- obter dados quantitativos das grandezas elétricas referentes ao consumo energético;
- analisar as informações coletadas para avaliar a eficiência no uso do recurso;
- gerar indicadores que subsidiem a tomada de decisão, permitindo a implementação de estratégias para otimização do consumo;
- propor boas práticas de gestão energética e recomendações técnicas alinhadas às necessidades da UFMA com base nas análises realizadas;
- avaliar as condições de inadequação física das subestações analisadas, destacando o estado de conservação e o uso indevido desses ambientes.

## 1.2 Estrutura do trabalho

Com o intuito de apresentar de forma clara e estruturada o desenvolvimento deste estudo, o presente trabalho foi dividido em seis capítulos, descritos a seguir:

O trabalho é inicializado com uma introdução que apresenta a contextualização do tema, abordando a relevância da qualidade de energia elétrica e da eficiência energética. Define-se o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, além da justificativa para a realização do estudo no campus da UFMA.

No capítulo 1 – Fundamentação Teórica: Reúne a revisão bibliográfica necessária para o suporte técnico do trabalho. São discutidos os conceitos fundamentais de QEE, os principais distúrbios de tensão segundo o PRODIST, e as normas vigentes que regulamentam o setor elétrico brasileiro.

No capítulo 2 – Referência Bibliográfica: Reúne a revisão bibliográfica de trabalhos realizados em universidade e institutos nacionais com objetivo de melhorar a qualidade de energia da energia elétrica de suas edificações através do monitoramento e análise de dados.

Capítulo 3 – Metodologia: Detalha os procedimentos técnicos e as ferramentas utilizadas para a coleta e tratamento de dados. Descreve-se a arquitetura de monitoramento inteligente, o uso do banco de dados PostgreSQL e as técnicas de processamento de dados empregadas na análise.

Capítulo 4 – Estudo de Caso: Apresenta a caracterização da área de estudo, detalhando as subestações monitoradas no campus da UFMA. Neste capítulo, realiza-se a análise do perfil de carga, demanda e o impacto da integração da geração fotovoltaica no sistema.

Capítulo 5 – Resultados e Discussão: Expõe os dados obtidos através do monitoramento, promovendo um diagnóstico dos distúrbios identificados. Os resultados são confrontados com os limites normativos para avaliar a conformidade da instalação.

Capítulo 6 - Proposta de Boas Práticas: Consolida as recomendações técnicas e operacionais para a gestão dos recursos elétricos, focando na adequação dos níveis de tensão, correção do fator de potência e manutenção da infraestrutura física.

O trabalho se encerra com a conclusão, verificando o cumprimento dos objetivos estabelecidos. São apresentadas propostas de melhorias e boas práticas para a gestão dos recursos elétricos, além de sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo reúne o suporte técnico necessário para a compreensão dos fenômenos elétricos e do ambiente regulatório brasileiro. São discutidos os parâmetros de qualidade, eficiência e as normas que balizam a interpretação dos dados coletados no campus.

### 2.1 Qualidade de Energia Elétrica

A exigência por uma maior qualidade de energia elétrica surgiu a partir da percepção de instabilidades no seu fornecimento. No Brasil, até meados dos anos setenta, não havia instrumentos legais para o controle de qualidade. Foi apenas na década de noventa que o país criou normas e entidades reguladoras para aprimorar esse serviço. Atualmente, a análise de QEE é essencial para reduzir desperdícios e custos significativos ([GHETTINO, 2024](#)).

A partir da modernização industrial começaram a surgir pressões reais para melhorar o controle e o monitoramento da rede. Com o avanço tecnológico dos anos 1990, privatizações, expansão dos mercados e maior sensibilidade dos equipamentos, a QEE ascendeu definitivamente como tema estratégico ([CASTRO et al., 2017](#)). A ANEEL, criada em 1996, institucionalizou esse movimento ao centralizar regras, indicadores e metas ([CASTRO et al., 2017](#)).

Nesse contexto regulatório, a QEE é definida pelo conjunto de atributos que as redes de distribuição devem preservar para assegurar o suprimento estável de tensão e corrente. Tal conformidade é essencial não apenas para o desempenho pleno dos equipamentos, mas também para diminuir as perturbações propagadas pelos próprios usuários. Diante da crescente complexidade das redes modernas, o monitoramento de seus indicadores tornou-se um meio capaz de fornecer um diagnóstico preciso do comportamento do sistema e viabilizar a identificação de distúrbios ([REMIGIO-CARMONA et al., 2022](#)).

A importância de um fornecimento de energia elétrica de qualidade é um fator crítico para a operação de grandes consumidores. Manter um fornecimento energético com elevado nível de qualidade é indispensável, sobretudo porque a falha no atendimento a esse requisito pode resultar em uma série de prejuízos que afetam diretamente a continuidade e a eficiência operacional ([CASTRO et al., 2017](#)). As consequências de uma má qualidade de energia abrangem:

- Interrupção de atividades;
- Perdas de informação;

- Perda de matéria-prima;
- Substituição e manutenção de equipamentos;
- Custos de religamento dos equipamentos;
- Perda de credibilidade junto aos clientes;
- Riscos à segurança dos trabalhadores;
- Riscos e impactos ambientais.

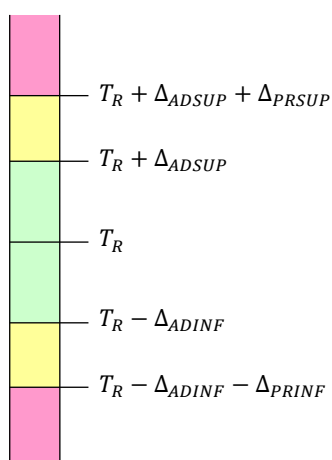
Os fenômenos que podem afetar a QEE são classificados em duas instâncias: permanente e transitória, conforme (ANEEL, 2021a), que serão apresentados na seção 2.4.

## 2.2 Normas e Regulamentações Aplicáveis

A fundamentação técnica deste estudo é pautada em diretrizes normativas que estabelecem critérios objetivos para a avaliação da qualidade elétrica, eficiência energética e gestão institucional. Tais referenciais não apenas definem os parâmetros de análise e os indicadores adotados, mas também norteiam a interpretação dos resultados obtidos no estudo de caso.

No âmbito da qualidade do produto, o balizador central é o Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021a). Por meio deste dispositivo, são fixados os limites de variação da tensão de leitura ( $TL$ ) frente à tensão de referência ( $T_R$ ), classificando o atendimento em faixas de conformidade adequada, precária ou crítica. Na Figura 2.1 é ilustrado conceitualmente essas faixas de variação.

Figura 2.1 – Representação das faixas de classificação de tensão de regime permanente.



Fonte: (ANEEL, 2021a).

Na sistematização visual apresentada, os parâmetros  $\Delta$  definem as fronteiras de transição entre as faixas, em que:

- $\Delta_{ADSUP}$  e  $\Delta_{ADINF}$ : representam os desvios máximos permitidos (superior e inferior) para que a tensão seja classificada como adequada;
- $\Delta_{PRSUP}$  e  $\Delta_{PRINF}$ : delimitam as zonas de tensão precária, indicando valores que, embora fora do ideal, ainda não atingiram o patamar de severidade crítica.

Para a análise prática realizada nos prédios monitorados da UFMA, as tensões nominais de operação são de 380 V (fase-fase) e 220 V (fase-neutro). Com base nos desvios percentuais estabelecidos normativamente, os valores de tensão adotados como limites para o enquadramento dos dados coletados estão sintetizados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Limites de tensão de atendimento adotados para o sistema 380/220 V.

Tensão de Atendimento (TA)	Tensão Fase-Fase (380 V)	Tensão Fase-Neutro (220 V)
<b>Adequada</b>	$350 \leq TL \leq 399$	$202 \leq TL \leq 231$
<b>Precária</b>	$331 \leq TL < 350$ ou $399 < TL \leq 403$	$191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233$
<b>Crítica</b>	$TL < 331$ ou $TL > 403$	$TL < 191$ ou $TL > 233$

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2021a).

A lógica analítica do regime de tensão é sintetizada pela relação  $TL = T_R \pm \Delta$ , na qual  $\Delta$  representa os desvios percentuais. Enquanto a faixa adequada reflete a operação ideal, os valores precários e críticos indicam riscos operacionais crescentes.

Quanto à eficiência no uso da potência, a Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL (ANEEL, 2021b) é adotada para delimitar o fator de potência (FP). Com o intuito de atenuar a circulação de energia reativa, estabelece-se o limite mínimo de 0,92 para o FP médio, calculado a partir das grandezas de potência ativa e reativa.

A segurança operacional das propostas de melhoria técnica guarda conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004), especificamente no que tange aos critérios de seccionamento automático, proteção contra sobrecorrentes e dimensionamento de condutores. Complementarmente, a estrutura de gestão e busca pela melhoria contínua alinha-se às normas ABNT NBR ISO 50001:2018 (ABNT, 2024a) e ABNT NBR ISO 50006:2024 (ABNT, 2024b), que fundamentam o ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). Sob essa ótica, o presente estudo atua na fase de verificação *Check*, fornecendo o diagnóstico necessário para que o desempenho energético institucional seja otimizado.

Por fim, o impacto ambiental das variações de consumo é mensurado conforme o protocolo de informações agregadas descrito no Anexo G da ISO 50006:2024. Este procedimento permite a conversão da energia ativa em toneladas de dióxido de carbono

equivalente ( $tCO_2e$ ), consolidando a pegada de carbono como um indicador estratégico de sustentabilidade. O cálculo das emissões ( $E_{CO_2e}$ ) é realizado pela expressão:

$$E_{CO_2e} = E_{ativa} \times FE_{SIN} \quad (2.1)$$

em que  $E_{ativa}$  representa a energia ativa consumida (MWh) e  $FE_{SIN}$  o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional (SIN) ( $tCO_2/MWh$ ). Para garantir o rigor científico, são utilizados os fatores de emissão mensais publicados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que refletem a variabilidade da matriz elétrica brasileira. Os valores oficiais adotados como referência para o ano de 2025 estão sintetizados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Fatores de emissão mensais do SIN para o ano de 2025.

Mês de Referência (2025)	Fator de Emissão ( $tCO_2/MWh$ )
Janeiro	0,2366
Fevereiro	0,2478
Março	0,2146
Abril	0,2895
Maiο	0,3087
Junho	0,4549
Julho	0,5293
Agosto	0,5529
Setembro	0,5215
Outubro	0,5386
Novembro	0,5780
Dezembro	0,5780

Fonte: Adaptado de MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2025).

Para a elaboração de boas práticas nas subestações, adotaram-se as diretrizes da Norma Técnica – NT.00026 - Critérios de projeto de subestações (EQUATORIAL, 2024), NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão (ABNT, 2004), NBR 14039 - Instalações elétricas de média tensão (ABNT, 2021) e NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade (BRASIL, 2019). Este conjunto normativo estabelece os requisitos para compartimentação, segurança operacional e preservação da integridade dos ativos elétricos.

Sob o aspecto técnico-operacional, a subestação deve constituir um ambiente de acesso restrito, limpo e desobstruído. A NT.00026 proíbe o armazenamento de materiais estranhos à instalação para mitigar riscos de incêndio em caso de arco elétrico e assegurar a ventilação natural dos transformadores (EQUATORIAL, 2024). Complementarmente, a NR 10 exige que as áreas de trabalho permitam a movimentação segura e o acesso imediato

aos dispositivos de manobra, como disjuntores e chaves seccionadoras, especialmente em situações de emergência (BRASIL, 2019).

A infraestrutura civil deve garantir a integridade de paredes, pisos e coberturas para evitar infiltrações que comprometam o grau de proteção (IP) dos invólucros ou a suportabilidade dielétrica dos isoladores (EQUATORIAL, 2024). No âmbito da média tensão (1,0 kV a 36,2 kV), a NBR 14039 prescreve que os equipamentos ofereçam condições adequadas de operação e manutenção, com atenção especial à sinalização de perigo em aparelhos com carcaça sob tensão (ABNT, 2021).

Quanto à sinalização e segurança ocupacional, os painéis devem possuir identificação clara, advertência sobre risco de choque e iluminação de emergência funcional (ABNT, 2004; EQUATORIAL, 2024). A NR 10 reforça a obrigatoriedade de sinalização para identificação de circuitos e dispositivos de impedimento de reenergização, visando a proteção dos trabalhadores durante intervenções (BRASIL, 2019).

A integridade do sistema de aterramento é essencial para assegurar a equipotencialização de todas as massas metálicas e blindagens de cabos (ABNT, 2004). Para instalações de média tensão, a NBR 14039 define critérios para mitigar tensões de passo e de toque, protegendo operadores e o patrimônio contra faltas à terra e descargas atmosféricas (ABNT, 2021).

Dessa forma, os requisitos estabelecidos pelas normas apresentadas passam a constituir referenciais objetivos para a avaliação da energia e das subestações do campus, permitindo identificar não conformidades físicas e operacionais a partir das análises gráficas das grandezas elétricas e de evidências fotográficas e inspeções de campo nas subestações. A comparação sistemática entre a situação observada e essas diretrizes normativas é utilizada neste trabalho como indicador de boas práticas, em alinhamento ao objetivo de propor recomendações técnicas para a gestão dos recursos elétricos e a melhoria das condições de segurança e confiabilidade das instalações da UFMA.

## 2.3 Parâmetros e Indicadores Elétricos

A análise da eficiência energética em edificações exige a compreensão das grandezas físicas elementares que regem os circuitos elétricos. De acordo com Nilsson e Riedel (NILSSON; RIEDEL, 2016), a tensão elétrica ( $v$ ) é a energia por unidade de carga necessária para mover uma carga através de um elemento, enquanto a corrente elétrica ( $i$ ) representa a taxa de variação da carga no tempo. Em sistemas de corrente alternada (CA), essas grandezas são tratadas em seus valores eficazes ( $V_{rms}$  e  $I_{rms}$ ), que permitem relacionar o efeito térmico da CA ao de uma fonte contínua equivalente.

A potência instantânea ( $p$ ), por sua vez, é definida como a taxa temporal de transferência ou absorção de energia em um elemento de circuito (NILSSON; RIEDEL, 2016). Matematicamente, ela resulta do produto entre tensão e corrente:

$$p = vi \quad (2.2)$$

Sendo medida em Watts (W), a potência quantifica a velocidade com que a energia é convertida em trabalho. A energia ( $w$ ), por outro lado, representa a capacidade total de realizar esse trabalho ou o consumo acumulado em um período. Ela é calculada pela integral da potência no tempo:

$$w = \int_{t_0}^t p d\tau \quad (2.3)$$

a qual em contextos de faturamento e eficiência energética, utiliza-se comercialmente o quilowatt-hora (kWh).

Em sistemas de corrente alternada (CA), essas grandezas são frequentemente tratadas em seus valores eficazes ( $V_{rms}$  e  $I_{rms}$ ), que permitem relacionar o efeito térmico da CA ao de uma fonte contínua equivalente (NILSSON; RIEDEL, 2016). Nesse regime, a presença de componentes reativos exige a decomposição da potência em três grandezas fundamentais vinculadas geometricamente pelo triângulo de potências:

- **Potência Ativa ( $P$ ):** A parcela que efetivamente realiza trabalho útil (calor, luz, movimento), medida em Watts (W).
- **Potência Reativa ( $Q$ ):** Energia necessária para manter campos magnéticos e elétricos, que oscila entre a fonte e a carga sem realizar trabalho direto, medida em Volt-Ampère Reativo (VAR).
- **Potência Aparente ( $S$ ):** A combinação vetorial de  $P$  e  $Q$ , representando a potência total que circula na infraestrutura e dimensiona os condutores, medida em Volt-Ampère (VA).

Essas variáveis são unificadas através da potência complexa ( $\mathbf{S}$ ), expressa pela relação:

$$\mathbf{S} = P + jQ = \mathbf{V}_{rms} \cdot \mathbf{I}_{rms}^* \quad (2.4)$$

No triângulo de potências, a magnitude da potência aparente ( $S$ ) corresponde à hipotenusa, enquanto  $P$  e  $Q$  representam os catetos horizontal e vertical, respectivamente. A relação de magnitude é dada por:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.5)$$

O aproveitamento dessa energia é quantificado pelo Fator de Potência ( $FP$ ), que Nilsson e Riedel (NILSSON; RIEDEL, 2016) definem como a razão entre a potência ativa

e a aparente e que, de acordo com a normativa brasileira o FP mínimo a ser mantido deve ser de 0,92, conforme:

$$FP = \frac{P}{S} \geq 0,92 \quad (2.6)$$

visando evitar a sobrecarga da rede por circulação de energia reativa excedente. Complementarmente, a energia elétrica ativa ( $E_{ativa}$ ) é a integral da potência ativa ao longo de um intervalo de tempo, sendo a base principal para o faturamento do consumo em edificações institucionais.

Para o gerenciamento da demanda, a REN 1.000/2021 (ANEEL, 2021b) introduz o conceito de demanda como a média das potências elétricas ativas solicitadas durante um intervalo de tempo especificado (15 minutos). A eficiência da utilização dessa demanda é avaliada pelo Fator de Carga ( $FC$ ), que relaciona a demanda média ( $D_{med}$ ) com a demanda máxima ( $D_{max}$ ) registrada no período, sendo obtido através da expressão:

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}} \quad (2.7)$$

## 2.4 Distúrbios na Rede Elétrica

A QEE é analisada por meio da identificação e quantificação de distúrbios que alteram as características nominais da forma de onda de tensão e corrente. Segundo o Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021a) e a norma brasileira ABNT NBR IEC 61000-4-30:2023 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023), esses fenômenos podem ser classificados em variações de regime permanente e eventos transitórios ou de curta duração.

As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) consistem em desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão em intervalos inferiores a três minutos. Conforme as diretrizes do PRODIST (ANEEL, 2021a), as VTCD subdividem-se em: afundamentos (*sags*), elevações (*swells*) e interrupções. O afundamento de tensão ocorre quando a amplitude se situa entre 0,1 e 0,9 *p.u.*, enquanto a elevação caracteriza-se por valores superiores a 1,1 *p.u.* Já a interrupção de curta duração é verificada quando a tensão residual é inferior a 0,1 *p.u.* Tais eventos são classificados cronologicamente como momentâneos (duração menor ou igual a 3 s) ou temporários (entre 3 s e 3 min).

O desequilíbrio de tensão, caracterizado pela diferença de amplitude entre as fases ou defasagem distinta de 120 graus, é quantificado pelo Fator de Desequilíbrio (FD%). Este parâmetro relaciona as componentes de sequência negativa ( $V_-$ ) e positiva ( $V_+$ ) da tensão (ANEEL, 2021a):

$$FD(\%) = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad (2.8)$$

Adicionalmente, as flutuações de tensão, conhecidas tecnicamente como *flicker*, referem-se a variações aleatórias ou cíclicas do valor eficaz que causam a percepção de cintilação luminosa. Por fim, os transitórios representam eventos de altíssima velocidade (subciclo), dividindo-se em impulsivos e oscilatórios. A Tabela 2.3 apresenta a síntese dos principais distúrbios baseada nas normas vigentes que são utilizadas neste trabalho.

Tabela 2.3 – Síntese dos principais distúrbios de qualidade de energia elétrica.

Distúrbio	Definição / Faixa	Principais Causas
Afundamento ( <i>Sag</i> )	$0,1 \leq V < 0,9$ p.u.	Partida de motores, curtos-circuitos.
Elevação ( <i>Swell</i> )	$V > 1,1$ p.u.	Rejeição de cargas, faltas à terra.
Interrupção	$V < 0,1$ p.u.	Atuação de proteções, falhas na rede.
Desequilíbrio	Diferença entre fases	Cargas monofásicas desbalanceadas.
Flutuação ( <i>Flicker</i> )	Modulação da amplitude	Fornos a arco, oscilações de carga.

Fonte: Autora

## 2.5 Sistemas Fotovoltaicos

A modernização das redes elétricas e a busca por sustentabilidade têm impulsionado a integração de fontes renováveis diretamente nos pontos de consumo. Nesse cenário, os sistemas fotovoltaicos (FV) destacam-se pela viabilidade técnica em ambientes universitários, onde a curva de geração solar apresenta elevada correlação com o perfil de carga institucional (CARMO, 2024).

O funcionamento desses sistemas baseia-se no efeito fotovoltaico para a conversão direta da irradiação solar em eletricidade, consolidando-se como uma estratégia central para a diversificação da matriz energética e redução da dependência de combustíveis fósseis ((IMESC), 2024). A energia produzida é destinada ao atendimento imediato das cargas internas, enquanto o excedente é injetado na rede da concessionária local por meio do sistema de compensação de energia elétrica ((EPE), 2023).

A eficiência dessa geração está atrelada às características climáticas locais. Em São Luís, a proximidade com a Linha do Equador favorece uma incidência solar perpendicular e constante, resultando em um potencial de aproximadamente 3.063 horas de sol anuais ((IMESC), 2024). Contudo, a estimativa real de produção deve considerar o *Performance Ratio* (PR) — um índice que quantifica as perdas sistêmicas térmicas, de cabeamento e de conversão nos inversores. Para sistemas de microgeração distribuída, a Empresa

de Pesquisa Energética (EPE) sugere a adoção de um PR de 0,75 como parâmetro de referência para modelagens de desempenho ((EPE), 2023).

Adicionalmente, a relação entre a potência dos módulos e a capacidade nominal do inversor, definida como *Inverter Loading Ratio* (ILR) ou razão de carregamento, influencia diretamente o aproveitamento energético. Conforme destaca a (EPE) (2023), quando o ILR é superior a 1,0, pode ocorrer o fenômeno de *clipping* (ou ceifamento), que consiste na limitação da potência de saída pelo inversor quando a energia proveniente dos módulos excede sua capacidade de processamento. Embora o *clipping* represente uma perda de energia potencial nos momentos de pico de irradiância, o aumento do ILR é frequentemente utilizado para otimizar o custo-benefício do sistema, permitindo maior produção de energia nos períodos de baixa luminosidade e uma curva de geração mais achatada e estável ao longo do dia ((EPE), 2023).

## 2.6 Eficiência Energética

A eficiência energética em instituições de ensino superior está diretamente associada à sustentabilidade ambiental e à gestão da qualidade da energia elétrica. A eficiência consiste em reduzir o consumo de energia para a execução das mesmas funções, por meio de ações técnicas e operacionais que resultam em menor demanda sobre os sistemas de geração e distribuição. Em ambientes universitários, o consumo de energia é significativo devido à diversidade de atividades, à densidade de ocupação e à operação contínua de equipamentos elétricos e sistemas de climatização.

Estudos conduzidos por (SHAFIE; NU'MAN; YUSUF, 2021) indicam que o consumo energético elevado em campus universitários decorre, em grande parte, de práticas de uso não controladas e da ausência de políticas sistematizadas de gestão. A aplicação de programas de gestão energética permite identificar os principais pontos de consumo e implementar medidas corretivas baseadas em dados operacionais.

Conforme revisão apresentada por (GÓMEZ et al., 2024), a adoção da norma ISO:5001 em edificações públicas e institucionais possibilita a integração de metas de eficiência ao processo de gestão e o controle sistemático dos indicadores de desempenho energético (EnPI), com foco na melhoria contínua do desempenho e na utilização de dados de medição para a tomada de decisão (ABNT, 2018).

O estudo de (JASIM et al., 2025) destaca que o setor educacional representa parcela relevante do consumo global de eletricidade e das emissões de  $CO_2$  associadas, o que torna necessária a aplicação de estratégias de eficiência energética e sistemas inteligentes de monitoramento para otimizar o uso dos recursos elétricos. O gerenciamento do consumo com base em dados medidos e analisados contribui para a previsão de demanda, para a redução de custos e para a melhoria da confiabilidade do fornecimento.

No Brasil, políticas públicas e programas regulatórios estruturam a base de incentivo à eficiência energética. O Programa de Eficiência Energética (PEE), regulamentado pela ANEEL, orienta concessionárias e consumidores a implementar projetos que promovam o uso racional da energia elétrica e a redução de desperdícios (ANEEL, ). O PROCEL complementa essas ações por meio da disseminação de boas práticas, certificação de equipamentos e capacitação técnica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2023). Ambos os programas são compatíveis com os princípios da ISO 50001, uma vez que enfatizam o controle de indicadores e a melhoria contínua da gestão energética.

A integração entre qualidade de energia, eficiência e sustentabilidade configura um sistema de gestão interdependente. A análise de parâmetros elétricos, a conformidade com normas nacionais e a execução de políticas de eficiência promovem redução de consumo e otimização dos recursos. Em instituições públicas de ensino, como a Universidade Federal do Maranhão, a adoção de práticas alinhadas à ISO 50001 e aos programas nacionais de eficiência representa uma abordagem estruturada para a gestão dos recursos elétricos e para o aprimoramento do desempenho energético institucional.

## 2.7 Sistemas de Medição e Monitoramento

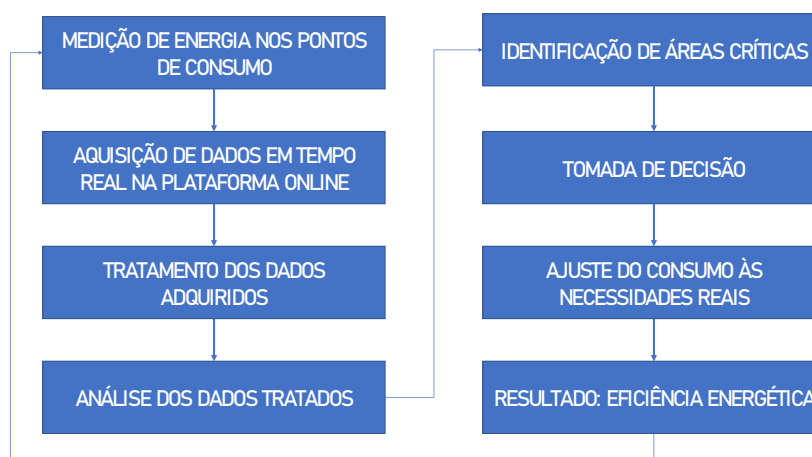
De acordo com (VIEIRA et al., 2025), o monitoramento contínuo do consumo de energia é um princípio fundamental para o sucesso das iniciativas de eficiência energética. Os sistemas de monitoramento em tempo real possibilitam o acompanhamento do consumo energético por empresas e consumidores, permitindo a identificação de padrões de uso e oportunidades de redução de custos. A automação e a gestão de energia ajustam o consumo com base nas necessidades reais do usuário, o que contribui para a redução de desperdícios e para a melhoria da eficiência dos sistemas de energia.

Estudos indicam que a eficiência de um sistema de gestão energética depende diretamente da qualidade do processo de medição. Nesse sentido, (CARVALHO et al., 2019), descrevem que a escolha adequada dos equipamentos de monitoramento, os critérios de instalação e a garantia de calibração adequada são etapas fundamentais para assegurar que os indicadores de QEE sejam representativos e possam subsidiar decisões operacionais. Os autores também destacam que a integração dos dados provenientes de diferentes dispositivos, como medidores de QEE e bancos de dados centralizados, é importante para transformar medições dispersas em informação útil, permitindo análises consistentes, identificação de áreas críticas e melhor direcionamento de ações de melhoria no sistema elétrico.

O diagrama de blocos apresentado na Figura 2.2 é ilustrada a estrutura lógica do sistema de monitoramento e gestão energética adotado, evidenciando o caráter contínuo e integrado do processo. O diagrama inicia-se com a medição de energia nos pontos de

consumo, realizada por meio de medidores distribuídos nos diferentes edifícios do sistema, seguida pela aquisição dos dados em tempo real através da plataforma *GreenMonitoring* que centraliza dos dados no banco de dados. Em etapa subsequente, o tratamento dos dados adquiridos e análise dos dados tratados utilizando a linguagem de programação *Python*. A partir dessa análise, são identificadas as áreas críticas do sistema, subsidiando a tomada de decisão e a implementação de ações corretivas, operacionais ou de automação. O processo resulta no ajuste do consumo às necessidades reais do sistema, visando à redução de desperdícios, à diminuição de custos e à melhoria da eficiência energética, sendo o ciclo continuamente realimentado pelo monitoramento permanente do consumo.

Figura 2.2 – Diagrama de blocos do sistema de monitoramento e gestão energética da UFMA.



Fonte: Autora.

Assim, a fundamentação teórica estabeleceu os critérios técnicos, os limites normativos e indicadores para a avaliação do sistema. Com esses conceitos definidos, a sessão 3 trará a Referência Bibliográfica, situando este trabalho em relação a outros estudos acadêmicos sobre gestão energética em universidades.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica limitou-se aos estudos realizados em universidades brasileiras com objetivo de monitorar os recursos elétricos da universidade para alcançar a eficiência energética através da análise de dados.

A literatura sobre QEE em campus universitários evidencia uma evolução progressiva das abordagens, que transitam desde diagnósticos técnicos pontuais até modelos mais amplos de gestão energética integrada. Em comum, esses trabalhos reconhecem que instituições de ensino superior apresentam características singulares: cargas heterogêneas, operação intermitente e crescente inserção de tecnologias eletrônicas e fontes renováveis, o que torna a análise da QEE um elemento estratégico.

Nesse contexto, o estudo desenvolvido por [Silva \(2014\)](#) realizou uma avaliação da QEE no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia. O objetivo central do trabalho foi diagnosticar a eficiência energética e os principais distúrbios elétricos do campus, por meio de medições em média e baixa tensão combinadas com modelagem computacional no software ATP. A metodologia adotada permitiu identificar a origem das distorções harmônicas no ponto de acoplamento comum, revelando que a contribuição da concessionária era superior à gerada internamente pela universidade. Como conclusão, o estudo demonstrou que diagnósticos baseados em dados técnicos confiáveis podem subsidiar decisões contratuais e operacionais capazes de gerar economia financeira. Essa abordagem fundamenta metodologicamente o presente trabalho, que também se apoia na análise detalhada de dados de medição, porém amplia o escopo ao integrar esses diagnósticos a uma proposta estruturada de gestão energética contínua no contexto da UFMA.

Com a crescente disseminação da geração distribuída, especialmente a fotovoltaica, estudos mais recentes passaram a investigar os impactos dessa inserção na qualidade da energia. Nesse sentido, [Monteiro \(2024\)](#) analisou o impacto da geração solar fotovoltaica na rede elétrica do Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O objetivo do trabalho foi avaliar como a conexão de sistemas fotovoltaicos influencia indicadores como sobretensão, desequilíbrio e distorções harmônicas. A metodologia baseou-se em medições experimentais com analisadores de rede e simulações de cenários futuros no software PSIM. Os resultados indicaram que, embora os níveis atuais estivessem dentro dos limites normativos, a expansão da geração fotovoltaica sem medidas mitigadoras poderia comprometer a QEE. Diferentemente do foco predominantemente preditivo desse estudo, a presente monografia incorpora a análise da geração fotovoltaica como parte de um sistema de monitoramento contínuo, voltado não apenas à conformidade normativa, mas ao suporte à tomada de decisão gerencial.

A transição do diagnóstico técnico para uma perspectiva de gestão é evidenciada no trabalho de Almeida (2024), que propôs um modelo de gestão energética baseado na norma ABNT NBR ISO 50001 para o Instituto Federal de Rondônia. O objetivo principal foi avaliar os efeitos da implantação de um Sistema de Gestão de Energia utilizando o ciclo PDCA. A metodologia envolveu a comparação do consumo energético antes e após a implementação de ações de eficiência. A principal conclusão foi que intervenções tecnológicas isoladas, como a substituição de lâmpadas por LED, não garantem redução sustentável do consumo quando não acompanhadas por gestão contínua. Essa constatação converge diretamente com a proposta deste trabalho, que parte do princípio de que a medição e a análise sistemática de indicadores de QEE são fundamentais para sustentar um Sistema de Gestão de Energia eficaz.

Outros estudos reforçam a relevância da análise econômica associada à qualidade da energia. Marques (2018), ao analisar um campus do Instituto Federal da Bahia, demonstrou que mesmo sistemas com níveis adequados de tensão podem gerar prejuízos financeiros significativos devido a multas por excedente de energia reativa, associadas a baixos valores de fator de potência. De forma complementar, Bessa (2022) e Botelho (2018) ampliam a discussão ao incorporar aspectos de sustentabilidade e viabilidade econômica. Enquanto Bessa enfatiza a importância do Plano de Gestão de Logística Sustentável e da conscientização institucional, Botelho demonstra, por meio de análises de Valor Presente Líquido, que a adoção integrada de medidas tecnológicas apresenta maior retorno econômico do que ações pontuais. Esses trabalhos dialogam com a presente pesquisa ao evidenciar que decisões técnicas devem estar alinhadas a critérios financeiros e institucionais.

Por fim, o levantamento realizado por Almeida et al. (2025) sobre práticas de eficiência energética nas instituições federais de ensino superior brasileiras revela uma lacuna significativa na padronização da gestão de dados energéticos. Embora diversas universidades adotem ações como instalação de sistemas fotovoltaicos e substituição de equipamentos, a ausência de sistemas integrados de monitoramento e gestão limita a avaliação contínua dos resultados. É nesse ponto que a presente monografia se diferencia: ao integrar medições de QEE baseadas em sistemas inteligentes com princípios de gestão alinhados à ISO 50001, propõe-se uma abordagem que conecta o diagnóstico técnico à gestão estratégica da energia elétrica no campus da UFMA.

Assim, enquanto os trabalhos analisados contribuem de forma relevante para o entendimento da QEE, da eficiência energética e da gestão em ambientes universitários, observa-se que poucos estudos integram, de maneira sistemática, monitoramento contínuo, análise normativa, impactos da geração distribuída e suporte à gestão institucional. A presente pesquisa busca preencher essa lacuna ao consolidar esses elementos em uma proposta aplicada, orientada à melhoria contínua e à tomada de decisão baseada em dados.

Esta revisão confirmou a lacuna na padronização da gestão de dados energéticos em instituições federais. Para preencher essa lacuna, a sessão 4 detalhará a Metodologia, descrevendo as ferramentas e procedimentos utilizados para a coleta e tratamento de dados no campus Bacanga.

## 4 METODOLOGIA

Neste trabalho a metodologia tem a intenção de apresentar a sequência lógica adotada para elaborar este trabalho e consta da seleção dos locais de estudo, da instrumentação e equipamentos, da arquitetura e estruturação dos dados e dos critérios de avaliação e normatização.

### 4.1 Seleção de locais de estudo

A seleção das unidades para o estudo de caso concentrou-se nos prédios do campus Bacanga da UFMA, especificamente: Instituto de Energia Elétrica (IEE), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Centro Pedagógico Paulo Freire (PF), Centro de Ciências Sociais (CCSo), Prédio de Odontologia (ODONTO) e Centro de Ciências Humanas (CCH).

Esta amostragem foi definida estrategicamente por apresentar heterogeneidade de perfis de consumo, abrangendo desde ambientes administrativos e acadêmicos até instalações com densidade de cargas críticas e não lineares, como laboratórios de pesquisa e clínicas odontológicas. Adicionalmente, a escolha permitiu a análise de edificações que operam com fotovoltaicos, possibilitando o monitoramento de fluxos bidirecionais de energia e a avaliação do impacto da microgeração na rede interna da instituição. Na Tabela 4.1 são mostrados os locais em que os medidores foram alocados.

Tabela 4.1 – Localização dos medidores e respectivos status.

Medidor	Localização	Status
CCSO	Subestação CCSO, próximo ao prédio principal	Ativo
CCH	Subestação CCH, próximo ao Centro de Ciências da Saúde	Ativo
PF	Subestação Paulo Freire, próximo ao Centro de Convenções	Ativo
ODONTO	Subestação Odontologia, próximo ao prédio de clínicas	Ativo
CCET	Subestação CCET, próximo ao prédio de Pós-graduação	Ativo
IEE	Prédio do IEE, próximo ao quadro geral de cargas	Ativo

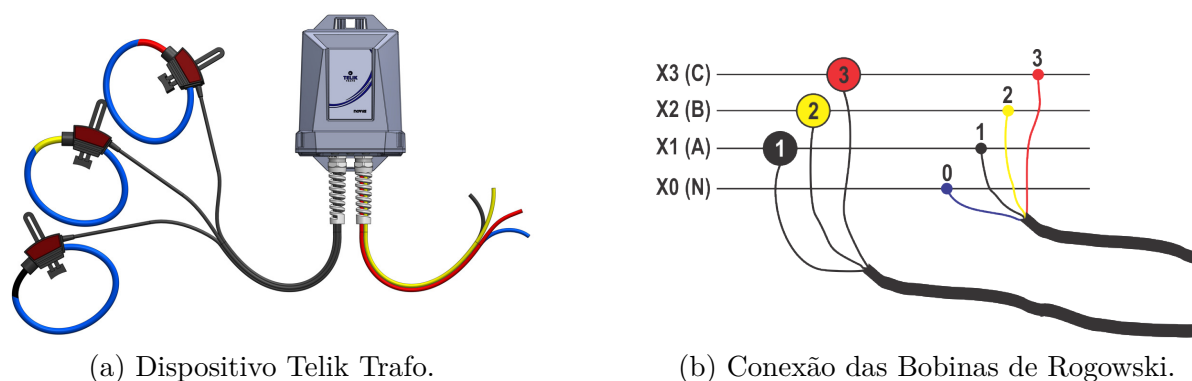
### 4.2 Instrumentação e equipamentos

A infraestrutura utilizada para a coleta de dados e monitoramento das grandezas elétricas fundamenta-se no *GreenMonitoring*, um ecossistema de monitoramento inteligente desenvolvido para ambientes de cidades inteligentes (Santos Junior, 2025). A precisão das análises de qualidade de energia apresentadas neste trabalho é garantida pela robustez dos equipamentos de medição, tendo como elemento central o medidor inteligente *Telik Trafo*.

Este equipamento opera com medições do tipo *True RMS* e é capaz de monitorar variáveis críticas como tensão por fase ( $V_a, V_b, V_c$ ) (V), corrente ( $I_a, I_b, I_c$ ) (A), potências ativa (kW), reativa (kVAr), energia acumulada (kWh), frequência (Hz) e fator de potência total e por fase (Santos Junior, 2025). Conforme as especificações técnicas, o medidor atende aos requisitos de precisão de classe 0,5S, estando em plena conformidade com as exigências da Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL para sistemas de faturamento e monitoramento de alta precisão (ANEEL, 2021b).

Na Figura 4.1 é apresentada a infraestrutura de medição adotada, sendo detalhados tanto o hardware quanto sua interface de instalação. Na Figura 4.1a, é observado o medidor inteligente *Telik Trafo* em sua concepção física, enquanto na Figura 4.1b é ilustrado o esquema de interconexão dos sensores à rede elétrica. O sistema é composto por três entradas de corrente que utilizam sensores do tipo Bobina de *Rogowski*, uma para cada fase, para que sejam garantidas medições não invasivas e precisas. Complementarmente, a aquisição de sinal de tensão é realizada por meio de uma conexão a quatro fios, contemplando as três fases e o condutor neutro, de modo que o monitoramento completo das grandezas elétricas seja permitido, em conformidade com as especificações técnicas do fabricante (Novus, 2023).

Figura 4.1 – Sistema de medição inteligente: (a) Medidor Telik Trafo e (b) Esquema de conexão e sensores.



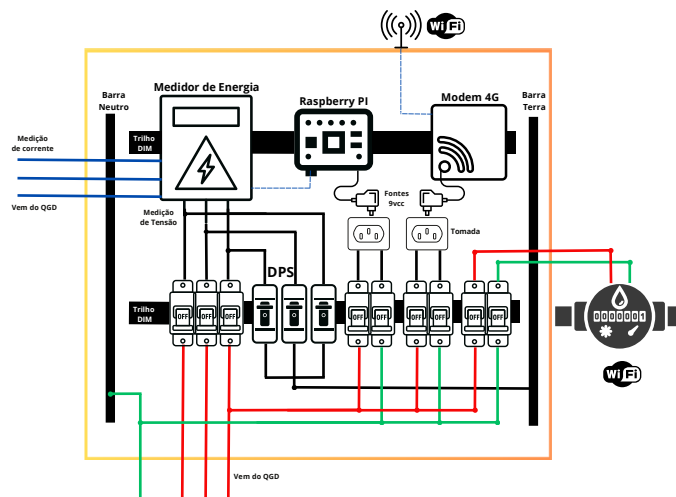
Fonte: (Novus, 2023).

Para a medição de corrente nos barramentos dos Quadros de Distribuição Geral (QGBT), foram utilizadas Bobinas de *Rogowski* em substituição aos Transformadores de Corrente (TCs) convencionais. Estes sensores operam baseados no princípio da indução eletromagnética em núcleo de ar, por meio do qual é evitada a saturação magnética e é permitida uma resposta linear, mesmo sob correntes elevadas ou componentes harmônicas (Santos Junior, 2025). Pela flexibilidade destes sensores, foi viabilizada a instalação não invasiva nos quadros elétricos da UFMA, sendo garantida a continuidade do fornecimento de energia.

Os dados coletados são transmitidos via protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), sendo integrado um relógio de tempo real (*Real-Time Clock* - RTC) interno para que o sincronismo temporal dos registros (*timestamps*) seja assegurado. As informações são processadas e armazenadas em um banco de dados PostgreSQL para posterior análise estatística. Todo o conjunto de *hardware* foi acondicionado em Quadros de Medição de Energia (QME) customizados, instalados nos pontos de entrada de energia dos prédios analisados (CCET, IEE, entre outros), nos quais são utilizados dispositivos de proteção contra sobrecorrentes e surtos para que a integridade do sistema seja garantida (Santos Junior, 2025).

Na Figura 4.2 é ilustrada a disposição física dos componentes dentro do painel de monitoramento utilizado nas edificações. Observa-se a integração do medidor Telik Trafo em trilho DIN, acompanhado pelos dispositivos de proteção e manobra, *Raspberry PI* para processamento local e módulo de comunicação *Wi-Fi* para transmissão de dados (Santos Junior, 2025). A montagem destaca a organização das conexões de tensão e os cabos provenientes dos TCS, responsáveis pela amostragem dos sinais de corrente de cada fase. Esta configuração foi padronizada em todos os pontos de monitoramento do campus, garantindo a integridade dos dados coletados e a proteção dos circuitos de medição contra surtos e sobrecargas, seguindo as recomendações do fabricante e as normas de segurança em instalações elétricas ABNT NBR 5410.

Figura 4.2 – Representação da montagem interna do painel de monitoramento.



Fonte: (Santos Junior, 2025).

### 4.3 Arquitetura e Estruturação dos Dados

A arquitetura de dados é fundamentada na persistência de objetos JSON em um banco de dados relacional PostgreSQL, o que garante a integridade das séries temporais coletadas pelo *GreenFramework* (Santos Junior, 2025). O processo de extração é realizado

por meio de consultas SQL, resultando em um *dataset* em formato CSV que viabiliza o tratamento estatístico offline. Para que a consistência dos resultados seja assegurada, um protocolo de tratamento e limpeza é aplicado ao conjunto de dados extraído.

### 4.3.1 Estruturação dos dados de consumo

Inicialmente, é efetuado o ajuste do fuso horário, que é armazenado no formato Tempo Universal Coordenado (UTC), para a região de São Luís - UTC-3, visto que os registros são armazenados em UTC+0. Subsequentemente, é realizada a filtragem de valores nulos ou inconsistentes decorrentes de instabilidades na rede de comunicação. As variáveis de interesse para este estudo, cujas descrições são apresentadas na Tabela 4.2, são normalizadas para garantir a consistência das unidades de medida de potência (kW) e energia (kWh), permitindo que as análises de conformidade normativa e cálculos de emissões de  $CO_2$  sejam executados sobre uma base de dados refinada.

Tabela 4.2 – Descrição das variáveis do banco de dados de medição elétrica.

<b>Categoria</b>	<b>Variáveis e Descrição</b>
<b>Tempo</b>	Time: Data e hora da medição (ajustado para UTC-3).
<b>Tensões e Correntes</b>	voltage_phase_a, b, c: Tensão eficaz por fase (V). current_phase_a, b, c: Corrente eficaz por fase (A).
<b>Potências e Frequência</b>	active_power_phase_a, b, c: Potência ativa por fase (W). reactive_power_phase_a, b, c: Potência reativa por fase (VAR). power_factor_total: Fator de potência total da unidade. frequency_total: Frequência da rede (Hz).
<b>Energia Acumulada</b>	energy_active_direct: Energia ativa consumida (kWh). energy_reactive_inductive_direct: Energia reativa indutiva (kvarh). energy_reactive_capacitive_direct: Energia reativa capacitiva (kvarh).
<b>Estado e Ambiente</b>	temp_value: Temperatura interna do dispositivo (°C). local: Identificação do prédio monitorado (Ex: IEE, CCET).

Fonte: (Santos Junior, 2025).

Para que o diagnóstico dos distúrbios e a avaliação da conformidade com as normas do PRODIST tivessem validade estatística, estabeleceu-se um cronograma de

monitoramento contínuo. Na Tabela 4.3 é detalhado o horizonte temporal da coleta, indicando o marco inicial de instalação dos medidores, a data da última aquisição de dados considerada nesta monografia e o montante total de dias monitorados.

Tabela 4.3 – Resumo das medições por local

Local	Início da Medição	Fim da Medição	Duração
CCET	16/01/2025 16:30:03	27/11/2025 15:12:39	314 dias 22:42:36
CCH	24/07/2025 14:19:37	23/11/2025 23:59:46	122 dias 09:40:09
CCSO	24/07/2025 10:51:31	24/11/2025 00:06:22	132 dias 13:14:51
IEE	14/01/2025 16:11:13	27/11/2025 15:12:53	316 dias 23:01:40
ODONTO	21/07/2025 11:19:49	27/11/2025 15:13:37	129 dias 03:53:48
PF	16/01/2025 17:19:37	27/11/2025 15:10:07	314 dias 21:50:30

Fonte: Autora.

### 4.3.2 Estruturação dos dados de geração

Para analisar o potencial de geração dos sistemas fotovoltaicos instalados, utiliza-se a metodologia baseada na capacidade nominal dos módulos e nos índices de irradiância local. Segundo a EPE, a geração de energia ( $E$ ) pode ser calculada pela relação entre a potência instalada, a disponibilidade de recurso solar e a eficiência global do sistema ((EPE), 2023). A equação fundamental adotada é:

$$E = P_{pwp} \times H_{sp} \times PR \quad (4.1)$$

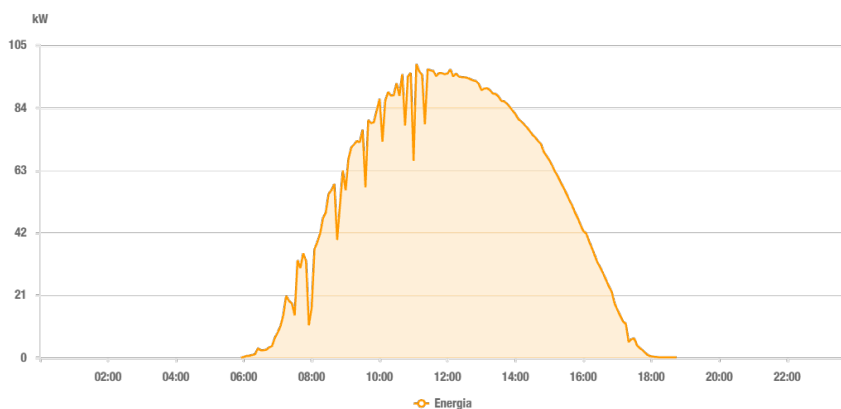
em que  $E$  é energia elétrica estimada (kWh),  $P_{pwp}$  é a potência de pico instalada dos módulos fotovoltaicos (kWp),  $H_{sp}$  as horas de sol pleno, que representam a irradiação solar incidente no plano dos módulos e  $PR$  é a taxa de desempenho (*Performance Ratio*), que contabiliza perdas por temperatura, cabeamento, sujeira e eficiência dos inversores.

Para o cenário de São Luís, adota-se o valor de 0,75 para o  $PR$ , conforme recomendado para sistemas de microgeração distribuída ((EPE), 2023). A variável  $H_{sp}$  é derivada do potencial solar do Maranhão, que registra uma média de 3.063 horas de sol por ano ((IMESC), 2024).

Além disso, a capacidade dos inversores limita a potência máxima de saída do sistema, sendo a relação entre a potência dos módulos e a dos inversores (*Overloading Ratio* - OR) um parâmetro de controle para evitar perdas por *clipping*.

Na Figura 4.3 é representada a curva de irradiação solar em São Luis obtida através da plataforma *Solis Inverters* que contém os dados dos inversores do prédio de Odontologia.

Figura 4.3 – Curva de Irradiação em São Luis.



Fonte: (Ginlong Solis, 2026)

## 4.4 Critérios de Avaliação e Normatização

Para a validação dos dados e fundamentação das propostas de eficiência, são estabelecidos critérios de avaliação baseados no arcabouço normativo vigente. As análises realizadas neste trabalho são categorizadas conforme os seguintes eixos:

- **Avaliação de Regime Permanente de Tensão:** A motivação desta análise é assegurar que os níveis de tensão fornecidos aos prédios do campus permaneçam dentro de faixas que não comprometam a integridade dos equipamentos. O critério de avaliação é fundamentado no Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021a), sendo os dados classificados entre faixas de leitura adequada, precária ou crítica.
- **Verificação do Fator de Potência:** Visando identificar ineficiências no uso da potência reativa e possíveis sanções tarifárias, o fator de potência é confrontado com o limite mínimo de 0,92 estabelecido pela Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL (ANEEL, 2021b).
- **Dimensionamento e Segurança das Instalações:** Para que as propostas de melhoria técnica guardem conformidade com a segurança operacional, as diretrizes da ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004) são utilizadas como referência para as recomendações de intervenção nos quadros elétricos de baixa tensão.
- **Gestão e Desempenho Energético:** Com o intuito de estruturar um plano de gestão sistemático, são aplicados os requisitos de melhoria contínua da ABNT NBR ISO 50001 (ABNT, 2024a).
- **Cálculo do Impacto Ambiental ( $CO_2$ ):** A quantificação das emissões é baseada na energia ativa consumida, seguindo as diretrizes de reportagem de informações agregadas descritas no Anexo G da ABNT NBR ISO 50006:2024 (ABNT, 2024b). O

cálculo é realizado mediante a aplicação dos fatores de emissão do SIN, permitindo que o desempenho energético seja convertido em toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_2e$ ), conforme os requisitos de monitoramento da ABNT NBR ISO 50001:2018 ([ABNT, 2024a](#)).

O capítulo de metodologia definiu como os dados foram capturados e organizados de forma rigorosa. A partir desta estrutura, o a sessão 5 apresenta o Estudo de Caso, aplicando estas ferramentas para caracterizar o perfil de consumo e a situação física das subestações analisadas.

## 5 Estudo de caso

Este capítulo apresenta a aplicação prática da metodologia proposta, realizando uma análise detalhada do comportamento energético de seis edificações do Campus Bacanga da UFMA. Por meio de dados coletados pela plataforma *Green Monitoring*, são investigados os perfis de carga, o impacto da microgeração fotovoltaica e a influência dos regimes de ocupação acadêmica no consumo de energia, fornecendo um diagnóstico técnico que fundamenta as discussões sobre eficiência e qualidade de energia na instituição.

### 5.1 Caracterização das edificações analisadas

A estrutura do campus de São Luís é composta por quatro centros acadêmicos: o Centro de Ciências Humanas, o Centro de Ciências Sociais, o Centro de Ciências Exatas e Tecnologia e o Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS). Integram ainda o campus o Centro Pedagógico Paulo Freire, a Concha Acústica, o Centro de Convenções, o Núcleo de Esportes, que conta com três quadras poliesportivas, pista de atletismo e piscina semiolímpica, além de outras instalações complementares (UFMA, 2025).

As edificações avaliadas neste estudo representam diferentes setores acadêmicos, cada uma com funções, dinâmicas de ocupação e composição de cargas distintas. Essa diversidade se reflete nos perfis de consumo e demanda elétrica observados ao longo do período analisado.

Neste trabalho, os prédios analisados foram o IEE, CCET, PF, CCSO, ODONTO e CCH.

- **Instituto de Energia Elétrica:** é uma unidade acadêmica especializada nas áreas de Sistemas de Energia. O instituto dedica-se ao desenvolvimento de pesquisas e à formação em temas como microrredes, fontes renováveis e técnicas inteligentes aplicadas a sistemas elétricos. Sua infraestrutura inclui laboratórios de alta complexidade, espaços de experimentação e ambientes administrativos (IEE, 2025);
- **Centro de Ciências Exatas e Tecnologia:** engloba áreas como Ciência da Computação, Design, Física, Matemática, Química e Química Industrial, Engenharia Elétrica e Química, além do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (BICT) (UFMA, 2025). É um prédio com cargas mais complexas devido ao uso de equipamentos laboratoriais, climatização constante, com picos relacionados à preservação de insumos e equipamentos sensíveis, refletindo a necessidade de controle rigoroso da temperatura e da umidade, e atividades práticas ao longo de todo o

dia. Embora o BICT seja academicamente vinculado ao CCET, ele não integra esta análise, pois funciona em uma edificação distinta e não é alimentado pela mesma subestação monitorada;

- **Centro Pedagógico Paulo Freire:** funciona como um espaço multiuso, recebendo atividades didáticas e pedagógicas de diferentes áreas. Ainda que não seja vinculado exclusivamente a um único centro acadêmico, sua demanda elétrica está associada a salas de aula, auditórios e ambientes de formação contínua. É uma edificação de caráter transversal, atendendo a diversos cursos e ações institucionais;
- **Centro de Ciências Sociais:** concentra cursos voltados para gestão, economia, direito e comunicação. Seu funcionamento envolve salas de aula, laboratórios de informática, núcleos jurídicos e ambientes administrativos. Entre os cursos presentes estão Administração, Biblioteconomia, Ciências Contábeis, Ciências Econômicas, Ciências Imobiliárias, Comunicação Social, Direito, Hotelaria, Pedagogia, Serviço Social e Turismo (UFMA, 2025). É uma edificação com grande rotatividade estudantil e picos de utilização ao longo do dia, especialmente nos turnos matutino e noturno;
- **Prédio de Odontologia:** concentra exclusivamente o curso de Odontologia da universidade. Possui consultórios, laboratórios clínicos, salas de aula e estruturas de apoio, o que resulta em uma demanda elétrica marcada pelo uso constante de equipamentos odontológicos, iluminação especializada e climatização contínua em áreas clínicas. Por se tratar de um prédio dedicado a práticas assistenciais e laboratoriais, há uma exigência de estabilidade rigorosa no fornecimento de energia para garantir o bom funcionamento dos equipamentos.
- **Centro de Ciências Humanas:** abriga cursos de natureza predominantemente teórica e de formação humanística, o que resulta em ambientes compostos por salas de aula, espaços de atendimento, auditórios e laboratórios específicos de pesquisa em ciências sociais e humanas. Entre os cursos vinculados ao centro estão Artes Visuais, Filosofia, Geografia, Psicologia, Estudos Africanos e Afro-brasileiros, Letras e suas modalidades, Licenciaturas em História, Teatro e Música, além do curso de Ciências Sociais (UFMA, 2025). Trata-se de um prédio com alta circulação diária e atividades no horário comercial, com picos de consumo entre 09h e 11h e entre 19h e 21h, típicos de períodos de aula.

## 5.2 Plataforma *GreenMonitoring*

A coleta de grandezas elétricas ocorre nos QGBTs das subestações onde os QMEs foram instalados. Como observado na Figura 5.1, na montagem dos QMEs destaca-se o medidor Telik Trafo, disjuntores para conexão ao barramento de baixa tensão e um módulo

de comunicação via protocolo MQTT 5.1 e sinalização externa do projeto *GreenMonitoring* (JUNIOR et al., 2025).

Figura 5.1 – Montagem física do painel de monitoramento.



(a) Montagem interna.

(b) Montagem externa.

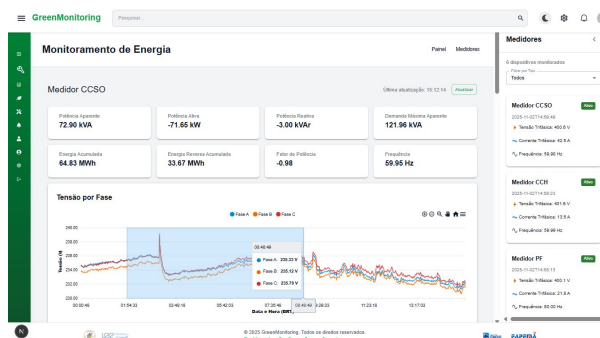
Fonte: Autora.

Já a instalação dos sensores de corrente é ilustrada pela Figura 5.2, atentando-se para o sentido da corrente e fases.



Figura 5.2 – Instalação sensores de corrente.

A plataforma *WEB* atua como o sistema de supervisão e análise. Ela processa as informações enviadas pela medição física, apresentando-as em *dashboards*, como mostra a Figura 5.3, intuitivos que permitem o acompanhamento do consumo em tempo real e o histórico de grandezas como fator de potência e emissões de  $CO_2$ . Esta camada de software permite a gestão dos recursos elétricos com a identificação de anomalias e possibilita a aplicação das boas práticas de eficiência energética sugeridas neste trabalho.

Figura 5.3 – Interface da Plataforma *WEB GreenMonitoring*.

Fonte: (JUNIOR et al., 2025).

## 5.3 Perfil de consumo elétrico

A análise do consumo elétrico nos prédios do Campus Bacanga da UFMA mapeia padrões de demanda e identifica oportunidades de otimização de recursos. O monitoramento de unidades como IEE, CCET, PF, CCSO, ODONTO e CCH demonstra comportamentos vinculados às funções e aos regimes de ocupação de cada edificação.

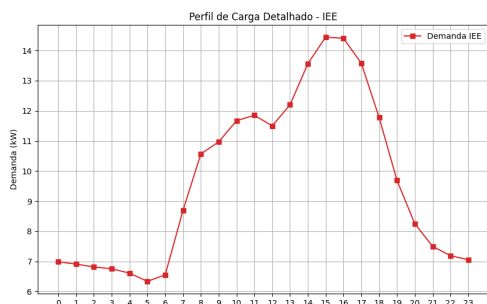
### 5.3.1 Perfil horário médio por edificação

- **IEE (Figura 5.4a):** Apresenta a menor magnitude de carga entre as unidades monitoradas, com demanda oscilando entre 6 kW e 14,5 kW. O perfil é caracterizado por uma estabilidade relativa, sugerindo uma carga base constante proveniente de equipamentos laboratoriais e servidores, com o pico de consumo registrado no meio da tarde, entre 15h e 16h.
- **CCET (Figura 5.4b):** Exibe a maior magnitude de demanda do campus, com picos que ultrapassam 170 kW por volta das 14h. O gráfico revela uma elevação acentuada a partir das 07h e uma carga de base de aproximadamente 40 kW durante a madrugada, o que reflete o funcionamento ininterrupto de sistemas críticos e de climatização.
- **PF (Figura 5.4c):** Demonstra um perfil típico de ambiente acadêmico com alta ocupação diurna, onde a demanda salta de 12 kW para valores superiores a 110 kW entre 10h e 17h. O ápice de 120 kW ocorre às 14h, seguido de uma queda gradual após as 18h com o encerramento das atividades pedagógicas.
- **CCSO (Figura 5.4d):** Caracteriza-se por uma curva de demanda líquida negativa entre 08h e 14h, atingindo o valor de -40 kW ao meio-dia. Esse comportamento evidencia a forte influência da geração fotovoltaica injetada na rede; o pico real de

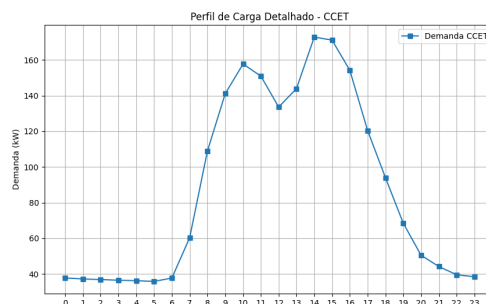
consumo ocorre às 18h (75 kW), coincidindo com o início das aulas noturnas e a ausência de geração solar.

- **ODONTO (Figura 5.4e):** Similarmente ao CCSO, apresenta impacto direto da geração distribuída, com demanda líquida negativa no período entre 11h e 13h. Os picos de consumo ocorrem no início da manhã (07h) e fim da tarde (17h), atingindo cerca de 41 kW, períodos em que as atividades clínicas são intensas e a contribuição solar é reduzida.
- **CCH (Figura 5.4f):** Exibe dois picos principais condizentes com o regime de aulas: o primeiro às 09h (aprox. 50 kW) e o máximo às 16h (aprox. 75 kW). Nota-se uma redução expressiva para 32 kW no horário de almoço (12h), refletindo a dinâmica de ocupação administrativa e acadêmica do centro.

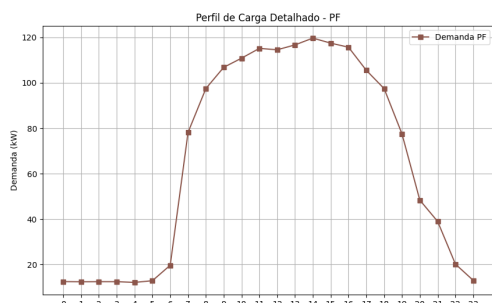
Figura 5.4 – Perfis horários de demanda elétrica dos prédios analisados no campus da UFMA: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.



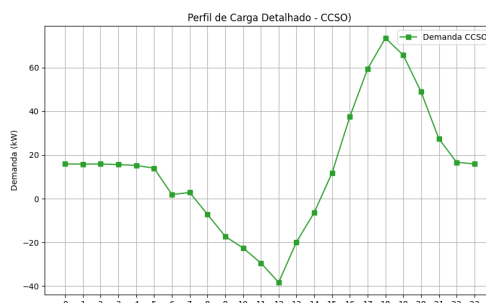
(a) IEE



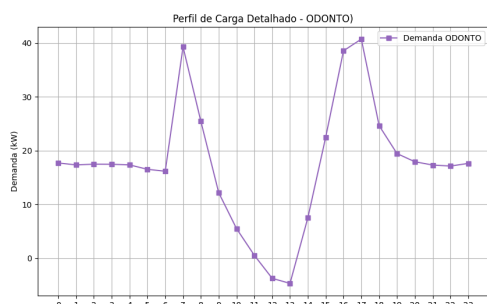
(b) CCET



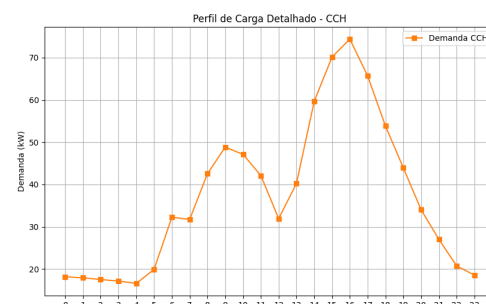
(c) PF



(d) CCSO



(e) ODONTO



(f) CCH

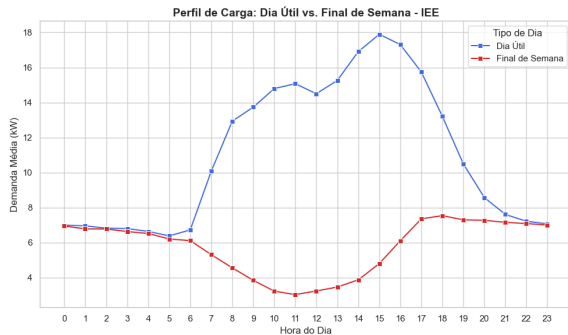
Fonte: Autora.

### 5.3.2 Comparação entre dias úteis e finais de semana

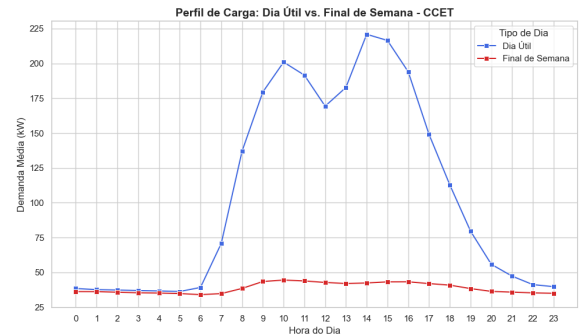
- **IEE (Figura 5.5a):** O comparativo demonstra uma redução acentuada na demanda média durante o final de semana, especialmente no período diurno, onde o consumo cai de um patamar próximo a 18 kW para aproximadamente 4 kW. Entretanto, observa-se a manutenção de uma carga base de 7 kW durante a madrugada em ambos os períodos, indicando o funcionamento ininterrupto de servidores e sistemas de apoio laboratorial que compõem a carga crítica da unidade.

- **CCET (Figura 5.5b):** Apresenta o maior contraste de demanda absoluta entre os cenários. Enquanto nos dias úteis a carga ultrapassa 220 kW no pico, no final de semana ela permanece linear em torno de 40 kW. Esse comportamento evidencia que a maior parte do consumo é derivada da ocupação humana e atividades laboratoriais diurnas, mas a carga base de 40 kW aponta para um consumo residual significativo de sistemas que permanecem energizados.
- **PF (Figura 5.5c):** É a edificação com a redução mais drástica em termos proporcionais. A demanda de pico de 150 kW registrada em dias úteis cai para um patamar de 35 kW no final de semana. O perfil de final de semana apresenta-se quase plano, confirmando que a carga desta unidade é estritamente vinculada ao calendário de aulas e eventos acadêmicos.
- **CCSO (Figura 5.5d):** Durante os finais de semana, a curva de demanda líquida torna-se predominantemente negativa (atingindo -60 kW), uma vez que a carga de consumo diminui drasticamente enquanto a geração fotovoltaica permanece ativa. O consumo residual noturno estabiliza-se em 18 kW, sugerindo oportunidades de gestão de cargas não essenciais que permanecem em *standby*.
- **ODONTO (Figura 5.5e):** Similar ao CCSO, o prédio de Odontologia injeta um excedente maior de energia na rede no final de semana devido à ausência de atividades clínicas. A demanda líquida atinge vales de -55 kW no período de máxima irradiância. O consumo base de 18 kW mantém-se constante, indicando cargas que não podem ser desligadas ou ineficiências no controle de equipamentos fora do horário de expediente.
- **CCH (Figura 5.5f):** Apresenta uma inversão no perfil de final de semana, com demanda líquida negativa entre 07h e 16h, indicando que a geração solar local supera a carga residual do prédio quando desocupado. O pico de consumo de dias úteis (105 kW) desaparece completamente, restando uma carga base noturna de apenas 15 kW, um dos menores índices de consumo residual entre as unidades de grande porte.

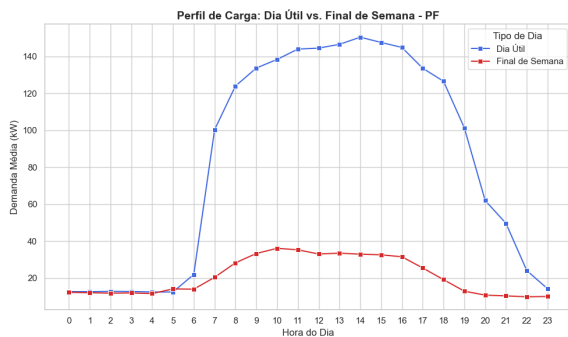
Figura 5.5 – Comparativo dos perfis horários de demanda elétrica dos prédios durante dias úteis e finais de semana: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO, (f) CCH.



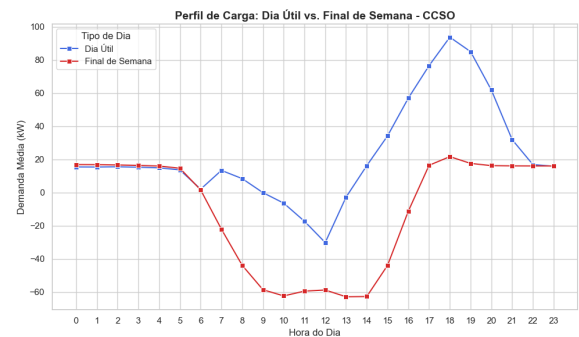
(a) IEE



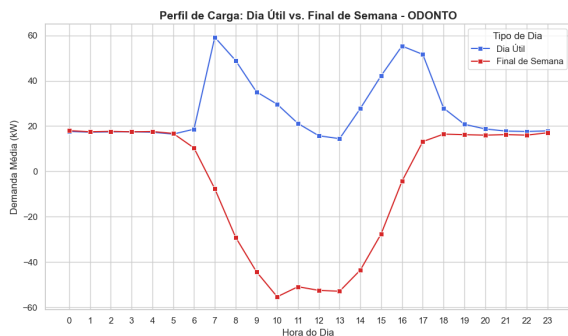
(b) CCET



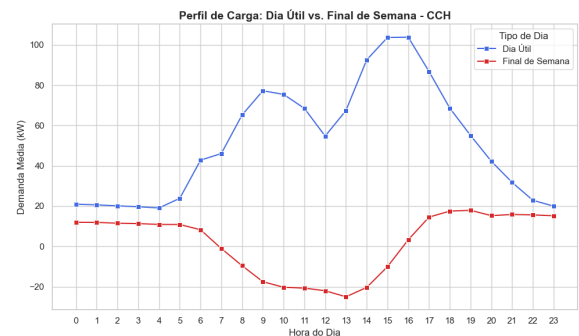
(c) PF



(d) CCSO



(e) ODONTO



(f) CCH

Fonte: Autora.

## 5.4 Análise de geração fotovoltaica

A infraestrutura de microgeração distribuída dos prédios estudados neste trabalho é composta por sistemas instalados em quatro unidades: CCET, ODONTO, CCH e CCSO. A Tabela 5.1 apresenta a configuração técnica desses sistemas, detalhando a capacidade dos inversores e a potência de pico dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 5.1 – Detalhamento de inversores e potência instalada por local.

Local	Quantidade Inversores	Potência Inversores (kW)	Potência Total Inversores (kW)	Potência Instalada (kWp)
CCET (Total)	4	12+25+35+60	132	151,60
ODONTO	5	25	125	125,74
CCH	1	75	75	80,46
CCSO	3	100	300	321,20
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>332</b>	<b>632</b>	<b>679,00</b>

Fonte: Autora.

A potência total instalada de 679,00 kWp representa um montante significativo frente à demanda do campus. A relação média de OR de 1,07 indica um dimensionamento que busca otimizar a curva de geração nos períodos de menor irradiância, sem causar perdas severas por *clipping* nos horários de pico solar.

Conforme estabelecido na metodologia (Seção 4.3.2), a estimativa de geração para esses sistemas utiliza o índice de 3.063 horas de sol anuais característico de São Luís e um PR de 0,75 para contabilizar perdas sistêmicas. Aplicando-se a Equação 4.1, observa-se que a geração atinge seu ápice entre as 10h e 15h, o que justifica a inversão da curva de demanda líquida para valores negativos observada nos prédios CCSO e ODONTO (Figuras 5.5d e 5.5e).

Essa correlação direta entre a disponibilidade do recurso solar e a redução da demanda solicitada à rede externa evidencia a viabilidade do sistema para o autoconsumo institucional, reduzindo custos operacionais em períodos de alta atividade acadêmica. A análise a seguir detalha o comportamento gráfico dessa geração e sua influência nos indicadores de qualidade de energia.

## 5.5 Avaliação das subestações

As irregularidades identificadas nas unidades da UFMA não representam apenas falhas estéticas, mas introduzem riscos críticos à operação do sistema e à integridade física das pessoas. A presença de equipamentos e materiais espalhados no chão (Figura 5.6), somada a obstáculos que dificultam a circulação (Figura 5.7), viola as diretrizes da NT.00026 (EQUATORIAL, 2024) e da NR 10 (BRASIL, 2019). Esta última exige que as áreas de trabalho e as rotas de passagem sejam mantidas livres e desobstruídas para garantir a segurança e a rapidez necessária em manobras de operação ou de emergência, evitando que o acesso ao disjuntor geral seja impedido em situações de falha grave.

Figura 5.6 – Ambiente interno de subestação utilizado como depósito.



Fonte: Autora.

Figura 5.7 – Materiais obstruindo a circulação.



Fonte: Autora.

Um ponto crítico observado refere-se ao estado dos condutores e à execução das conexões. As emendas irregulares e fios desencapados (Figura 5.8), juntamente com o barramento trifásico exposto (Figura 5.9), são classificados como falhas de proteção contra contatos diretos. Tais condições são estritamente proibidas pela NBR 14039 (ABNT, 2021), que prescreve o isolamento completo ou a compartimentação de todas as partes vivas para

prevenir choques elétricos, violando também os requisitos básicos da NBR 5410 (ABNT, 2004) e da NT.00026 (EQUATORIAL, 2024).

Figura 5.8 – Emendas irregulares e fios desencapados.



Fonte: Autora.

Figura 5.9 – Barramento trifásico exposto.

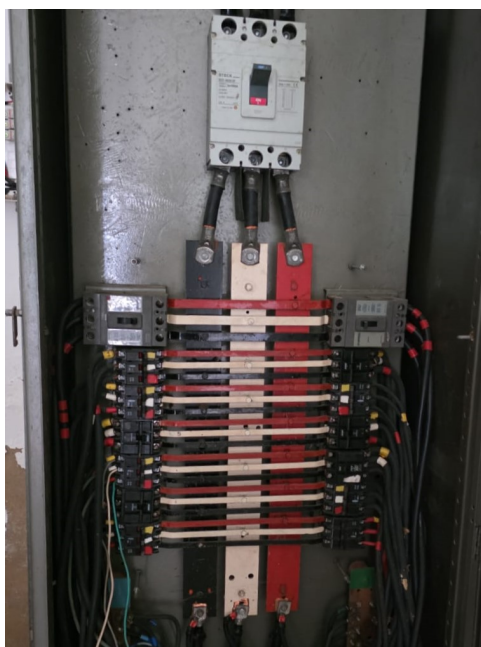


Fonte: Autora.

Adicionalmente, a falta de padronização dos cabos e a ausência de identificação nos quadros (Figura 5.10) contrariam as exigências de sinalização de advertência e identificação de circuitos previstas tanto na NR 10 (BRASIL, 2019) quanto na NBR 14039 (ABNT,

2021). A carência de etiquetas de identificação impede o reconhecimento imediato dos componentes, elevando o risco de erro humano durante manutenções e violando o princípio de segurança ocupacional de ambas as normas.

Figura 5.10 – Falta de padronização dos cabos e quadro.



Fonte: Autora.

O estudo de caso revelou padrões de consumo e vulnerabilidades físicas nas instalações. A partir dessas observações, o Capítulo 6 apresentará os Resultados e Discussão, confrontando os dados medidos com os limites normativos para um diagnóstico definitivo.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, os dados coletados são submetidos a uma análise técnica profunda frente às normas vigentes. Os resultados demonstram a conformidade (ou falta dela) do sistema elétrico do campus em relação à tensão e eficiência.

### 6.1 Análise da Tensão em Regime Permanente

A análise da tensão fase-neutro (Figuras 6.1 e 6.2) revela uma incidência significativa de registros nas faixas precária e crítica, conforme os critérios do PRODIST Módulo 8.

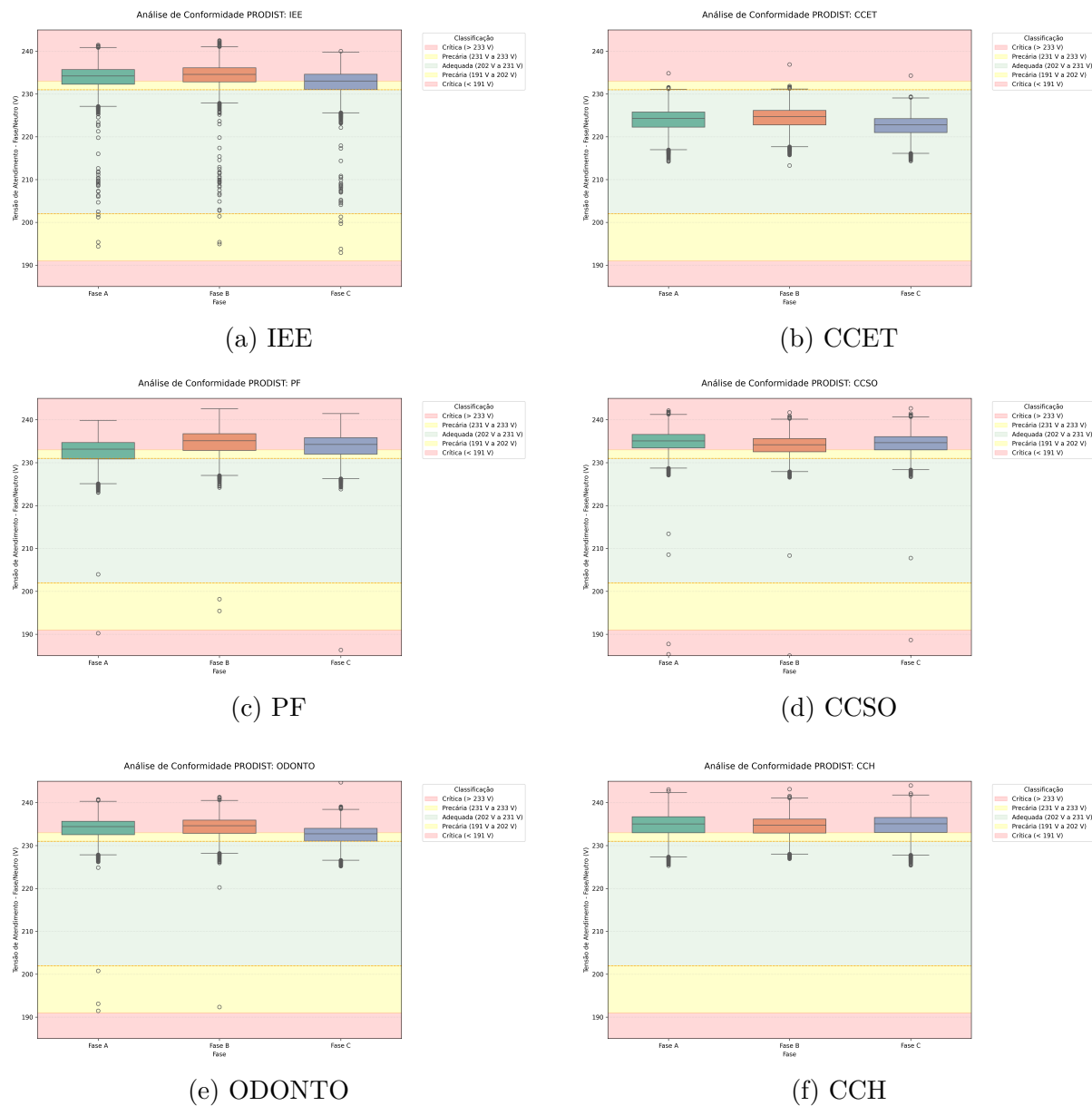
O monitoramento das grandezas elétricas nos seis prédios da universidade revela um cenário de heterogeneidade crítica. Enquanto o prédio do CCET destaca-se como o padrão de referência, operando com níveis de tensão em conformidade com os limites adequados do PRODIST (202V a 231V), os demais edifícios (IEE, ODONTO, Paulo Freire, CCH e CCSO) apresentam um quadro crônico de sobretensão. O fenômeno mais preocupante é a permanência das tensões de fase na zona crítica (acima de 233V), o que configura uma infração aos indicadores de continuidade e conformidade regulatória.

De maneira generalizada, a permanência dos níveis de tensão na zona crítica superior impõe a todos os equipamentos do campus um regime de funcionamento fora de suas especificações nominais de projeto.

Por fim, a divergência entre o CCET e os demais centros sugere que o problema pode não estar na rede de distribuição primária da concessionária, mas sim na configuração interna dos transformadores de baixa tensão ou no desequilíbrio de carregamento das fases dentro do campus.

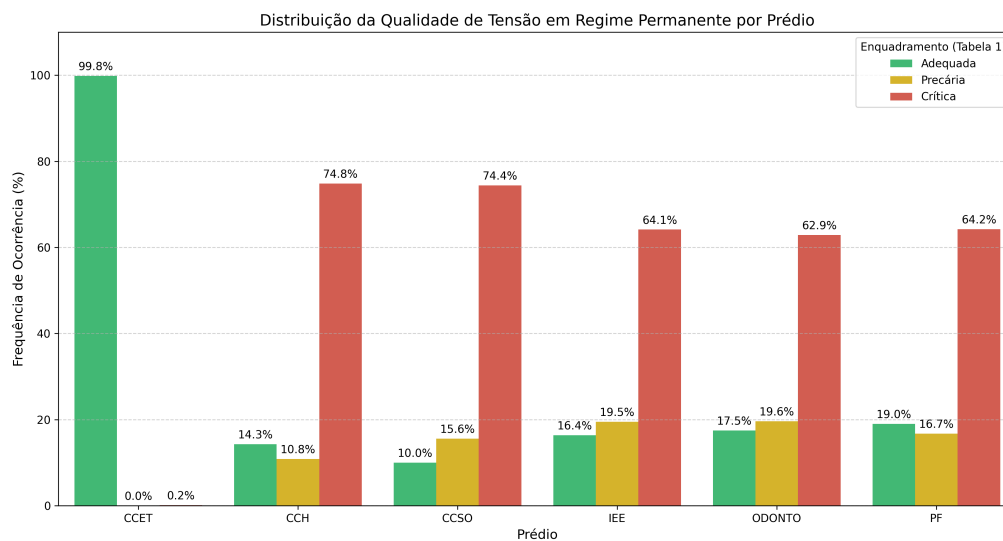
Para o monitoramento de grandezas elétricas, esses dados provam que a universidade não sofre apenas com a falta de energia, mas com uma energia de baixa qualidade. A correção desses níveis de tensão para o patamar nominal de 220V não apenas preservaria o patrimônio tecnológico, como também resultaria em uma economia direta na fatura de energia, reduzindo desperdícios por dissipação de calor em cargas puramente resistivas.

Figura 6.1 – Análise de conformidade da tensão em regime permanente para as edificações: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.



Fonte: Autora.

Figura 6.2 – Resumo da distribuição da qualidade de tensão em regime permanente por edificação.



Fonte: Autora.

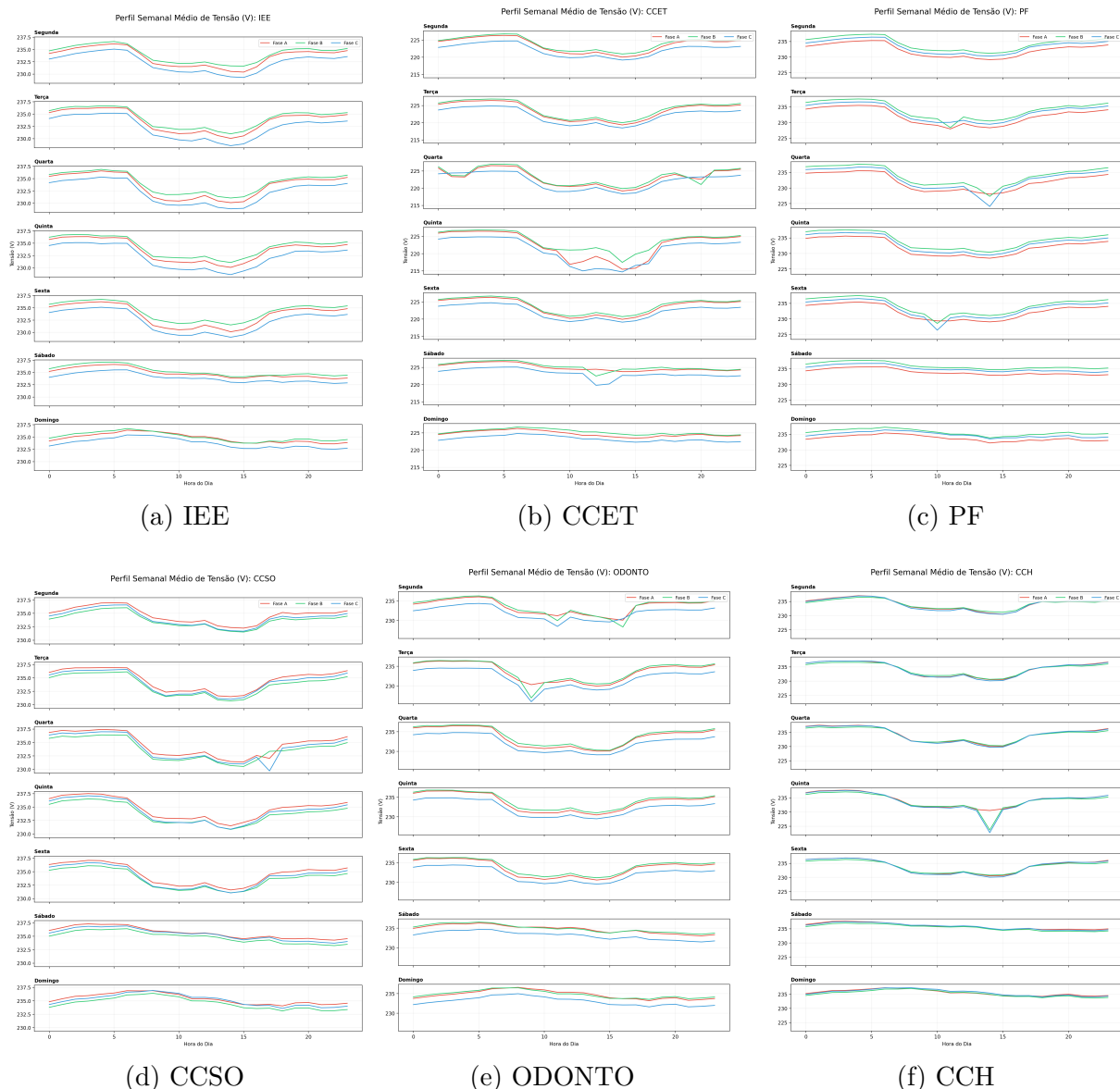
Com exceção do prédio do CCET, que mantém um perfil de estabilidade superior, as demais unidades apresentam dispersões que indicam violações frequentes dos limites de conformidade. Embora as médias globais aproximem-se dos valores nominais, a variabilidade estatística confirma a recorrência de desvios de tensão em intervalos específicos do período monitorado.

## 6.2 Distribuição Temporal da Tensão Elétrica

Os perfis semanais médios da tensão fase-neutro, ilustrados na Figura 6.3, revelam o comportamento da magnitude da tensão ao longo do ciclo diário e dos dias da semana. Observa-se um padrão recorrente de elevação dos níveis de tensão durante os períodos de madrugada e finais de semana, contrastando com reduções nos horários de maior atividade institucional.

Variações horárias e assimetrias pontuais entre as fases são verificadas, sugerindo associação entre a dinâmica de carga e a variação dos níveis de tensão ao longo do dia. Esse comportamento temporal está em consonância com as definições teóricas de variação de tensão associada ao carregamento da rede, refletindo a interação entre a impedância do sistema elétrico e a demanda variável das edificações.

Figura 6.3 – Perfis semanais médios de tensão fase-neutro por edificação.: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.



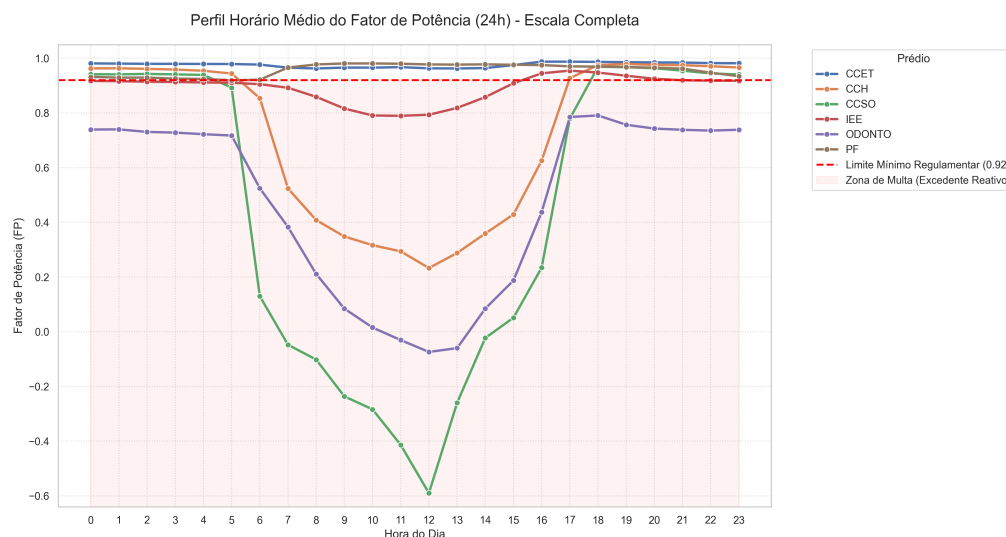
Fonte: Autora.

### 6.3 Análise do Fator de Potência

O fator de potência total, obtido por meio das medições de potência ativa e reativa, apresenta variações distintas ao longo do ciclo diário nas edificações monitoradas (Figura 6.4). Durante o período diurno, as unidades CCH, CCSO, IEE e ODONTO registram reduções acentuadas, com o indicador afastando-se do limite de 0,92 nos intervalos que coincidem com a maior demanda e com a curva de geração fotovoltaica, chegando a atingir valores negativos em momentos de pico solar. Em contraste, durante a madrugada, o fator de potência mantém-se estável e dentro dos limites normativos na maioria das edificações,

com exceção da unidade ODONTO, que manifesta comportamento discrepante nesse intervalo. Destaca-se, ainda, o desempenho das edificações CCET e PF, que demonstram maior estabilidade temporal, permanecendo majoritariamente em conformidade com os requisitos da Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL.

Figura 6.4 – Perfil horário médio do fator de potência por edificação.



Fonte: Autora.

## 6.4 Perfis Semanais de Corrente Elétrica

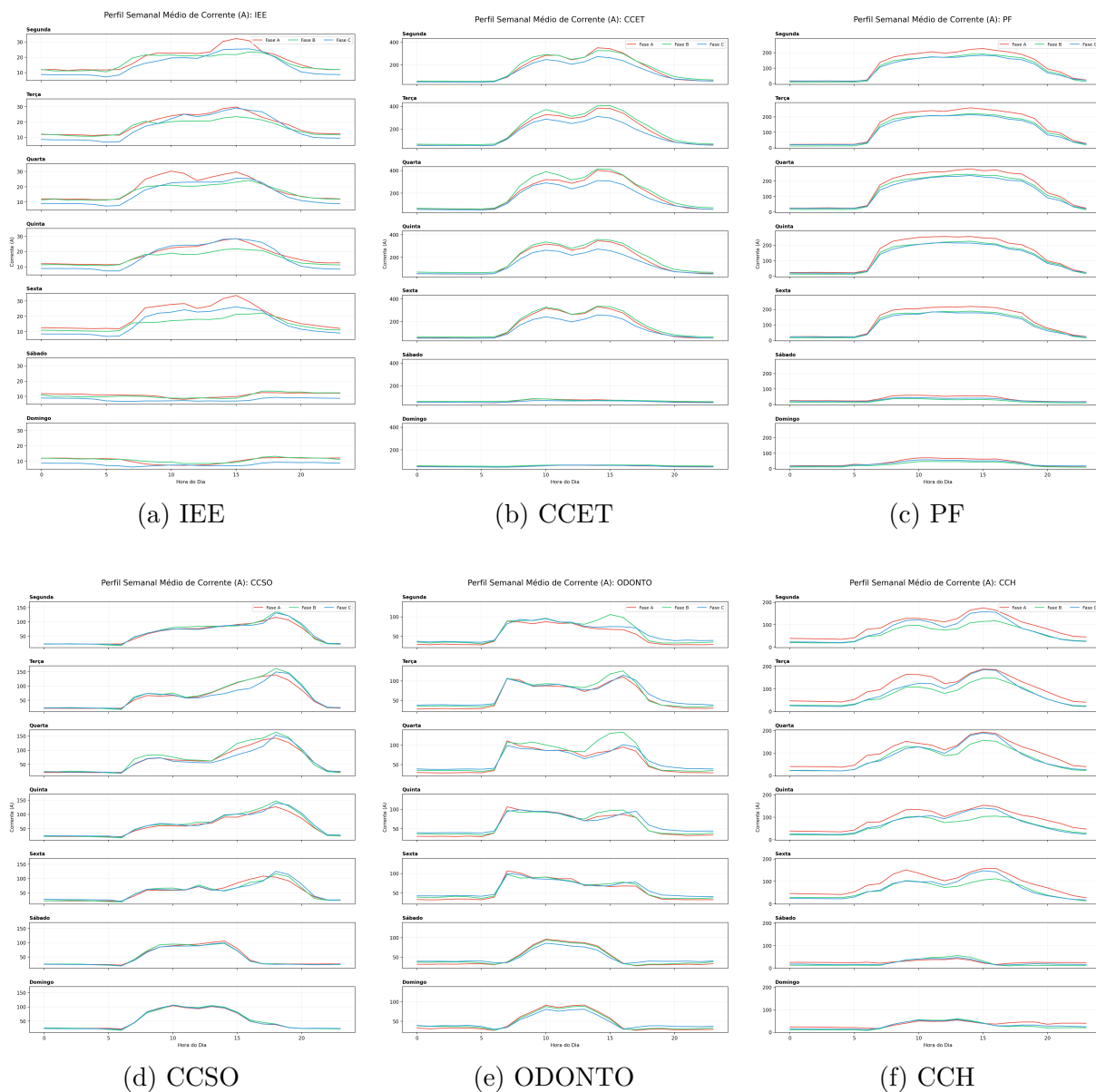
Os perfis semanais de corrente elétrica, apresentados na Figura 6.5, registram a intensidade da corrente em cada uma das três fases (A, B e C), diferenciando o comportamento entre dias úteis e finais de semana.

Nas unidades que possuem geração (CCET, CCH, CCSO, IEE e ODONTO), os gráficos de dias úteis evidenciam um ciclo de carga com início de elevação às 08h e queda acentuada após as 18h. Chama a atenção no CCSO o incremento significativo de corrente durante o período noturno, correspondente ao horário das atividades acadêmicas, seguido de um vale de consumo ao meio-dia. Em contrapartida, o prédio PF não apresenta essa diminuição no horário de almoço, mantendo a demanda estável, padrão associado à operação do restaurante universitário localizado dentro do edifício.

Além disso, os dados revelam assimetrias recorrentes entre as fases em todos os prédios monitorados, com uma das fases operando em patamares superiores às demais durante os picos de carga. Aos finais de semana, observa-se uma redução expressiva da corrente elétrica em todas as edificações, embora o comportamento varie entre as unidades. Enquanto a maioria dos prédios atinge patamares mínimos e homogêneos de carga de base, as unidades CCSO e ODONTO mantêm um perfil de consumo residual superior e uma oscilação horária perceptível, ainda que em magnitudes reduzidas em comparação aos dias

úteis. Esse comportamento indica a persistência de atividades operacionais ou ocupação institucional remanescente nessas dependências durante o período, diferenciando-as do regime de repouso absoluto observado nas demais instalações monitoradas.

Figura 6.5 – Perfis semanais médios de corrente elétrica por edificação.: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.



Fonte: Autora.

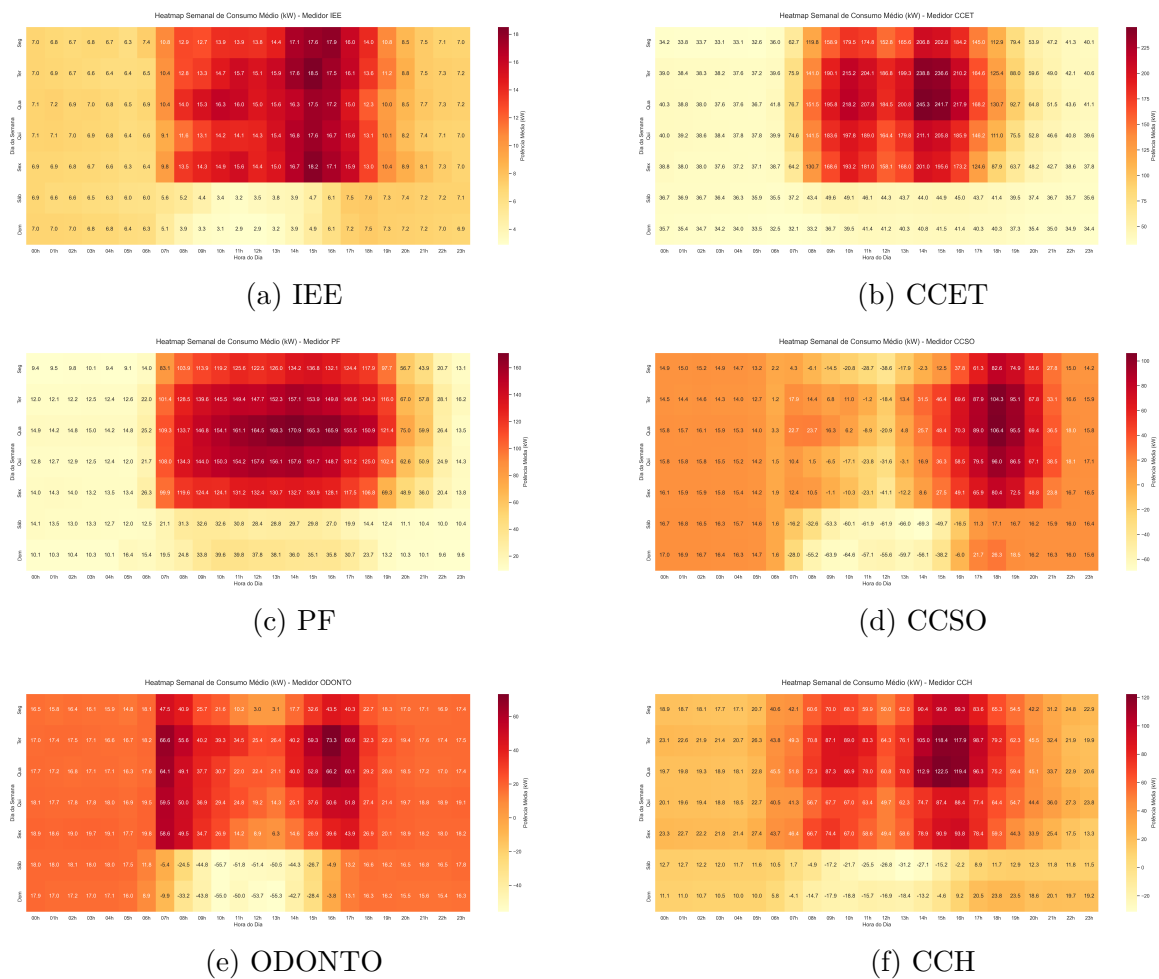
## 6.5 Análise Temporal do Consumo de Energia

O consumo médio semanal, derivado da energia ativa medida, é apresentado por meio dos mapas de calor ilustrados na Figura 6.6. Os resultados evidenciam uma distribuição de carga concentrada nos dias úteis, com recorrências temporais que delimitam

os períodos de atividade institucional. Edificações como CCET e PF registram os maiores volumes de energia consumida, enquanto o IEE apresenta comportamento similar em escala reduzida.

Chama a atenção a manutenção de uma carga de base elevada durante os períodos de madrugada em unidades como CCSO, ODONTO e CCH, contrastando com os valores base observados nas demais instalações. A visualização temporal permite, assim, distinguir a estabilidade da carga de base e a variabilidade da carga operativa, vinculada ao ciclo de ocupação e às características específicas de uso de cada edificação.

Figura 6.6 – Análise Temporal do Consumo Médio Semanal: (a) IEE, (b) CCET, (c) PF, (d) CCSO, (e) ODONTO e (f) CCH.



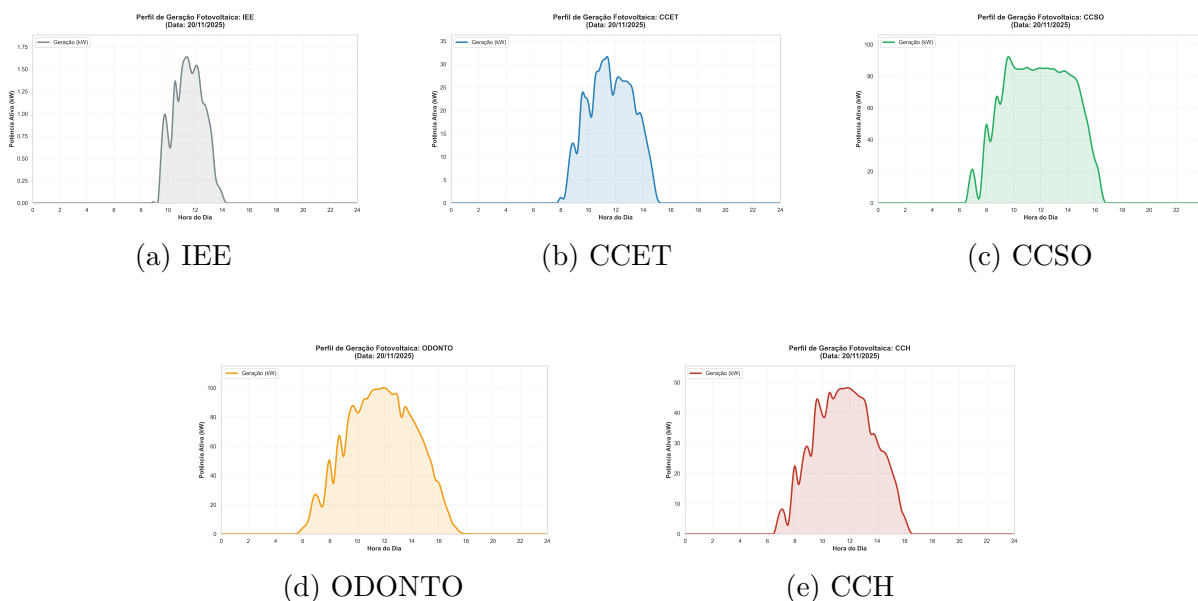
Fonte: Autora.

## 6.6 Impacto da Geração Fotovoltaica e Emissões Evitadas

A geração fotovoltaica se restringe aos prédios do IEE, CCET, CCSO, ODONTO e CCH. Pode-se observar que as curvas de geração dos sistemas apresentadas na Figura 6.7

acompanham a curva de irradiação da Figura 4.3. É importante destacar que as curvas de geração levem em consideração apenas um dia em comum em que todas os sistemas fotovoltaicos dos prédios analisados estavam funcionando. Ainda, é possível observar pequenas quedas no formato da curva que indicam a passagem de nuvens.

Figura 6.7 – Comparativo de geração fotovoltaica em um mesmo dia: (a) IEE, (b) CCET, (c) CCSO, (d) ODONTO e (e) CCH.

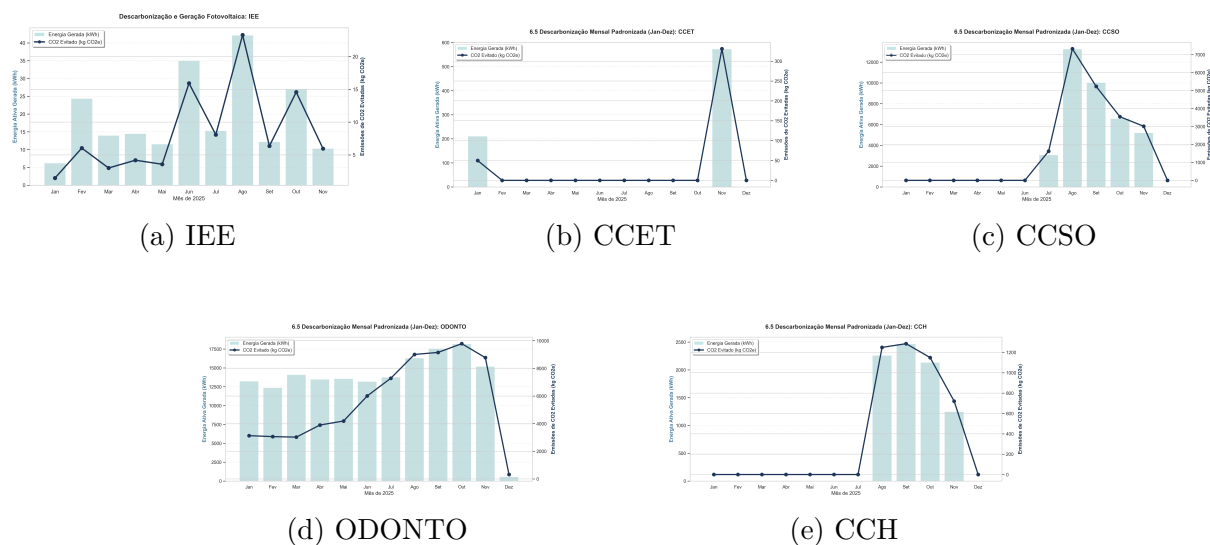


Fonte: Autora.

A análise do impacto ambiental considera a geração fotovoltaica real e a estimativa de descarbonização associada. Conforme apresentado na Figura 6.8, a geração atinge seus valores máximos em concordância com a disponibilidade solar, apresentando contribuição energética relevante nas unidades CCSO, ODONTO e CCH.

As emissões evitadas de CO<sub>2</sub> foram quantificadas com base nos fatores de emissão do SIN, resultando em uma estimativa de aproximadamente 45,4 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas no ano de 2025. Essa avaliação está alinhada às diretrizes da ABNT NBR ISO 50006, utilizando o desempenho energético como base para a quantificação de benefícios ambientais decorrentes da substituição parcial da energia da rede por fonte renovável local.

Figura 6.8 – Geração de energia e emissões evitadas de CO<sub>2</sub>: (a) IEE, (b) CCET, (c) CCSO, (d) ODONTO e (e) CCH.



Fonte: Autora.

## 6.7 Eventos de Variação de Tensão de Curta Duração

Nesta seção, analisam-se os registros de afundamentos de tensão (*sags*), sobretensões críticas e elevações temporárias de tensão (*swells*). A concentração horária desses eventos, apresentada na Figura 6.9, revela padrões temporais distintos, nos quais os afundamentos predominam nos períodos de maior carga, enquanto as sobretensões são mais frequentes em intervalos de carga reduzida.

Os eventos são classificados conforme as faixas de severidade definidas pelo PRODIST, permitindo associar a ocorrência de distúrbios de curta duração aos regimes de carregamento observados, bem como à resposta dinâmica das cargas conectadas ao sistema elétrico do campus.



# 7 Proposta de boas práticas para gestão de energia

A transição de um sistema de monitoramento passivo para uma gestão energética ativa exige a tradução dos dados técnicos em ações operacionais concretas. Este capítulo consolida as recomendações estratégicas destinadas à otimização dos recursos elétricos no campus, fundamentando-se na necessidade de mitigar as desconformidades críticas identificadas nos capítulos anteriores. Para assegurar uma abordagem sistêmica, as recomendações foram divididas em dois eixos principais: a gestão analítica da eficiência energética e a adequação normativa da infraestrutura física das subestações.

## 7.1 Diretrizes para Gestão e Eficiência Energética

- **Ajuste dos Níveis de Tensão:** Realizar a readequação dos taps dos transformadores de baixa tensão para garantir que a tensão de fase-neutro retorne ao patamar nominal de 220 V. As medições indicam que a maioria dos prédios opera em zona crítica superior ( $> 233$  V), o que gera desperdício por dissipação térmica e reduz a vida útil dos ativos.
- **Correção do Fator de Potência:** Implementar ou ajustar bancos de capacitores automáticos nas unidades CCH, CCSO, IEE e ODONTO, visando manter o  $FP \geq 0,92$ . Observou-se que a inserção da geração fotovoltaica e a alta demanda diurna deslocam esse indicador para fora dos limites regulatórios.
- **Gestão de Consumo em Horário de Repouso:** Utilizar os dados de carga base obtidos (ex: 40 kW no CCET e 18 kW no CCSO) para programar o desligamento automatizado de sistemas de climatização e iluminação não essenciais durante madrugadas e finais de semana.

## 7.2 Diretrizes para Infraestrutura e Segurança das Subestações

- **Restrição de Acesso e Limpeza:** Manter o ambiente interno das subestações com acesso restrito e livre de materiais estranhos, como os depósitos e entulhos identificados nas inspeções. Conforme a NR 10 (BRASIL, 2019), apenas trabalhadores autorizados e capacitados devem intervir em áreas de risco elétrico. A desobstrução é fundamental para garantir a ventilação natural dos transformadores e o acesso rápido aos dispositivos de manobra em situações de emergência.

- **Padronização e Identificação:** Regularizar a padronização de cabos e quadros, eliminando emendas irregulares. É obrigação legal da NR 10 (BRASIL, 2019) que todos os painéis possuam identificação clara, sinalização de advertência de risco de choque e iluminação de emergência funcional para garantir a integridade dos operadores durante as atividades.
- **Proteção de Barramentos:** Isolar barramentos trifásicos expostos para garantir a segurança operacional e evitar arcos elétricos acidentais, em conformidade com os requisitos de proteção contra contatos diretos da NBR 5410 (ABNT, 2004) e da NBR 14039 (ABNT, 2021).
- **Manutenção do Sistema de Aterramento:** Realizar inspeções periódicas na malha de terra e conexões seguindo as diretrizes da NBR 14039 (ABNT, 2021). Esta norma define os limites de resistência de aterramento e a obrigatoriedade da equipotencialização de todas as massas metálicas, medida essencial para mitigar tensões de passo e toque perigosas em caso de faltas.

## 8 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise detalhada da gestão dos recursos elétricos no campus da UFMA - Bacanga, fundamentada no monitoramento da qualidade de energia e na avaliação física das subestações de seis unidades distintas (IEE, CCET, PF, CCSO, ODONTO e CCH). O estudo cumpriu seu objetivo central ao diagnosticar os padrões de consumo e identificar desconformidades críticas que impactam diretamente a eficiência energética e a segurança operacional da instituição.

Os resultados revelaram que o CCET apresenta o maior consumo e demanda máxima, acompanhado de um desequilíbrio de fases acentuado, o que exige uma reestruturação na distribuição de cargas. Em contrapartida, unidades como o IEE e o PF demonstraram perfis de consumo mais estáveis. No entanto, o problema identificado transcende as grandezas elétricas: a avaliação das subestações expôs um cenário de negligência normativa, elementos construtivos precários, ventilação deficiente e conexões irregulares. Esta situação configura um descumprimento não apenas das diretrizes da concessionária (EQUATORIAL, 2024), mas também das normas federais de segurança (NR 10) (BRASIL, 2019) e técnicas nacionais (NBR 14039) (ABNT, 2021) e (NBR 5410) (ABNT, 2004).

A identificação desses gargalos reforça a urgência das intervenções propostas para mitigar riscos de acidentes e garantir a continuidade do fornecimento elétrico para a universidade. A implementação de rotinas de manutenção preditiva, o deslocamento de cargas para horários de menor demanda e a adequação física das subestações são medidas estratégicas fundamentais para reduzir custos operacionais, atenuar as desconformidades e assegurar a sustentabilidade energética das atividades acadêmicas e laboratoriais.

Como trabalhos futuros, vislumbra-se a expansão do sistema de monitoramento para as demais unidades do campus, a integração de medições de consumo de água para uma gestão de utilidades completa e o desenvolvimento de um painel de indicadores (*dashboard*) em tempo real. Tais ferramentas consolidarão o campus da UFMA como um ambiente de cidade inteligente, onde a tomada de decisão é baseada em dados precisos para a otimização contínua dos recursos energéticos.

## Referências

- ABNT. *ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Válida a partir de 2005. Citado 7 vezes nas páginas 19, 20, 21, 36, 48, 61 e 62.
- ABNT. *ABNT NBR ISO 50001: Sistemas de gestão de energia — Requisitos com orientações para uso*. 2018. Citado na página 25.
- ABNT. *ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. Rio de Janeiro, 2021. Terceira edição. Citado 6 vezes nas páginas 20, 21, 47, 49, 61 e 62.
- ABNT. *ABNT NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Edição 2018/Em1:2024. Citado 3 vezes nas páginas 19, 36 e 37.
- ABNT. *ABNT NBR ISO 50006: Sistemas de gestão de energia - Avaliação do desempenho energético utilizando indicadores de desempenho energético (IDE) e linhas de base energética (LBE)*. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 36.
- ALMEIDA, A. de. *A utilização dos critérios da ABNT NBR ISO 50001 na elaboração de um modelo de gestão energética para o IFRO Campus Porto Velho Calama*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Estratégia)) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Porto Velho, 2024. Citado na página 29.
- ALMEIDA, T. C. S. M. de; LOPES, M. A. de O.; QUEIROZ, L. F.; RIBEIRO, F. F.; PINTO, A. E. M.; COSTA, B. B. F. da. Eficiência energética em universidades federais brasileiras: As principais práticas adotadas. *Revista Boletim do Gerenciamento*, v. 13, p. 105–116, 2025. Disponível em: <<http://www.nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento>>. Citado na página 29.
- ANEEL. *Programa de Eficiência Energética (PEE)*. Acessado em: 20 nov. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica>>. Citado na página 26.
- ANEEL. *PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. Brasília, DF, 2021. Versão vigente em 2025. Citado 4 vezes nas páginas 18, 19, 23 e 36.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021: Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica*. Brasília, DF, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 19, 23, 32 e 36.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR IEC 61000-4-30: Compatibilidade eletromagnética (EMC) - Parte 4-30: Técnicas de ensaio e medição - Métodos de medição de qualidade de energia*. Rio de Janeiro, 2023. Identical to IEC 61000-4-30:2015. Citado na página 23.
- BESSA, P. H. da S. *Práticas de gestão sustentável no campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)*. Monografia (Trabalho Final de Curso (Engenharia Ambiental)) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Citado na página 29.

BOTELHO, M. P. *Análise de projeto de eficiência energética em instituição do segmento de educação*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção)) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Citado na página 29.

BRASIL. *NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade*. Brasília, DF, 2019. Texto dado pela Portaria MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004, com atualizações até 2019. Citado 7 vezes nas páginas 20, 21, 46, 48, 60, 61 e 62.

CARMO, I. F. do. *Análise dos Impactos Ambientais dos Sistemas Fotovoltaicos: Uma projeção das políticas públicas e limites críticos*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental)) — Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis-MT, 2024. Citado na página 24.

CARVALHO, E. L. N.; SILVEIRA, P. M.; PASSOS, F. O.; FILHO, J. M. D. C.; CLÉ, T.; MARIANO, I. C.; COSTA, M. V.; CARNEIRO, J. R.; PEREIRA, N.; FILHO, J. M. Gerenciamento de qualidade da energia elétrica. In: *Congresso Brasileiro de Automática-CBA*. [S.l.: s.n.], 2019. v. 1, n. 1. Citado na página 26.

CASTRO, N. d.; FERREIRA, D.; CASTRO, G.; SAMPAIO, A. *Qualidade do fornecimento de energia elétrica: aspectos regulatórios e perspectivas*. Rio de Janeiro: Publit, 2017. 27 p. (Texto de discussão do setor elétrico, 76). Inclui bibliografia; Trabalho do Grupo de Estudos do Setor Elétrico UFRJ. ISBN 978-85-93305-42-9. Citado na página 17.

EPE. *Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024*. Rio de Janeiro, 2025. Publicação anual de competência do Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-771/Relat%C3%B3rio%20Final\\_BEN%202025.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-771/Relat%C3%B3rio%20Final_BEN%202025.pdf)>. Citado na página 14.

(EPE), E. de P. E. *Aprimoramento na Metodologia de Estimacão da Geraçao de Microgeradores e Minigeradores Fotovoltaicos Distribuídos*. Rio de Janeiro, 2023. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 35.

EQUATORIAL. *NT.00026.EQTL: Critérios de Projeto de Subestações*. 00. ed. São Luís, 2024. Citado 5 vezes nas páginas 20, 21, 46, 48 e 62.

GHETTINO, M. *Análise de Qualidade da Energia Elétrica em uma Empresa do Setor Alimentício: Um Estudo de Caso*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, PR, 2024. Bacharel em Engenharia Elétrica. Orientador: Marcelo Gonçalves Trentin. Disponível em: <[Aprovadoem14deagostode2024](#)>. Citado na página 17.

Ginlong Solis. *SolisCloud: Intelligent PV Monitoring Platform*. 2026. Acessado em: 27 nov. de 2025. Disponível em: <<https://www.soliscloud.com/>>. Citado na página 36.

GÓMEZ, J.; FARIÑA, J.; ORTIGOZA, E.; CORONEL, T.; GONZÁLEZ, A.; OXILIA, V. Energy management in buildings—iso 50001: A review. In: IEEE. *2024 IEEE International Conference on Automation/XXVI Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*. [S.l.], 2024. p. 1–6. Citado na página 25.

IEE. *Instituto de Energia Elétrica*. 2025. Acessado em 28/11/2025. Disponível em: <<https://portalpadrao.ufma.br/iee>>. Citado na página 38.

(IMESC), I. M. de Estudos Socioeconômicos e C. *Potencial de geração de energia solar em prédios públicos: estudo de caso do Centro Administrativo do Governo do Estado do Maranhão*. São Luís: IMESC, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 35.

JASIM, N. I.; GUNASEKARAN, S. S.; ALDAHOUL, N.; AHMED, A. N.; EL-SHAFIE, A.; SHERIF, M.; MAHMOUD, M. A. Toward sustainable campus energy management: A comprehensive review of energy management, predictive algorithms, and recommendations. *Energy Nexus*, Elsevier, p. 100435, 2025. Citado na página 25.

JUNIOR, N. de J. S.; CARVALHO, A. S.; LIMA, S. L. de; LOPES, D.; BARCELOS, S. L. Monitoramento e análise do consumo de energia elétrica com dados de sensores de medição em prédios da UFMA. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*. Brasil: SBA, 2025. Citado 3 vezes nas páginas 14, 40 e 41.

MARQUES, A. F. de M. *Estudo da qualidade da energia elétrica fornecida ao IFBA - Campus de Paulo Afonso*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica)) — Instituto Federal da Bahia, Paulo Afonso, 2018. Citado na página 29.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. *Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono por Consumo de Energia Elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil*. Brasília, DF: [s.n.], 2025. SIRENE - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Dados referentes ao ano de 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em: 30 dez. 2025. Citado na página 20.

MONTEIRO, F. A. da S. *Análise do impacto da qualidade de energia na rede elétrica do campus central da UFRN com a inserção de geração solar fotovoltaica*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Elétrica)) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024. Citado na página 28.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. *Circuitos Elétricos*. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2016. ISBN 978-85-430-0478-5. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

Novus. *Telik Trafo: Manual de Instruções V1.0x B*. Canoas, RS, 2023. Disponível em: <<https://www.novus.com.br>>. Acesso em: 29 dez. 2025. Disponível em: <<https://www.novus.com.br>>. Citado na página 32.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. *Relatórios e Iniciativas de Eficiência Energética*. 2023. Acesso em: 10 out. 2023. Disponível em: <<https://www.procelinfo.com.br>>. Citado na página 26.

REMIGIO-CARMONA, P.; ROSA, J. J. de la; FLORENCIAS-OLIVEROS, O.; SIERRA-FERNÁNDEZ, J.-M.; FERNÁNDEZ-MORALES, J.; GAVIRA, M. E.; AGÜERA-PÉREZ, A.; PALOMARES-SALAS, J. Current status and future trends of power quality analysis. *Energies*, v. 15, p. 2328, 03 2022. Citado na página 17.

Santos Junior, N. de J. *GreenFramework: Um Framework para Monitoramento Inteligente de Recursos Energéticos em Cidades Inteligentes*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal do Maranhão, São Luís, março 2025. Citado 4 vezes nas páginas 31, 32, 33 e 34.

SHAFIE, S.; NU'MAN, A.; YUSUF, N. Strategy in energy efficiency management: University campus. *International Journal of Energy Economics and Policy*, v. 11, n. 5, p. 310–313, 2021. Citado na página 25.

SILVA, L. C. *Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica em um Campus Universitário*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Citado na página 28.

TRINDADE, C. Q. da. *Eficiência Energética com Base nos Critérios PROCEL EDIFICA: Estudo de Caso em Edificações da Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde - GO, 2020. Citado na página 14.

UFMA. *Portal das Profissões*. 2025. Acessado em 28/11/2025. Disponível em: <<https://portalpadrao.ufma.br/profissoes/nossos-centros-academicos/campus-sao-luis>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

VIEIRA, M. C. R. et al. A importância da eficiência energética na redução do consumo de energia elétrica. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2025. Citado na página 26.