



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ELIEL TAMILO CUNHA DE LIMA

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE ENSINO**

MOSSORÓ

2024

ELIEL TAMILO CUNHA DE LIMA

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Orientador: Prof. Dr. Victor de Paula Brandão Aguiar

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério Diogne de Souza e Silva

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

LE42a Lima, Eliel Tamilo Cunha.
Análise do impacto da geração distribuída e de ações de eficiência energética no desempenho energético de uma edificação de ensino / Eliel Tamilo Cunha Lima. - 2024.
132 f. : il.

Orientador: Victor de Paula Brandão Aguiar.
Coorientador: Rogério Diogne de Souza e Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em , 2024.

1. Eficiência Energética. 2. Gestão Energética. 3. Edificação Pública. 4. Indicador de Desempenho Energético. 5. Qualidade da Energia.
I. Aguiar, Victor de Paula Brandão, orient. II. de Souza e Silva, Rogério Diogne , co-orient.
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELIEL TAMILO CUNHA DE LIMA

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Defendida em: 26 / 03 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **VICTOR DE PAULA BRANDAO AGUIAR**
Data: 14/06/2024 11:03:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Victor de Paula Brandão Aguiar, Prof. Dr.
(UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **EDNARDO PEREIRA DA ROCHA**
Data: 17/06/2024 18:34:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ednardo Pereira da Rocha, Prof. Dr.
(UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO DIOGNE DE SOUZA E SILVA**
Data: 17/06/2024 16:47:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rogério Diogne de Souza e Silva, Prof. Dr.
(UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **JULIANO COSTA LEAL DA SILVA**
Data: 18/06/2024 09:15:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juliano Costa Leal da Silva, Prof. Dr.
(IFRN)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO SILVA THE PONTES**
Data: 17/06/2024 16:10:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ricardo Silva Thé Pontes, Prof. Dr. (UFC)
Membro Examinador

*À minha esposa Jessica Rutiely, minha apoiadora incondicional.
E a minha filha Lílian Cecília, o meu maior incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me abençoou e me fez chegar até aqui, derramando sobre a minha vida a força, encorajamento, consolo em momentos difíceis e graça para suportar todo esse processo.

A minha amada esposa, Jessica Rutiely, por todo amor, cuidado e apoio incondicional ao longo deste trabalho, sem os quais eu não teria conseguido. Por ter suportado a minha ausência, inclusive nos momentos mais difíceis, com paciência e compreensão.

Aos meus pais, Antônio Tadeu e Luzia Cristina, por todo empenho e esforço, apoio e incentivo, concedidos ao longo de toda a minha vida.

A minha irmã Elaine Maelly, pelo incentivo, companhia e amor ao longo deste trabalho.

Aos colegas de trabalho do IFRN *Campus* Ipanguaçu, especificamente da DIAD/IP, por todo apoio, incentivo e compreensão ao longo desse trabalho.

Aos colegas do PPGEE da UFERSA, Júnior Nogueira e José Neto, pela amizade e companheirismo.

Aos meus orientadores, professor Dr. Victor de Paula Brandão Aguiar e professor Dr. Rogério Diogne de Souza e Silva, por todo apoio, dedicação e cuidado ao longo deste trabalho.

A todos os professores do PPGEE da UFERSA, pela dedicação no ensino, pesquisa e extensão.

“Posso todas as coisas naquele que me fortalece”.

Apóstolo Paulo (Fp 4:13)

RESUMO

A temática da Eficiência Energética vem ganhando ênfase, principalmente nos últimos anos, em virtude do aumento da demanda de energia elétrica e dos problemas ambientais relacionados as etapas de geração e consumo de energia elétrica. Nesse contexto, a aplicação de ações, bem como tecnologias, que contribuam para a eficiência energética têm se tornado uma das principais estratégias de pequenos e grandes consumidores para minimizar os custos com energia elétrica e atender a critério ambientais, principalmente em instituições públicas de ensino, que sofrem com constantes cortes e contingenciamento de recursos. Entretanto, a aplicação destas estratégias nem sempre é tão simples, pois, exige conhecimento e um trabalho contínuo de acompanhamento e medições, o que muitas vezes inviabiliza sua aplicação permanente em uma determinada instalação. Por isso, a aplicação de um sistema de gestão energética se faz necessário e viável, pois, por meio de uma metodologia estruturada e um planejamento estratégico, a eficiência energética pode ser alcançada, contribuindo para um melhor desempenho energético de uma instalação. Com base no exposto, este estudo propôs analisar o impacto da geração distribuída e de ações de eficiência energética no desempenho energético de uma edificação pública de ensino, isso, com base na aplicação da metodologia de um Sistema de Gestão Energética (SGE) proposta pela ISO 50001, através da análise da variabilidade de Indicadores de Desempenho Energético (IDE). Para tanto, uma revisão energética foi realizada, a fim de se obter informações das instalações elétricas da edificação. Nessa etapa foram verificados alguns problemas relativos à qualidade da energia, principalmente na variável tensão elétrica, que em alguns momentos atingiu valores superiores a 400V, impactando no desempenho energético da edificação. Em seguida, foram definidos os IDE necessários para realizar análise do impacto da geração distribuída e de ações de eficiência energética no desempenho energético da edificação.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Gestão Energética. Edificação Pública. Indicador de Desempenho Energético (IDE). Qualidade da Energia Elétrica (QEE).

ABSTRACT

The theme of Energy Efficiency has been gaining emphasis, especially in recent years, due to the increased demand for electricity and environmental problems related to the stages of generation and consumption of electricity. In this context, the application of actions, as well as technologies, that contribute to energy efficiency have become one of the main strategies of small and large consumers to minimize electricity costs and meet the environmental criteria, institutions, which suffer from constant cuts and contingency of resources. However, the application of these strategies is not always so simple, because it requires knowledge and a continuous work of monitoring and measurements, which often makes its permanent application in a given installation unfeasible. Therefore, the application of an energy management system is necessary and feasible, because, through a structured methodology and strategic planning, energy efficiency can be achieved, contributing to a better energy performance of an installation. Based on the above, this study aims to analyze the impact of distributed generation and energy efficiency actions on the energy performance of a public educational building, based on the application of the methodology of an Energy Management System (EMS) proposed by ISO 50001, through the variability of Energy Performance Indicators (EPI). Therefore, an energy audit was carried out in order to obtain information on the electrical installations of the building. At this stage, some problems related to energy quality were selected, mainly in variable electrical voltage, which at times reached values above 400V, impacting the energy performance of the building. Then, it was defined the EPI needed to perform analysis of the impact of distributed generation and energy efficiency actions on the energy performance of the building.

Keywords: Energy Efficiency. Energy Management. Public Building. Energy Performance Indicator (EPI). Power Quality (PQ).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação setorial no consumo de eletricidade (ano base 2021).....	17
Figura 2 – Variação do consumo setorial de eletricidade (2020 – 2021).....	18
Figura 3 – Relação entre emissão de CO ₂ e (toneladas) e geração de energia (GWh).....	19
Figura 4 - Ciclo <i>Plan-Do-Check-Act</i> (PDCA).....	25
Figura 5 - Relação entre desempenho energético, IDE, LBE e metas energéticas.....	28
Figura 6 – Diagrama simplificado da interação sistema-carga.....	30
Figura 7 – Forma de onda de tensão elétrica distorcida por harmônicos de ordem ímpares	32
Figura 8 – Faixas de tensão em relação a referência.....	36
Figura 9 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição.....	38
Figura 10 – Fluxograma da metodologia e procedimentos empregados neste trabalho.....	40
Figura 11 – Vista aérea do IFRN Campus Ipangaçu.....	41
Figura 12 – Disjuntor MT 15 kV – Proteção AT.....	42
Figura 13 – Transformador SE – 01 (225kVA).....	43
Figura 14 - Transformador SE – 02 (112,5 kVA).....	43
Figura 15 – GMG – IP – 01 (260 kVA).....	44
Figura 16 - GMG – IP – 02 (260 kVA).....	44
Figura 17 - GMG – IP – 03 (55 kVA)	45
Figura 18 – Vista aérea das UFV 02, 03 e 04.....	45
Figura 19 – Imagem aérea da UFV 01, partes A e B.....	46
Figura 20 – Diagrama Fence da fronteira de análise SE – 01 e SE - 02.....	46
Figura 21 – Analisador de energia utilizado nas medições.....	48
Figura 22 – Esquema de conexão do analisador.....	49
Figura 23 – Conexão do analisador ao TRAF0 SE - 02.....	49
Figura 24 – Conexão do analisador ao TRAF0 SE - 01.....	50
Figura 25 – Curva do consumo de energia no transformador SE – 01.....	56
Figura 26 – Curva do consumo de energia no transformador SE - 02.....	57
Figura 27 – Curva de potência ativa do SE – 02 e UFV – 01 (23/11/2022).....	58
Figura 28 – Uso Significativo de Energia no TRAF0 SE - 01.....	59
Figura 29 – Uso Significativo de Energia no TRAF0 SE – 02.....	60
Figura 30 – Curva de Potência Ativa (P) ao longo do dia 15/12/2022 (quinta-feira).....	61

Figura 31 – Curva de Potência Ativa (P) ao longo do dia 16/12/2022 (sexta-feira).....	61
Figura 32 – Curva de Potência Ativa (P) ao longo do dia 17/12/2022 (sábado).....	61
Figura 33 – Curva de Potência Ativa (P) ao longo do dia 18/12/2022 (domingo).....	61
Figura 34 – Energia gerada pela UFV 03 em cada dia do período de análise.....	62
Figura 35 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 22/11/2022 (terça-feira).....	62
Figura 36 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 23/11/2022 (quarta-feira).....	63
Figura 37 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 24/11/2022 (quinta-feira).....	63
Figura 38 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 25/11/2022 (sexta-feira).....	63
Figura 39 – Energia gerada pela UFV 01 em cada dia do período de análise.....	64
Figura 40 – Comportamento do IDE CMA em cada período analisado.....	66
Figura 41 – Comportamento do IDE CMS em cada período analisado.....	67
Figura 42 – Gráfico da Correlação de Pearson (Potência Ativa por Temperatura Inst.).....	69
Figura 43 – Comportamento do IDE CMM em cada período analisado.....	71
Figura 44 – Consumo total de energia ao longo do período analisado.....	73
Figura 45 – Comportamento do IDE CMA no período analisado.....	74
Figura 46 – Comportamento do IDE CMS no período analisado.....	75
Figura 47 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por número de alunos).....	76
Figura 48 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por número de servidores).....	76
Figura 49 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por dias letivos no mês).....	78
Figura 50 – Comportamento do IDE CMM no período analisado.....	79
Figura 51 – Gráfico da Correlação de Pearson (consumo por área em m ²).....	80
Figura 52 – Curva de tensão ao longo do dia 23/11/2022 (quarta-feira).....	83
Figura 53 – Curva de tensão ao longo do dia 24/11/2022 (quinta-feira).....	83
Figura 54 – Curva de tensão ao longo do dia 25/11/2022 (sexta-feira).....	83
Figura 55 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (23/11/2022).....	84
Figura 56 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (24/11/2022).....	85
Figura 57 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (25/11/2022).....	85
Figura 58 – Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa (23/11/2022).....	87
Figura 59 – Curva de potência reativa (Q) total (23/11/2022).....	89
Figura 60 – Linha de tendência do FP (23/11/2022).....	90
Figura 61 – Registro das distorções harmônicas totais de tensão por fase ao longo do período de medição.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normas pertencentes a família ISO 50001.....	23
Tabela 2 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).....	34
Tabela 3 – Classificação do tipo de tensão de fornecimento.....	37
Tabela 4 – Dados do sistema elétrico e contratuais.....	42
Tabela 5 – Características dos transformadores do IFRN Ipanguaçu.....	43
Tabela 6 – Características dos GMGs do Campus Ipanguaçu.....	44
Tabela 7 – Informações das UFVs do campus Ipanguaçu.....	45
Tabela 8 – Informações das medições realizadas nos transformadores SE – 01 e SE – 02	48
Tabela 9 – Período de análise dos dados da UFV 03.....	51
Tabela 10 – Período de análise dos dados da UFV 01.....	52
Tabela 11 – Levantamento de carga instalada no TRAFO SE – 01.....	59
Tabela 12 – Levantamento de carga instalada no TRAFO SE – 02.....	60
Tabela 13 – Período de medição e consumo de energia do TRAFO SE - 02.....	66
Tabela 14 – Ocupação e consumo dos ambientes ligados ao TRAFO SE - 02.....	67
Tabela 15 – Valores do Índice de consumo médio por aluno (CMA) obtidos.....	67
Tabela 16 – Valores do Índice de consumo médio por servidor (CMS) obtidos.....	68
Tabela 17 – Dados de temperatura e Potência Ativa utilizados na Correlação de Pearson	69
Tabela 18 – Levantamento de área (m ²) dos ambientes ligados ao TRAFO SE – 02.....	71
Tabela 19 – Valores do Índice de consumo médio por m ² (CMM) obtidos.....	72
Tabela 20 – Levantamento do número de alunos e servidores, área e consumo de energia	74
Tabela 21 – Valores dos IDE obtidos com base nos dados da memória de massa do medidor	75
Tabela 22 – Quantidade de dias letivos em mês do período analisado.....	78
Tabela 23 – Edificações que entraram em funcionamento ao longo do período analisado	79
Tabela 24 – Detalhamento do período de medição e análise.....	81
Tabela 25 – Valores mínimos e máximos de tensão medidos.....	82
Tabela 26 – Valores mínimos e máximos de Potências ativa medidas.....	87

Tabela 27 – Valores mínimos e máximos de potências reativas medidas.....	89
Tabela 28 – Registro do FP medido fora da faixa de referência.....	91
Tabela 29 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).....	93
Tabela 30 - Indicadores de distorção harmônicas totais de tensão.....	93
Tabela 31 - Comparação dos indicadores medidos com os limites estabelecidos pelo PRODIST.....	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	17
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	21
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	GESTÃO ENERGÉTICA	23
2.1	NORMA ISO 50001 – SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA (SGE)	23
2.2	NORMA ISO 50006 – MEDIÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO UTILIZANDO LBE E IDE	26
2.2.1	Linha de Base Energética (LBE)	26
2.2.2	Indicador de Desempenho Energético (IDE)	27
2.3	NOMA ABNT NBR 16819 – INSTALAÇÕES DE BT (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA)	29
3	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	30
3.1	HARMÔNICOS	31
3.1.1	Distorção Harmônica	33
3.2	TENSÃO EM REGIME PERMANENTE	35
3.3	QUALIDADE DA ENERGIA E GERAÇÃO DISTRIBUIDA SOLAR FOTOVOLTAICA	37
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
4.1	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE APLICAÇÃO DO ESTUDO PROPOSTO...	41
4.1.1	Características do local de aplicação do estudo proposto	41
4.2	REVISÃO ENERGÉTICA	47
4.2.1	Revisão Energética: Medição de consumo de energia e de outros dados energéticos	47
4.2.2	Revisão Energética: Levantamento do Uso final de Energia (USE)	50
4.2.3	Revisão Energética: Levantamento dos dados de geração de energia das usinas fotovoltaicas	51
4.3	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO: DEFINIÇÃO DOS IDE	52
4.3.1	IDE por tipo de usuário de energia	52
4.3.2	IDE por área construída	54
4.3.3	Definição e quantificação de variáveis relevantes	54

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1	MEDIÇÃO DE ENERGIA E POTÊNCIA ATIVA	56
5.2	LEVANTAMENTO DO USO FINAL DE ENERGIA (USE)	59
5.3	LEVANTAMENTO DOS DADOS DE MEDIÇÃO DAS USINAS FOTOVOLTAICAS	60
5.4	OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	64
5.4.1	IDE por tipo de usuário da energia (CMA e CMS)	65
5.4.2	IDE por área construída (CMM)	70
5.4.3	Obtenção e análise dos IDE propostos por meio dos dados da memória de massa	72
5.5	ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA	79
5.5.1	Análise das tensões elétricas	80
5.5.2	Análise das potências ativas	86
5.5.3	Análise das potências reativas	88
5.5.4	Análise do fator de potência	89
5.5.5	Análise da distorção harmônica total de tensão (DTT)	91
5.6	CONTRIBUIÇÕES E SUGESTÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE UM SGE NO IFRN IPANGUAÇU	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
6.1	TRABALHOS FUTUROS	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DO USE DO TRANSFORMADOR SE – 02	105
	APÊNDICE B – LEVANTAMENTO DO USE DO TRANSFORMADOR SE – 01	116
	ANEXO A – CURVAS DAS VARIÁVEIS MEDIDAS NA FROTEIRA SE – 02	123

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética (EE) vem se tornando um ponto recorrente nas discussões sobre demanda energética e transições energéticas em nível global, sendo considerada como um importante recurso energético para que as metas de sustentabilidade sejam atingidas e para o desenvolvimento econômico e social de todos os países (VIANA, 2019).

Desde os choques do petróleo na década de 1970, a preocupação com o uso mais eficiente de energia ganhou maiores proporções quando ficou claro que as reservas fósseis são constantemente onerosas e nem o seu uso ocorreria sem prejuízos para o meio ambiente (EPE, 2007). Nessa perspectiva, o termo Eficiência Energética vem ganhando ênfase, principalmente nos últimos anos, em virtude do aumento da demanda de consumo de energia elétrica e dos problemas ambientais relacionados as etapas de geração e consumo de energia elétrica.

A adoção de técnicas e programas de eficiência energética é reconhecida como uma das alternativas mais rentáveis em curto prazo, tanto para atender às necessidades energéticas quanto para minimizar o impacto da mudança climática global (CUSA, *et al.*, 2017). Na busca de oportunidades que possibilitem a redução dos custos e desperdícios do consumo energético a aplicação de um padrão de gestão energética e a implantação da geração distribuída (GD), vêm ocupando o seu espaço como estratégias chaves para o alcance da eficiência energética e maior desempenho energético de uma instalação. De acordo com Lima *et. al.* (2023), observa-se que o rápido avanço tecnológico, o aumento da produção e a redução de custo de aquisição dos diversos recursos energéticos distribuídos, que podem ser utilizados atrás do medidor, ou seja, no interior das unidades consumidoras, estão avançando antes de definições e regulamentos específicos. O acesso destes recursos ao sistema de distribuição de eletricidade no Brasil já ocorre em grande escala com a geração solar fotovoltaica, e em breve outros recursos estarão disponíveis, a exemplo do que já ocorre em outros países. Nesse contexto, Farias (2016) define que a eficiência energética e a geração distribuída desempenham um papel fundamental para ajudar a enfrentar os desafios relativos ao crescente consumo de energia elétrica no Brasil e mitigar seus impactos, tendo em vista que a geração distribuída dispensa a expansão de transmissão e distribuição, evitando impactos socioambientais, por exemplo.

De acordo com Huang (2011), a partir de um padrão de gestão energética, medidas de eficiência energética são adotadas nas instalações, além de mudanças nas práticas e culturas operacionais são empregadas a fim de se obter redução no uso, consumo e custos energéticos. Isso pelo fato de que, a partir de mudanças no gerenciamento energético da instalação, a

instalação de novos equipamentos e tecnologias, é possível se obter um melhor desempenho energético por meio das ações de eficiência energética aplicadas.

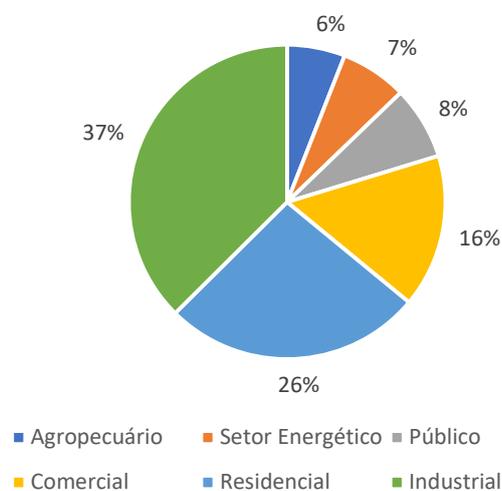
Nesse contexto, o presente trabalho propõe a análise do desempenho energético de uma edificação de ensino, por meio da avaliação de Indicadores de Desempenho Energético (IDE), aplicados às diretrizes propostas pelas normas ISO 50001, 50002 e 50006, quanto a implementação de um Sistema de Gestão Energética (SGE) e suas metodologias.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

De acordo Lamberts *et al.* (2004), a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. De modo geral, por eficiência energética compreende-se a capacidade de utilizar menor quantidade de energia, sem perder a qualidade na produção de qualquer bem ou serviço dependente de energia.

No Brasil, principalmente nos setores comerciais, industriais, residenciais e públicos, vê-se a grande necessidade da implementação de estratégias de eficiência energética. Segundo o Ministério de Minas e Energias (MME), através do Balanço Energético Nacional realizado em 2022 (ano base 2021), os setores industrial, residencial, comercial e público respondem por quase 80% da energia elétrica consumida no país em 2021, conforme apresentado na Figura 1, dessa forma, contribuindo significativamente para um aumento de 5,7% do consumo total de energia no país, em relação ao ano anterior.

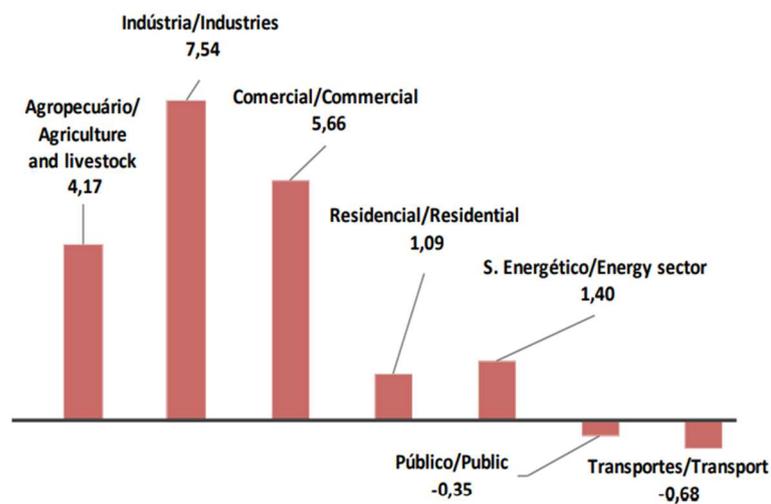
Figura 1 – Participação setorial no consumo de eletricidade (ano base 2021)



Fonte: MME (2022).

O aumento na utilização da energia elétrica nos últimos anos está diretamente relacionado a fatores como o crescimento econômico, crescimento populacional, processo de urbanização, industrialização e intensificação de novos padrões de consumo (CAMACHO, 2009). De fato, o crescimento econômico e o avanço tecnológico nos últimos anos nos levaram a uma melhoria no padrão de vida e um crescimento nos processos produtivos industriais. A Figura 2 apresenta a variação, em porcentagem, do consumo no Brasil em seus diversos setores entre os anos de 2020 e 2021. É possível notar um aumento expressivo do consumo, principalmente nos setores comercial e industrial. É válido destacar, que em virtude da pandemia da COVID-19, alguns setores foram diretamente afetados, como por exemplo o público e transportes.

Figura 2 – Variação do consumo setorial de eletricidade (2020 – 2021)



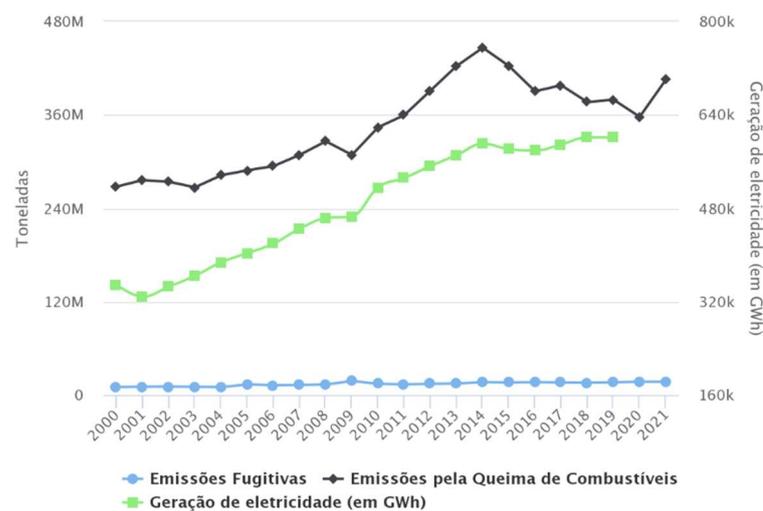
Fonte: MME (2022).

Nesse contexto, Godoi e Oliveira Júnior (2009), defendem que a eficiência energética abrange o conjunto de ações de racionalização que levam à redução do consumo de energia sem perda na quantidade ou qualidade dos bens e serviços produzidos, ou no conforto disponibilizado pelos sistemas energéticos utilizados.

Além da preocupação com a capacidade de atendimento da demanda de energia elétrica por meio das matrizes energéticas em todo mundo, bem como a redução dos custos financeiros relacionados a esta etapa, a eficiência energética tem assumido um papel importante no cenário ambiental, principalmente com as expressivas mudanças climáticas, impactos ambientais e sociais, ainda mais evidentes na atualidade. Estas preocupações, por exemplo, colocaram a eficiência energética como um dos mecanismos chaves para cumprir critérios e metas

ambientais em todo mundo, como por exemplo, a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa (SEEG, 2022), por exemplo, o Brasil emitiu 2,42 bilhões de toneladas brutas de CO₂eq (equivalente de dióxido de carbono, uma unidade que engloba todos os gases do efeito estufa) em 2021. O dado representa um aumento de pouco mais de 12% em relação a quantia registrada em 2020. De fato, o aumento da geração de energia está diretamente ligado à elevação de emissões. Entretanto, é possível perceber, de acordo com a Figura 3, que a partir do ano de 2014 esse panorama tem mudado, isso devido ao ingresso de outras fontes de geração de energia renovável à matriz energética do Brasil.

Figura 3 – Relação entre emissão de CO₂e (toneladas) e geração de energia (GWh)



Fonte: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia> (2022).

A eficiência energética, de acordo com Roméro *et al.* (2012), significa a abordagem dos usos finais energéticos, isto é, a forma que a energia é empregada. Além disso, os resultados esperados não se resumem a ganhos financeiros, mas também devem ser considerados os ganhos com a redução dos impactos ambientais vinculados ao consumo da energia.

O grande problema, de fato, é o impacto negativo da dependência dos combustíveis fósseis sobre o meio ambiente decorrentes do consumo da energia elétrica. Com isso, ressalta-se a relevância na eficiência energética, pois contribui de forma econômica para mitigar as emissões de GEE e mudanças climáticas.

Gomes (2017), explica que enquanto a eficácia é uma medida do alcance de resultados, a eficiência é uma medida da utilização dos recursos nesse processo. A eficiência energética,

em específico, está vinculada à produtividade, à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável.

Na perspectiva de Comaru Neto (2020), muitos benefícios podem ser obtidos por meio de um programa de eficiência energética, sendo que estes podem ser sentidos não somente onde aplicados, efeitos como diminuição da necessidade de expansão da infraestrutura do setor energético, redução de custos em energia nas organizações e principalmente, tem-se a contribuição relativa à minimização de impactos ambientais causados pelos poluentes lançados à atmosfera.

Entretanto, a implantação de um programa de eficiência energética não é tão fácil, principalmente quando aplicando a grandes instalações, principalmente de caráter industrial e produtivo. Isto pelo fato da necessidade de monitoramento contínuo para a obtenção do nível de desempenho energético obtido pela instalação, por meio das ações de eficiência energética aplicadas. Muitas vezes, a mensuração da viabilidade da aplicação destas ações está relacionada a uma análise detalhada, estatística e precisa, as quais só são possíveis por meios de um acompanhamento contínuo. Fossa (2015), reforça este entendimento ao definir que, as organizações com iniciativas próprias e isoladas, não conseguem manter suas atividades e planejamentos de eficiência energética por um longo período. Isso porque existem mudanças tecnológicas que exigem um acompanhamento sistêmico, pontual e contínuo ao longo do tempo.

Dessa forma, a implantação de um sistema de SGE permite às organizações controlarem seu consumo de energia a partir do desenvolvimento da consciência e de cuidados com seu uso, a busca de soluções para se adquirir um melhor aproveitamento energético e um constante monitoramento das atividades e estratégias organizacionais, garantindo assim um bom desempenho energético (FOSSA, *et al.*, 2015).

Os benefícios da aplicação de um SGE são muito relevantes para os setores públicos, principalmente do ponto de vista da redução dos custos e minimização dos impactos socioambientais. Isto porque, sempre a primeira alternativa governamental diante destes problemas é a contenção de despesas ou cortes orçamentários. Entretanto, assim como exposto por Mesquita *et al.*(2015), política de corte de gastos imposta a diversas instituições públicas gera a escassez de recursos para o desempenho do serviço público com qualidade, dessa maneira, o aumento na eficiência das atividades é cada vez mais relevante.

Sob este prisma, a escolha do local de aplicação do estudo proposto foi baseada na grande relevância que a temática da eficiência energética tem para com o setor público, principalmente aos ligados a educação, que sofrem constantemente com os contingenciamentos

aplicados pelo Governo Federal, no Brasil. Conforme Kurahassi (2006), Instituições (tanto públicas como privadas), têm necessidade de reduzir seus custos e a temática da eficiência energética também está associada a melhoria da qualidade dos gastos, promovendo a redução do desperdício.

As instituições de ensino têm grande responsabilidade quanto a formação dos alunos no que diz respeito a temática da eficiência energética e das questões ambientais. Segundo SOARES, *et al.* (2015), o envolvimento e cooperação de estudantes, professores e funcionários é de fundamental importância no processo de avaliação do desempenho de eficiência energética nos prédios em que realizam suas atividades diárias.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O trabalho proposto tem como objetivo principal realizar a análise do desempenho energético de uma edificação de ensino, por meio da avaliação de Indicadores de Desempenho Energético (IDE), aplicados às diretrizes propostas pelas normas ISO 50001, 50002 e 50006, quanto a implementação de um Sistema de Gestão Energética (SGE) e suas metodologias. Para atingir o objetivo principal, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar métodos de eficiência e gestão energética no setor público;
- Realizar revisão energética na instalação, conforme ABNT NBR ISO 50001 e 50002 com o intuito de identificar oportunidades para melhoria do desempenho energético;
- Realizar levantamento da contribuição da geração distribuída solar fotovoltaica existente;
- Definir e aplicar indicadores de desempenho energético (IDE) que permitam a comparação dos dados de consumo de energia após a aplicação da metodologia proposta;
- Analisar os resultados obtidos com o intuito de verificar o desempenho energético da edificação com base em cenários estabelecidos.
- Propor sugestões e contribuições, com base nos resultados, para a implantação de um Sistema de Gestão Energética (SGE) para a edificação analisada.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, os quais serão descritos a seguir:

- Capítulo 1: De caráter introdutório, aborda a contextualização do tema, a justificativa e relevância do tema de pesquisa e os objetivos geral e específicos;
- Capítulo 2: Apresenta o embasamento teórico quanto a temática da Gestão Energética (GE), sendo de grande relevância para o entendimento da metodologia adotada para este trabalho, expondo as normas e conceitos utilizados ao longo desta pesquisa;
- Capítulo 3: Trata do tema da Qualidade da Energia Elétrica (QEE), apresentando modelos e normas, bem como conceituando os fenômenos existentes que contribuem negativamente no desempenho energético de uma instalação, do posto de vista da QEE;
- Capítulo 4: Dispõe dos procedimentos metodológicos para a elaboração deste trabalho, tendo como base na ABNT NBR ISO 50001, 50002 e 50006 e suas normas complementares;
- Capítulo 5: Apresenta os resultados e discussões com base na aplicação da metodologia proposta. Neste capítulo, são analisadas todas as medições realizadas, bem como a aplicação dos IDE propostos, a partir dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR ISO 50001 e 50006 e pelo PRODIST – módulo 8, no que tange a qualidade de energia;
- Capítulo 6: Apresenta as conclusões acerca do estudo realizado, bem como também traz a proposição de trabalhos futuros.

Por fim, tem-se o capítulo das Referências, a qual apresenta a relação de obras bibliográficas citadas ao longo da dissertação, Apêndices e os Anexos.

2 GESTÃO ENERGÉTICA

A gestão de energia é caracterizada por atividades de medida, monitoramento, controle e aperfeiçoamento sistemático de modelos que visam reduzir o desperdício em seu uso. Cada vez mais, as iniciativas de eficiência energética colocam países e organizações no caminho para cumprir objetivos ambientais, sociais ou econômicos. Os padrões nacionais ou internacionais definem critérios para facilitar o processo de implantação de um sistema de gestão dentro de uma organização (LASKURAIN *et al.*, 2015).

2.1 NORMA ISO 50001 – SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA (SGE)

A *International Organization for Standardization* (ISO) é uma organização internacional, independente e não-governamental que conta com cerca de 167 membros nacionais de padronização. Fundada em 23 de fevereiro de 1947 com sede na cidade de Genebra, Suíça, tem assumido a missão de reunir especialistas para compartilhar conhecimento e desenvolver padrões internacionais relevantes, que apoiem a inovação e forneçam soluções para desafios globais (ISO, 2022).

Com o objetivo de trazer informações para que as organizações tenham a capacidade de estabelecer os sistemas e processos necessários para melhorar continuamente o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, o uso da energia e o consumo da energia, foi lançada a norma ISO 50001, em 2011.

A ABNT NBR ISO 50001, como é chamada no Brasil, foi elaborada no Comitê Brasileiro de Gestão e Economia de Energia (ABNT/CB-116), pela Comissão de Estudo de Gestão de Energia (CE-116:000.001).

Neste mesmo segmento, outras normas foram criadas, a fim de trazer detalhamento às informações trazidas na norma ISO 50001, conforme apresenta a Tabela 1. É importante ressaltar que, das normas apresentadas na Tabela 1, a ISO 50014 e 50047 não possuem versão no Brasil.

Tabela 1 – Normas pertencentes a família ISO 50001

Norma	Descrição
ISO 50001	Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso
ISO 50002	Diagnósticos energéticos - Requisitos com orientação para uso
ISO 50003	Requisitos para organismos de auditoria e certificação de sistemas de gestão de energia

ISO 50004	Guia para implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de energia
ISO 50006	Medição do desempenho energético
ISO 50014	<i>Measurement and verification of energy performance of organizations</i>
ISO 50047	<i>Determination of energy savings in organizations</i>

Fonte: ABNT (2022).

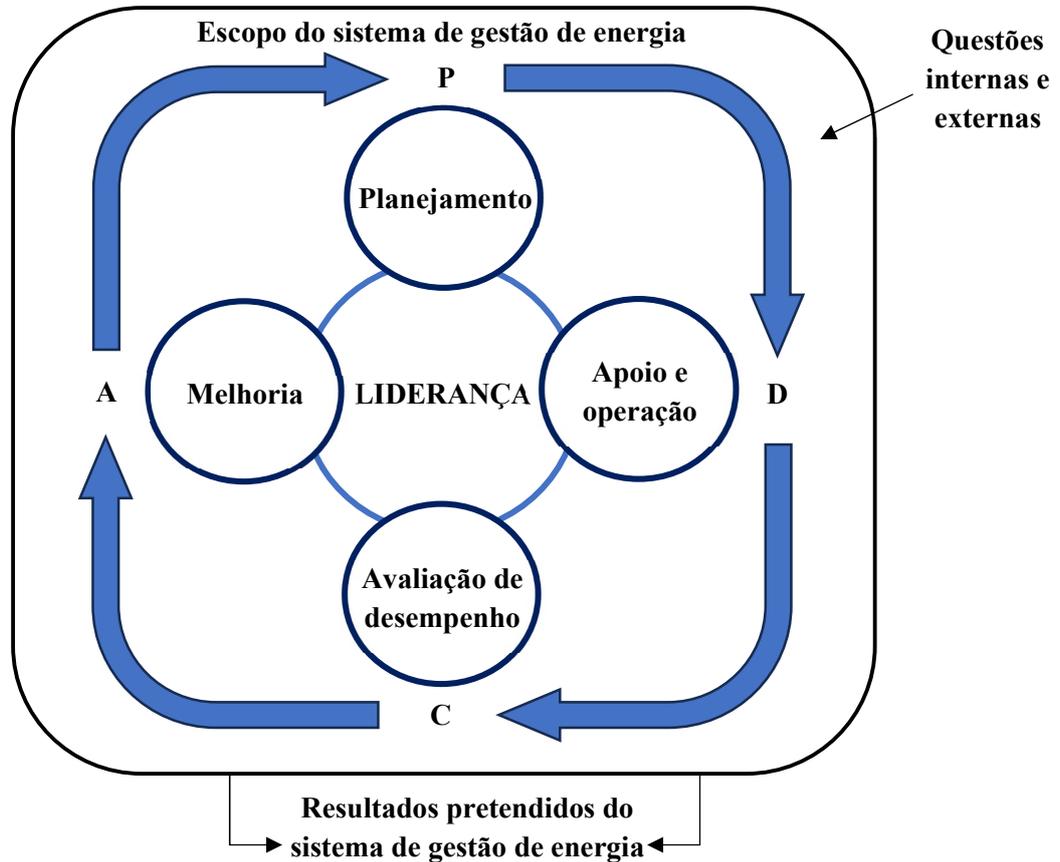
Esta norma fornece os requisitos para um processo sistemático, focado na melhoria contínua do desempenho energético. O desempenho energético é um elemento-chave integrado aos conceitos introduzidos neste documento para assegurar resultados eficazes baseados em medições comparáveis ao longo do tempo. O desempenho energético é um conceito que está relacionado ao consumo da energia, ao uso da energia e à eficiência energética. Indicadores de desempenho energético (IDE) e linhas de base energéticas (LBE) são dois elementos inter-relacionados abordados neste documento, para permitir que as organizações demonstrem a melhoria do desempenho energético (ABNT, 2018).

A implementação da ISO 50001 em uma organização está baseada em uma estrutura de melhoria contínua e exige bastante planejamento e verificação ao longo deste processo, neste caso, a metodologia *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), apresentada na Figura 4, pode ser utilizada. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 50001 (2018), sobre as etapas desta metodologia:

- **Plan** (Planejar): compreender o contexto da organização, estabelecer uma política energética e uma equipe de gestão da energia, considerar as ações para enfrentar os riscos e oportunidades, conduzir uma revisão energética, identificar os usos significativos de energia (USE), os indicadores de desempenho energético (IDE), a(s) linha(s) de base energética(s) (LBE), objetivos e metas energéticas, e planos de ação necessários para obter resultados que levarão à melhoria do desempenho energético de acordo com a política energética da organização;
- **Do** (Fazer): implementar os planos de ação, controles de operação e manutenção, e comunicação, assegurar competências e considerar o desempenho energético no projeto e aquisição;
- **Check** (Checar): monitorar, medir, analisar, avaliar, auditar e realizar análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do SGE;
- **Act** (Agir): adotar ações para tratar não conformidades e melhorar continuamente o desempenho energético e o SGE.

Conforme Pinto (2014), a prática do PDCA estrutura, portanto, o fluxo de ações que estabelecem o sistema de gestão da energia e o mantém, possibilitando a melhoria contínua do processo de gestão.

Figura 4 - Ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA)



Fonte: Adaptado de Comaru Neto (2020).

Acerca da temática do gerenciamento de energia, abordado pela norma ISO 50001, é válido destacar que este pode ser definido de diferentes maneiras na literatura. Por exemplo, de acordo com Johansson (2015) e Viana (2019), o gerenciamento de energia é a prática pela qual uma empresa trabalha estrategicamente com questões de energia. Fiedler e Mircea (2012) definem o gerenciamento de energia como a soma de todas as medidas e atividades planejadas ou executadas para minimizar o consumo de energia de uma organização. O gerenciamento de energia pode ser entendido como atividades de medição, monitoramento, controle e melhoria do desempenho energético e redução dos impactos ambientais para apoiar o alcance dos objetivos gerais de uma organização (VIANA, 2019).

2.2 NORMA ISO 50006 – MEDIÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO UTILIZANDO LBE E IDE

Esta Norma fornece às organizações orientações práticas sobre como atender aos requisitos da ABNT NBR ISO 50001 relacionados ao estabelecimento, uso e manutenção dos indicadores de desempenho energético (IDE) e linhas de base energética (LBE) para a medição e alterações no desempenho energético dentro da implementação de um sistema de gestão de energia (SGE). O IDE e a LBE são dois elementos-chave inter-relacionados da ABNT NBR ISO 50001 que permitem a medição, e, logo, a gestão do desempenho energético em uma organização. O desempenho energético é um conceito amplo relacionado ao uso e consumo de energia e eficiência energética (ABNT, 2016). Para gerenciar efetivamente o desempenho energético de suas instalações, sistemas, processos e equipamentos, as organizações precisam saber como a energia é utilizada e quanto é consumida ao longo do tempo.

2.2.1 Linha de Base Energética (LBE)

A LBE é uma referência que caracteriza e quantifica o desempenho energético de uma organização durante um período específico. A LBE permite que uma organização avalie alterações do desempenho energético entre dois períodos selecionados (ABNT, 2016).

As linhas de base energética são os parâmetros de calibragem de um sistema de gestão de energia. É válido ressaltar que as LBE são definidas para cada processo e indicam as variáveis de interesse. O correto dimensionamento da LBE é de grande importância na mensuração da economia gerada advinda dos investimentos em eficiência energética.

Lyubchikov (2016), conforme citado por Viana (2019), enfatiza que para a construção das linhas de base a organização deve considerar um período recente de dados confiáveis suficientemente longos para garantir a variabilidade nos padrões operacionais, levando em conta a sazonalidade no consumo de energia e das variáveis relevantes, como produção, padrões climáticos, entre outras.

Fossa *et al.* (2017) mencionam que o principal desafio para estabelecer a linha de base energética está na definição do período de cálculo a ser observado, pois ao utilizar como base o consumo energético do ano anterior ao início da operação do SGE poderia ocorrer a omissão de alguns fenômenos que tenham acarretado um consumo energético atípico, como por exemplo a interrupção na produção.

Segundo Comaru Neto (2020), existem vários métodos para estabelecer uma LBE que represente bem a organização. Pode-se utilizar os valores no momento do início do trabalho, fazendo-os como referência. Mas existem outras estratégias, por exemplo, para Lei e Hu (2009), a utilização da regressão estatística para obtenção de dados ou simulações baseadas em modelo são uma estratégia para a obtenção de uma LBE, sendo o método estatístico de regressão o mais utilizado.

2.2.2 Indicador de Desempenho Energético (IDE)

Um IDE é um valor ou medida que quantifica resultados relacionados à eficiência energética, uso e consumo de energia em instalações, sistemas, processos e equipamentos (ABNT, 2016). O objetivo da definição de um IDE é conseguir gerenciar e acompanhar o desempenho energético de uma instalação, como por exemplo o seu consumo e uso (iluminação, refrigeração ou outro) de energia.

Os IDE devem ser utilizados para quantificar as melhorias e as alterações no consumo de energia. Para isto, é necessário definir IDE capazes de informar o desempenho energético da instalação, devendo estes serem sempre atualizados caso ocorram mudanças no consumo de energia.

De acordo com EPE (2014), uso de indicadores de eficiência energética permite:

- Monitorar o progresso da eficiência energética na economia e em setores específicos;
- Avaliar o impacto de políticas e programas voltados para eficiência energética, inclusive justificando a manutenção ou a interrupção de determinadas ações;
- Planejar ações futuras, incluindo programas de pesquisa e desenvolvimento - P&D;
- Alimentar parâmetros de modelagem de modo a melhorar a qualidade de projeções de demanda de energia;
- Possibilitar comparações internacionais entre setores e entre países.

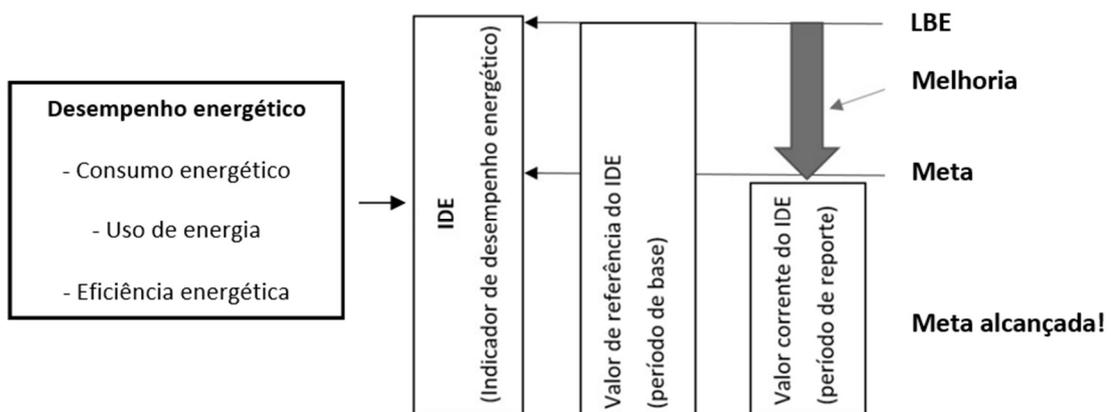
O IDE deve fornecer informações pertinentes e relevantes sobre o desempenho energético de uma organização, permitindo assim que haja uma boa compreensão e entendimento ao longo do processo de análise e melhoria da gestão energética, dessa forma, será possível avaliar se o desempenho energético mudou e se ele está atingindo as metas definidas, por exemplo.

Segundo a ABNT NBR ISO 50006 (2016), os principais tipos de IDE são:

- Valores de energia medidos: consumo de um site completo ou um ou mais usos energéticos medidos por um medidor. Por exemplo, consumo de energia (kWh) para iluminação;
- Proporção de valores medidos: expressão da eficiência energética. Por exemplo, kWh/ton de produção;
- Modelo estatístico: relação entre o consumo de energia e variáveis relevantes utilizando-se regressões lineares e não lineares. Por exemplo, desempenho energético de uma unidade de produção com dois ou mais tipos de produção;
- Modelo baseado em engenharia: relação entre consumo de energia e variáveis relevantes utilizando-se simulações de engenharia. Por exemplo, sistemas industriais ou de geração de energia elétrica onde cálculos de engenharia ou simulações permitem considerar mudanças em variáveis relevantes e suas interações.

A Figura 5 apresenta a relação entre o IDE, LBE e o desempenho energético, nela é possível observar que meta deve apresentar valores inferiores à LBE e nesse caso a diferença entre o valor de referência do IDE e o IDE atual representa a melhoria do desempenho energético. Organizações definem metas para o desempenho energético como parte do processo de planejamento energético em seus sistemas de gestão de energia (SGE). A organização precisa considerar as metas específicas de desempenho energético, enquanto identifica e estabelece o IDE e a LBE (ABNT, 2016).

Figura 5 - Relação entre desempenho energético, IDE, LBE e metas energéticas



Fonte: Adaptado da ABNT (2016).

2.3 NORMA ABNT NBR 16819: 2020 – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Esta norma destina-se a fornecer requisitos e recomendações para a parte elétrica do sistema de gestão de energia abordado pela ABNT NBR ISO 50001, fornecendo diretrizes para o projeto de instalações elétricas no contexto de uma abordagem de gestão de eficiência energética, a fim de obter o melhor serviço equivalente funcionalmente permanente para o menor consumo de energia elétrica e para a disponibilidade de energia mais aceitável e o equilíbrio econômico (ABNT, 2020).

Enquanto a ABNT NBR 5410 (Instalações Elétrica de Baixa Tensão) tem seu foco na parte operacional e segurança de uma instalação elétrica, a ABNT NBR 16819 aborda aspectos relacionados a eficiência energética, trazendo orientações que contribuem para uma melhor utilização das instalações elétrica, inclusive apresentando soluções para problemas que possam influenciar negativamente a qualidade da energia e desempenho da instalação elétrica. Entretanto, requisitos e as diretrizes desta norma não podem invalidar os requisitos da ABNT NBR 5410.

Esta norma pode ser claramente dividida em duas partes principais. A primeira, que apresenta medidas a serem adotadas para a redução das perdas de energia na instalação, como por exemplo, perdas devido a resistência dos condutores, causadas por dimensionamento errado, aos transformadores, ao baixo fator de potência, harmônicos, entre outras. A segunda, traz recomendações sobre implementação de um sistema de gerenciamento de energia elétrica após as perdas terem sido reduzidas, garantindo assim a manutenção da eficiência energética ao longo do tempo.

Conforme apresentado pela ABNT (2020), os princípios de projeto desta norma levam em conta os seguintes aspectos, sem prejudicar a qualidade do serviço e o desempenho da instalação elétrica:

- Perfil energético da carga (ativa e passiva);
- Disponibilidade de geração local (solar, eólica, diesel etc.);
- Redução das perdas de energia na instalação elétrica;
- Disposição dos circuitos quanto à eficiência energética (malhas);
- Utilização de energia de acordo com a necessidade do cliente;
- Estrutura tarifária oferecida pelo fornecedor de energia elétrica.

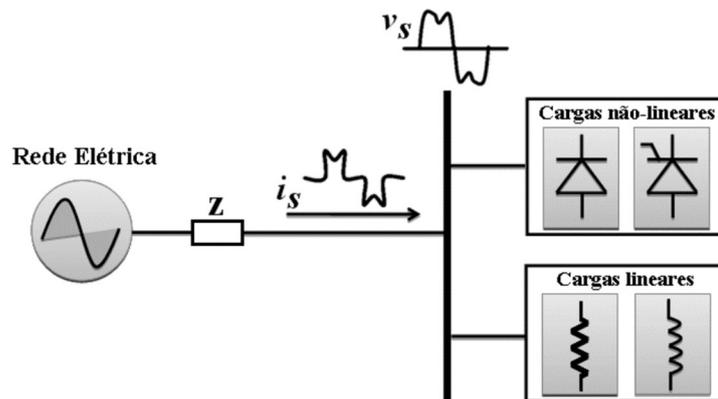
3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

O termo Qualidade da Energia Elétrica (QEE), está atrelado com qualquer desvio que venha a ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica (DIAS *et al.*, 1998).

Em um sistema elétrico real, tensões e correntes sofrem variações, por diversos motivos, desde pequenos desequilíbrios de carga em cada fase, até perdas por aquecimento em cabos e conexões. Porém, quando estas variações ultrapassam limites predefinidos, podemos dizer que há perda da qualidade de energia elétrica.

De acordo com Leão *et. al.* (2013), como a qualidade de tensão de suprimento tem influência no perfil da corrente da instalação, e a natureza da carga pode influenciar o perfil de tensão, a QEE pode ser considerada de responsabilidade da distribuição e do consumidor final. A Figura 6 apresenta um diagrama simplificado da interação sistema – carga, no qual é possível perceber a influência de carga não-lineares na forma de onda da tensão, por exemplo. A utilização de cargas não lineares não prejudica a qualidade da energia apenas do próprio consumidor, afetando também a rede de distribuição das concessionárias.

Figura 6 – Diagrama simplificado da interação sistema-carga



Fonte: Campanhol *et. al.* (2013)

Quanto a QEE, ainda, há uma preocupação em relação aos impactos que a geração distribuída fotovoltaica (GDFV) pode causar principalmente nos sistemas de baixa tensão. Os impactos vão desde critérios de confiabilidade, até segurança pessoal. Esses sistemas podem contribuir para alterações nos níveis de distorções harmônicas de tensão e corrente, além de elevar os valores os níveis de tensão eficaz (ALMEIDA, 2012).

O conhecimento das causas destes problemas é de grande importância para a proposição de ações mitigadoras com o fim de evitar prejuízos econômicos e patrimoniais. Para um diagnóstico da rede, normalmente um inventário é realizado para mensurar a qualidade da energia elétrica fornecida (LEÃO *et al.*, 2009).

De acordo com Rocha (2016), um aspecto muito importante em relação a qualidade da energia é que para uma boa eficiência energética a qualidade da energia fornecida na rede também precisa ser boa. O controle dos distúrbios elétricos é fundamental para a correta operação destes elementos de rede e, por consequência, dos processos associados a eles, sejam industriais, comerciais, de serviços ou residenciais.

Os problemas relativos à QEE têm se tornado cada vez mais perceptíveis nos sistemas elétricos de todo o mundo, os danos sobre o sistema e suas cargas têm se agravado, por isso o monitoramento contínuo é de suma importância. As origens destes distúrbios são diversas e podem causar o funcionamento indevido de equipamentos.

No Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da Resolução Normativa nº 956/2021, estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), disponibilizados em 11 módulos. O módulo 8 trata especificamente sobre a qualidade no fornecimento de energia elétrica, tendo como objetivo estabelecer os procedimentos relativos à qualidade do fornecimento de energia elétrica na distribuição, no que se refere à qualidade do produto, à qualidade do serviço e à qualidade comercial.

Ainda de acordo com o Módulo 8 do PRODIST – ANEEL (2021), os fenômenos que afetam a qualidade da energia podem ser caracterizados como fenômenos de regime permanente e fenômenos de regime transitório.

Fenômenos de regime permanente são:

- Variações de tensão em regime permanente;
- Fator de potência;
- Harmônicos;
- Desequilíbrio de tensão;
- Flutuação de tensão e;
- Variação de frequência.

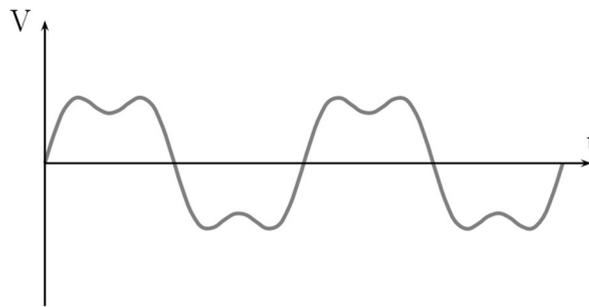
Fenômenos de regime transitório são as:

- Variações de tensão de curta duração – VTCD.

3.1 HARMÔNICOS

Uma onda periódica distorcida, deformada ou sem conformidade senoidal é o resultado da sobreposição de uma série de senoides e que é constituída por uma componente fundamental e um conjunto de ondas, denominadas “harmônicas”, responsáveis pelo maior ou menor grau de distorção da onda distorcida (LEÃO *et al.*, 2013). A Figura 7 apresenta um exemplo de distorção na forma de onda de tensão elétrica, causada por harmônicos.

Figura 7 – Forma de onda de tensão elétrica distorcida por harmônicos de ordem ímpares



Fonte: Brancher (2008).

As correntes harmônicas são geradas pelas cargas lineares e não-lineares conectadas na rede de distribuição de energia elétrica. A circulação das correntes harmônicas gera tensões harmônicas através das impedâncias da rede, e então uma deformação da tensão de alimentação. Tais correntes distorcidas circulam pela impedância do sistema, composta pela impedância da fonte mais impedância da fiação e transformadores, provocando a distorção das ondas de tensão e corrente (ROCHA, 2016).

A geração distribuída fotovoltaica (GDFV) também pode gerar o surgimento de distorções harmônicas, em virtude dos componentes de eletrônica de potência presentes nos inversores. Essas cargas são alimentadas com tensão senoidal pura originada da concessionária e geram correntes não senoidais.

No Brasil, o sistema elétrico opera com frequência de 60 Hz como fundamental. Neste caso, a harmônica de segunda ordem é igual a 120 Hz, enquanto a terceira, 180 Hz, por exemplo. Silva *et al.* (2020) define que um sistema elétrico, são consideradas relevantes as componentes múltiplas da frequência fundamental de sequência ímpar ($h=3$, $h=5$, $h=7$ etc.).

Para identificar as componentes harmônicas presentes em uma onda não senoidal a série de Fourier normalmente é utilizada. Quando aplicada a um sinal no domínio do tempo, contínuo

e periódico, tem como resultado uma soma de componentes senoidais de frequências discretas de diferentes valores. A análise do sinal decomposto pode mostrar que frequências tem relevância no formato da onda do sinal, ou não. A Equação (1) demonstra a série trigonométrica de Fourier contínua.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} [a_h \cos(h\omega_1 t) + b_h \sin(h\omega_1 t)] \quad (1)$$

Onde, $\frac{a_0}{2}$ é o valor médio de $f(t)$, componente cc do sinal, a_h e b_h , amplitudes da componente de ordem h da série, ω_1 é a frequência angular fundamental de $f(t)$ e h é a ordem do harmônico.

Com o crescimento tecnológico nos últimos anos, o número de cargas não-lineares conectadas a rede elétrica aumentou, gerando inúmeros problemas de QEE, como por exemplo corrente excessiva nos condutores neutros, aquecimento de condutores, motores e transformadores, desarmes de proteções elétricas e diminuição da capacidade de transporte de energia pela rede elétrica, por exemplo. Estes problemas têm como causa, muitas vezes, a presença de harmônicos, os quais levam a distorção nas formas de corrente e tensão em estado permanente.

3.1.1 Distorção Harmônica

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (PRODIST – Módulo 8, 2021). As Equações (2) e (3) apresentam a expressão das ondas de tensão e corrente distorcidas.

$$v(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + V_2 \sin(2\omega_1 t + \varphi_2) + \dots \quad (2)$$

$$i(t) = I_0 + I_1 \sin(\omega_1 t + \delta_1) + I_2 \sin(2\omega_1 t + \varphi_2) + \dots \quad (3)$$

Onde, V_0 e I_0 são a tensão e corrente em corrente contínua (cc), V_h e I_h a tensão e a corrente de pico de ordem h ($h = 1, 2, 3, 4\dots$), ω_1 a frequência angular fundamental, φ_h e δ_h os ângulos de fase da tensão e corrente.

Através da Distorção Harmônica Total (DHT), desvio total de uma onda distorcida em relação a sua componente fundamental, pode-se verificar o nível harmônico existente no sinal

analisado, podendo ser de corrente (DHT_i) ou tensão (DHT_v), expressos em porcentagem. A DHT_v é expressa pela Equação (4) e a DHT_i pela Equação (5).

$$DHT_v(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad (4)$$

$$DHT_i(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} I_h^2}}{I_1} * 100 \quad (5)$$

O Módulo 8 do PRODIST não estabelece limites para as DHT_i , apenas para DHT_v , através da análise dos indicadores $DTT_{95\%}$, $DTT_p_{95\%}$, $DTT_i_{95\%}$, e $DTT_3_{95\%}$, sendo estes os valores do indicador que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas. Os limites estabelecidos podem ser observados na Tabela (2).

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

Indicador	Descrição	Tensão Nominal (Vn) Vn < 2,3 kV
$DTT_{95\%}$	Valor do indicador $DTT\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	10,0 %
$DTT_p_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	2,5 %
$DTT_i_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	7,5 %
$DTT_3_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	6,5 %

Fonte: Adaptado, ANEEL, 2021.

As Equações (6), (7), (8), (9), mostram como devem ser calculados os indicadores $DTT\%$, $DTT_p\%$, $DTT_i\%$, e $DTT_3\%$, conforme Módulo 8 do PRODIST.

$$DTT(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad (6)$$

Onde $DTT(\%)$ é a expressão para a distorção harmônica total de tensão, e $h_{m\acute{a}x}$ a ordem harmônica máxima.

$$DTTp(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} Vh^2}}{V_1} * 100 \quad (7)$$

Onde $DTTp(\%)$ é a distorção harmônica total para componentes pares não múltiplas de 3 e h varia entre todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 (sendo elas 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38 e 40), e sendo h_p a máxima ordem harmônica par.

$$DTTi(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} Vh^2}}{V_1} * 100 \quad (8)$$

Onde $DTTi(\%)$ é a distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3, com h variando entre todas as ordens harmônicas ímpares não múltiplas de 3 (sendo elas 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, e 37), e h_i a máxima ordem harmônica, não múltipla de 3.

$$DTT3(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} Vh^2}}{V_1} * 100 \quad (9)$$

Onde $DTT3(\%)$ distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3, com h variando entre todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 (sendo elas, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, e 39), e sendo h_3 a máxima ordem harmônica múltipla de 3.

3.2 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

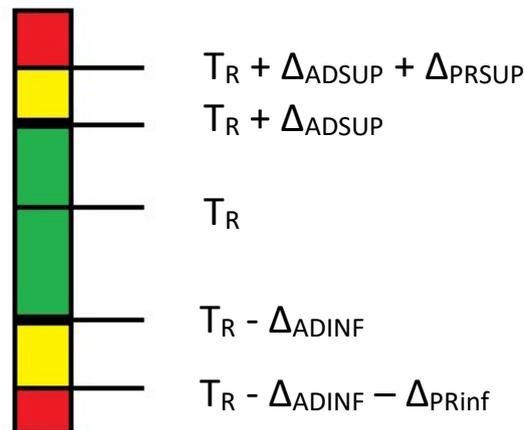
O distúrbio conhecido como variação de tensão de longa duração é a variação do valor eficaz da tensão classificada em sobretensão ou subtensão em função das alterações de carga no sistema. Outra forma de descrever o fenômeno seria dizer que o sistema é ou muito fraco para a carga - levando o circuito a condição de subtensão - ou muito forte para a carga - levando o circuito a condição de sobretensão (DUGAN et al., 2004).

Classificado como fenômeno de regime permanente, as variações de tensão em regime permanente estão diretamente associadas à qualidade do produto, ou seja, a qualidade da energia elétrica fornecida pelo sistema elétrico. Estes fenômenos geram um impacto significativo na qualidade da energia elétrica fornecida.

A tensão em regime permanente é um parâmetro fundamental para a operação adequada de sistemas elétricos de potência. Variações excessivas de tensão podem afetar a eficiência energética, causar danos aos equipamentos elétricos e eletrônicos e afetar a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores (IEEE, 2019).

No Brasil, a ANEEL, através do Módulo 8 do PRODIST, estabelece limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente, baseando-se no afastamento do valor da tensão de leitura em relação à tensão de referência, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Faixas de tensão em relação a referência



Fonte: ANEEL (2021).

Onde,

- T_R : Tensão de Referência;
- Faixa Adequada de Tensão: intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP})$;
- Faixas Precárias de Tensão: intervalo entre $(T_R + \Delta_{ADSUP})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$ ou intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$ e $(T_R - \Delta_{ADINF})$;
- Faixas Críticas de Tensão: valores acima de $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$ ou abaixo de $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$.

A Tabela 3 apresenta os limites de variação de tensão para um ponto de conexão em tensão nominal inferior a 230kV (380/220) estabelecidos pelo PRODIST.

Tabela 3 – Classificação do tipo de tensão de fornecimento

Tensão de Atendimento	Faixa de variação da tensão (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399)/(202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403)/(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403)/(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Fontes: ANEEL (2021).

Além de estabelecer as faixas de tensão adequada, precária e crítica, o Módulo 8 do PRODIST também define dois indicadores para verificação da qualidade da tensão, sendo estes, o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e o índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica (DRC). Estes índices são expressos pelas Equações (10) e (11), onde *nlp* e *nlc* representam o maior número de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente (considerando a fase com maior número destas ocorrências). Os limites para os indicadores individuais de tensão em regime permanente DRP e DRC são 3% e 0,5%, respectivamente.

$$DRP = \frac{nlp}{1008} * 100 [\%] \quad (10)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} * 100 [\%] \quad (11)$$

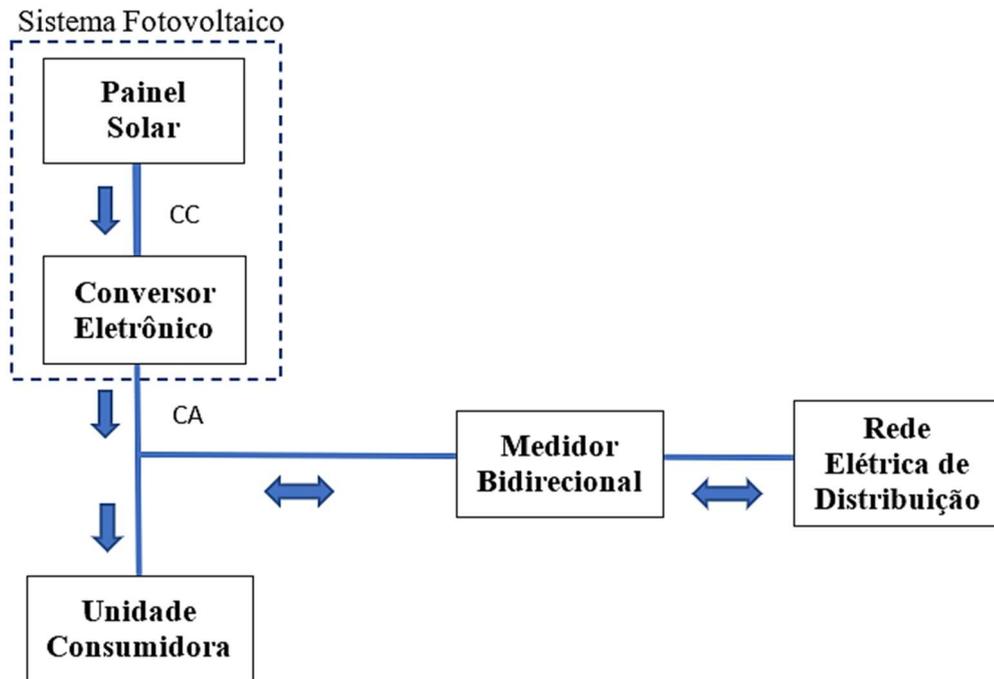
3.3 QUALIDADE DA ENERGIA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Geração Distribuída (GD) pode ser definida como qualquer equipamento, sistema ou forma de geração de energia elétrica, que pode ser produzida próximo ao consumidor. Isto, independe da fonte de energia, da potência ou do tamanho da unidade geradora e da tecnologia envolvida. Atualmente, é possível observar que nos consumidores residenciais e industriais que a geração distribuída solar fotovoltaica (GDFV) tem se tornando dominante frente a outras formas de geração alternativa.

Os sistemas de geração solar fotovoltaica convertem energia solar em eletricidade. Os módulos fotovoltaicos permitem uma grande variedade de aplicações, sendo utilizado em grandes plantas de geração ou em consumidores residenciais, podendo operar conectados na concessionária de energia ou de forma isolada (IEA, 2022). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) são mais comuns, principalmente pelo fato de dispensar o uso de

baterias, reduzindo os custos relacionados a aquisição e manutenção. A Figura 9 apresenta um diagrama comum de um sistema SFCR.

Figura 9 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição



Fonte: Adaptado de Reinaldo (2020).

Outro ponto relevante para a implantação dos SFCR e não isolados é a contribuição gerada para o sistema elétrico. De acordo com Kroth (2021), a integração de módulos solares a rede elétrica contribui para o alívio de carga no sistema de distribuição, o que evita custos de expansão de rede elétrica, uma vez que o investimento pode ser considerado como um custo evitado de ampliação de infraestrutura de distribuição de energia, e também, reduz a probabilidade de interrupções no fornecimento de energia elétrica. Além disso, Moreira *et al.* (2018), definem que a implantação desses sistemas também tem baixo impacto ambiental, traz a melhoria do nível de tensão da rede no período de maior demanda e promove a diversificação da matriz energética.

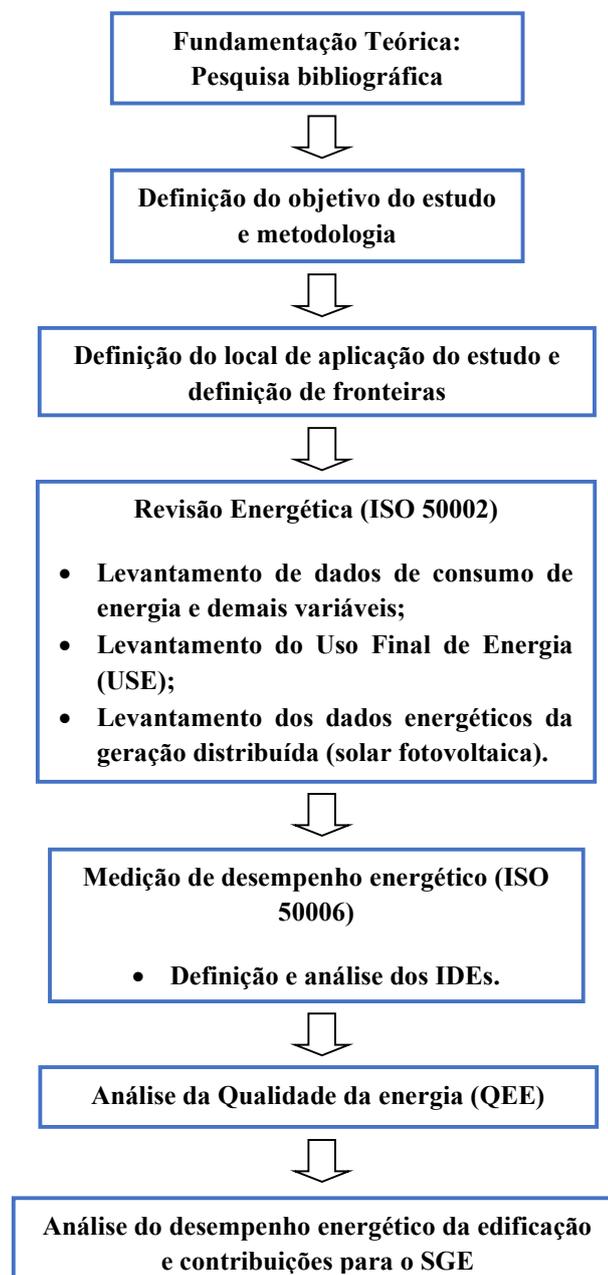
Por outro lado, a conexão de GDFV em sistemas elétricos de distribuição também pode causar uma série de impactos negativos ao sistema elétrico. Segundo Pei *et al.* (2018), a GDFV pode gerar o desequilíbrio de cargas na rede elétrica, tornando mais difícil ajustar a regulação de tensão, principalmente pelo fato da flutuação no sinal de saída dos inversores. Os autores ainda definem que, devido à natureza dos inversores e as comutações eletrônicas envolvidas no seu funcionamento, harmônicos podem surgir, gerando distorções nos sinais de corrente e

tensão. Além disso, as variações no fluxo de potência ativa e reativa no sistema podem gerar elevações de tensão, além dos limites toleráveis. Walling *et al.* (2008) também explica que conexão de GDFV em sistemas elétricos de distribuição pode causar problemas relacionados à elevação do nível de tensão no ponto de conexão e ao longo do alimentador. Athari et al. (2017), também destacam que o aumento do nível de penetração da GDFV em redes de distribuição gera muitos impactos nas condições nominais do funcionamento do circuito, incluindo a qualidade da tensão e os problemas de fluxo de energia reversa nos perfis de carga residencial, comercial e industrial. Desta forma, conclui-se que a GDFV pode contribuir para a redução da qualidade da energia, gerando variações de tensão de curta duração e distorções harmônicas, principalmente.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base nas definições e conceitos apresentados nos Capítulos anteriores, este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho energético de uma edificação de ensino através da variabilidade de IDE, baseando-se nos aspectos da qualidade da energia e eficiência energética. A Figura 10 apresenta o fluxograma que detalha os métodos e procedimentos que serão desenvolvidos e utilizados neste estudo.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia e procedimentos empregados neste trabalho



Fonte: O autor.

4.1 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE APLICAÇÃO DO ESTUDO PROPOSTO

O presente estudo foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Norte (IFRN, *Campus Ipanguaçu*). Situado na microrregião do Vale do Açu, cuja principal atividade econômica é a agricultura irrigada, o *Campus Ipanguaçu* atende a uma população de cerca de 120 mil habitantes, dos quais 58,79% se concentram nas zonas urbanas e 38,92% na zona rural.

Com um perfil agrícola, o *Campus Ipanguaçu*, localizado no Distrito de Base Física, está encravado em um terreno de 1.333.000 m² (133ha), com um total de 21.304 m² de área construída. A sua estrutura física, a qual pode ser vista na Figura 11, conta com 24 salas de aula, 15 laboratórios e outros ambientes administrativos e de uso diverso (auditório, quadra, piscina e outros).

Figura 11 – Vista aérea do IFRN *Campus Ipanguaçu*



Fonte: Portal IFRN (2022).

4.1.1 Características do local de aplicação do estudo proposto

A estrutura física do IFRN *Campus Ipanguaçu* é dividida em duas partes, a principal (área urbana) e a fazenda-escola (área rural). Na parte principal estão localizados os principais edifícios do *Campus*, como por exemplo as salas de aula, prédios administrativos, biblioteca e alguns laboratórios. Já na parte da fazenda-escola, temos setores de ovinocultura,

bovinocultura, avicultura, horta, viveiro de mudas, entre outras áreas voltadas às atividades agrícolas desenvolvidas.

Em relação aos dados de contrato de fornecimento de energia elétrica do campus, a Tabela 4 apresenta suas principais características. A Figura 12 apresenta o disjuntor bem como as suas características.

Tabela 4 – Dados do sistema elétrico e contratuais

Grupo tarifário	A4 (Poder Público – Federal)
Modalidade tarifária	Horo-sazonal Verde
Tensão de entrada	13,8 kV/60Hz
Demanda Contratada	248 kW
Padrão de proteção de entrada	Disjuntor à vácuo 15 kV

Fonte: O autor.

Figura 12 – Disjuntor MT 15 kV – Proteção AT



Fonte: O autor.

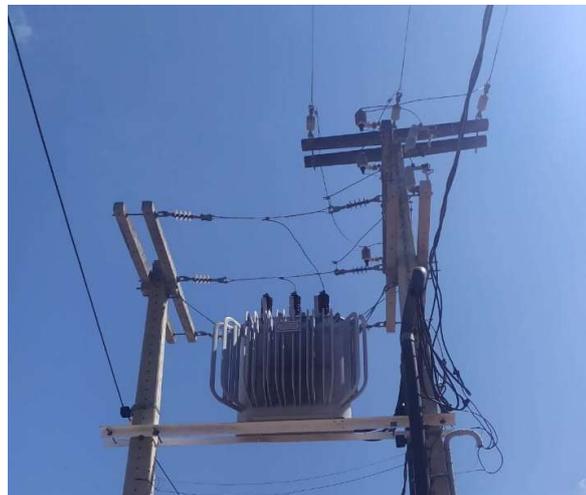
Ao longo das instalações, alguns transformadores (subestações aéreas) fazem a redução da tensão para 380/220V (distribuição secundária). A Tabela 5 apresenta as características dos transformadores existentes no local de estudo. As Figuras 13 e 14 apresentam os transformadores SE – 01 e SE – 02, principais ramais de alimentação do *Campus* Ipanguaçu, os quais serão levados em consideração neste trabalho.

Tabela 5 – Características dos transformadores do IFRN Ipanguaçu

Identificador	Tipo	Potência	Isolação	Localização
SE - 01	Trifásico (13,8kV-380/220V)	225 kVA	A óleo	Parte principal - A
SE - 02	Trifásico (13,8kV-380/220V)	112,5 kVA	A óleo	Parte principal - B
SE - 03	Trifásico (13,8kV-380/220V)	30 kVA	A óleo	Fazenda Escola Avicultura
SE - 04	Trifásico (13,8kV-380/220V)	45 kVA	A óleo	Fazenda Escola Ovinocultura
SE - 05	Trifásico (13,8kV-380/220V)	45 kVA	A óleo	Fazenda Escola Bovinocultura

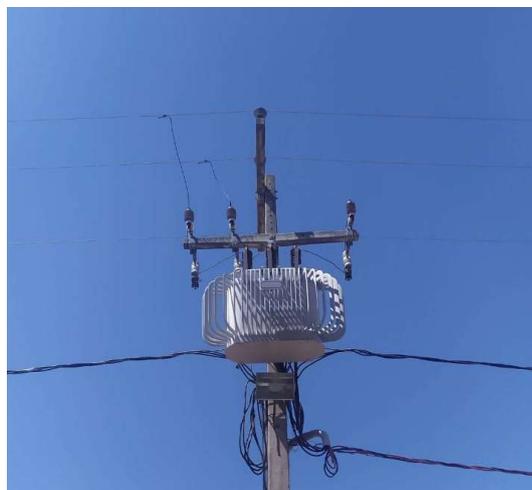
Fonte: O autor.

Figura 13 – Transformador SE – 01 (225kVA)



Fonte: O autor.

Figura 14 - Transformador SE – 02 (112,5 kVA)



Fonte: O autor.

As subestações aéreas SE – 01, SE – 02 e SE – 05, contam ainda com um Grupo Moto Gerador (GMG) dedicado, a fim de atender as cargas conectadas nos momentos de falha de fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária (COSERN). A Tabela 6 apresenta as características destes GMGs. As Figuras 15, 16 e 17 apresentam os GMGs descritos na Tabela 3, respectivamente.

Tabela 6 – Características dos GMGs do *Campus Ipanguaçu*

Identificador	Tipo	Potência	Combustível	Ponto de Conexão
GMG - IP - 01	Carenado - Trifásico (380/220V)	260 kVA	Diesel	SE - 01
GMG - IP - 02	Aberto - Trifásico (380/220V)	260 kVA	Diesel	SE - 02
GMG – IP - 03	Carenado - Trifásico (380/220V)	55 kVA	Diesel	SE - 05

Fonte: O autor.

Figura 15 – GMG – IP – 01 (260 kVA)



Fonte: O autor.

Figura 16 - GMG – IP – 02 (260 kVA)



Fonte: O autor.

Figura 17 - GMG – IP – 03 (55 kVA)



Fonte: O autor.

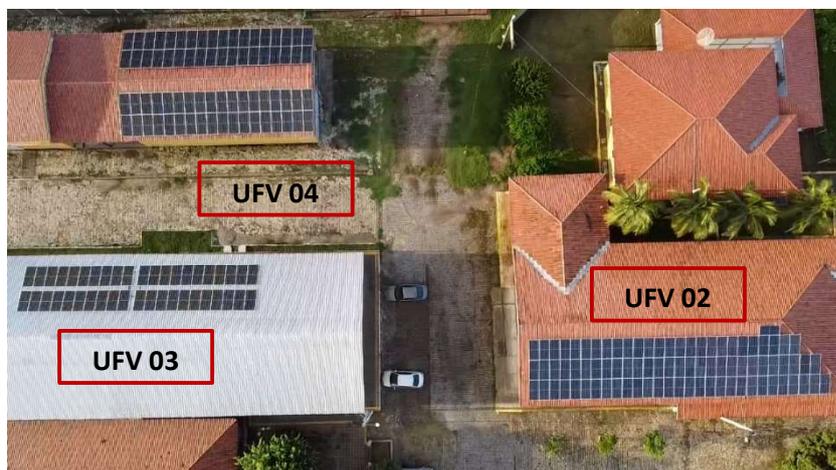
Em relação a sua estrutura quanto a geração distribuída, desde o ano de 2017 o *Campus* Ipanguaçu vem investindo na instalação de usinas fotovoltaicas (UFV). Atualmente, quatro UFV estão em funcionamento. A Tabela 7 apresenta as informações técnicas destas usinas fotovoltaicas. As figuras 18 e 19 apresentam as UFV existentes no *Campus* Ipanguaçu.

Tabela 7 – Informações das UFV do campus Ipanguaçu

UFV	UFV 01	UFV 02	UFV 03	UFV 04
Tipo de sistema	On-grid	On-grid	On-grid	On-grid
Potência	100 kWp	30 kWp	15 kWp	25 kWp
Fabricante - Inversor	WEG – SMA	Sollis	WEG	Growatt
Fabricante – Módulo solar	Canadian	Canadian	Canadian	Canadian
Ponto de conexão na instalação	SE - 02	SE - 01	SE - 01	SE - 01

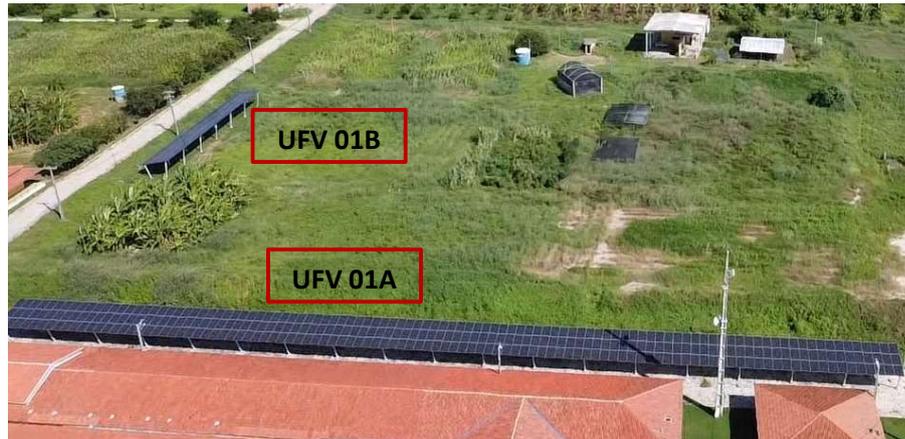
Fonte: O autor.

Figura 18 – Vista aérea das UFV 02, 03 e 04



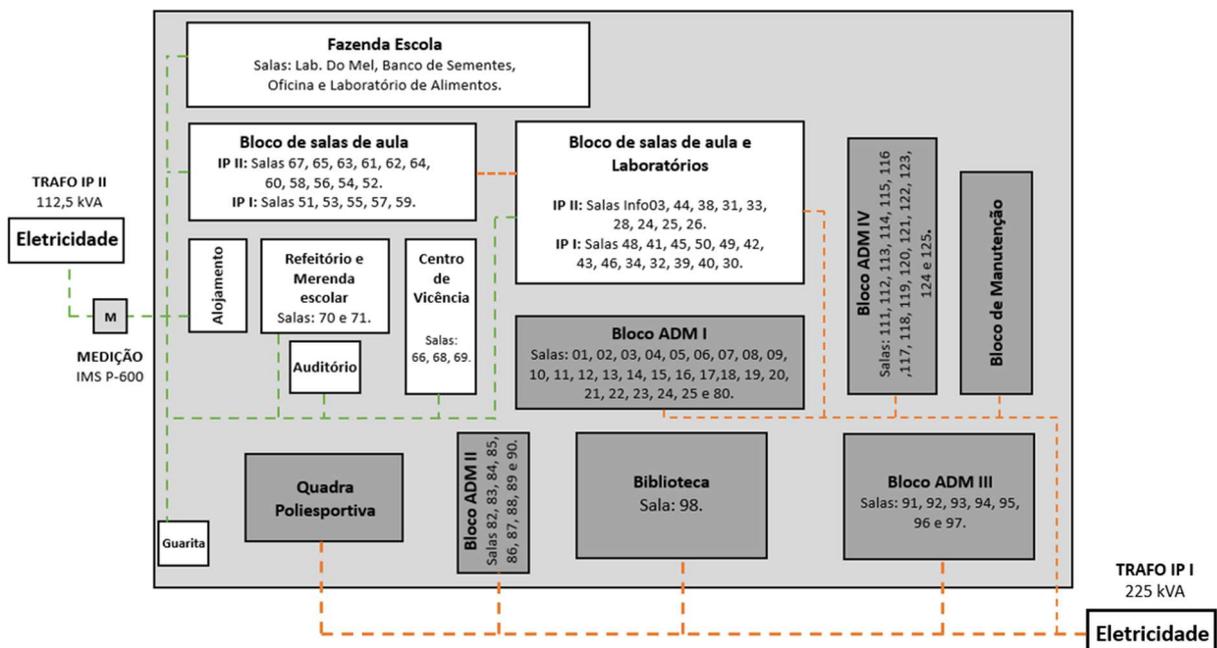
Fonte: O autor.

Figura 19 – Imagem aérea da UFV 01, partes A e B



Fonte: O autor.

Para a análise do estudo proposto, conforme trata a ABNT NBR ISO 50002 e considerando as características de uso significativo de energia, serão definidos como fronteiras de análise os ambientes da edificação ligados apenas aos transformadores SE – 01 e SE – 02, cujas informações já foram apresentadas na Tabela 5. A Figura 20 apresenta o diagrama *fence*, cujo objetivo é representar o fluxo de energia através das fronteiras analisadas.

Figura 20 – Diagrama *Fence* da fronteira de análise SE – 01 e SE - 02

Fonte: O autor.

Este tipo de diagrama ou mapa de energia mostra visualmente o fluxo de energia dentro e através da fronteira do IDE incluindo informações adicionais, como pontos de medição e

fluxos de produtos, os quais são importantes para a análise energética e o estabelecimento de IDE. A escolha dos transformadores SE – 01 e SE – 02 como fronteiras de estudo desse trabalho dar-se pelo fato destes representarem os principais pontos de alimentação elétrica dos ambientes do *campus*, os quais serão analisados na etapa a seguir.

4.2 REVISÃO ENERGÉTICA

Com o objetivo de obter mais informações sobre a instalação elétrica em análise, se faz necessário a realização de uma revisão energética, de acordo com as normas ISO 50001 e 50002. Este procedimento consiste em:

- Analisar o uso e consumo de energia com base em medições e outros dados;
- Identificar o uso significativo de energia (USE);
- Para cada USE, determinar as variáveis relevantes e avaliar o desempenho energético atual (temperatura, dias letivos, acessibilidade etc.);
- Analisar oportunidades para melhoria do desempenho energético.

Nesta perspectiva, foi realizado um diagnóstico energético, o qual consistiu em uma série de medições realizadas por um analisador de energia, o qual foi conectado aos transformadores SE – 01 e SE – 02, com o objetivo de observar o comportamento do sistema elétrico e verificar oportunidades de melhoria do desempenho energético do local. Levando em consideração que a instalação em análise possui geração distribuída solar fotovoltaica (GDFV), também foram coletados os dados dos inversores referentes as UFV conectadas aos transformadores analisados, a fim de compreender os seus respectivos impactos e contribuições no desempenho energético do *Campus*.

Além das campanhas de medição realizadas através do analisador de energia e da coleta dos dados das usinas fotovoltaicas, também foi realizado um levantamento de dados da memória de massa do medidor de energia, o qual possibilitou uma análise de variáveis importantes ao longo de um período de 12 meses, permitindo uma melhor avaliação dos IDE propostos.

Ao final, foi realizado o levantamento do USE de cada transformador analisado, com o objetivo de compreender quais cargas representam maior consumo de energia, bem como identificar quais as melhores possibilidade de aplicação das ações de eficiência energética. Além disso, a identificação do USE dos transformadores irão auxiliar na compreensão dos IDE propostos.

4.2.1 Revisão Energética: Medição de consumo de energia e de outros dados energéticos

O diagnóstico foi realizado nos transformadores SE – 02 (112,5 kVA) e SE – 02 (225 kVA), através da instalação de um analisador de energia, o qual coletou informações conforme dados apresentados na Tabela 8. O analisador utilizado está apresentado na Figura 21 e suas informações também estão apresentadas na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 – Informações das medições realizadas nos transformadores SE – 01 e SE - 02

Medições no Transformador SE - 01	
Modelo do analisador	PowerNET P-600 G4 (Standard)
Fabricante	IMS
Estado de calibração	Calibrado
Período de medição	Início: 14/12/2022 às 16h00 Fim: 19/12/2022 às 14h30
Intervalo das medições	5 minutos
Nº de amostras (medições) por variável	1424
Medições no Transformador SE - 02	
Modelo do analisador	PowerNET P-600 G4 (Standard)
Fabricante	IMS
Estado de calibração	Calibrado
Período de medição	Início: 22/11/2022 às 10h15 Fim: 25/11/2022 às 22h15
Intervalo das medições	5 minutos
Nº de amostras (medições) por variável	1010

Fonte: O autor.

Figura 21 – Analisador de energia utilizado nas medições

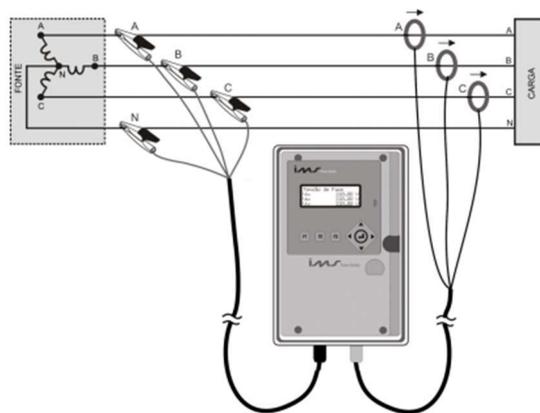


Fonte: O autor.

Nos períodos de medição apresentados para cada transformador foram coletados dados de tensões de linha U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} e U_{avg} (média), tensões de fase V_{an} , V_{bn} , V_{cn} e V_{avg} (média), potências ativas P (total), P_{an} , P_{bn} e P_{cn} , potências reativas Q (total), Q_{an} , Q_{bn} e Q_{cn} , fator de potência (FP), energia ativa (E) e distorção harmônica total de tensão (DTT). Ao longo do período de medição o analisador coletou e registrou os dados a cada 5 minutos, permitindo uma melhor análise e compreensão. Embora o período de medição em horas nos transformadores seja pequeno, é válido destacar que a amostragem das medições é elevada, devido a pequeno intervalo entre as medições, o que permite garantir uma boa análise de dados e avaliação de cenários, tanto no aspecto da qualidade da energia elétrica, bem como na análise de desempenho energético através dos IDE propostos.

O analisador foi conectado no quadro de distribuição geral (QDG) presente no cubículo de medição dos transformadores SE – 01 e SE – 02, cujo nível de tensão é de 380V/60Hz trifásico. Ao longo do procedimento foram adotadas todas as medidas previstas na NR-10, a qual trata da segurança em serviços e instalações elétricas. O esquema de conexão do analisador foi realizado conforme manual disponibilizado pelo fabricante, conforme apresenta as Figuras 22, 23 e 24. Após a finalização do período de medição, os dados foram extraídos do analisador através da conexão com o computador por meio do *software* IMS Power Manager.

Figura 22 – Esquema de conexão do analisador



Fonte: www.ims.ind.br

Figura 23 – Conexão do analisador ao TRAFO SE - 02



Fonte: O autor.

Figura 24 – Conexão do analisador ao TRAFO SE - 01



Fonte: O autor.

4.2.2 Revisão Energética: Levantamento do Uso Final de Energia (USE)

Com o objetivo de conhecer o perfil da carga do *Campus*, bem como compreender a motivação da demanda mais expressiva do consumo de energia, realizou-se o levantamento, aplicado aos transformadores SE – 01 e SE – 02, do Uso Significativo de Energia (USE),

caracterizado como uso de energia responsável por substancial consumo de energia ou que ofereça considerável potencial para melhoria de desempenho energético, conforme ABNT NBR ISO 50001.

Esse levantamento foi realizado conforme orientações da ABNT NBR ISO 50001 e 50002, através de uma visita de campo, com a verificação visual de cada sala ou prédio da edificação em análise. Para o levantamento do USE de cada transformador foi necessário o período de 2 (dois) dias, tendo em vista o grande número de salas e equipamentos. O procedimento consistiu em coletar os dados de potência ativa de iluminação, equipamentos (projetores, computadores, impressoras, Tv's), motores elétricos (trifásicos e monofásicos) e aparelhos de climatização, sendo estas as cargas predominantes da edificação. Além da potência ativa, foi realizado o levantamento de outras características relevantes para a análise, como por exemplo, o tipo de lâmpadas (LED, vapor metálico, fluorescente), o tipo de aparelho de ar-condicionado (*inverter* ou convencional), entre outras.

Após a obtenção, os dados foram lançados em uma planilha eletrônica, onde foi possível realizar a análise e a geração dos gráficos resultantes para cada USE, apresentados no Capítulo 5. Com base nesses dados foi possível compreender quais cargas contribuem mais para o consumo de energia em cada transformador. Os Apêndice A e B apresentam as planilhas do levantamento do USE, específicas para cada fronteira (SE – 01 e SE – 02).

4.2.3 Revisão Energética: Levantamento dos dados de geração de energia das usinas fotovoltaicas

Nessa etapa, foi realizado o levantamento dos dados de geração de energia dos geradores fotovoltaicos (GFV) existentes no *campus* Ipanguaçu, já apresentados anteriormente na Tabela 7. O objetivo é analisar o impacto da geração distribuída no consumo de energia elétrica do campus Ipanguaçu e assim, posteriormente, verificar a variabilidade dos indicadores de desempenho energético com as suas contribuições.

Ao longo do período de análise dos dados, das quatro UFV existentes no *Campus* Ipanguaçu, apenas duas possuíam sistema de monitoramento disponível para consulta, que são, UFV 03, a qual está conectada ao TRAF0 SE – 01 e a UFV 01, que está conectada ao TRAF0 SE – 02. Com isso, apenas os dados das contribuições das UFV 01 (SE – 02) e 03 (SE – 01) foram levados em consideração nas análises. O período de análise dos dados escolhido foi o mesmo utilizado nas medições apresentadas na seção 4.2.1, em sua Tabela 8, excluindo-se

apenas os dias em que as medições foram inferiores a 24 horas, tendo em vista que o objetivo é analisar o impacto da geração distribuída no desempenho energética da instalação em análise.

Com relação a UFV 03, conectada ao SE – 01, esta é composta por um inversor da marca WEG, modelo SIW500H ST015 M, com potência de saída de 15 kWp. Através do acesso ao sistema de monitoramento WEG *IOT Platform*, foi possível coletar os dados da usina no período desejado, conforme apresentado na Tabela 9. Percebe-se que o período de análise abrange também o final de semana, tendo como característica a ausência de atividades acadêmicas. Desta forma será possível analisar a geração distribuída em função do consumo da instalação em dia não letivos.

Tabela 9 – Período de análise dos dados da UFV 03

Dia	Período
15/12/2022 (quinta-feira)	00h00 às 23h59
16/12/2022 (sexta-feira)	00h00 às 23h59
17/12/2022 (sábado)	00h00 às 23h59
18/12/2022 (domingo)	00h00 às 23h59

Fonte: O autor.

A UFV 01, conectada ao SE – 02, é composta por quatro inversores da marca SMA, modelo STP25000TL, cuja potência de saída é de 25 kWp, cada. Através do acesso ao sistema de monitoramento *Sunny Portal* SMA, foi possível coletar os dados da usina no período desejado, conforme apresentado na Tabela 10. Nesta medição foram levados em consideração apenas os dias úteis, ou seja, dias letivos.

Tabela 10 – Período de análise dos dados da UFV 01

Dia	Período
23/11/2022 (quarta-feira)	00h00 às 23h59
24/11/2022 (quinta-feira)	00h00 às 23h59
25/11/2022 (sexta-feira)	00h00 às 23h59

Fonte: O autor.

Em ambas as UFV analisadas, os inversores permitiram a coleta dos dados de potência ativa (P) e energia ativa (E) em um intervalo de 15 minutos.

4.3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO: DEFINIÇÃO DOS IDE

Para os Indicadores de Desempenho Energético (IDE) foram utilizados modelos baseados em engenharia, conforme apresenta a ABNT NBR ISO 50006 no item 5.3.1, o qual

trata da relação entre consumo de energia e variáveis relevantes do ambiente analisado, como por exemplo área construída, ocupação e usos finais de energia, o que deverão contribuir para análise de desempenho energético em edificações de ensino, como desejado.

É válido destacar que, considerando os períodos de medição adotados, conforme apresentado na Tabela 8 e a quantidade de amostras coletadas realizadas no período de 24 horas, o período da análise dos indicadores será por dia.

4.3.1 IDE por tipo de usuário da energia

Estes indicadores podem ser calculados dividindo-se o consumo em um determinado período pelo número de usuários da edificação. Segundo Morales (2007), a caracterização da quantidade dos usuários em setores, horários de funcionamento, em relação ao consumo de energia, podem auxiliar da identificação dos reais potenciais e quais focos das ações de eficiência energética, permitindo assim análise do desempenho energético da unidade analisada.

Neste trabalho foram definidos os indicadores propostos por Saidel et al. (2005), o quais foram reafirmados e utilizados também por Viana (2018), os quais em seus respectivos estudos também foram aplicados a instituições de ensino, semelhante a este trabalho proposto.

- CMA (Índice de consumo médio por aluno): verifica o consumo por número de alunos.

$$CMA = \frac{C (kWh)}{NA} \quad (12)$$

Onde, NA é o número de alunos e C é o consumo de energia elétrica em kWh.

- CMS (Índice de consumo médio por servidores): verifica o consumo por número de servidores (professores ou técnicos).

$$CMS = \frac{C (kWh)}{NS} \quad (13)$$

Onde, NS é o número de servidores e C é o consumo de energia elétrica em kWh.

Para a mensuração do número de alunos e servidores há duas possibilidades, a primeira, a qual será a escolha prioritária, é o levantamento dos dados de frequência de ambos através do sistema de informações e processos da instituição, que neste caso é o Sistema Unificado de Administração Pública (SUAP). Na impossibilidade de acesso total aos dados de frequência através do SUAP, a outra possibilidade é aplicar o método proposto por Alvarez (1998), o qual

também foi utilizado por Morales (2007), que determina um número de ocupantes equivalentes para a análise do indicador, neste caso, número de servidores equivalente (SE) e número de alunos equivalente (AE), num regime de trabalho de 40 horas, os quais demonstram as Equações (14) e (15), respectivamente. A análise determinará o tipo de levantamento que será utilizado.

$$SE = \sum_{i=1}^n \frac{Ni * hi}{40} \quad (14)$$

Onde, Ni é o número de servidores do regime de trabalho i , hi é o número de horas do regime de trabalho i e n é o número de regimes de trabalho diferentes.

$$AE = \sum_{i=1}^n \frac{Ni * hi}{40} \quad (15)$$

Onde, Ni é o número de alunos do regime de estudo i , hi é o número de horas do regime de estudo i e n é o número de regimes de estudos diferentes.

4.3.2 IDE por área construída

Este tipo de indicador pode ser utilizado na comparação de instalações que tenham atividades semelhantes. Assim, podem-se obter números (baseados em unidades, modelos ou metas a atingir) de uma unidade padrão ou referência e, comparando os números obtidos em outras unidades, verificar a eficiência do uso da energia e seus potenciais de economia (MORALES, 2007).

- CMM (Índice de consumo médio por m^2): verifica o consumo por área construída, comparar com indicadores de instituições semelhantes e verificar índice ótimo para futuras construções.

$$CMM = \frac{C (kWh)}{AC (m^2) * t} \quad (16)$$

Onde, AC é a área construída em m^2 , t corresponde o período analisado e C é o consumo de energia elétrica em kWh.

4.3.3 Definição e quantificação de variáveis relevantes

Conforme a ABNT NBR ISO 50006, de acordo com a necessidade, convém que as variáveis relevantes que podem impactar o desempenho energético sejam definidas e quantificadas em cada análise dos IDE. Por tanto, além da definição das variáveis necessárias para a obtenção dos IDE propostos, o levantamento de variáveis relevantes também é necessário, a fim de embasar e justificar o comportamento dos IDE.

De fato, a análise de dados é normalmente necessária para determinar a significância de variáveis relevantes, que são significantes em termos de desempenho energético. Por exemplo, em uma análise de consumo de energia realizada em uma instalação que possui um elevado número de aparelhos de climatização, entende-se que a variação da temperatura ambiente exerce elevada influência no consumo desses aparelhos. Dessa forma, pode-se entender que em dias mais quentes o consumo de energia dos aparelhos de climatização é maior. Assim, a temperatura caracteriza-se como uma variável relevante no estudo do desempenho energético de uma edificação, por meio da análise de IDE.

Algumas variáveis são mais relevantes para o consumo de energia que outras, assim, nesse trabalho, variáveis como temperatura (média e instantânea), número de dias letivos, ocupação de alunos e servidores, foram definidas como variáveis relevantes, tendo em vista os seus impactos no consumo de energia da instalação. Nessa análise, conforme ABNT NBR ISO 50006, se faz necessário compreender a magnitude da relação entre variáveis relevantes e o consumo de energia, a fim de saber quais variáveis relevantes são significativas, menos significativas ou não significativas, principalmente em relação a análise dos IDE propostos.

Para compreender a relação entre as variáveis relevantes e o consumo uma correlação linear simples é adequada, dessa forma, nesse trabalho foi aplicado a análise de correlação pelo teste não paramétrico de Correlação de Pearson, o qual mede o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas, podendo essa correlação ser positiva, negativa, e o seu grau fraco, moderado ou forte. A aplicação do método de Correlação de Pearson foi realizada por meio do *software* Excel, que por meio dos dados coletados, conforme apresentado nas seções anteriores, permitiu a geração dos gráficos de dispersão apresentados no Capítulo 5, bem como das equações que demonstrarão o grau de correlação entre as variáveis relevantes analisadas e o consumo de energia.

5 RESULTADOS DISCUSSÕES

Com base nos dados coletados, o capítulo a seguir apresentará os resultados obtidos nas análises realizadas, conforme metodologia apresentada no Capítulo 4.

5.1 MEDIÇÃO DE ENERGIA E POTÊNCIA ATIVA

Com as medições realizadas conforme procedimentos apresentados no Capítulo 4, seção 4.2, foi possível obter o perfil de consumo das cargas ligadas aos transformadores SE – 01 e SE – 02, conforme demonstram as Figuras 25 e 26. Nas curvas, os dias que tiveram sua medição comprometida foram suprimidos, sendo levado em consideração apenas os dias em que o período de medição foi de 24 horas.

Figura 25 – Curva do consumo de energia no transformador SE - 01



Fonte: O autor.

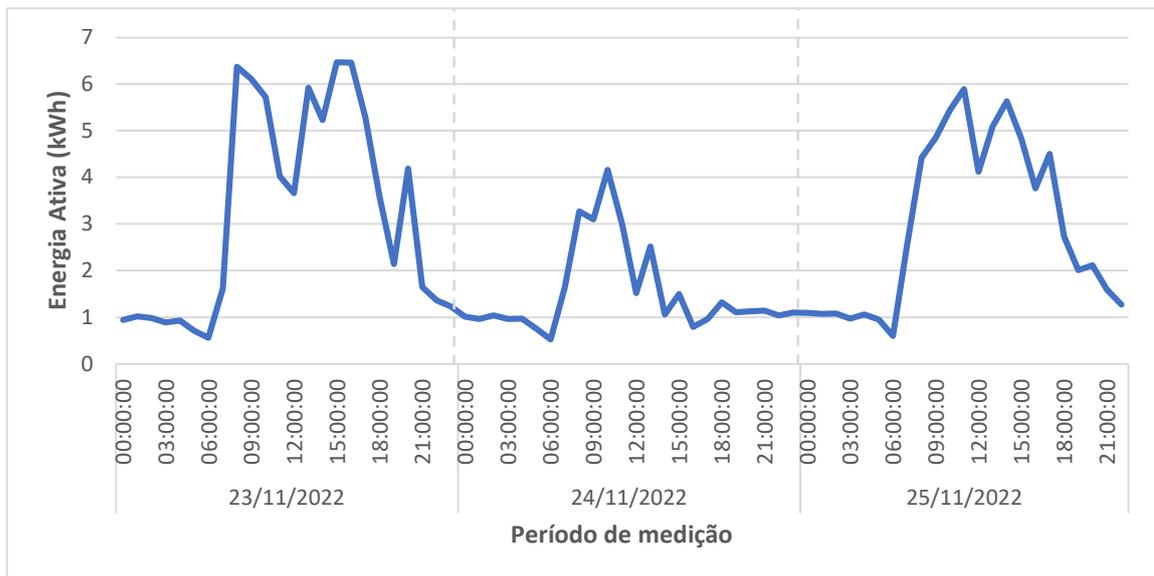
Com base na Figura 25 é possível observar que o consumo de energia no transformador SE – 01 é mais elevado no período da tarde, entre 12h00 e 18h00. A maior parte dos ambientes alimentados pelo SE – 01 são de natureza administrativa, cuja ocupação de servidores é baixa, principalmente no período da manhã. As curvas registradas nos dias 15/12/2022 (quinta-feira) e 16/12/2022 (sexta-feira) possuem um formato semelhante, o qual está relacionado ao padrão de funcionamento do *Campus*, neste caso em dias da semana.

Já nos dias 17/12/2022 (sábado) e 18/12/2022 (domingo), vê-se um comportamento diferente na curva de consumo. Ambas se apresentam de forma negativa na maior parte do dia,

especificamente no período entre 05h00 e 17h00. Este período coincide com o ciclo de geração de energia fotovoltaica, resultante das UFV 02, 03 e 04, as quais estão conectadas ao transformador SE – 01. Dessa forma, note-se que devido a diminuição da carga, em virtude do final de semana, a geração fotovoltaica é superior ao consumo da edificação.

Agora, analisando a Figura 26, vê-se que no transformador SE – 02 o consumo mais elevado está compreendido entre o período das 07h30 às 17h30, o qual caracteriza-se como período de maior fluxo de alunos e servidores no *campus*. A maior parte dos ambientes alimentados pelo SE – 02 são salas de aula e laboratórios, cuja ocupação de alunos e professores é maior, inclusive ao longo de todo o dia. No gráfico, também é possível notar uma semelhança ao longo dos dias da medição realizada (22/11/22 a 25/11/22), contudo nota-se uma menor amplitude no dia 24/11/22 (quinta-feira), que ocorreu em virtude de alterações nos horários de funcionamento do *Campus*, devido aos jogos da Copa do Mundo. Mesmo sendo um dia atípico, onde o consumo foi reduzido, a análise foi mantida, tendo em vista a medição de 24 horas, o qual irá auxiliar na análise do impacto da GDFV.

Figura 26 – Curva do consumo de energia no transformador SE - 02

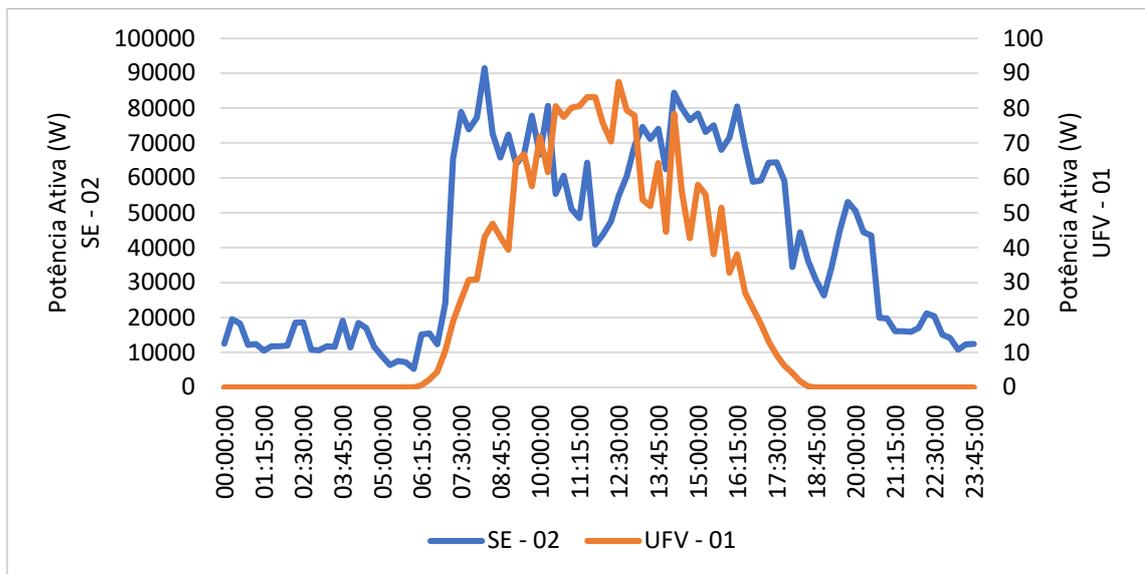


Fonte: O autor.

Em todos os dias analisados, em especial no dia 23/11/2022 (quarta-feira), percebe-se que há uma redução do consumo no período entre 11h00 e 12h00. Essa redução é resultante do intervalo de aulas entre os turnos da manhã e tarde, em que a ocupação no *Campus* diminui e as salas de aula, geralmente, tem os seus equipamentos de refrigeração desligados. Outro fator para a redução do consumo registrado na curva do transformador SE – 02 é o pico de geração

fotovoltaica, que tende a acontecer no período das 10h30 às 14h00. A fim de verificar afirmação anterior, foi traçado o gráfico da curva de potência ativa do transformador SE – 02 no dia 23/11/2022 (quarta-feira) e a potência ativa de geração da UFV 01, conectado ao transformador. A Figura 27 mostra o resultado obtido neste cruzamento, nesse caso, observa-se que a uma contribuição significativa da UFV – 01 neste período, promovendo a redução do consumo.

Figura 27 – Curva de potência ativa do SE – 02 e UFV – 01 (23/11/2022)



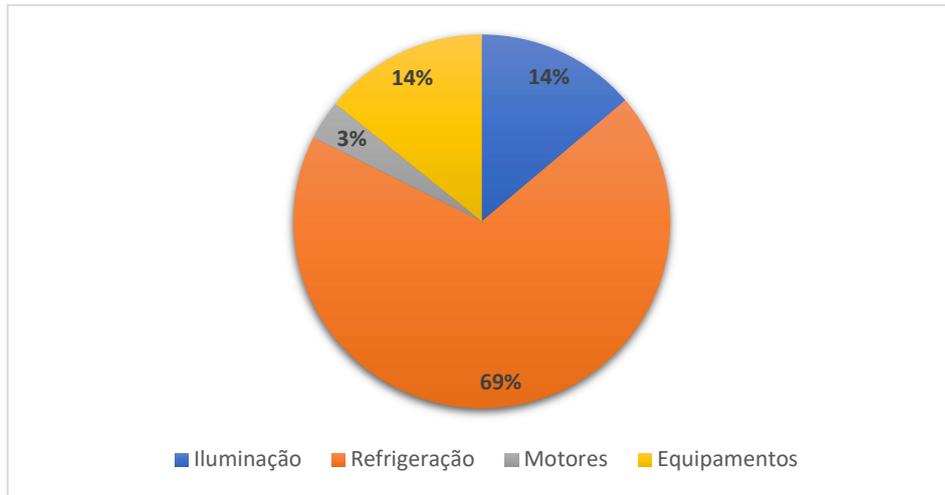
Fonte: O autor.

Para melhor análise e compreensão das curvas obtidas com as medições, é válido destacar os horários e rotinas estabelecidas no *campus* Ipanguaçu ao longo de uma semana de funcionamento. O horário de funcionamento do *campus* está compreendido entre o período das 6h00 às 22h30, de segunda-feira a sexta-feira. As atividades administrativas e acadêmicas se iniciam às 07h00 e finalizam às 22h00, sendo este período dividido em 3 turnos, por exemplo, 07h às 12h (turno da manhã), 13h às 18h (turno da tarde) e 18h00 às 22h00 (turno da noite). No final de semana, o funcionamento se limita apenas as atividades rurais e de segurança patrimonial, realizada pelos funcionários terceirizados. Desta forma, compreende-se que o funcionamento do *campus* possui um padrão, em virtude da sua rotina característica. Isso influencia diretamente nas curvas dos gráficos obtidos, os quais refletem este padrão em virtude da rotina de funcionamento do *campus*.

5.2 LEVANTAMENTO DO USO FINAL DE ENERGIA (USE)

A Figura 28 apresenta o resultado da análise do USE realizada no transformador SE - 01, na qual é possível perceber que os equipamentos de climatização representam cerca de 69% do consumo total de energia, totalizando 178,170 kW de carga instalada, conforme demonstra a Tabela 11 abaixo.

Figura 28 – Uso Significativo de Energia no TRAF0 SE - 01



Fonte: O autor.

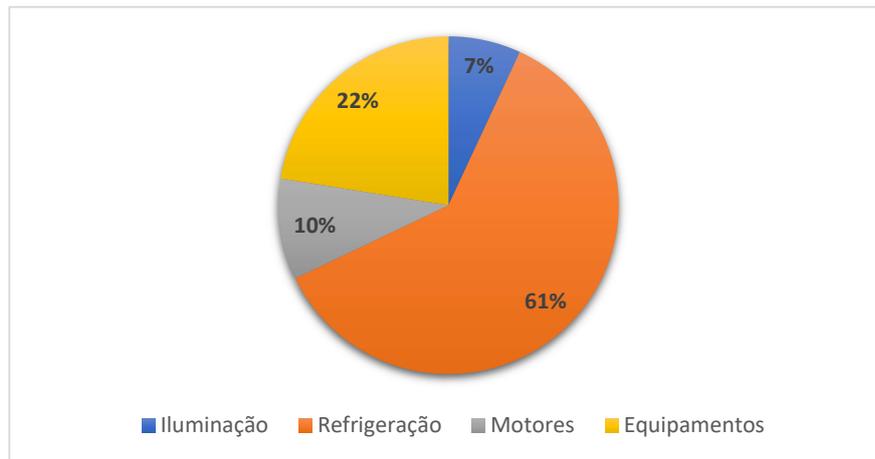
Tabela 11 – Levantamento de carga instalada no TRAF0 SE – 01

Carga instalada: Fronteira SE – 02	
Tipo de carga	Potência (kW)
Iluminação	35,781
Refrigeração	178,170
Motores	8,832
Equipamentos	36,822

Fonte: O autor.

Em relação ao SE – 02, a Figura 29 apresenta o resultado da análise realizada, na qual é possível perceber que os equipamentos de climatização representam mais de 60% do consumo total de energia, totalizando 137,107 kW de carga instalada, conforme demonstra a Tabela 12.

Figura 29 – Uso Significativo de Energia no TRAF0 SE – 02



Fonte: O autor.

Tabela 12 – Levantamento de carga instalada no TRAF0 SE – 02

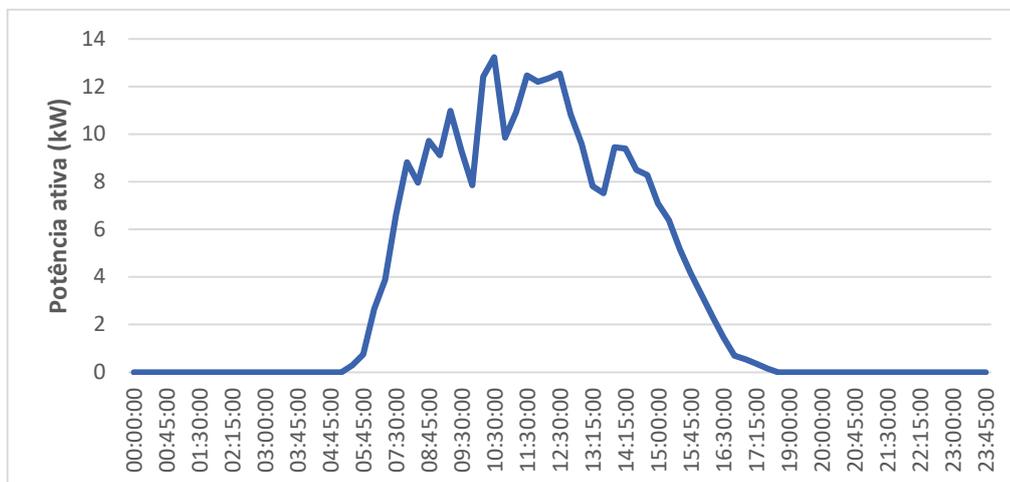
Carga instalada: Fronteira SE – 02	
Tipo de carga	Potência (kW)
Iluminação	15,514
Refrigeração	137,107
Motores	21,712
Equipamentos	50,514

Fonte: O autor.

5.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS DE MEDIÇÃO DAS USINAS FOTOVOLTAICAS

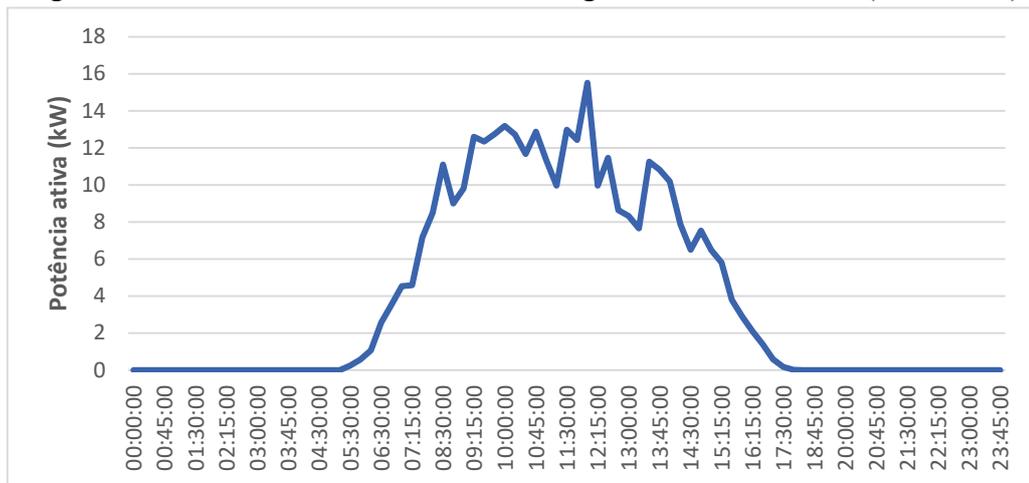
Em relação a UFV 03, conectada ao transformador SE – 01, as figuras 30, 31, 32, 33, mostram os gráficos com as curvas de geração de potência ativa da UFV 03 nos dias de análise apresentados da Tabela 9.

Figura 30 – Curva de Potência Ativa ao longo do dia 15/12/2022 (quinta-feira)



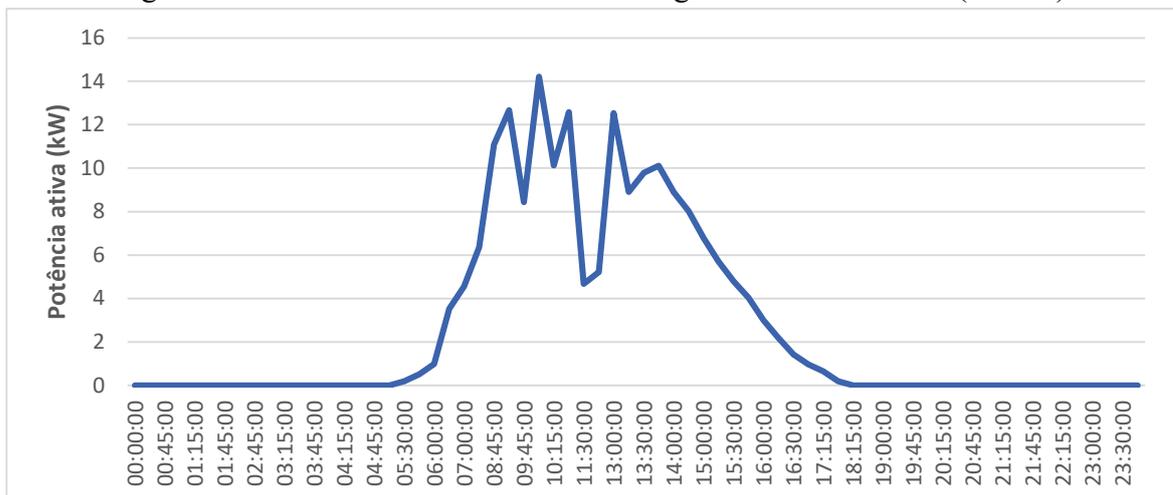
Fonte: O autor.

Figura 31 – Curva de Potência Ativa ao longo do dia 16/12/2022 (sexta-feira)



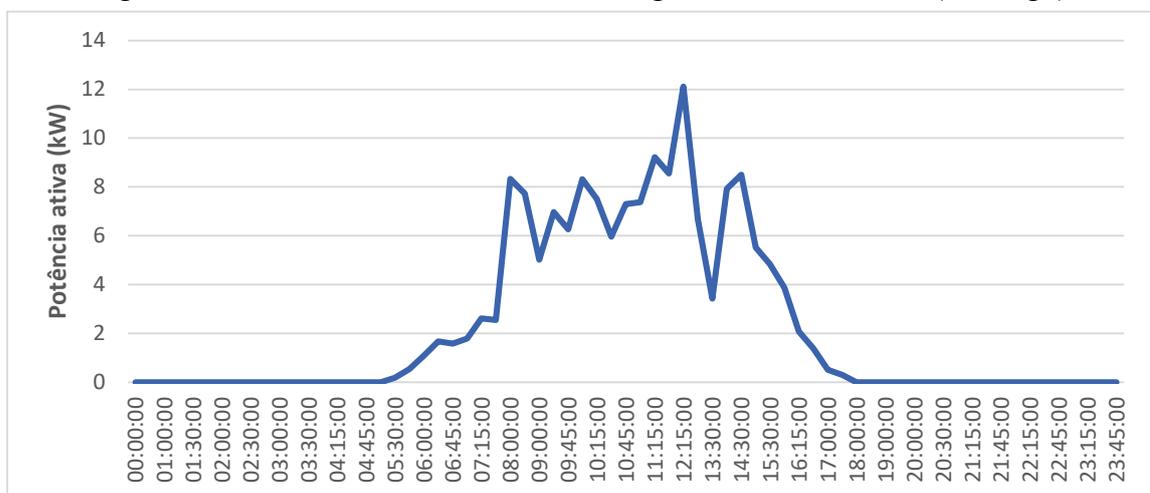
Fonte: O autor.

Figura 32 – Curva de Potência Ativa ao longo do dia 17/12/2022 (sábado)



Fonte: O autor.

Figura 33 – Curva de Potência Ativa ao longo do dia 18/12/2022 (domingo)



Fonte: O autor.

Analisando as curvas, é possível notar que a geração de energia pela UFV 03 tem o seu início a partir das 05h00 e o seu fim após às 17h, sendo este o comportamento esperando em virtude do movimento do sol. De modo geral, pode-se notar que o pico de geração de energia nos dias analisados ocorre no período entre 10h00 e 12h00, sendo este, o período de maior incidência da radiação solar sobre a terra. Analisando separadamente, nota-se que no dia 15/12 (quinta-feira) a geração de energia teve o seu valor máximo às 10h30, atingindo 13,24 kW. No dia 16/12 (sexta-feira) o valor máximo registrado é superior ao registrado no dia anterior, atingindo 15,51 kW às 12h00. Já no dia 17/12 (sábado) o valor máximo foi de 14,21 kW às 10h00. Neste dia, é possível perceber que no período entre 10h30 e 13h00 houve um afundamento considerável na curva de geração de energia, o que pode ter sido causado pela diminuição da radiação solar sobre os módulos que compõem o GFV 03, geralmente em virtude de um possível sombreamento ou formação de nuvens. O gráfico apresentado na Figura 34 demonstra a energia gerada pela UFV 03 em cada dia analisado.

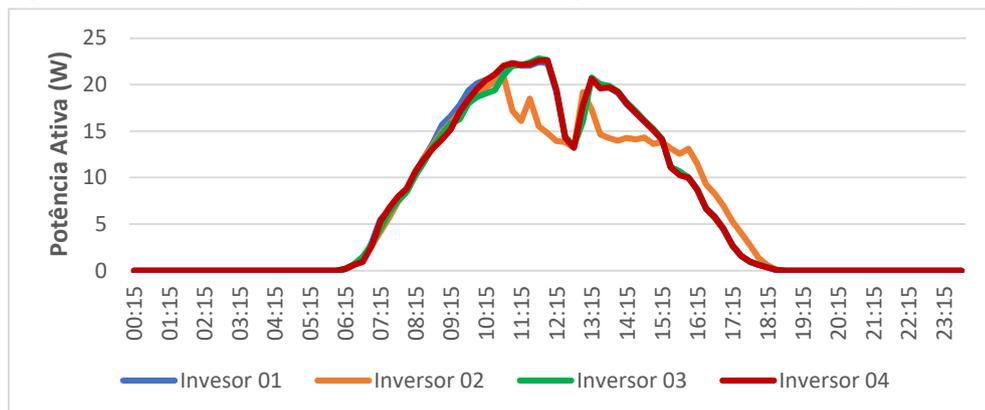
Figura 34 – Energia gerada pela UFV 03 em cada dia do período de análise



Fonte: O autor.

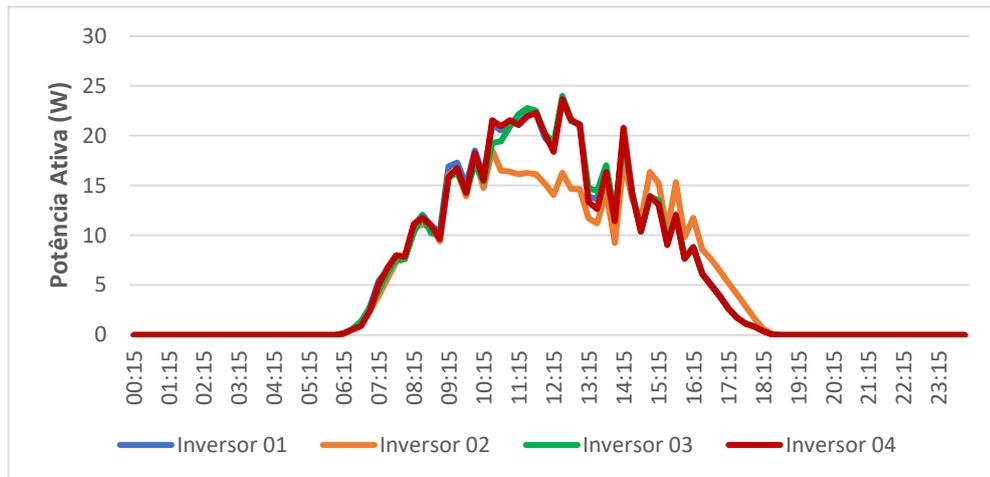
Já com relação a UFV 01, conectada ao transformador SE – 02, as Figuras 35, 36, 37 e 38 mostram os gráficos com as curvas de geração de potência ativa da UFV 01 nos dias de análise apresentados da Tabela 10.

Figura 35 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 22/11/2022 (terça-feira)



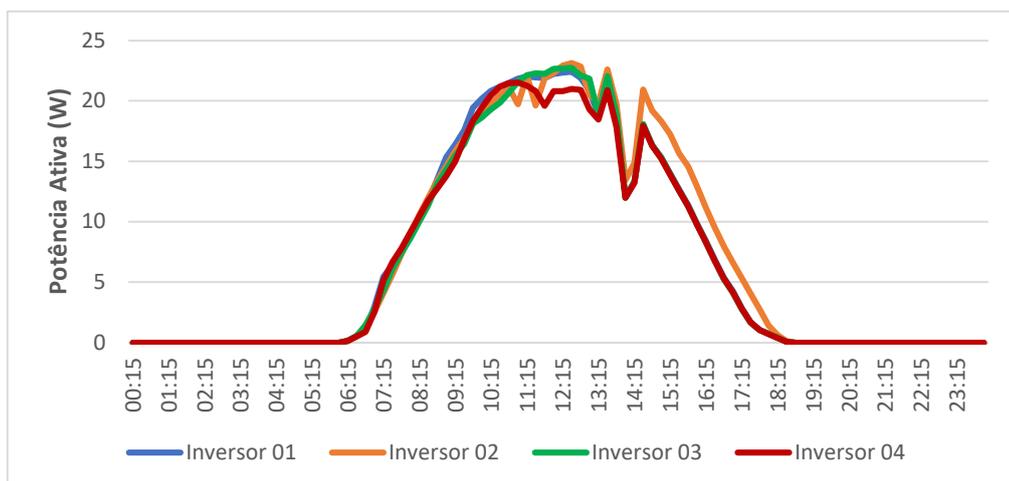
Fonte: O autor.

Figura 36 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 23/11/2022 (quarta-feira)



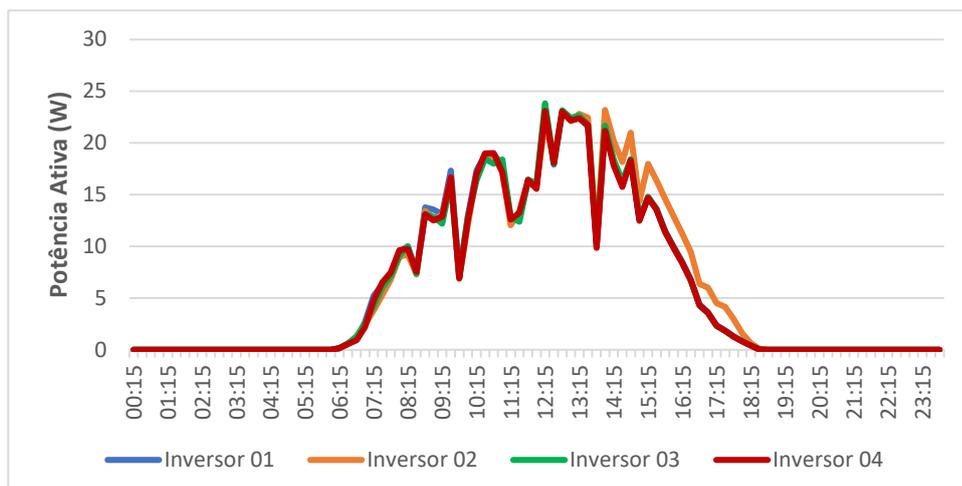
Fonte: O autor.

Figura 37 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 24/11/2022 (quinta-feira)



Fonte: O autor.

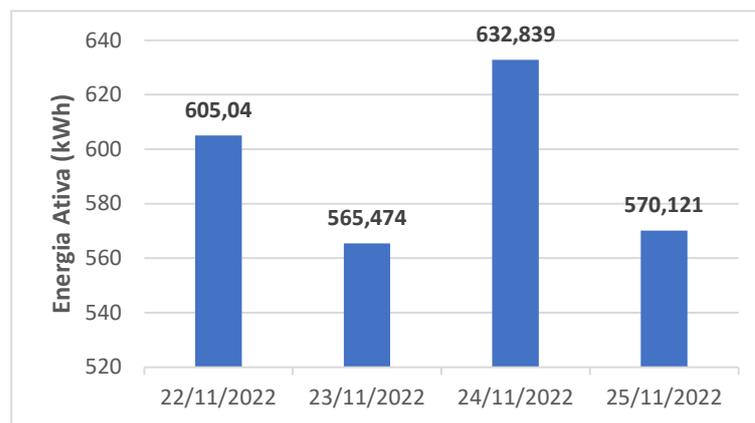
Figura 38 – Curvas de Potência Ativa ao longo do dia 25/11/2022 (sexta-feira)



Fonte: O autor.

O comportamento, assim, como explanado também anteriormente, segue como esperado. É interessante observar que ao longo do dia o comportamento das curvas de potência dos Inversores 01, 03 e 04 são semelhantes na maior parte do tempo. Por outro lado, o comportamento da curva referente ao Inversor 02 se destoa em relação as demais, principalmente nos dias 22/11 (terça-feira) e 23/11 (quarta-feira). Isso pode ser justificado pela posição e localização que um dos arranjos de módulos da UFV 01, que estão ligados ao Inversor 02, se encontram. Na Figura 19, apresentada na seção 4.1.1, verifica-se que, de fato, um dos arranjos está alocado em uma posição diferente dos demais, resultado em possíveis variações na geração de energia ao longo do dia em comparação aos demais arranjos, devido a sua posição em relação ao sol. O gráfico apresentado na Figura 39 demonstra a energia gerada pela UFV 01 em cada dia analisado.

Figura 39 – Energia gerada pela UFV 01 em cada dia do período de análise



Fonte: O autor.

5.4 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

A partir dos dados coletados nas medições, iniciou-se o processo de obtenção e análise dos IDE propostos no Capítulo 4. Tendo em vista a impossibilidade de coleta dos dados da UFV 02 e UFV 04, as quais impactariam nas análises do desempenho energético da edificação em estudo, para a análise dos IDE preferiu-se utilizar os dados de medição do transformador SE – 02, conforme período de medição apresentado na seção 4.2.1, tendo em vista que a única UFV conectada a este é a UFV 01, o qual foi possível obter todos os dados necessários.

Como definido na seção 4.3, o período de análise dos IDE será diário, ou seja, ao longo de 24 horas. A Tabela 13 apresenta, o período de medição realizado no transformador SE – 02 e o consumo de energia registrado em cada um desses períodos, os quais serão utilizados na análise dos IDE propostos.

Tabela 13 – Período de medição e consumo de energia do TRAFO SE - 02

Dia	Período	Consumo (kWh)
22/11/2022 (terça-feira)	10h15 às 23h59	725,20
23/11/2022 (quarta-feira)	00h00 às 23h59	987,36
24/11/2022 (quinta-feira)	00h00 às 23h59	472,54
25/11/2022 (sexta-feira)	00h00 às 22h15	861,44

Fonte: O autor.

Os dias 22/11/2022 (terça-feira) e 25/11/2022 (sexta-feira) tiveram a suas medições comprometidas devido a impossibilidade de coleta dos dados ao longo de 24 horas, como desejado. Já nos dias 23/11/2022 (quarta-feira) e 24/11/2022 (quinta-feira) foi possível realizar as medições ao longo do período proposto. No entanto, é possível observar que houve uma redução significativa do consumo de energia registrado no dia 24/11/2022 (quinta-feira), isso ocorreu pelo fato da liberação dos alunos, servidores e terceirizados, para acompanhamento do jogo da seleção brasileira de futebol na Copa do Mundo. Dessa forma, optou-se pela escolha do dia 23/11/2022 (quarta-feira) para aplicação e análise dos IDE, também pelo fato de ser este o dia da semana de maior concentração de pessoas presentes no *Campus*.

5.4.1 IDE por tipo de usuário da energia (*CMA* e *CMS*)

O primeiro passo para a avaliação dos IDE *CMA* (consumo médio por aluno) e *CMS* (consumo médio por servidor) e a mensuração do número de alunos e servidores presentes na instituição no período de análise, neste caso, no dia 23/11/2022 (quarta-feira). Como apresentado na seção 4.3.1, essa etapa poderia ser realizada de duas formas, através dos dados de frequência dos usuários obtidos por meio do sistema de informações e processos da instituição, que neste caso é o Sistema Unificado de Administração Pública (SUAP), ou a aplicação do método proposto por Alvarez (1998), sendo a primeira forma a escolhida.

Destaca-se que, todo o levantamento do número de alunos e servidores foi realizado com base nos ambientes que são alimentados pelo transformador SE – 02, tendo em vista que os dados de consumo de energia utilizados foram obtidos por meios das medições do SE – 02, apenas. Para isso, foi realizado a separação de todos os ambientes que são alimentados pelo SE – 02, conforme diagrama *Fence* apresentado na Figura 20 da seção 4.1.1, e realizado todo o levantamento necessário para obtenção dos IDE. Neste processo, além do sistema SUAP, foram utilizados outros documentos como, calendário acadêmico, planos de aula, tabela de horários de aulas, relatório de frequência dos alunos, plano de alocação de turmas e calendário de férias.

A Tabela 14 apresenta os dados de ocupação dos alunos e servidores, tanto em relação ao dia inteiro como também em cada turno.

Tabela 14 – Ocupação e consumo dos ambientes ligados ao TRAF0 SE - 02

Dia	Período (Turno)	Nº de alunos	Nº de servidores	Consumo (kWh)
23/11/2022 (quarta-feira)	Dia inteiro	705	30	988,36
	Manhã (06h às 12h)	195	12	339,48
	Tarde (13h às 18h)	296	17	358,81
	Noite (19h às 23h)	214	6	118,02

Fonte: O autor.

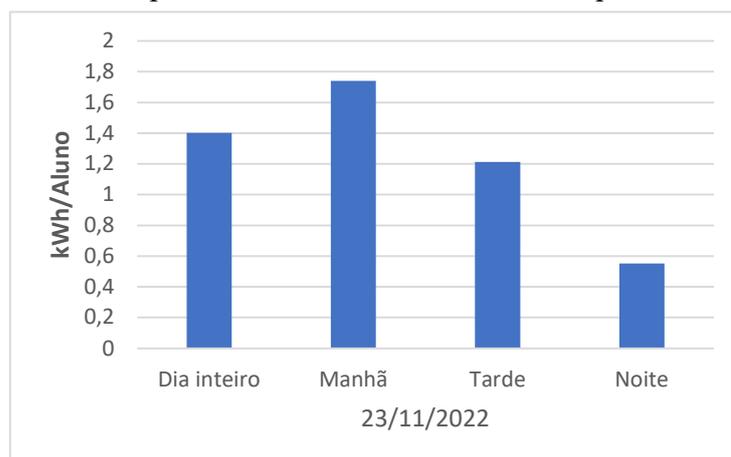
Aplicando os dados da Tabela 14 em (12), é possível obter os valores referente ao IDE *CMA*, conforme apresenta a Tabela 15 abaixo. A Figura 40 apresenta o gráfico com o comportamento deste IDE em cada período analisado.

Tabela 15 – Valores do Índice de consumo médio por aluno (*CMA*) obtidos

Dia	Período (Turno)	Nº de alunos	Consumo (kWh)	<i>CMA</i> (kWh/Aluno)
23/11/2022 (quarta-feira)	Dia inteiro	705	988,36	1,4019
	Manhã (06h às 12h)	195	339,48	1,7409
	Tarde (13h às 18h)	296	358,81	1,2121
	Noite (19h às 23h)	214	118,02	0,5514

Fonte: O autor.

Figura 40 – Comportamento do IDE *CMA* em cada período analisado



Fonte: O autor.

Observando a Figura 40, nota-se que ao longo do dia, mesmo com a elevação do número de alunos presentes no *Campus*, houve uma redução significativa no valor do IDE *CMA*, inclusive, mesmo com o aumento do consumo de energia. Vale salientar que, com base no estudo do Uso Significativo de Energia (USE) do *Campus*, aplicada ao transformador SE – 02,

apresentado na seção 5.2, viu-se que os equipamentos de climatização representam mais de 60% do consumo total de energia da instalação. Essa informação é importante, pois, auxilia na justificativa da elevação deste consumo de energia ao longo do dia, principalmente pelo fato da elevação da temperatura e o aumento da ocupação dos ambientes, pois, são fatores que contribuem diretamente para o aumento do consumo de energia dos equipamentos de refrigeração, conseqüentemente do consumo total de energia da instalação. Além disso é importante destacar que o uso dos equipamentos de refrigeração a noite é elevado, pois, devido o *Campus* estar localizado em uma área rural, as luzes acessas no turno da noite atraem muitos insetos, por este motivo, todas as portas e janelas das salas precisam estar fechadas, conseqüentemente gerando a necessidade dos equipamentos de refrigeração estarem ligados.

A análise do IDE *CMS* é semelhante a que foi realizado para o IDE *CMA*, do mesmo modo percebe-se que houve uma redução do IDE ao longo do dia, mesmo com a elevação da ocupação de servidores e do consumo de energia elétrica. Aplicando os dados da Tabela 14 em (13), tem-se os valores referentes ao IDE *CMS*, conforme apresenta a Tabela 16. A Figura 41 apresenta o gráfico com o comportamento deste IDE em cada período analisado.

Tabela 16 – Valores do Índice de consumo médio por servidor (*CMS*) obtidos

Dia	Período (Turno)	Nº de servidores	Consumo (kWh)	<i>CMS</i> (kWh/Servidor)
23/11/2022 (quarta-feira)	Dia inteiro	30	988,36	32,9453
	Manhã (06h às 12h)	12	339,48	28,2900
	Tarde (13h às 18h)	17	358,81	21,1064
	Noite (19h às 23h)	6	118,02	19,6700

Fonte: O autor.

Figura 41 – Comportamento do IDE *CMS* em cada período analisado



Fonte: O autor.

A elevação do consumo de energia com a elevação de temperatura é uma característica marcante das instalações que possuem demanda elevada de sistemas de climatização. Com o objetivo de verificar a relação entre o consumo de energia e a temperatura, foi realizado uma análise de correlação pelo teste não paramétrico de Correlação de Pearson, o qual mede o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas. A Tabela 17 apresenta o valor de Potência Ativa ao longo do dia 23/11/2022 (quarta-feira) e da variável independente, a temperatura instantânea, utilizados na análise de correlação. Os dados de temperatura foram obtidos por meio do *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Estação A372, Ipanguaçu, RN.

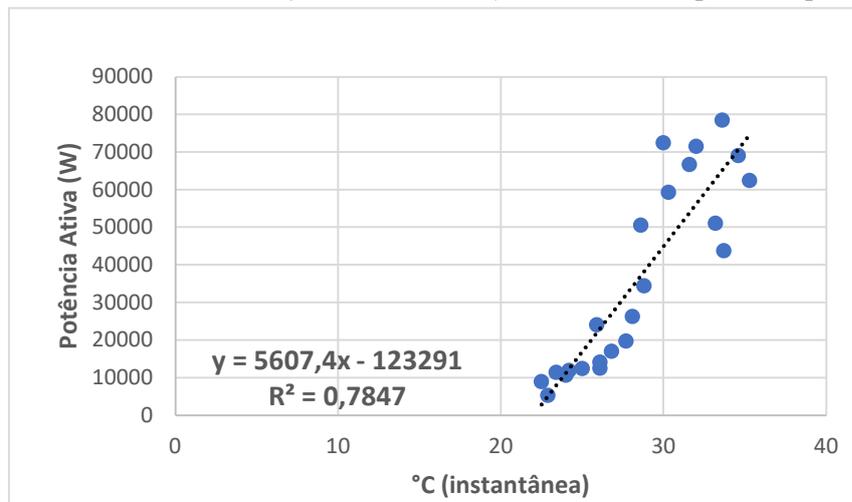
Tabela 17 – Dados de temperatura e Potência Ativa utilizados na Correlação de Pearson

Dia	Hora	Temperatura Instantânea (°C)	Potência Ativa (W)
23/11/2022	00:00:00	26,1	12485,69
23/11/2022	01:00:00	25	12424,79
23/11/2022	02:00:00	24,2	11936,73
23/11/2022	03:00:00	24	10595,33
23/11/2022	04:00:00	23,4	11372,19
23/11/2022	05:00:00	22,5	8899,34
23/11/2022	06:00:00	22,9	5328,28
23/11/2022	07:00:00	25,9	24080,99
23/11/2022	08:00:00	28,2	75560,56
23/11/2022	09:00:00	30	72421,03
23/11/2022	10:00:00	31,6	66643,36
23/11/2022	11:00:00	33,2	51078,88
23/11/2022	12:00:00	33,7	43778,04
23/11/2022	13:00:00	34,6	69083,27
23/11/2022	14:00:00	35,3	62400,73
23/11/2022	15:00:00	33,6	78465,04
23/11/2022	16:00:00	32	71473,47
23/11/2022	17:00:00	30,3	59260,19
23/11/2022	18:00:00	28,8	34423,66
23/11/2022	19:00:00	28,1	26282,49
23/11/2022	20:00:00	28,6	50557,64
23/11/2022	21:00:00	27,7	19698,59
23/11/2022	22:00:00	26,8	16984,63
23/11/2022	23:00:00	26,1	14125,11

Fonte: O autor.

A Figura 42 apresenta o gráfico resultante da análise de Correlação de Pearson com base nos dados apresentados na Tabela 17. Pelo teste de Correlação de Pearson, pode-se perceber que existe uma correlação positiva e forte entre a potência ativa e a temperatura instantânea, com R^2 (coeficiente de determinação) = 0,7847 e R (coeficiente de correlação) = 0,8858. De modo que, é possível afirmar que cerca de 78,47% da variação da potência ativa está relacionada a variação da temperatura instantânea.

Figura 42 – Gráfico da Correlação de Pearson (Potência Ativa por Temperatura Inst.)



Fonte: O autor.

De fato, a variação da temperatura ao longo do dia e a potência ativa possuem alta correlação, o que torna os sistemas de climatização os principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica do *Campus*, sendo este um dos principais campos de atuação para a aplicação de ações de eficiência energética.

Contudo, os IDE *CMA* e *CMS* demonstram um bom comportamento do ponto de vista da eficiência energética, de modo que o consumo médio por alunos e servidores apresentam redução ao longo do dia, mesmo com a elevação da ocupação e do consumo de energia. Sendo os equipamentos de climatização os principais responsáveis pelo aumento do consumo de energia ao longo do dia, o comportamento dos IDE propostos pode estar relacionado a um bom dimensionamento dos aparelhos de ar-condicionado (carga térmica) em relação ao tamanho das salas e do quantitativo máximo de pessoas que as utilizam. Isso revela um bom aproveitamento dos espaços existentes, de modo que, um estudo específico de ocupação das salas e laboratórios, principalmente que ainda serão construídos, pode auxiliar ainda mais na melhoria deste índice.

Os IDE, principalmente o *CMA*, apontam ainda uma necessidade de avaliar melhor a relação do consumo de energia e ocupação dos ambientes no período da manhã. Mesmo com uma ocupação menor em relação aos demais turnos, bem como, uma menor variação na

elevação da temperatura, o consumo é consideravelmente alto. Analisando o funcionamento do *Campus* ao longo do período de medição, foi possível perceber que pela manhã todas as salas são abertas e os seus respectivos aparelhos de refrigeração ligados a partir das 07h00 da manhã, mesmo quando as salas ainda não possuem ocupantes e a temperatura ainda é agradável. A proposição de uma ação de eficiência energética relacionada aos horários de funcionamento dos equipamentos de refrigeração poderia auxiliar na redução do indicador *CMA* no período da manhã, gerando assim uma melhor eficiência energética.

5.4.2 IDE por área construída (*CMM*)

Para a obtenção e análise do IDE *CMM* (consumo médio por m²) se fez necessário realizar o levantamento de área de todos os ambientes alimentados pelo transformador SE – 02. A Tabela 18 mostra os dados de área levantados.

Tabela 18 – Levantamento de área (m²) dos ambientes ligados ao TRAFO SE - 02

Ambientes	Nº	Área (m²)
Sala de Aula	67	57,20
Sala de Aula	65	57,20
Sala de Aula	63	49,20
Sala de Aula	61	49,20
Sala de Aula	62	49,20
Sala de Aula	64	58,50
Sala de Aula	60	49,20
Sala de Aula	58	49,20
Sala de Aula	56	49,20
Sala de Aula	54	49,20
Sala de Aula	52	49,20
Laboratório de Biologia	44	67,24
Laboratório de Manutenção	38	67,24
Laboratório de Eletrônica	31	67,24
Laboratório de Redes	33	67,24
Laboratório de Química	28	160,01
Laboratório de Artes Visuais	24	50,00
Sala de Música	25	50,00
Sala de Vídeo Conferência	26	58,07
Sala da Merenda Escolar	70	144,51
Refeitório	71	302,65
Sala da Educação Física	66	30,00
Banheiro Feminino	68	51,08

Banheiro Masculino	69	51,08
Auditório	75	172,77
Laboratório do Mel	s/n	35,00
Laboratório de Alimentos	s/n	99,54
Banco de Sementes	s/n	215,98
Galpão da Oficina	s/n	112,32
Portaria Externa	1	12,00
	Total	2.380,47

Fonte: O autor.

Com base nos valores de área apresentados na Tabela 18 acima, bem como os valores de consumo de energia registrados no dia 23/11/2022 (quarta-feira) apresentados pela Tabela 14, aplicados em (16), foi possível obter os valores do IDE *CMM*, conforme mostra a Tabela 19.

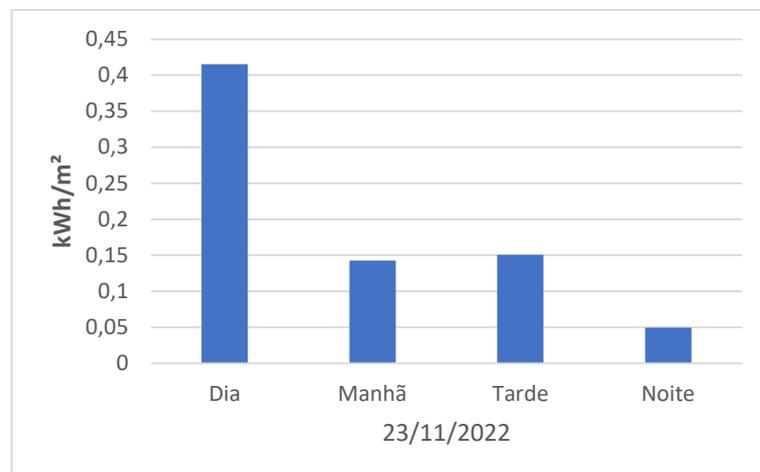
Tabela 19 – Valores do Índice de consumo médio por m² (*CMM*) obtidos

Dia	Período (Turno)	Área (m²)	Consumo (kWh)	<i>CMM</i> (kWh/m²)
23/11/2022 (quarta-feira)	Dia inteiro	2380,47	988,36	0,4151
	Manhã (06h às 12h)	2380,47	339,48	0,1426
	Tarde (13h às 18h)	2380,47	358,81	0,1507
	Noite (19h às 23h)	2380,47	118,02	0,0495

Fonte: O autor.

Na análise, os valores de área correspondem a soma das áreas dos ambientes utilizados em cada turno. Tendo em vista que os mesmos ambientes são utilizados em todos os turnos o valor permanece igual. A Figura 43 mostra o gráfico com o comportamento de IDE *CMM* ao longo do dia.

Figura 43 – Comportamento do IDE *CMM* em cada período analisado



Fonte: O autor.

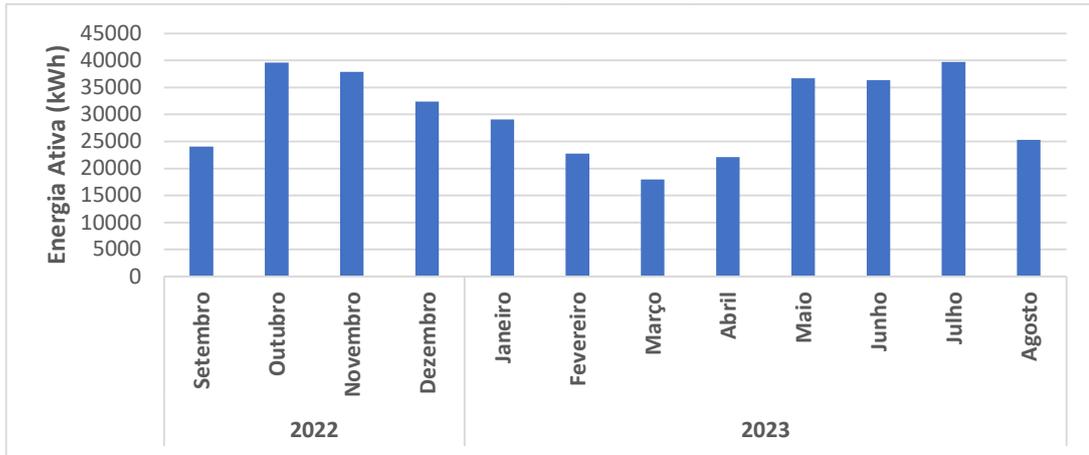
Como não houve variação do valor da área ao longo da análise, entende-se que a variação do indicador se deu em virtude da variação do próprio consumo de energia, ocasionado principalmente pela alteração da ocupação dos ambientes e da elevação da temperatura ao longo do dia, fatores estes que contribuem diretamente para um maior consumo de energia da carga predominantes, de acordo com o USE, os equipamentos de refrigeração.

De fato, os valores obtidos não foram satisfatórios como desejado. Dessa forma, entende-se que a aplicação do IDE *CMM* em uma análise diária não é adequada. Como este IDE visa avaliar a eficiência energética da instalação com o avanço das construções se faz necessário uma análise em um espaço de tempo mais elevado, ao longo de meses ou ao longo de anos, preferencialmente. Assim é possível observar o impacto do crescimento estrutural de uma edificação no consumo de energia. Um levantamento por meio da memória de massa do medidor de energia, ou a análise do consumo ao longo dos anos por meio das faturas de energia elétricas, unidos aos dados de construções no período, podem ser mais interessantes do que o levantamento e análise diário de dados.

5.4.3 Obtenção e análise dos IDE propostos por meio dos dados da memória de massa

Com o objetivo de aprofundar a análise dos IDE propostos decidiu-se realizar uma nova análise, com base nos dados de consumo obtidos pela memória de massa do medidor de energia do *Campus*, o qual leva em consideração toda a instalação, não somente o transformador SE – 02, como abordado nos capítulos anteriores. A solicitação dos dados da memória de massa à concessionária ocorreu em agosto de 2023, na ocasião foram solicitados os dados de corrente elétrica, tensão, potência (ativa, reativa e aparente) e consumo, referente aos últimos 12 meses. Neste caso, os dados recebidos estão compreendidos no período de setembro de 2022 a agosto de 2023. A Figura 44 apresenta o comportamento do consumo total registrado ao longo do período.

Figura 44 – Consumo total de energia ao longo do período analisado



Fonte: O autor.

Para a análise dos IDE propostos foi realizado um novo levantamento das variáveis necessárias, como por exemplo, o número de alunos, servidores e a variação da área, referente as construções que surgiram ao longo do período de análise. O levantamento do número de alunos e servidores foi realizado do mesmo modo apresentando na seção 5.4.1, neste caso, a cada mês. Já em relação a variação da área do Campus ao longo dos 12 meses, foi realizado um levantamento junto ao setor de engenharia do *Campus* Ipanguaçu, a fim de saber quais edificações em construção entraram em funcionamento ao longo do período avaliado. A Tabela 20 mostra os dados coletados, necessários para a obtenção dos IDE *CMA*, *CMS* e *CMM*.

Tabela 20 – Levantamento do número de alunos e servidores, área e consumo de energia

Ano	Mês	Nº de Alunos	Nº de servidores	Área (m²)	Consumo (kWh)
2022	Setembro	910	33	8767,46	24064,992
	Outubro	1024	103	8767,46	39590,838
	Novembro	1004	98	9149,88	37899,729
	Dezembro	1002	101	9149,88	32371,605
2023	Janeiro	1006	99	9217,12	29069,965
	Fevereiro	978	88	9217,12	22748,544
	Março	917	42	9217,12	17947,44
	Abril	953	95	9217,12	22119,048
	Maio	972	97	9217,12	36703,863
	Junho	988	102	9217,12	36333,675
	Julho	997	104	9217,12	39709,845
	Agosto	952	46	9366,39	25322,283

Fonte: O autor.

Com base nos dados apresentados na Tabela 20 e aplicando-os em (12), (13) e (16), foi possível obter os valores referentes aos IDE *CMA*, *CMS* e *CMM*. A Tabela 21 apresenta os valores encontrados para cada IDE ao longo do período analisado.

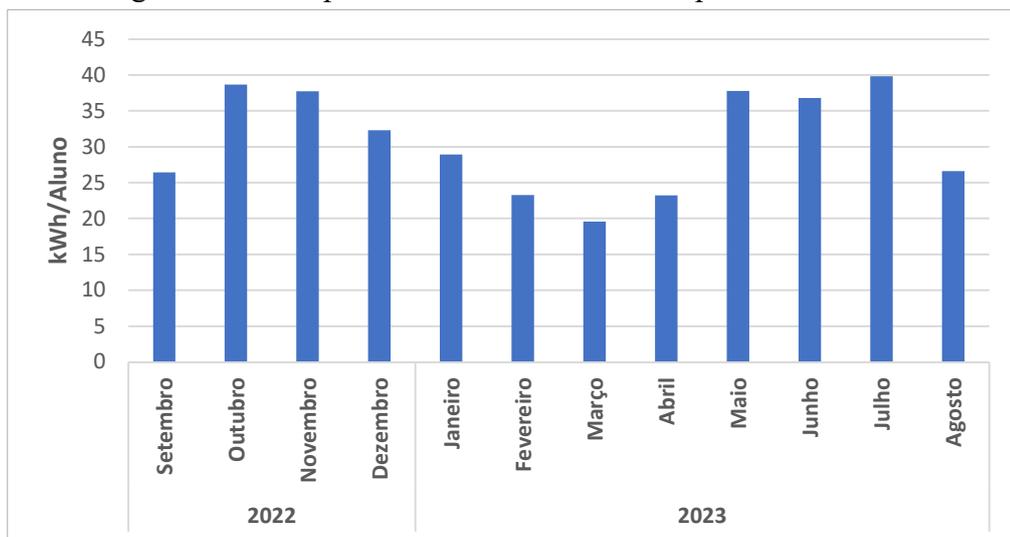
Tabela 21 – Valores dos IDE obtidos com base nos dados da memória de massa do medidor

Ano	Mês	Indicador <i>CMM</i>	Indicador <i>CMA</i>	Indicador <i>CMS</i>
2022	Setembro	2,744808	26,44505	729,2422
	Outubro	4,515657	38,66293	384,3771
	Novembro	4,142101	37,74873	386,7319
	Dezembro	3,537927	32,30699	320,5109
2023	Janeiro	3,15391	28,89659	293,636
	Fevereiro	2,468075	23,26027	258,5062
	Março	1,947185	19,57191	427,32
	Abril	2,399779	23,20991	232,8321
	Maió	3,98214	37,76118	378,3903
	Junho	3,941977	36,77497	356,2125
	Julho	4,30827	39,82933	381,8254
	Agosto	2,703526	26,59904	550,4844

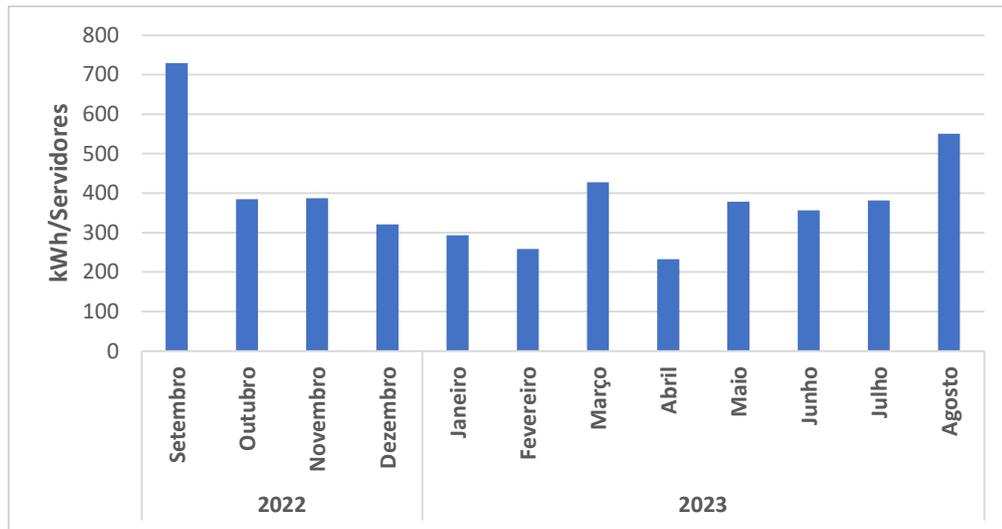
Fonte: O autor.

As Figuras 45 e 46 a seguir mostram o comportamento dos IDE *CMA* e *CMS* propostos ao longo do período analisado, neste caso, de setembro de 2022 a agosto de 2023.

Figura 45 – Comportamento do IDE *CMA* no período analisado



Fonte: O autor.

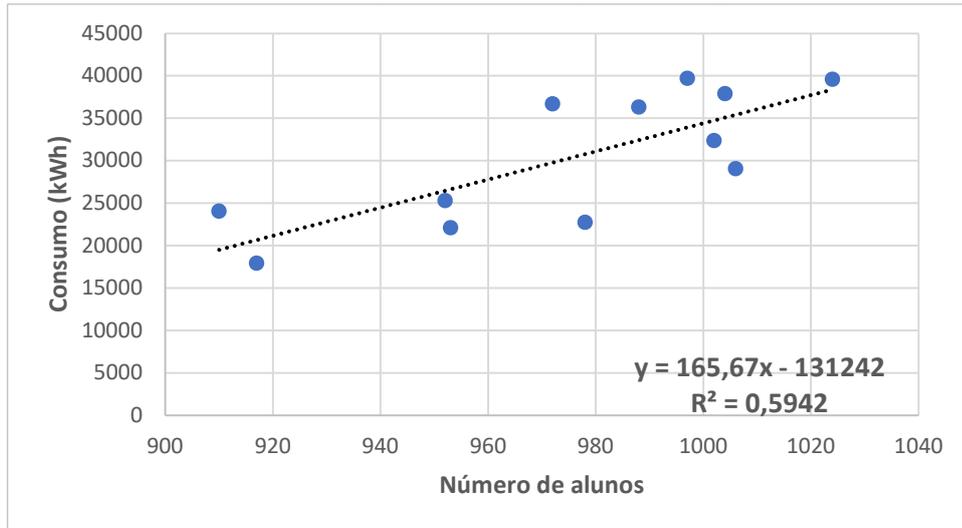
Figura 46 – Comportamento do IDE *CMS* no período analisado

Fonte: O autor.

Em relação aos indicadores *CMA* e *CMS*, observados nas Figuras 45 e 46, é possível perceber que nos meses em que a ocupação de alunos e servidores no Campus foi maior o consumo de energia foi mais elevado, dessa forma, estes IDE foram mais expressivos nestes meses. Assim, nota-se que há correlação entre o número de alunos e servidores com o consumo de energia elétrica. A fim de verificar essa afirmação, foi realizada uma nova análise de correlação, também baseado no teste não paramétrico de Correlação de Pearson. Entretanto, neste caso, a análise foi realizada com base nos dados de consumo e das variáveis independentes, número de alunos e número de servidores, ao longo do período analisado, apresentados na Tabela 20.

A Figura 47 apresenta o gráfico resultante da análise com base no número de alunos e o consumo de energia. Pode-se perceber que existe uma correlação positiva e forte entre as variáveis, com R^2 (coeficiente de determinação) = 0,5942 e R (coeficiente de correlação) = 0,7708. De modo que, cerca de 60% da variação do consumo de energia está relacionada a variação do número de alunos (ocupação).

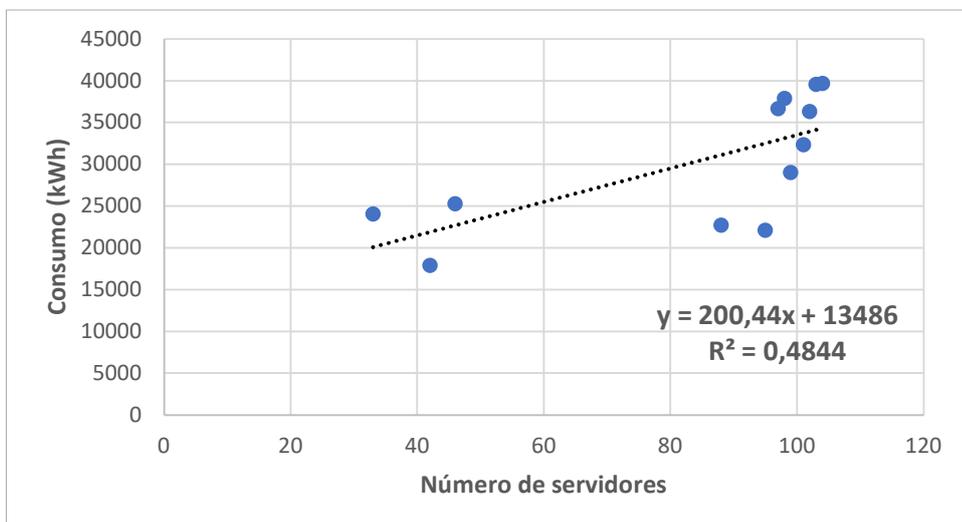
Figura 47 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por número de alunos)



Fonte: O autor.

Dessa forma, o IDE *CMA* nos mostra que é necessário aplicação de ações de eficiência energética que mantenham o consumo de energia equilibrado, principalmente em dia em que a ocupação de alunos no *Campus* é maior. Assim como argumentado na seção 5.4.1, tendo em vista que a carga predominante no *Campus* é a dos equipamentos de climatização, as ações de eficiência devem ser aplicadas nesta fronteira. Viu-se ainda na seção 5.4.1, que o comportamento do IDE *CMA* pode estar relacionado a um bom dimensionamento nos equipamentos de climatização dos ambientes, neste caso, a aplicação de equipamento de climatização com tecnologia *Inverter* contribuiriam ainda mais para a redução do consumo. A Figura 48 mostra o gráfico resultante da análise de correlação feita entre o consumo de energia e o número de servidores.

Figura 48 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por número de servidores)



Fonte: O autor.

Com base nos valores obtidos, onde, R^2 (coeficiente de determinação) = 0,4844 e R (coeficiente de correlação) = 0,7. Pode-se afirmar que há uma correlação positiva e moderada entre as variáveis consumo de energia e número de servidores, em que, cerca de 48,44% da variação do consumo de energia está relacionada a variação do número de servidores.

Sabe-se que, o valor de consumo de energia registrado em cada mês está relacionado a quantidade de dias letivos ocorridos, fato este que também justifica a variação do consumo ao longo do ano. Por exemplo, é natural que em período de recesso escolar e férias o consumo de energia seja menor, uma vez que neste período a ocupação dos ambientes por alunos e servidores também é reduzida. A fim de compreender ainda mais a variação do consumo ao longo do período analisado, foi realizado um levantamento da quantidade de dias letivos em cada mês, realizado através da análise dos calendários acadêmicos do período, os quais podem ser vistos na Tabela 22.

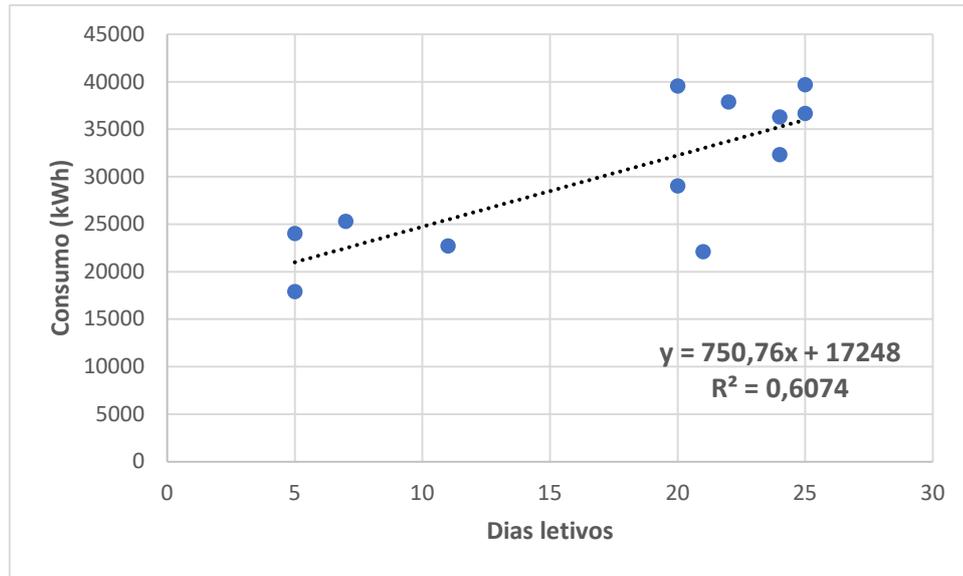
Tabela 22 – Quantidade de dias letivos em mês do período analisado

Ano	Mês	Consumo (kWh)	Dias letivos	Observação
2022	Setembro	24064,992	5	Recesso escolar
	Outubro	39590,838	20	Semestre 2022.2
	Novembro	37899,729	22	Semestre 2022.2
	Dezembro	32371,605	24	Semestre 2022.2
2023	Janeiro	29069,965	20	Semestre 2022.2
	Fevereiro	22748,544	11	Recesso escolar
	Março	17947,44	5	Recesso escolar
	Abril	22119,048	21	Semestre 2023.1
	Maio	36703,863	25	Semestre 2023.1
	Junho	36333,675	24	Semestre 2023.1
	Julho	39709,845	25	Semestre 2023.1
	Agosto	25322,283	7	Recesso escolar

Fonte: O autor.

Para compreender melhor a relação entre a variável consumo de energia e o número de dias letivos no mês, foi realizado o teste de Correlação de Pearson, onde, R^2 (coeficiente de determinação) = 0,6074 e R (coeficiente de correlação) = 0,78, os quais demonstram que há uma correlação forte e positiva entre ela. Assim, cerca de 60% da variação do consumo de energia está relacionada a variação do número de dias letivos em cada mês. A Figura 49 abaixo mostra o gráfico resultante da correlação.

Figura 49 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por dias letivos no mês)



Fonte: O autor.

Nesta perspectiva, com base nos dados apresentado, compreende-se que a redução de dias letivos, bem como a redução da jornada de trabalho dos servidores podem gerar grande impacto na redução do consumo de energia, principalmente em períodos em que a temperatura são mais altas, tendo em vista o impacto da sua elevação no consumo de energia, conforme observado na seção 5.4.1.

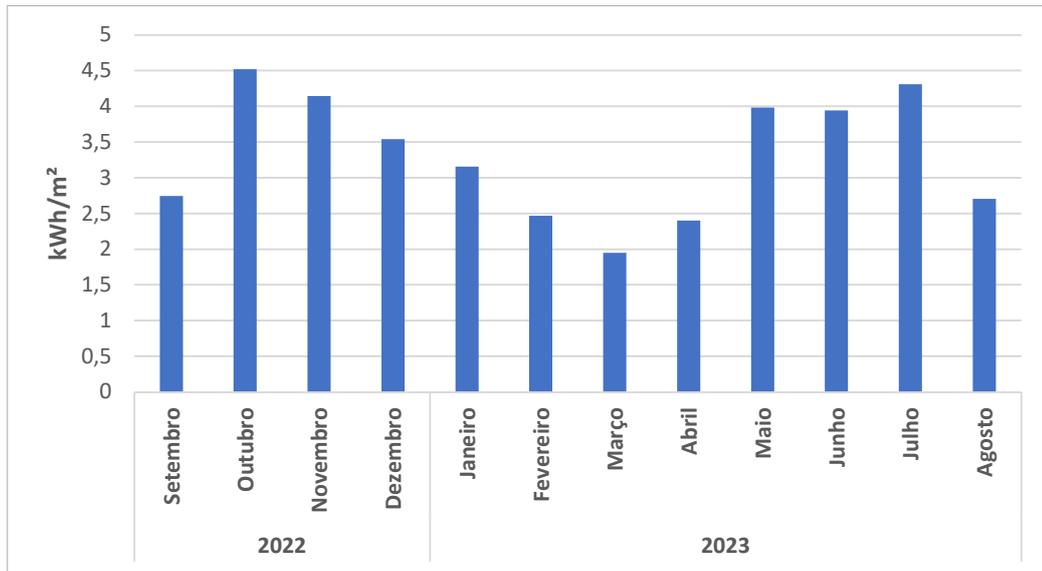
Em relação ao IDE *CMS*, com base na Tabela 20, houve um aumento da área construída do *Campus* ao longo do período de análise. Esse aumento foi resultado do início do funcionamento dos novos setores apresentados pela Tabela 23.

Tabela 23 – Edificações que entraram em funcionamento ao longo do período analisado

Ano	Mês	Edificação	Área (m ²)
2022	Novembro	Estação de tratamento de água - ETE	382,42
2023	Janeiro	Laboratório <i>Maker</i>	67,24
2023	Agosto	Entrepasto de ovos	149,27

Fonte: O autor.

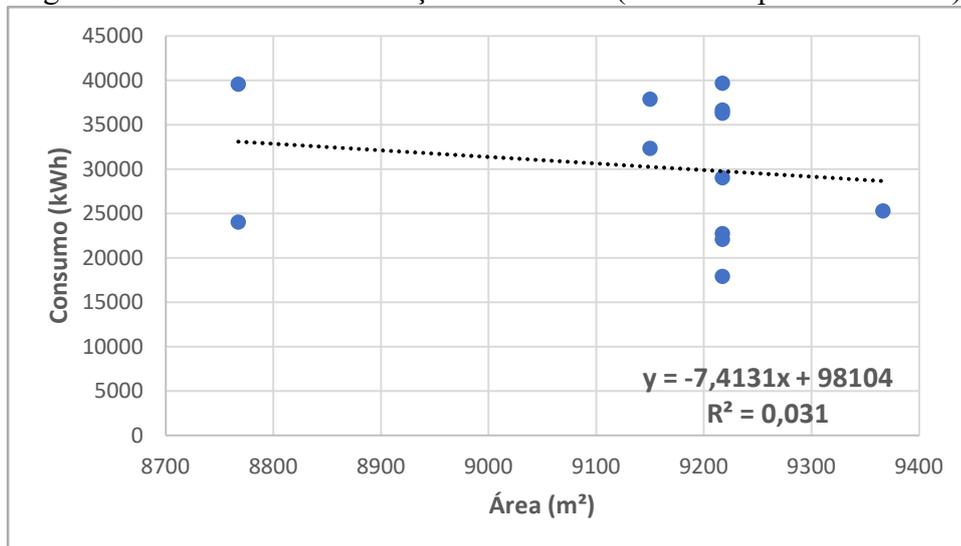
A Figura 50 abaixo mostra o comportamento do IDE *CMM*. Não foi possível observar com clareza o impacto do aumento da área construída na variação do consumo de energia do período. Pode-se afirmar que, a análise deste IDE não é satisfatória quando realizada por meio de dados mensais da memória de massa do medidor, semelhante ao observado na aplicação feita na seção 5.5.2, com a análise diária.

Figura 50 – Comportamento do IDE *CMM* no período analisado

Fonte: O autor.

Com o objetivo de analisar a relação entre as variáveis consumo de energia e área, foi realizado a análise de Correlação de Pearson, através dos dados obtido na Tabela 20. De fato, vê-se que a correlação entre as variáveis é fraca, onde R^2 (coeficiente de determinação) = 0,031 e R (coeficiente de correlação) = 0,176.

Figura 51 – Gráfico da Correlação de Pearson (Consumo por área em m²)



Fonte: O autor.

5.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA

Com o objetivo de aprofundar a análise, foi realizado um detalhamento das medições. Esse procedimento visa observar o comportamento das variáveis que estão relacionadas

diretamente ao desempenho energético da instalação, revelando as condições que podem comprometer a qualidade da energia elétrica. Do ponto de vista da qualidade da energia, as medições foram avaliadas com base nos parâmetros estabelecidos pelo Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8.

As análises foram aplicadas somente as medições realizadas no transformador SE – 02, pois, nesta fronteira foi possível coletar todos os dados necessários, inclusive das contribuições da UFV 01, que irão auxiliar no entendimento da curva de consumo ao longo do período de medição. Outro fator decisivo para tal escolha foi a análise dos IDE realizadas na seção 5.4, que em sua grande parte foi realizada com base nos dados das medições do SE – 02, apenas.

As medições foram realizadas conforme descrito na seção 4.2. O período de medição está compreendido entre o dia 22/11/22 a partir das 10h15, e o dia 25/11/22 até as 22h15. O analisador utilizado realizou a medição com a coleta de registros a cada 5 minutos, com o objetivo de obter maior detalhamento das curvas geradas. Dentre as variáveis medidas, foram analisadas as grandezas tensão elétrica, potência (ativa e reativa), fator de potência e distorção harmônica total de tensão, a fim de conhecer os valores mínimos e máximos em seus respectivos dias e horários, bem como o atendimento ao disposto nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8. A Tabela 24 mostra os dias de análise e seus respectivos horários.

Tabela 24 – Detalhamento do período de medição e análise

Data	Período de medição	
	Dia	Horário
22/11/22	Terça-feira	10h15 às 23h55
23/11/22	Quarta-feira	00h00 às 23h55
24/11/22	Quinta-feira	00h00 às 23h55
25/11/22	Sexta-feira	00h00 às 22h15

Fonte: O autor.

5.5.1 Análise das tensões elétricas

Foram analisadas as tensões de linha Uab, Ubc, Uca e Uavg (média), e as tensões de fase Van, Vbn, Vcn e Vavg (média) a fim de verificar os seus comportamentos ao longo dos dias de medição, levando em consideração os valores mínimos e máximos medidos. Todas as medições referentes as tensões de fase estavam de acordo com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST, conforme o seu Anexo 8.A - Tabela 5, o qual determina 202V como

valor mínimo e 231V como valor máximo de tensão adequado em um ponto de fornecimento de energia.

Já com relação as tensões de linha, entretanto, notou-se que em vários momentos há elevação de tensão, inclusive, atingido valores superiores ao definido pelo PRODIST em seu Módulo 8 como máximo para uma leitura adequada (399V). Além disso, nota-se que as elevações de tensão acima do valor máximo de referência ocorrem sempre no período da manhã, geralmente entre às 5h00 e 06h00, fato este que deverá ser analisado, principalmente em relação a geração distribuída, com o objetivo de descobrir a causa e o impacto disto no desempenho energético da edificação. A Tabela 25 apresenta os valores mínimos e máximos de tensão medidos em seus respectivos horários, ao longo do período de medição estabelecido, caracterizados de acordo com o PRODIST. Todos os gráficos das curvas de tensão relacionadas a esta análise estão contidas no Anexo A.

Tabela 25 – Valores mínimos e máximos de tensão medidos

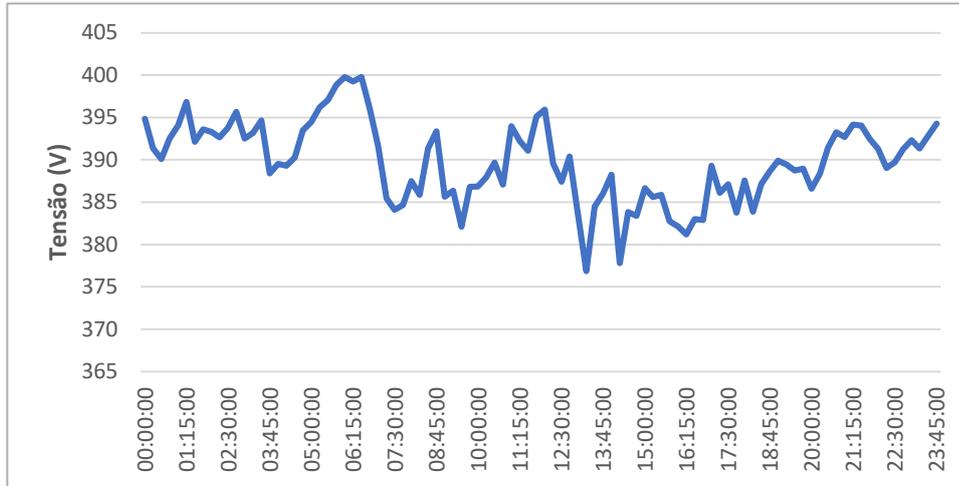
Dia de análise	22/11/2022 (terça-feira)					
Período de análise	10h15 às 23h55					
	Máximo (V)	Classificação	Horário	Mínimo (V)	Classificação	Horário
Van	229,19	Adequada	23h50	220,5	Adequada	17h45
Vbn	227,67	Adequada	11h30	217,88	Adequada	14h10
Vcn	227,36	Adequada	18h35	217,04	Adequada	14h55
Vavg	227,9	Adequada	23h50	218,85	Adequada	14h10
Uab	395,16	Adequada	23h45	380,07	Adequada	17h45
Ubc	394,05	Adequada	18h35	376,72	Adequada	14h15
Uca	395,84	Adequada	23h50	380,07	Adequada	17h45
Uavg	394,73	Adequada	23h50	379,05	Adequada	14h10
Dia de análise	23/11/2022 (quarta-feira)					
Período de análise	00h00 às 23h55					
	Máximo (V)	Classificação	Horário	Mínimo (V)	Classificação	Horário
Van	231,84	Precária	06h10	218,62	Adequada	13h20
Vbn	230,9	Adequada	05h55	217,37	Adequada	15h55
Vcn	231,37	Precária	06h05	216,19	Adequada	13h15
Vavg	231,25	Precária	06h05	217,59	Adequada	13h15
Uab	400,7	Precária	06h10	377,89	Adequada	15h55
Ubc	400,11	Precária	06h05	374,62	Adequada	13h15
Uca	401,28	Precária	06h05	377,75	Adequada	13h15

Uavg	400,57	Precária	06h05	376,87	Adequada	13h15
Dia de análise	24/11/2022 (quinta-feira)					
Período de análise	00h00 às 23h55					
	Máximo (V)	Classificação	Horário	Mínimo (V)	Classificação	Horário
Van	232,37	Precária	06h00	223,84	Adequada	08h35
Vbn	231,66	Precária	06h10	221,41	Adequada	09h35
Vcn	231,25	Precária	11h30	222,42	Adequada	22h10
Vavg	231,4	Precária	05h55	222,6	Adequada	08h05
Uab	401,96	Precária	06h10	384,39	Adequada	09h35
Ubc	400,82	Precária	06h15	384,64	Adequada	08h05
Uca	401,41	Precária	05h55	387,36	Adequada	09h35
Uavg	400,8	Precária	05h55	385,55	Adequada	08h05
Dia de análise	25/11/2022 (sexta-feira)					
Período de análise	00h00 às 22h15					
	Máximo (V)	Classificação	Horário	Mínimo (V)	Classificação	Horário
Van	232,04	Precária	06h05	217,11	Adequada	12h35
Vbn	230,65	Adequada	05h45	215,33	Adequada	12h35
Vcn	230,76	Adequada	05h55	214,18	Adequada	12h35
Vavg	230,97	Adequada	05h55	215,54	Adequada	12h35
Uab	400,71	Precária	06h05	373,79	Adequada	12h35
Ubc	399,21	Precária	05h55	371,36	Adequada	12h35
Uca	400,96	Precária	05h55	374,84	Adequada	12h35
Uavg	400,05	Precária	05h55	373,33	Adequada	12h35

Fonte: O autor.

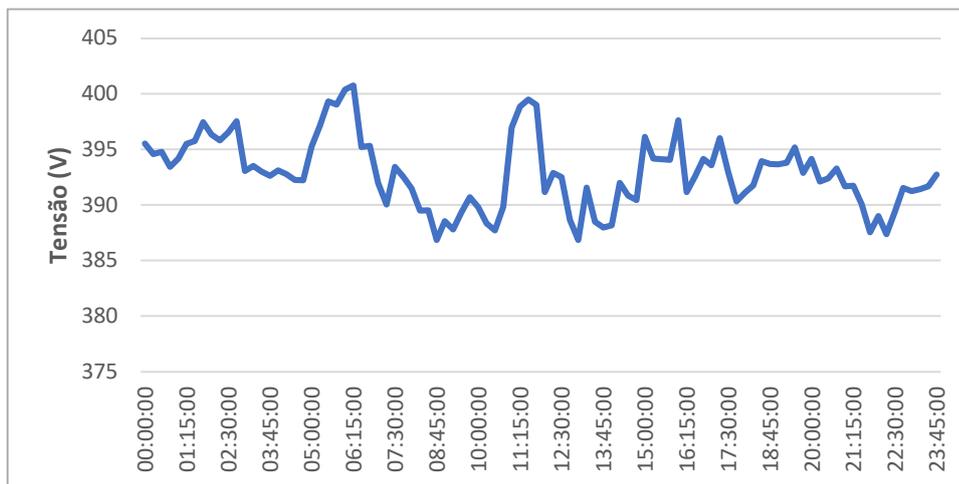
Para uma melhor compreensão do comportamento da tensão ao longo do período de medição, as Figuras 52, 53 e 54 mostram as curvas de tensão nos dias 23/11/2022 (quarta-feira), 24/11/2022 (quinta-feira) e 25/11/2022 (sexta-feira), nos quais foram registrados os valores de tensão acima do máximo para uma leitura adequada (399V).

Figura 52 – Curva de tensão ao longo do dia 23/11/2022 (quarta-feira)



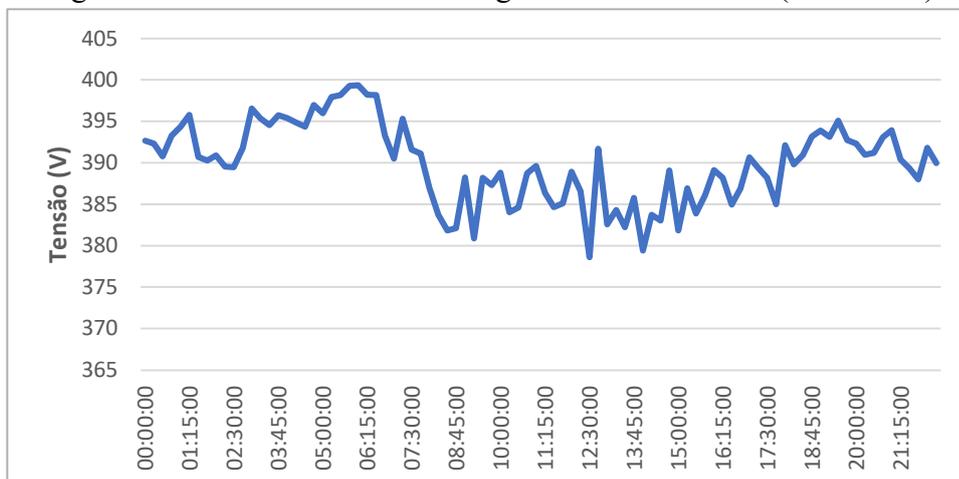
Fonte: O autor.

Figura 53 – Curva de tensão ao longo do dia 24/11/2022 (quinta-feira)



Fonte: O autor.

Figura 54 – Curva de tensão ao longo do dia 25/11/2022 (sexta-feira)

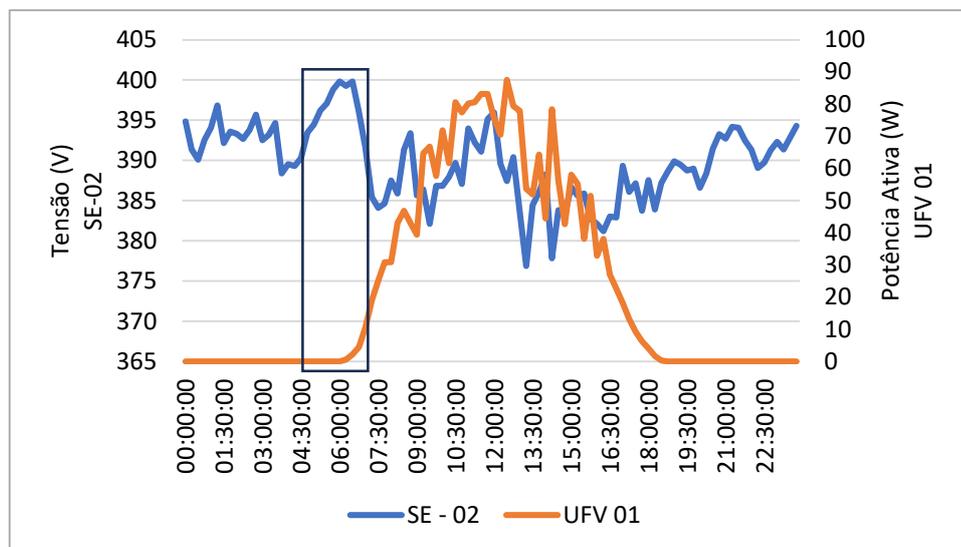


Fonte: O autor.

De fato, percebe-se que a tensão não só atingiu o valor de 399V em alguns momentos como também ultrapassa, especificamente no dia 25/11/2022 (quinta-feira). Tendo em vista o horário em que essas oscilações acontecem, decidiu-se verificar o impacto da UFV 01 nesse distúrbio, já que a penetração fotovoltaica pode ser um fator causador dessa elevação de tensão. Segundo Souza et al. (2014), a inserção de microgeração distribuída via fonte solar, implica na elevação do valor da tensão no ponto de conexão e nas proximidades destas as unidades com geração. Nesta mesma perspectiva, Karimi et al. (2015), destacam os seguintes problemas da inserção fotovoltaica, como: a regulação da tensão (flutuação de tensão, aumento da tensão e desequilíbrio de tensão), harmônicos de corrente e tensão.

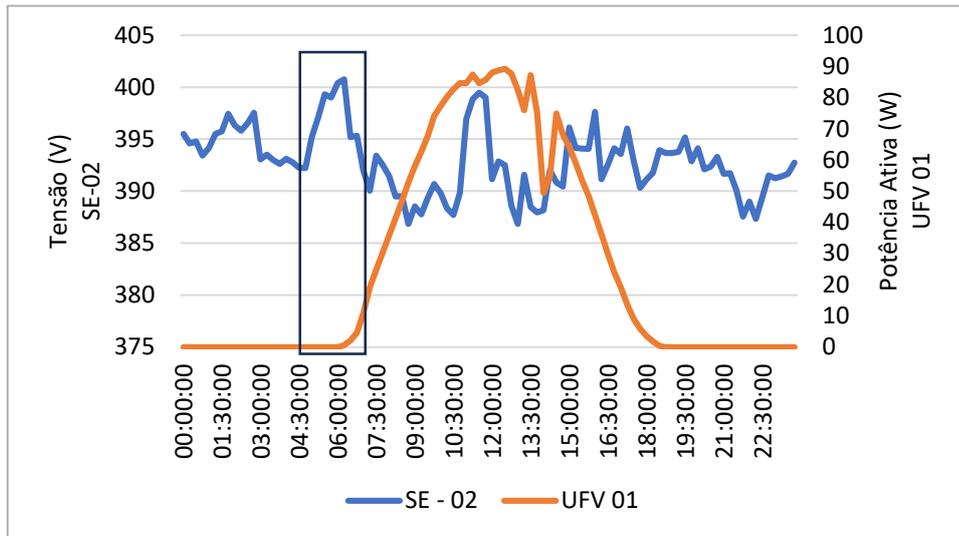
Com base nisso, a fim de avaliar o impacto da geração distribuída na oscilação de tensão do transformador SE – 02, foi realizado o cruzamento dos dados referente as curvas de tensão com a potência gerada pela UFV 01 ao longo do período analisado. As Figuras 55, 56, e 57 apresentam o resultado desses cruzamentos.

Figura 55 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (23/11/2022)



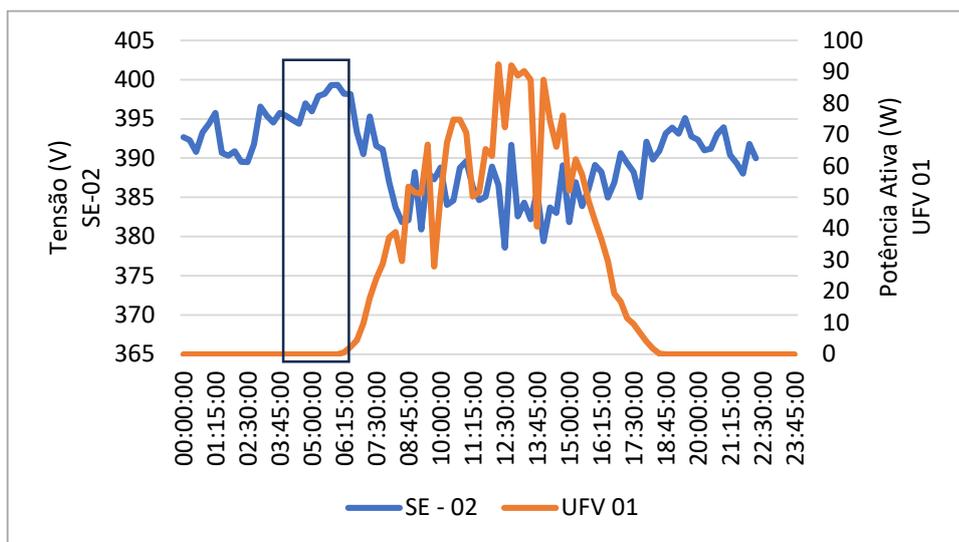
Fonte: O autor.

Figura 56 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (24/11/2022)



Fonte: O autor.

Figura 57 - Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa da UFV 01 (25/11/2022)



Fonte: O autor.

Na maior parte do período analisado o valor da tensão de linha é superior a 380 V, principalmente nos períodos de baixa carga, ou seja, foram do horário de funcionamento normal do *Campus*. Neste caso, se faz necessário analisar o ajuste do TAP do transformador SE – 02, a fim de promover uma melhor regulação da tensão fornecida em seu secundário. Sabe-se que, na medida em que se aumenta ou diminui o carregamento em um transformador, os valores das tensões podem alcançar níveis inaceitáveis, causando vários prejuízos para equipamentos, cargas e consumidores, sendo necessário um ajuste dos níveis de tensão por meio de um sistema de controle, seja ele manual (TAP), ou automático.

Além disso, é possível notar que há uma influência da geração distribuída fotovoltaica na elevação da tensão, especificamente nos instantes onde ela ultrapassa os valores de referência definidos pelo PRODIST. Nas curvas apresentadas vê-se, em destaque, que a tensão de linha apresenta valores elevados nos períodos em que a geração fotovoltaica se inicia, nesse caso, em função da baixa carga. De acordo com Athari et al. (2017), a gestão pelo lado da demanda, regulação/controle de voltagem rápida através de compensação estática distribuída e armazenamento de energia pode ser apontadas como solução para estes problemas.

5.5.2 Análise das potências ativas

Foram analisadas as potências ativas P (total), Pan, Pbn e Pcn, com o objetivo de conhecer a curva característica e os valores mínimos e máximos registrados ao longo do período de medição analisado. A Tabela 26 apresenta os valores obtidos nas medições.

Tabela 26 – Valores mínimos e máximos de Potências ativa medidas

Dia de análise	22/11/2022 (terça-feira)			
Período de análise	10h15 às 23h55			
	Máximo (kW)	Horário	Mínimo (kW)	Horário
P	95,86	14h40	10,72	22h40
Pan	29,25	14h20	1,65	23h45
Pbn	35,01	10h40	3,33	23h05
Pcn	33,73	14h20	4,5	21h55
Dia de análise	23/11/2022 (quarta-feira)			
Período de análise	00h00 às 23h55			
	Máximo (kW)	Horário	Mínimo (kW)	Horário
P	96,72	14h20	5,32	6h00
Pan	30,67	08h20	0,642	05h20
Pbn	33,3	15h55	1	05h35
Pcn	35,82	14h25	2,48	06h05
Dia de análise	24/11/2022 (quinta-feira)			
Período de análise	00h00 às 23h55			
	Máximo (kW)	Horário	Mínimo (kW)	Horário
P	57,9	10h10	5,05	5h45
Pan	18,69	10h10	0,681	5h10
Pbn	21,94	09h15	1,24	05h45
Pcn	20,21	08h35	2,24	05h45
Dia de análise	25/11/2022 (sexta-feira)			

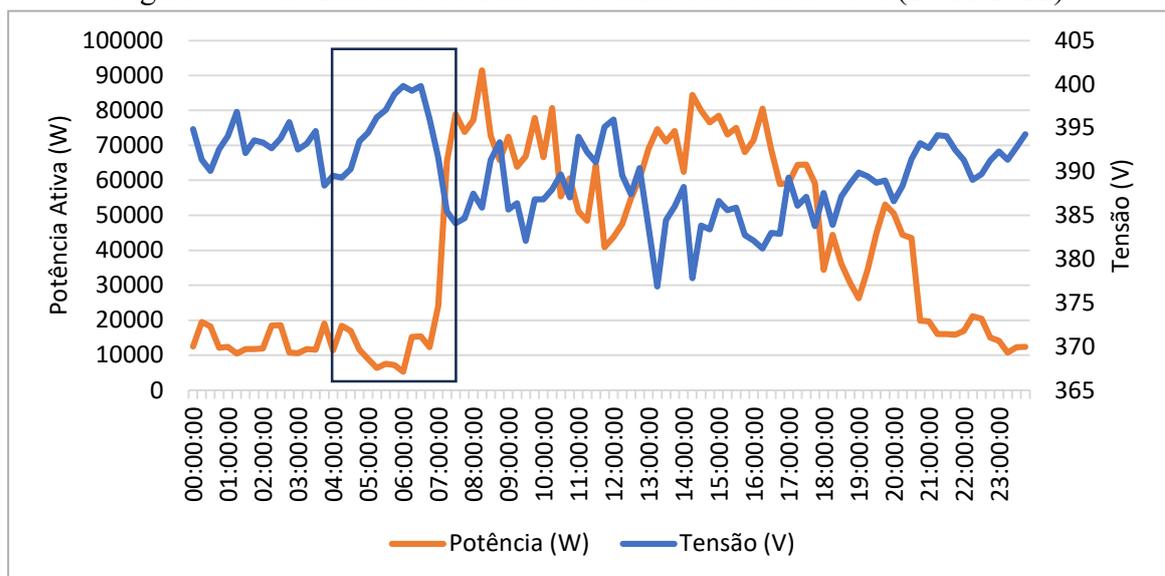
Período de análise	00h00 às 22h15			
	Máximo (kW)	Horário	Mínimo (kW)	Horário
P	89,52	10h35	6,46	5h45
Pan	28,06	10h30	1,47	05h10
Pbn	34,52	10h35	1,79	05h20
Pcn	31,74	14h15	2,46	06h05

Fonte: O autor.

É possível observar que os valores máximos de potência estão compreendidos entre o intervalo de tempo das 07h30 às 17h30, assim como já caracterizado na Capítulo 5, período de maior demanda de consumo de energia elétrica do *Campus* Ipanguaçu. Os valores mínimos estão fora desta faixa e foram registrados, principalmente, nos períodos iniciais da manhã, das 05h às 06h00, período semelhante ao surgimento de sobretensões registradas na seção 5.1.1, o qual confirma a baixa carga como um dos elementos causadores deste distúrbio.

A Figura 58 apresenta o cruzamento das linhas de tendência da potência ativa (P) e da tensão de linha (Uavg) medidas no dia 23/11/22 (quarta-feira), no qual pôde-se obter um período inteiro (24h) de medição. No gráfico, no destaque, é possível verificar que, quando a potência ativa (P) atinge o seu menor valor a tensão de linha (Uavg) tende ao seu valor máximo registrado neste dia (400,57 V). Todos os Gráficos das curvas de potência ativa relacionadas a esta análise estão contidas no Anexo A.

Figura 58 – Cruzamento da Tensão de linha e Potência ativa (23/11/2022)



Fonte: O autor.

5.5.3 Análise das potências reativas

As potências reativas Q (total), Qan, Qbn e Qcn foram analisadas e os valores mínimos e máximos, em seus respectivos horários, são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Valores mínimos e máximos de potências reativas medidas

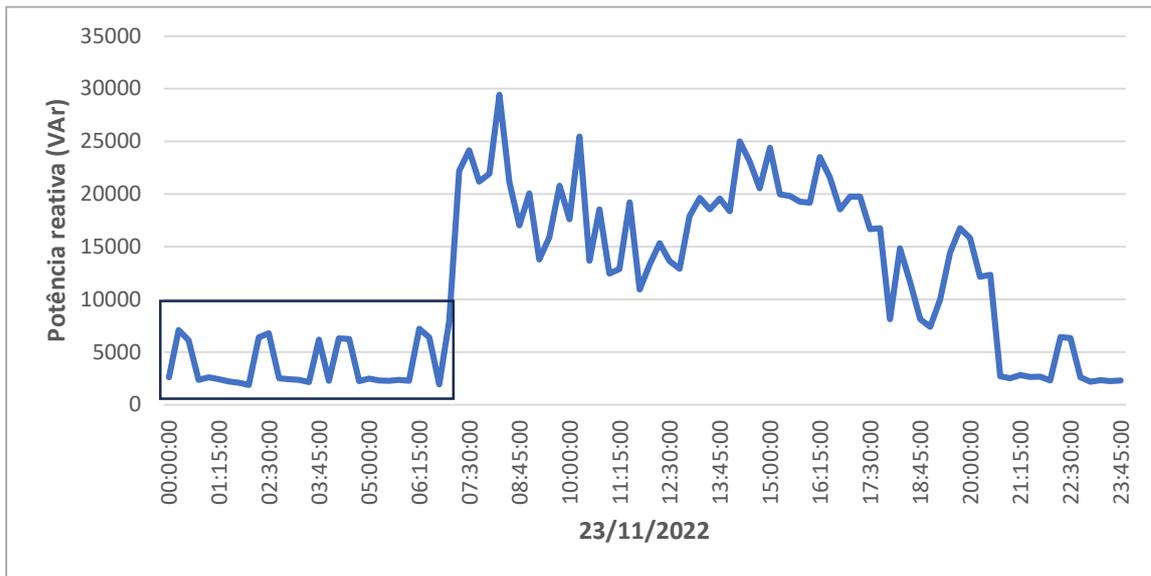
Dia de análise	22/11/2022 (terça-feira)			
Período de análise	10h15 às 23h55			
	Máximo (kVAr)	Horário	Mínimo (kVAr)	Horário
Q	29,55	14h20	1,96	21h55
Qan	9,17	14h20	-0,524	23h05
Qbn	9,89	14h25	0,657	23h20
Qcn	11,07	14h20	1,48	21h55
Dia de análise	23/11/2022 (quarta-feira)			
Período de análise	00h00 às 23h55			
	Máximo (kVAr)	Horário	Mínimo (kVAr)	Horário
Q	31,47	08h20	1,83	5h35
Qan	9,67	08h20	-0,6888	20h40
Qbn	10,59	08h20	0,251	05h35
Qcn	11,2	08h20	1,49	05h40
Dia de análise	24/11/2022 (quinta-feira)			
Período de análise	00h00 às 23h55			
	Máximo (kVAr)	Horário	Mínimo (kVAr)	Horário
Q	19,66	08h35	1,62	22h00
Qan	6,05	08h35	-0,737	06h55
Qbn	6,64	10h10	0,378	15h40
Qcn	7,41	08h35	1,37	12h00
Dia de análise	25/11/2022 (sexta-feira)			
Período de análise	00h00 às 22h15			
	Máximo (kVAr)	Horário	Mínimo (kVAr)	Horário
Q	32,67	10h35	0,45	20h00
Qan	9,56	10h35	-1,05	19h30
Qbn	10,43	10h30	-1,07	21h05
Qcn	12,81	10h35	1,52	1h50

Fonte: O autor.

Em alguns momentos da medição foram registradas algumas potências reativas de valor negativo, principalmente em momentos já caracterizados como de baixa demanda de consumo, em virtude da mínima quantidade de cargas em operação. Essas medições negativas

caracterizam a presença de potência reativa de ordem capacitiva, comum em períodos de baixa carga, principalmente de cargas de origem indutiva, como por exemplo, compressores, motores, reatores de iluminação, entre outros. É válido destacar que o Campus Ipanguaçu não possui sistema de correção de fator de potência por meio de capacitores. A Figura 59 apresenta o comportamento da curva de potência reativa Q (total) ao longo do dia 23/11/22 (quarta-feira), dia no qual foi possível realizar medições ao longo de 24h.

Figura 59 – Curva de potência reativa (Q) total (23/11/2022)



Fonte: O autor.

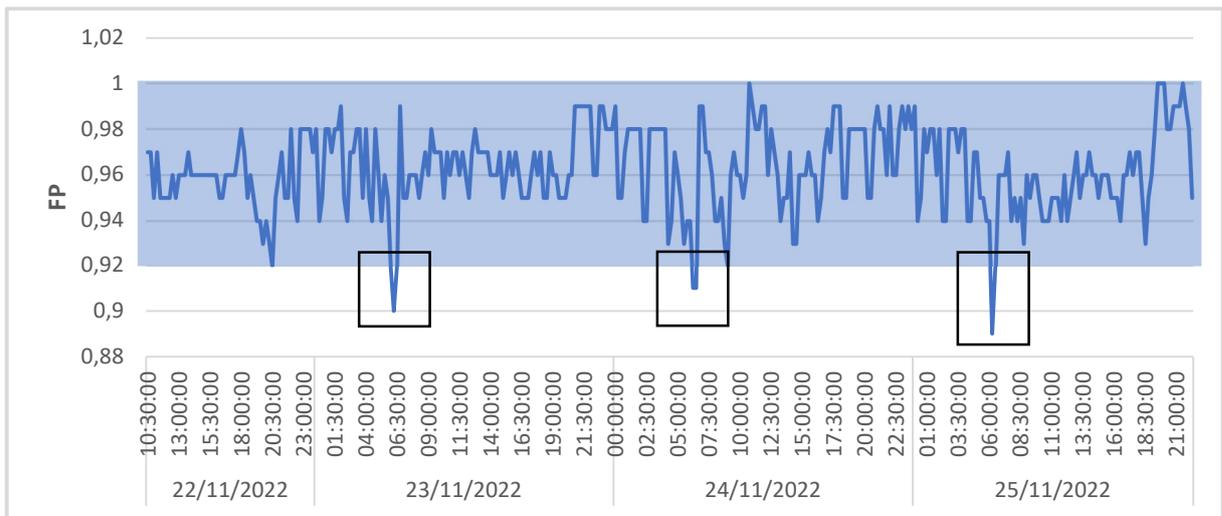
Ainda com base na Figura 61, é possível notar, em destaque, que há uma demanda por potência reativa ao longo da madrugada e manhã, período no qual a carga tende a ser mínima. Esta demanda pode ocorrer devido ao funcionamento das bombas de irrigação ligadas ao ponto de medição, as quais estão programadas para atuarem a cada 2 (duas) horas, caracterizando estas alterações periódicas na curva de potência reativa Q (total) e do funcionamento destas cargas, as quais possuem perfil indutivo. Todos os gráficos das curvas de potência reativa relacionadas a esta análise estão contidas no Anexo A

5.5.4 Análise do fator de potência

A análise do FP foi realizada tomando como base todo o período de medição, conforme apresentado na Tabela 8. A Figura 60 demonstra o comportamento do FP através de uma faixa de referência. Esta referência é o limite de variação do FP permitido, conforme Módulo 8 do

PRODIST, o qual estabelece que para uma unidade consumidora do Grupo A ou ponto de conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o FP no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo. É possível perceber que em alguns momentos o FP ultrapassa a faixa de referência, atingindo valores inferiores a 0,92 indutivo, por exemplo.

Figura 60 – Curva do FP ao longo do período de medição no SE – 02



Fonte: O autor.

A Tabela 28 apresenta os valores do FP registrados fora da faixa de referência, em seus respectivos horários. Excluindo a medição do dia 22/11/22, a qual iniciou apenas às 10h15, é possível perceber que o FP apresenta ultrapassagens fora da faixa de referência sempre no período da manhã, entre 06h00 e 07h00.

Tabela 28 – Registro do FP medido fora da faixa de referência

Dia de análise	22/11/22 a 25/11/22		
Período de análise	00h00 às 22h15		
	Valor	Horário	Tipo
23/11/2022	0,9	06h15	Indutivo
	0,91	06h25	Indutivo
	0,91	07h05	Indutivo
24/11/2022	0,89	06h10	Indutivo
	0,9	6h25	Indutivo
	0,9	6h35	Indutivo
25/11/2022	0,9	05h40	Indutivo
	0,88	6h10	Indutivo
	0,89	06h25	Indutivo
	0,91	06h35	Indutivo
	0,91	12h10	Indutivo

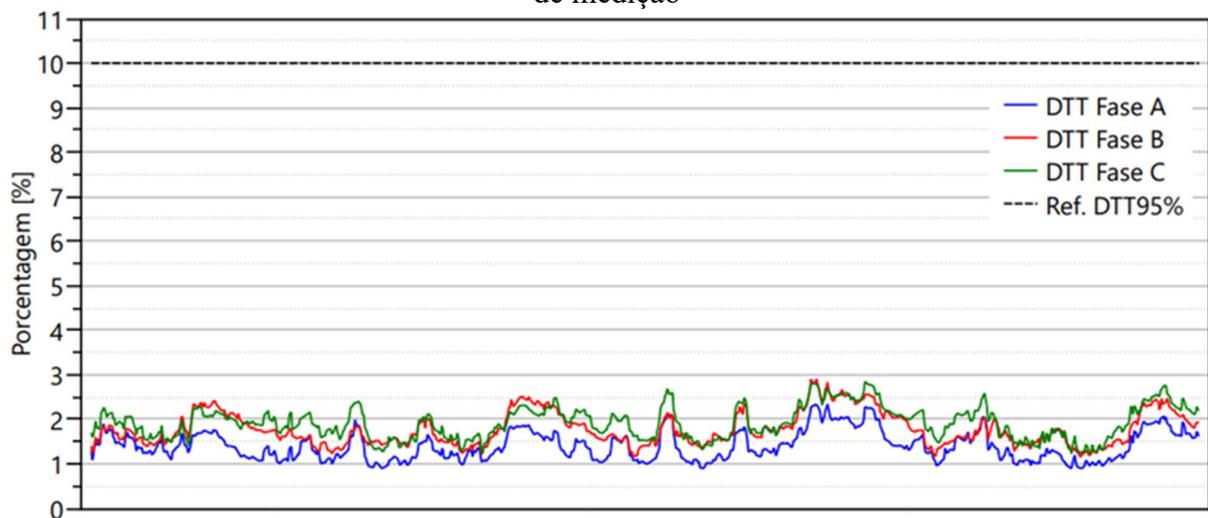
Fonte: O autor.

Os horários os quais o FP atinge valores fora da faixa de referência são caracterizados por uma maior demanda de potência reativa na instalação, isso, devido ao menor número de cargas em funcionamento nestes horários, porém, com a predominância de motores bomba para realização do sistema de irrigação. Neste período, a maior parte da potência ativa exigida pela instalação provém da usina fotovoltaica, essa condição faz com que haja uma diminuição da demanda de potência ativa da rede elétrica da concessionária, enquanto a demanda pela potência reativa continua a mesma. Nessa situação, segundo estudo realizado por Oliveira et. al. (2016) o fator de potência da edificação, avaliado pela concessionária de energia local, fica deteriorado.

5.5.5 Análise da distorção harmônica total de tensão (DTT)

Não foram encontrados problemas relacionados a distorção harmônica de tensão. As medições das distorções individuais e total de tensão apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST. A Figura 61, extraída do *software* do analisador utilizado, apresenta o registro das distorções harmônicas totais de tensão ao longo dos dias 22/11/22 (terça-feira) e 25/11/22 (sexta-feira).

Figura 61 – Registro das distorções harmônicas totais de tensão por fase ao longo do período de medição



A Tabela 29 apresenta os limites das distorções harmônicas totais estabelecidos pelo PRODIST, em sua Tabela 2, página 10, para os indicadores das distorções harmônicas totais medidos, que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas.

Tabela 29 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão Nominal (Vn) Vn < 2,3 kV
DTT95%	10,0 %
DTTp95%	2,5 %
DTTi95%	7,5 %
DTT395%	6,5 %

Fonte: PRODIST – Módulo 8, 2021.

Os indicadores de distorção total de tensão medidos estão apresentados na Tabela 30, sendo registrados os seus valores médios e máximos.

Tabela 30 – Indicadores de distorção harmônicas totais de tensão medidos

		Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
DTT%	Média	1,40	1,78	1,92
	Máximo	2,41	2,91	2,95
DTTp%	Média	0,10	0,10	0,10
	Máximo	0,30	0,31	0,30
DTTi%	Média	1,36	1,70	1,80
	Máximo	2,39	2,88	2,79
DTT3%	Média	0,33	0,49	0,64
	Máximo	0,52	0,78	0,90

Fonte: O autor.

A Tabela 31 apresenta a comparação dos indicadores com os limites estabelecidos pelo PRODIST, confirmado que não houve influências significativas de distorções harmônicas de tensão do sistema elétrico do *Campus* ao longo do período de tensão.

Tabela 31 - Comparação dos indicadores medidos com os limites estabelecidos pelo PRODIST

Indicador	Limite (%)	Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
DTT95%	10,0 %	2,01	2,46	2,56
DTTp95%	2,5 %	0,15	0,16	0,15
DTTi95%	7,5 %	1,98	2,42	2,46
DTT395%	6,5 %	0,45	0,64	0,81

Fonte: O autor.

5.6 CONTRIBUIÇÕES E SUGESTÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE UM SGE NO IFRN IPANGUAÇU

A implantação e aplicação de um SGE está associado as atividades (etapas) de medida, monitoramento, controle e aperfeiçoamento das ações que visam reduzir o desperdício de

energia. Diante disso, com base nos resultados apresentados no Capítulo 5, algumas considerações são necessárias quanto a utilização de um SGE no IFRN *campus* Ipanguaçu.

Quanto a etapa de medição, observou-se que a definição e medição das variáveis propostas no trabalho foram satisfatórias, do ponto de vista dos resultados obtidos. Dessa forma, para aplicação de um SGE, principalmente na etapa da revisão energética, as medições de variáveis como, energia ativa, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, tensões de fase e de linha, correntes de fase e de linha, bem como distorções harmônicas totais de tensão e corrente são indispensáveis para a compreensão dos fatores inerentes ao desempenho energético de uma edificação.

Em relação a amostragem de dados de medição, percebeu-se que registro realizado a cada 5 minutos pelo analisador de energia, permitiu uma melhor análise, principalmente nas medições de potência (ativa, reativa e aparente) e do fator de potência, tendo em vista que alguns eventos ocorrem em intervalos de tempo muito pequenos, os quais seriam imperceptíveis em uma análise por hora, por exemplo. Dessa forma, intervalos de medição não superiores a 15 minutos se mostram mais eficazes nessa etapa do processo de aplicação do SGE.

Quanto a periodicidade das medições, o trabalho propôs uma campanha de medição semanal, com ciclos de medição a cada 24 horas, o qual se mostrou apropriado. Entretanto, nota-se que é necessário padronizar as medições, para que análise e comparações sejam realizadas em cenários equivalentes, nesse caso, medições que iniciem na segunda-feira e finalizem no domingo, são mais eficazes em edificações como o *campus* Ipanguaçu, dado a sua rotina, tendo em vista também que dessa forma há a possibilidade de coleta de dados ao longo dos dias letivos e não letivos.

Os IDE propostos foram importantes na análise do desempenho energético do *campus* Ipanguaçu. Os IDE *CMA* e *CMS*, no entanto, foram mais significativos, do ponto de vista dos resultados obtidos. Dessa forma, compreendeu-se que esses dois IDE são mais apropriados na aplicação de um SGE em uma edificação como o *campus* Ipanguaçu. Pelo fato das medições terem sido realizadas em ciclos de 24 horas, a análise dos IDE também foi realizada nesse período. Os IDE *CMA* e *CMS* tiveram boa aplicação neste período de análise, diferentemente do IDE *CMM*. A definição dos IDE deve estar alinhada ao estudo do USE, a fim de que análise de desempenho energético tenha melhor embasamento. Assim, conclui-se que os IDE *CMA* e *CMS* são apropriados para a implantação de um SGE no *campus* Ipanguaçu.

A utilização de um analisador de energia é indispensável para a etapa de medição no processo de implantação de um SGE. No caso deste trabalho, as medições no *campus* Ipanguaçu foram realizadas em cada subestação, entretanto, a depender da fronteira de medição definida,

as medições podem ser mais relevantes se obtidas por salas, blocos ou sistema específico analisado.

Além do uso do analisador de energia, o uso dos dados da memória de massa também é eficaz na aplicação de um SGE, principalmente quando se deseja observar o comportamento da instituição a cada mês, tendo em vista a impossibilidade de coletar dados em um período muito longo com o analisador de energia. Com base nos dados da memória de massa foi possível realizar a análise dos IDE no período de 30 dias, permitindo um aprofundamento na análise do desempenho energético da edificação.

O *campus* Ipanguaçu possui apenas uma medição, pertencente a concessionária de energia (COSERN), no ponto de entrada da rede elétrica em 13,8 kV. O acesso aos dados de medição só é possível por meio da solicitação da concessionária, que pode levar de 30 a 60 dias. No caso da aplicação de um SGE o monitoramento é imprescindível para a tomada de decisões e acompanhamento das ações de eficiência energética aplicadas, com isso, observou-se que ter medição própria em cada subestação, em especial a SE – 01 e SE – 02, se faz necessário para a aplicação de um SGE, especialmente no que diz respeito ao monitoramento.

No ponto de vista da qualidade da energia, o monitoramento de variáveis como tensão de fase e de linha, potência (ativa e reativa) e fator de potência, são muito importantes, sobretudo em edificações com GDFV, como pode ser observado nos resultados apresentados no Capítulo 5. Dessa forma, o monitoramento dessas variáveis contribui na implementação de um SGE no *campus* Ipanguaçu.

Em relação ao desempenho energético, com base nos resultados obtidos no Capítulo 5, é possível indicar algumas ações de eficiência energética a serem aplicadas do *campus* Ipanguaçu.

Ações de eficiência energética aplicadas em curto prazo:

- Palestras para os servidores, realizadas em um momento para os técnicos e em outro para os docentes (reunião pedagógica);
- Palestra para os terceirizados, com o objetivo de informá-los das medidas de eficiência energética e importância da redução do consumo;
- Palestra e/ou reunião com alunos com o objetivo de transmitir as ações de conservação da energia elétrica (e outros recursos) dentro da Instituição;
- Em ambientes (administrativos e salas de aula) que possuem ventilação cruzada, o acionamento dos condicionadores de ar somente após às 8h30min;

- Desligamento dos condicionadores de ar das salas de aula nos horários de intervalo entre turnos, das 12h00min às 13h00min e das 18h00 às 19h00;
- Desligamento dos condicionadores de ar dos setores administrativos, setor de saúde e laboratórios das 18h00min às 19h00min e das 12h00min às 13h00min (quando possível);
- Configuração do *set-point* dos condicionadores de ar entre 23 °C e 24 °C, com exceção de ambientes que necessitem de uma menor temperatura, como, Coordenação de TI, laboratórios de informática, dentre outros;
- Implementação de sensores de presença para realização do acionamento da iluminação nos banheiros, dispensas, arquivos e vestiários (ambientes pequenos);
- Orientação aos responsáveis pelos dos laboratórios de informática e da biblioteca quanto a realização do desligamento ou repouso dos computadores ao término das atividades;
- Avaliar funcionamento da bomba submersa de 30 CV, com o objetivo de restringir o seu funcionamento apenas fora do horário de ponta;
- Instalar em todas as portas do Campus o dispositivo hidráulico de fechamento.

Ações de eficiência energética aplicadas em médio prazo:

- Avaliar a possibilidade de reduzir a absorção e condução térmica das fachadas que recebem luz solar, com a aplicação de soluções arquitetônicas e de engenharia, visando uma maior eficiência dos ar-condicionados;
- Instalação de relés fotoelétricos em toda a iluminação externa;
- Vedação de todas as salas que possuem ar-condicionado, com o objetivo de minimizar a troca de calor, aumentando a eficiência dos ar-condicionados;
- Solicitação à Diretoria de Administração para implementação de ar-condicionados somente com tecnologia *inverter*;
- Avaliação do ciclo de trabalho das bombas utilizadas no Campus, deslocando os horários de funcionamento para “fora ponta”, além de preparar projeto e instalação de sistemas de acionamento (inversores de frequência) mais eficientes, substituindo-as caso necessário;
- Instalação de metais sanitários (torneiras, chuveiros) economizadores de água, com o objetivo de minimizar o uso de água, contribuindo para o menor uso das bombas elétricas;
- Estudo e avaliação para balanceamento das cargas dos painéis elétricos do Campus.

Ações de eficiência energética aplicadas em longo prazo:

- Avançar na implementação usina geradora de energia solar, com conexão à rede, para fornecimento de energia para o Campus (em andamento);
- Avançar na instalação de lâmpadas a LED para o sistema de iluminação de demais ambientes como estacionamento, banheiros, circulação e depósitos;
- Implementação de sistema de acionamento das salas de aula através de cartão magnético, com o objetivo de desligar todas as cargas em caso de não haver usuários no ambiente;
- Implementação definitiva de um SGE.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou a grande necessidade que edificações públicas, principalmente relacionadas a área da educação, tem em implementarem ações que resultem na redução dos custos com energia elétrica, por meio de uma gestão da energia elétrica.

Nesse contexto, a metodologia apresentada pela ABNT NBR ISO 50001 e suas normas complementares se mostrou eficaz, especialmente nas etapas de levantamento de dados e análise de desempenho energético por meio de IDE. Contudo, a aplicação destas etapas deve ser de acordo com as particularidades de cada organização, tendo em vista que não há um padrão definido.

Como característica marcante da edificação em estudo, pode-se destacar a elevada carga de equipamentos de refrigeração, analisada na etapa do levantamento do USE nos transformadores da instalação. No SE – 01, 69% (178,17 kW) da carga instalada corresponde a equipamentos de refrigeração, já no SE – 02, corresponde a 61% (137,107). De modo geral, edificações públicas, sobretudo aquelas relacionadas ao ensino, possuem os sistemas de climatização como os principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica, dessa forma, entende-se que ações voltadas a estes sistemas são importantes para a melhoria da eficiência energética e redução do consumo de energia.

Acerca dos IDE, é importante destacar que a definição destes deve estar baseada no USE da edificação e alinhada ao que se deseja conhecer, a fim de promover um melhor embasamento dos resultados obtidos. Para uma análise de desempenho energético em uma edificação pública de ensino, os IDE definidos, *CMA* e *CMS* foram satisfatórios, tendo em vista que a infraestrutura e os usuários da edificação são os principais responsáveis pelo consumo de energia. Em relação aos IDE *CMA* e *CMS*, quando aplicado em um período de análise de 24 horas, a sua aplicação se mostrou relevante, principalmente para identificar em qual período ao longo do dia o desempenho energético é menor. Na edificação analisada, pôde-se notar que ao longo do dia, o período da manhã apresenta menor desempenho energético, tendo em vista que o valor do IDE *CMA* foi de 1,7409 kWh/Aluno, 24% a mais do que o valor registrado ao longo de todos o dia 1,4019 kWh/Aluno, mesmo com o um menor número de aluno (195). O valor do IDE *CMS* no período da manhã foi 28,29 kWh/Servidor, superior ao demais períodos do dia, mesmo com um menor número de servidores, principalmente em relação ao período da tarde, onde o consumo foi maior.

Observou-se que, na etapa de definição dos IDE a coletada dos dados necessários, como por exemplo, número de alunos, servidores e variação da área, demandou muito tempo, sendo

necessário o apanhamento de informações em diversos meios. Isso pode ser um ponto crítico na implantação de um SGE, sobretudo na continuidade do monitoramento. Dessa forma se faz necessário otimizar os meios de acompanhamento das variáveis relacionadas aos IDE *CMA* e *CMS*.

Na etapa de medição, os dados obtidos de consumo e outras variáveis foram importantes para nortear a análise de desempenho energético, principalmente no ponto de vista da qualidade da energia. Com base nos resultados, viu-se que edificações públicas de ensino que possuem GDFV pode sofrer impactos na qualidade da energia, em virtude da penetração fotovoltaica, principalmente com oscilações de tensão, afetando assim o seu desempenho energético. No estudo, foi possível observar que a tensão é afetada quando a geração de energia por parte das usinas fotovoltaicas se inicia ao amanhecer. Nas medições realizada, a tensão atingiu valores superiores a 400V, que ultrapassa os valores de referência definidos pelo PRODIST. Ainda com base no impacto gerado pela GDFV, os resultados demonstraram que o FP também foi afetado, principalmente no período próximo ao amanhecer, atingindo valores inferiores a 0,90. Como já discutido, entende-se que maior parte da potência ativa exigida nesse período pela instalação provém da usina fotovoltaica, essa condição faz com que haja uma diminuição da demanda de potência ativa da rede elétrica da concessionária, enquanto a demanda pela potência reativa continua a mesma. Dessa forma, compreende-se então que a análise da qualidade da energia e da GDFV são indispensáveis na análise do desempenho energético de uma instalação, tendo em vista que ambas estão diretamente ligadas ao comportamento dos IDE propostos.

Com base nos resultados, sugestões e contribuições quanto a implantação de um SGE no *campus* Ipanguaçu foram propostas, apresentado ações de eficiência energética que podem ser aplicadas. De fato, as ações previstas vão contribuir para redução na utilização dos recursos naturais, emissão de dióxido de carbono e do consumo energético, por meio de uma melhor gestão da energia. Assim, com a redução dos custos com energia elétrica, os recursos financeiros do *campus* podem ser melhor distribuídos em outras áreas, além de serem investidos na melhoria contínua da eficiência energética.

De modo geral, o estudo proposto se apresentou satisfatório, uma vez que todos os objetivos previamente propostos foram alcançados.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido permite a seleção de alguns pontos para estudos e aplicações subsequentes. Assim, são apresentadas como propostas para trabalhos futuros:

- Aplicar metodologia proposta em uma edificação sem GDFV;
- Realizar o estudo da viabilidade técnico-econômica da aplicação das ações de eficiência energética propostas nesse trabalho, em especial, a implantação de aparelhos de climatização *inverter* e fontes de geração distribuída fotovoltaica;
- Desenvolver método de monitoramento da ocupação de alunos e servidores de uma edificação de ensino;
- Desenvolver sistema de monitoramento remoto dos IDE propostos;
- Implantação de um SGE e plano de ação das etapas.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16819:2020: **Instalações Elétricas de Baixa Tensão: eficiência energética**, Brasil, 2020.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 50006:2016: **Sistemas de gestão de energia — Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) — Princípios gerais e orientações**, Brasil, 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 50001:2018: **Sistemas de gestão da energia – requisitos com orientações para uso**, Brasil, 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410:2004: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

ALMEIDA, M. P (2012). **QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**. São Paulo, Brasil.

Brasil tem maior taxa de emissão de gases do efeito estufa dos últimos 19 anos. **CNN Brasil**. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-tem-maior-taxa-de-emissao-de-gases-do-efeito-estufa-dos-ultimos-19-anos/#:~:text=De%20acordo%20com%20o%20SEEG,a%20quantia%20registrada%20em%02020>>. Acesso em: 01/11/2022.

C. Pei, Q. Wang, Y. Zheng, G. Li, Z. Zheng and J. Hao, "**Research on Voltage Exceeding Limits of Active Distribution Network Caused by Distributed Photovoltaic**," *2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Beijing, China, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/EI2.2018.8582089.

CAMACHO, M. A. da Gama. **Modelo para Implantação e Acompanhamento de Programa Corporativo de Gestão de Energia**. Tese de Mestrado. Campina Grande, UFCG, 2009.

CAMPANHOLA, Leonardo Bruno Garcia; MALVEZZIA, Victor Belieiro; SILVA, Sergio Augusto Oliveira. **Calculation of Electric Power Quantities in Single-Phase Systems Using Virtual Instrumentation**. UNOPAR Cient. Exatas Tecnol., Londrina, v. 12, n. 1, p. 19-25, Nov. 2013.

CUSA, Y. G.; VIANA, C. C.; TORRES, E. A. **O planejamento energético com direcionador para a implantação de um sistema de gestão de energia**. Sodebras: Soluções para o Desenvolvimento do País, v. 12, n. 141, p.238-243, 2017.

DIAS, R.F; Cachapuz, P.B.B; Cabral, L.M.M; Lamarão, S.T.N; **Panorama do Setor de Energia Elétrica no Brasil**. Centro de Memória da Eletricidade no Brasil. 1998.

DUGAN, R. C. et al. **Electrical Power System Quality**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2004. Citado 4 vezes nas páginas 18, 19, 21 e 22.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2007), **Plano nacional de energia 2030**, Technical report, Brasília: MME/EPE.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2014), **Conceitos e Indicadores de Eficiência Energética**. Ministério de Minas e Energias, Brasília: MME/EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-750/White%20paper%20%20conceitos%20e%20indicadores%20de%20efici%C3%Aancia%20energ%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 01/12/2022.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica Interativo**. Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2022. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuarioestatistico-de-energia-eletrica-interativo>. Acesso em: 01/12/2022.

FARIAS, A. F. **Eficiência Energética e Geração Distribuída: Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 2016.

FIEDLER, T., MIRCEA, P. **Energy management systems according to the ISO 50001 standard — Challenges and benefits**, 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, 2012, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICATE.2012.6403411.

FOSSA, Alberto J.; SGARB, Felipe D. A. Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001, Gestão de Energia. **International Copper Association Brazil - Cu**, 2015.

FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. **Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001: gestão de energia**. International Copper Association (ICA), 2017. 84 p. Disponível em: <<https://www.procobre.org/pt/wp-content/uploads/sites/4/2018/03/mot-guia-gestao-deenergia.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2022

GODOI, José Maria Alves; OLIVEIRA JÚNIOR, Silvio. **Gestão da eficiência energética**. Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change. 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, Brasil, maio/2009.

GOMES, Anderson Ferreira. **Eficiência energética em edificações públicas do poder executivo federal: oportunidades e desafios no contexto do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE – Edifica)**. 2017. 221 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

HUANG, Eric G. T. Entendendo os requisitos da certificação de sistemas de gestão da energia. **Energia e Sustentabilidade SGS**, 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Solar energy. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/renewables/solar/>>. Acesso em: 30/03/2023.

IEEE **Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**," in *IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009)*, vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2021**. 2021. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/7741739e-8e7f-4afa-a77f49dadd51cb52/EnergyEfficiency2021.pdf>>. Acesso em: 05/11/2022.

JOHANSSON, M.T. **Improved energy efficiency within the Swedish steel industry—the importance of energy management and networking**. *Energy Efficiency* (2015) 8: 713. <https://doi-org.ez10.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12053-014-9317-z>.

KARIMI, M.; MOKHLIS, H.; NAIDU, K.; UDDIN, S.; BAKAR, A. H.A. **Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review**, Kuala Lumpur, Malaysia, set. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.042>>. Acessado em: 17 set. 2017.

KROTH, Geóvio. **Análise de indicadores de desempenho e de qualidade de energia de um sistema FV com distintos fatores de dimensionamento de inversor**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Araraguá, 2021.

KURAHASSI, L. F. **Gestão da Energia Elétrica: Bases Para Uma Política Pública Municipal**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LASKURAIN, I.; HERAS-SAIZARBITORIA, I.; CASADESÚS, M. Fostering renewable energy sources by standards for environmental and energy management. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.50, p. 1148-1156, 2015.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LEÃO, R. P. S.; G. Fl., J. I.; Aguiar, V. de P. B.; Costa, T. R. V. da; Melo, N. X.; Almada, J. B. **Inventário da qualidade da energia elétrica – um exemplo prático**. In: III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém-PA.

LEI, F; HU, P. **A baseline model for office building energy consumption in hot summer and cold winter region**. 2009. In: International Conference on Management and Service Science, Wuhan, 2009, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5301031.

LYUBCHIKOV, A. **Conception and implementation of energy controlling instruments according to ISO 50006:2014**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado) – Faculty of Life Sciences, Hamburg University of Applied Sciences, Hamburg, 2016.

MESQUITA, R., SANTOS, T. (2015). **Estudos sobre eficiência na administração pública brasileira**. *Espacios*, v. 36, n. 09, p. 6.

MORALES, Clayton **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão: Classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo / C. Morales**. -- São Paulo, 2007. 101 p

MOREIRA, H. L.; BASTOS, A. M.; SANTOS, R. B. Análise comparativa da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos e eólicos para microgeração de energia elétrica. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, p. 10, abr. 2018.

NETO, Clodomir Comaru. **Aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001 Sistema de gestão da energia para o setor público : Estudo de caso Tribunal de Contas do Estado do Ceará**. Clodomir Comaru Neto. – 2020.

Our Story begins in 1946. **ISO**. Disponível em:<<https://www.iso.org/about-us.html>.> Acesso em: 07/11/2022.

PINTO, Álvaro Braga Alves. **A gestão de energia com a norma ISO 50001**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia de Energia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

REINALDO, Pierry Moreno. **Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Qualidade da Energia Elétrica na Rede de Distribuição da CELESC / Pierry Moreno Reinaldo**; Orientador: Prof. Bruno Scortegagna Dupczak, Dr. Eng. – Florianópolis, SC, 2020. 107 p. : il color.

R. D. De Souza e Silva; E. T. C. De Lima; V. De Paula Brandão Aguiar, "**Power Quality Parameters as Energy Performance Indicator of Buildings with Photovoltaic Distributed Generation**", 2023 15th Seminar on Power Electronics and Control (*SEPOC*), Santa Maria, Brazil, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEPOC58810.2023.10322596.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade de Energia**. 2016.37f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Elétrica, Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ROMÉRO, M. de A.; REIS, L. B. dos. **Eficiência energética em edifícios**. [S.l.]: Editora Manole, 2012.

SILVA, Alex de Lima; IBAROLA, Douglas NÓBREGA; Marcelo de Jesus Rodrigues da MARTINS; Fabiano Battemarco da Silva; **ENERGY QUALITY AND EFFICIENCY APPLIED TO A GROUP A CONSUMER**. TEC-USU | RIO DE JANEIRO | V. 3 | N. 1 | P. 32-53 | JAN/JUN 2020.

SAIDEL, M. A.; FAVATO, L. B.; MORALES, C. **Indicadores Energéticos e Ambientais: Ferramenta Importante na Gestão da Energia Elétrica**. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - CBEE/ABEE. Belo Horizonte, 2005.

SBARDELOTTO, Luiza. **Proposta de indicadores de eficiência energética para um Câmpus universitário**. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

SOARES, Nelson et al. Energy efficiency of higher education buildings: a case study. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, n. Emerald Group Publishing Limited, p. 669--691, 2015. ISSN 5.

SOUZA, M. E. M.; VALE, M. H. M.; CHAGAS, E. H. P. B.; COSTA, S. C. S.; ZILLES, R. Projeto 120 Telhados – **Inserção de Micro-Geração Distribuída nas Redes de Baixa Tensão: Implantação de Telhados Solares em Sete Lagoas**. Revista Brasileira de Energia Solar, Vol. V, nº 2, 2014, p. 137-146.

VIANA, Carol Correia. **Estudo da Eficiência Energética em Indústria Avícola** / Carol Correia Viana. – Salvador, 2019. 172 f.

WALLING, R. A. et al. Summary of distributed resources impact on power delivery systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 23, n. 3, p. 1636–1644, jul. 2008.

APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DO USE DO TRANSFORMADORE SE - 02

Tabela A1 – Levantamento das potências de iluminação por sala (TRAFO SE – 02)

Levantamento de Uso Final de Energia			
Fronteira de análise:		Trafo SE-02	
Levantamento de Iluminação			
Sala de aula nº 67			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	24	432
Sala de aula nº 65			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	24	432
Sala de aula nº 63			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 61			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Física (64)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	24	432
Sala de aula nº 62			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 60			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 58			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 56			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 54			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Sala de aula nº 52			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Informática (novo)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	16	288
Laboratório de Biologia (44)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216

Laboratório de Manutenção (38)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Eletrônica (31)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Redes (33)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório IF-Maker (30)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Artes (24)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Música (25)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Laboratório de Química Orgânica (28)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	60	1080
Sala de Vídeo-Conferência (26)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	20	360
Portaria Externa (Guarita)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	14	252
Refeitório (71)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	60	1080
Merenda Escolar (70)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	40	720
Auditório (75)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	10	70	700
Centros Acadêmicos (76, 77 e 78)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Grêmios Estudantil			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	2	36
NEABI			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	4	72

Estação de Tratamento de Efluentes			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED refletor	50	4	200
Laboratório de Alimentos			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	50	900
Banco de Sementes			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	24	432
Oficina - Campo			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Iluminação Externa			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	52	936
LED bulbo	9	20	180
LED bulbo	30	15	450
Vapor metálico	400	1	400
Vapor metálico	250	2	500
LED refletor	100	4	400
Fluorescente bulbo	65	24	1560

Tabela A2 – Levantamento das potências dos equipamentos de climatização por sala (TRAFO SE – 02)

Levantamento de Uso Final de Energia					
	Fronteira de análise:		Trafo SE-02		
Levantamento de Refrigeração					
Sala de aula n^a 67					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Sala de aula n^a 65					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Sala de aula n^a 63					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Sala de aula n^a 61					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Sala de aula n^a 64					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Sala de aula n^a 62					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Sala de aula n^a 60					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula n^a 58					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula n^a 56					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula n^a 54					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula n^a 52					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Laboratório de Informática (Novo)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	30000	2620	2	5240
Laboratório de Biologia (44)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Manutenção (38)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Eletrônica (31)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Redes (33)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório IF Maker (30)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Música (25)					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Laboratório de Artes (24)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Laboratório Química Orgânica					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	7500	640	1	640
Split Hi-Wall	Convencional	9000	810	1	810
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Sala de Vídeo-Conferência (26)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Portaria Externa (Guarita)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	9000	810	1	810
Refeitório (71)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	48000	4680	4	18720
Merenda Escolar (70)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Auditório (75)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	60000	4338	1	4338
Split piso-teto	Convencional	60000	5674	1	5674
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Centros Acadêmicos (76, 77 e 78)					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	3	4770
Grêmio Estudantil					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
NEABI					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Oficina - campo					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Laboratório de Alimentos					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Geladeira	Convencional	-	165	1	165
Freezer	Convencional	-	610	1	610
Split piso-teto	Inverter	36000	3480	1	3480
Banco de Sementes					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Freezer	Convencional	-	610	3	1830

Tabela A3 – Levantamento de potência dos sistemas motrizes por setor (TRAFO SE – 02)

Levantamento de Uso Final de Energia					
Fronteira de análise:		Trafo SE-02			
Levantamento de Motores					
Banco de Sementes					
Tipo	Modelo	Potência (CV)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Bomba d'água	Centrífuga	1,5	1104	1	1104
Bomba d'água	Centrífuga	1	736	1	736
Bomba d'água	Centrífuga	3	2208	1	2208
Laboratório de Alimentos					
Tipo	Modelo	Potência (CV)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Motor	Indução	3	2208	1	2208
Motor	Indução	0,5	368	3	1104
Motor	Indução	1	736	1	736
Estação de Tratamento (ETE)					
Tipo	Modelo	Potência (CV)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Compressor	Indução	7,5	5520	1	5520
Bomba d'água	Indução	0,5	368	4	1472
Bomba d'água	Indução	1	736	3	2208
Bomba d'água	Indução	3	2208	2	4416

Tabela A4 – Levantamento de potência dos equipamentos por sala (TRAFO SE – 02)

Levantamento de Uso Final de Energia			
Fronteira de análise:		Trafo SE-02	
Levantamento de equipamentos			
Sala de aula n^a 67			
Tipo	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 65			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 63			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 61			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Laboratório de Física (64)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 62			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 60			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 58			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 56			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Sala de aula n^a 54			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273

Sala de aula nº 52			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Laboratório de Informática X (novo)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	40	12000
Projeter	273	1	273
Laboratório de Biologia (44)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Laboratório de Manutenção (38)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	20	6000
Projeter	273	1	273
Laboratório de Eletrônica (31)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Laboratório de Redes (33)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	20	6000
Projeter	273	1	273
Laboratório IF-Maker (30)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Corte CNC	900	1	900
Computador	300	40	12000
Projeter	273	1	273
Laboratório de Artes (24)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Laboratório de Música (25)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Laboratório de Química Orgânica (28)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	3	900
Sala de Vídeo-Conferência (26)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Projeter	273	1	273
Portaria Externa (Guarita)			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300
Refeitório (71)			

Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Computador	300	1	300

APÊNDICE B – LEVANTAMENTO DO USE DO TRANSFORMADORE SE - 01

Tabela B1 – Levantamento das potências de iluminação por setor (TRAFO SE – 01)

Levantamento de Uso Final de Energia			
Fronteira de análise:		Trafo SE-01	
Levantamento de Iluminação			
Bloco ADM III			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	169	3042
Bloco ADM IV			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	94	1692
Prédio da manutenção			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	58	1044
Biblioteca			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	160	2880
Bloco ADM II			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	48	864
Quadra de esportes			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Vapor metálico	450	32	14400
Bloco ADM I			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	124	2232
Centro de vivência			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	80	1440
Salas de aula			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	212	3816
Iluminação externa			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	12	216
Iluminação Externa			
Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Potência Total (W)
LED tubular T8	18	45	810
LED bulbo	9	15	135
LED bulbo	30	52	1560
Vapor metálico	400	0	0
Vapor metálico	250	5	1250
LED refletor	100	4	400
Fluorescente bulbo	65	0	0

Tabela B2 – Levantamento das potências de iluminação por setor (TRAFO SE – 01)

Levantamento de Uso Final de Energia					
Fronteira de análise:			Trafo SE-01		
Levantamento de Refrigeração					
Sala de aula nº 51, 53, 55, 57 e 59					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	5	16300
Sala de aula nº 48, 41, 45, 50, 49, 42, 43, 46, 34, 32, 39, 40 e 30					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	10	46800
Bloco ADM I					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	18000	1590	13	20670
Split piso-teto	Inverter	12000	1350	6	8100
Bloco ADM IV					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	18000	1590	8	12720
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Split piso-teto	Inverter	48000	4680	3	14040
Bloco ADM III					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	18000	1590	5	7950
Split piso-teto	Inverter	12000	1350	1	1350
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	2	6520
Biblioteca					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)

Split piso-teto	Inverter	18000	1590	4	6360
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	7	22820
Bloco ADM II					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	3	7230
Split piso-teto	Inverter	12000	1350	3	4050
Sala de aula nº 58					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula nº 56					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula nº 54					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Sala de aula nº 52					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Laboratório de Informática (Novo)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	30000	2620	2	5240
Laboratório de Biologia (44)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Manutenção (38)					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Eletrônica (31)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Redes (33)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório IF Maker (30)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	48000	4680	1	4680
Laboratório de Música (25)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Laboratório de Artes (24)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	36000	3260	1	3260
Laboratório Química Orgânica					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	7500	640	1	640
Split Hi-Wall	Convencional	9000	810	1	810
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Sala de Vídeo-Conferência (26)					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Portaria Externa (Guarita)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	9000	810	1	810
Refeitório (71)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	48000	4680	4	18720
Merenda Escolar (70)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Auditório (75)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Inverter	60000	4338	1	4338
Split piso-teto	Convencional	60000	5674	1	5674
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Centros Acadêmicos (76, 77 e 78)					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	3	4770
Grêmio Estudantil					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
NEABI					

Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Oficina - campo					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split piso-teto	Convencional	36000	3480	1	3480
Laboratório de Alimentos					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Geladeira	Convencional	-	165	1	165
Freezer	Convencional	-	610	1	610
Split piso-teto	Inverter	36000	3480	1	3480
Banco de Sementes					
Tipo	Tecnologia	Potência de refrigeração (BTUs)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Split Hi-Wall	Convencional	18000	1590	1	1590
Split Hi-Wall	Convencional	24000	2410	1	2410
Freezer	Convencional	-	610	3	1830

Tabela B3 – Levantamento da potência dos sistemas motrizes por setor (TRAFO SE – 01)

Levantamento de Uso Final de Energia					
Fronteira de análise:		Trafo SE-01			
Levantamento de Motores					
Área urbana					
Tipo	Modelo	Potência (CV)	Potência Elétrica (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Bomba d'água	Centrífuga	3	2208	1	2208
Bomba d'água	Centrífuga	7,5	5520	1	5520
Bomba d'água	Centrífuga	1,5	1104	1	1104

ANEXO A – CURVAS DAS VARIÁVEIS MEDIDAS NA FROTEIRA SE – 02

Figura A1 – Tensões Van, Vbn, Vcn medidas em 22/11/22

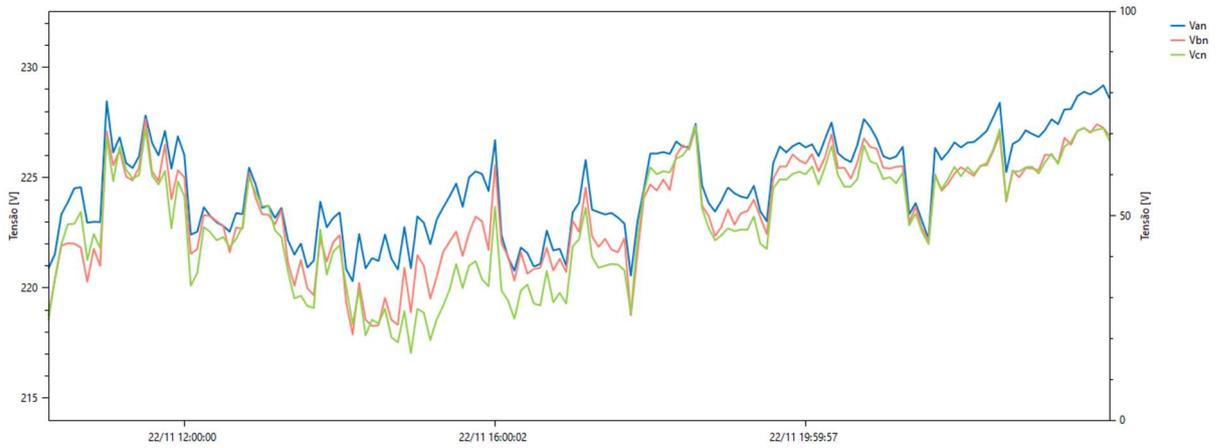


Figura A2 – Tensões Van, Vbn, Vcn medidas em 23/11/22

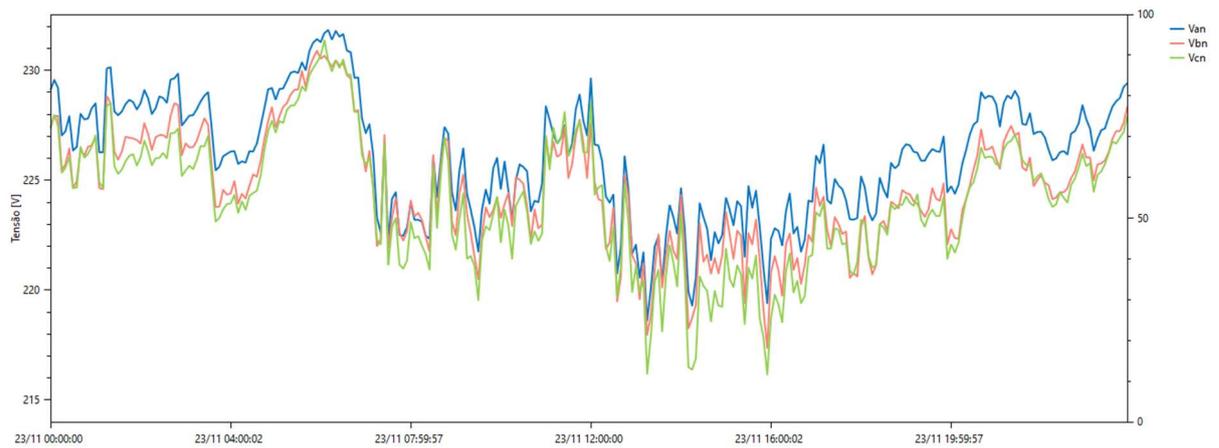


Figura A3 – Tensões Van, Vbn, Vcn medidas em 24/11/22

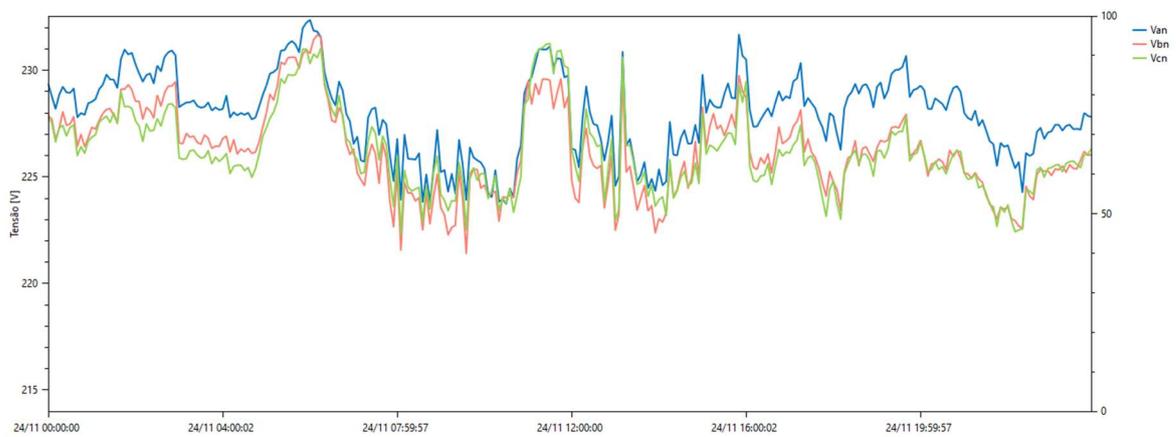


Figura A4 – Tensões Van, Vbn, Vcn medidas em 25/11/22

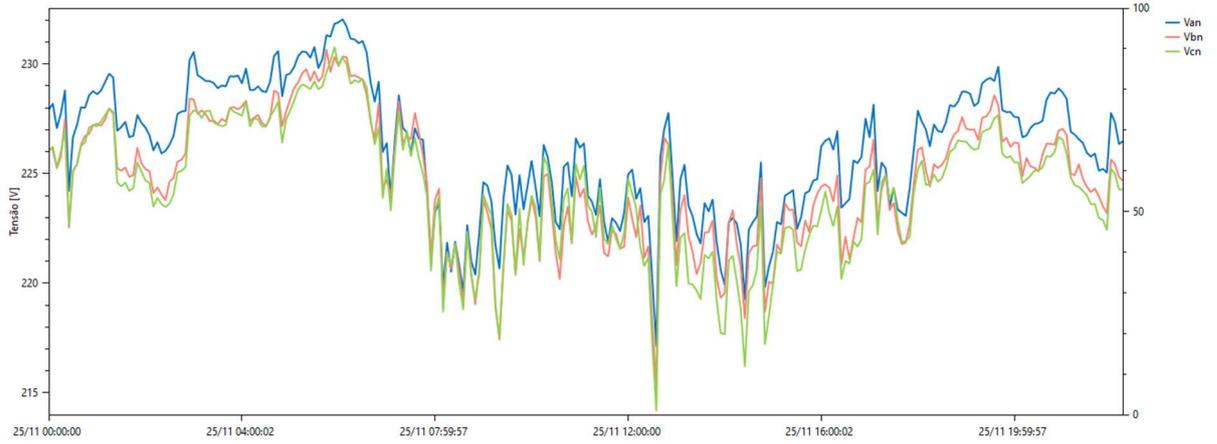


Figura A5 – Tensão Vavg, medida em 22/11/22

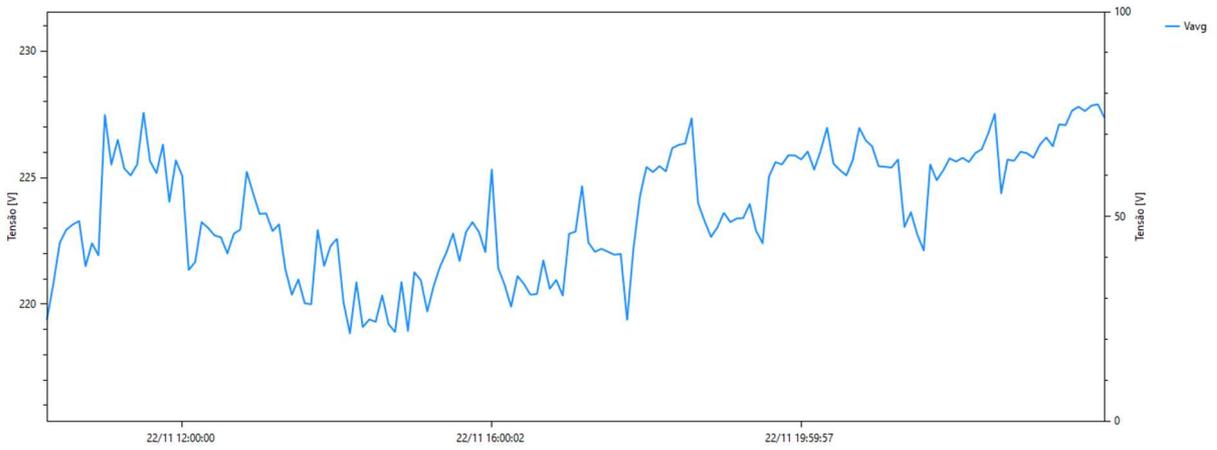


Figura A6 – Tensão Vavg, medida em 23/11/22

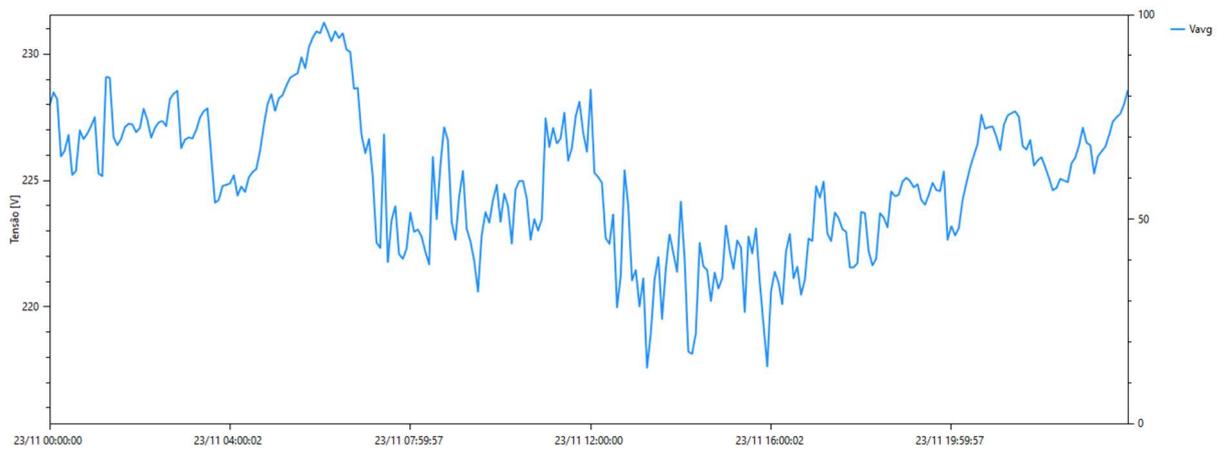


Figura A7 – Tensão Vavg, medida em 23/11/22

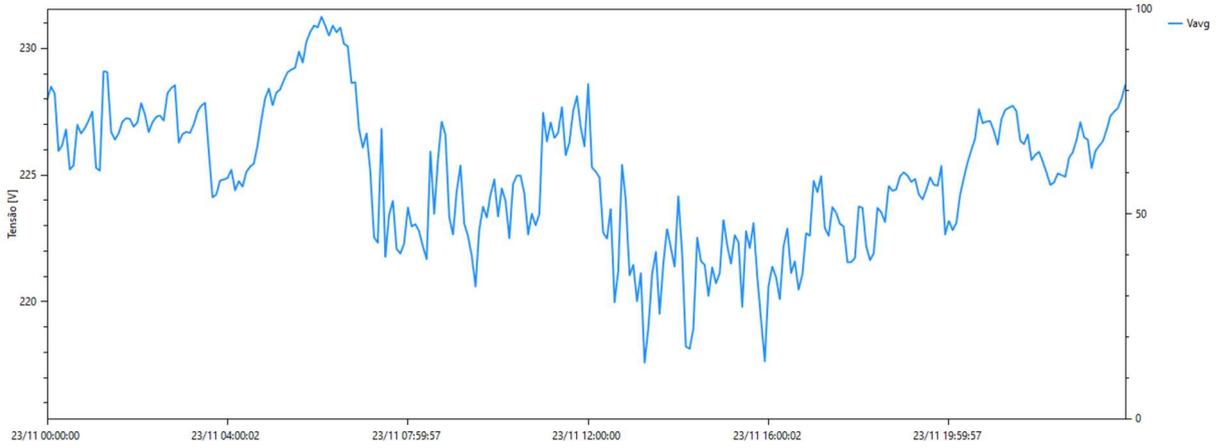


Figura A8 – Tensão Vavg, medida em 24/11/22

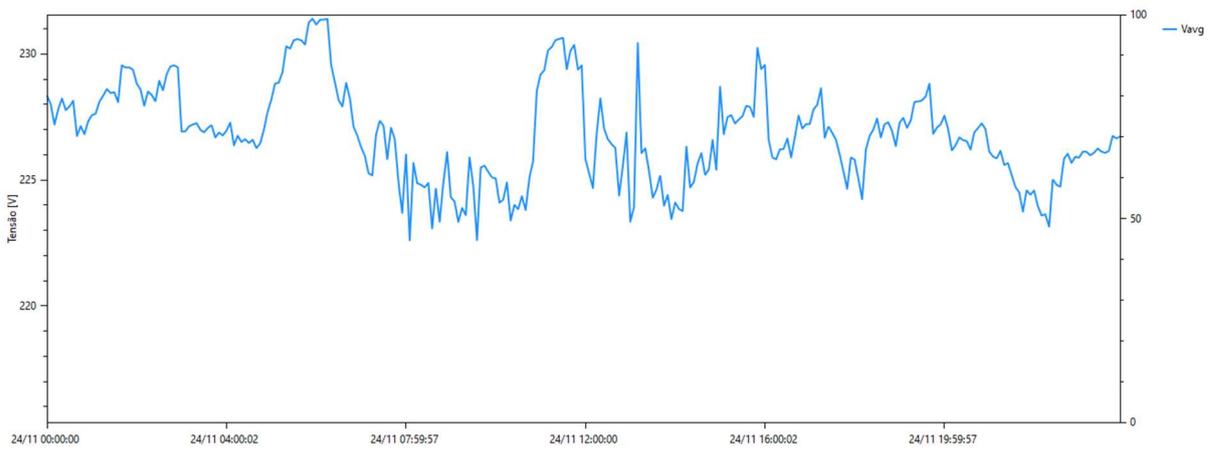


Figura A9 – Tensão Vavg, medida em 25/11/22

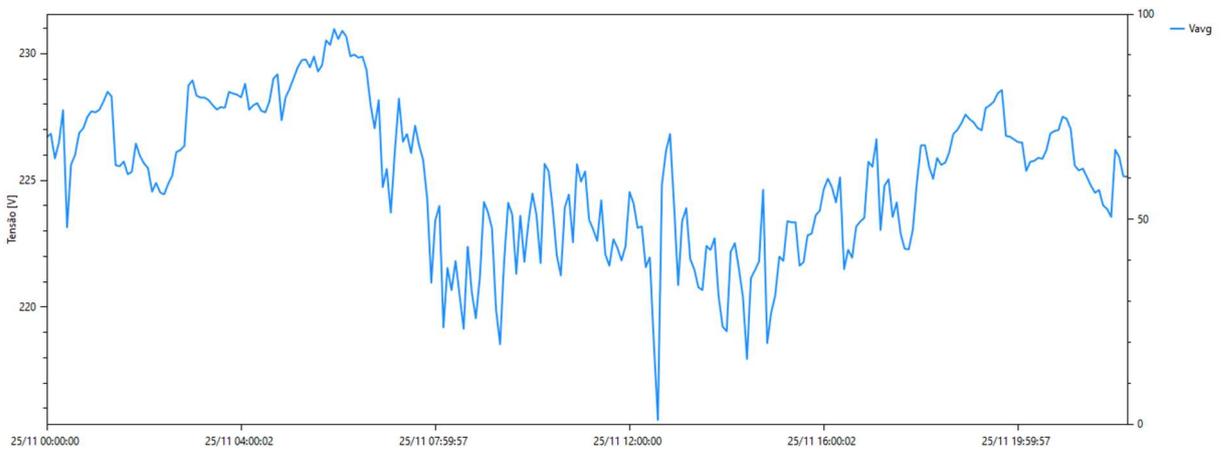


Figura A10 – Tensões Uan, Ubn e Ucn, medidas em 22/11/22

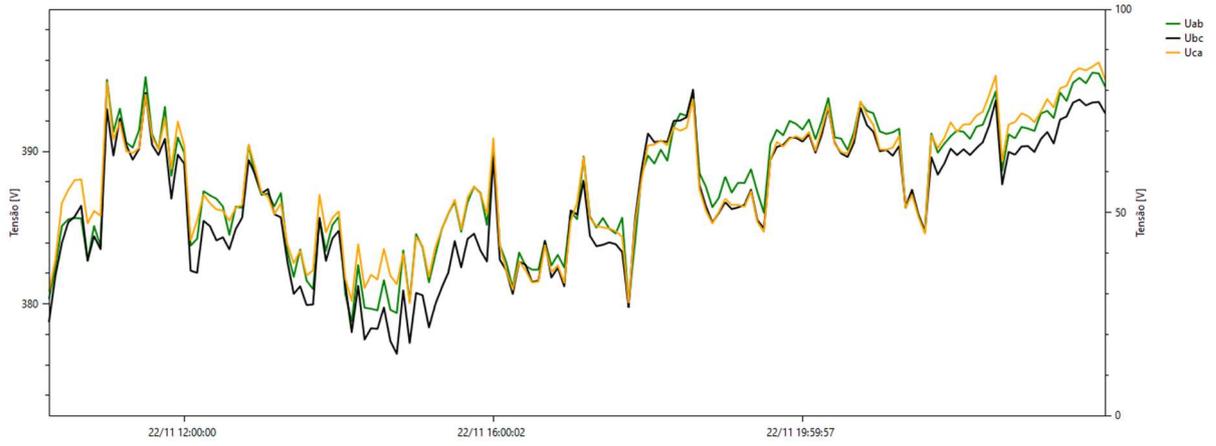


Figura A11 – Tensões Uan, Ubn e Ucn, medidas em 23/11/22

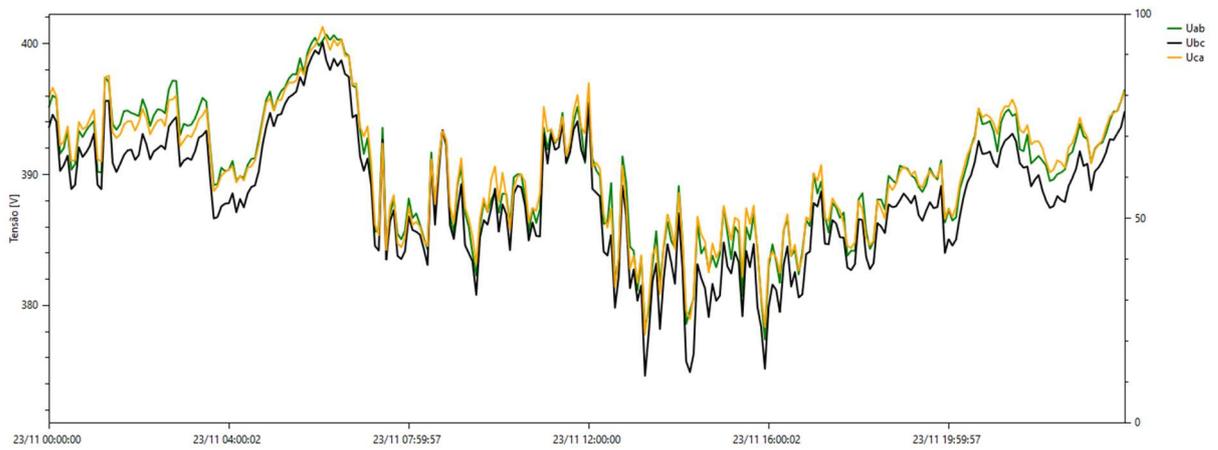


Figura A12 – Tensões Uan, Ubn e Ucn, medidas em 24/11/22

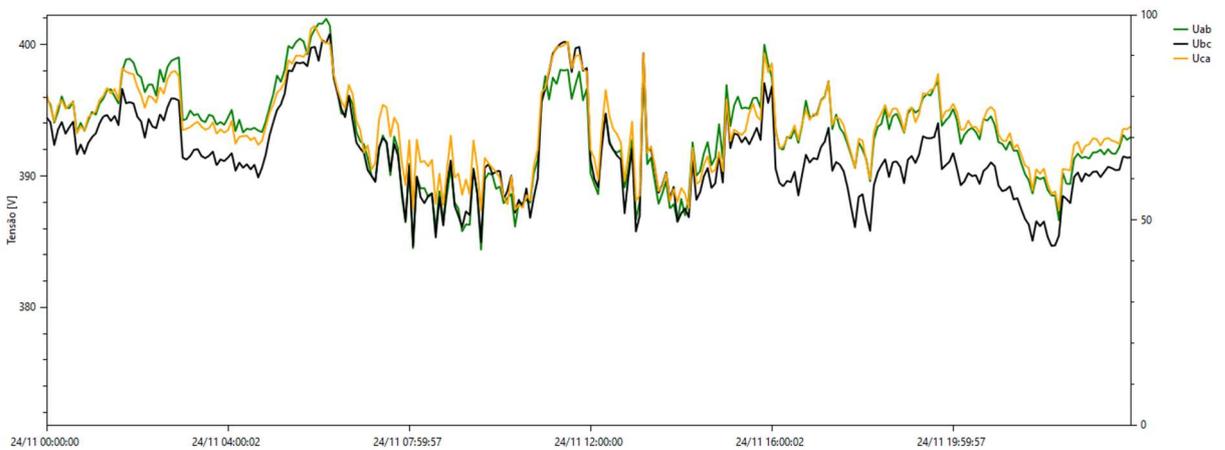


Figura A13 – Tensões Uan, Ubn e Ucn, medidas em 22/11/22

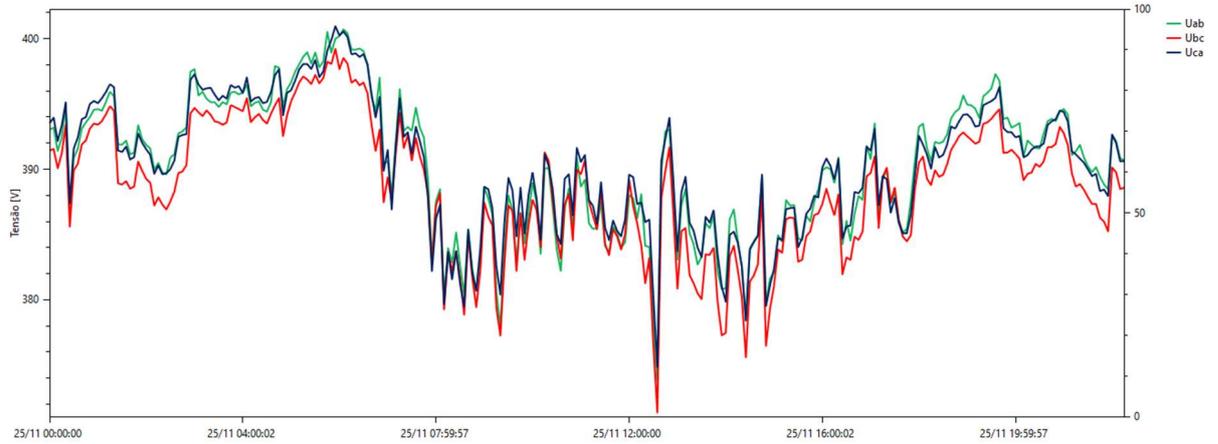


Figura A14 – Tensão Uavg, medida em 22/11/22

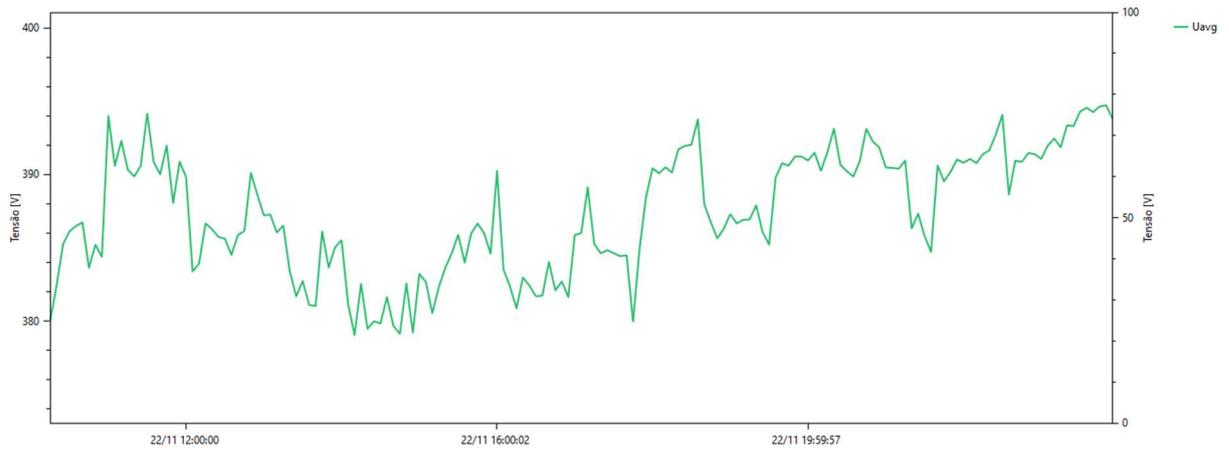


Figura A15 – Tensão Uavg, medida em 23/11/22

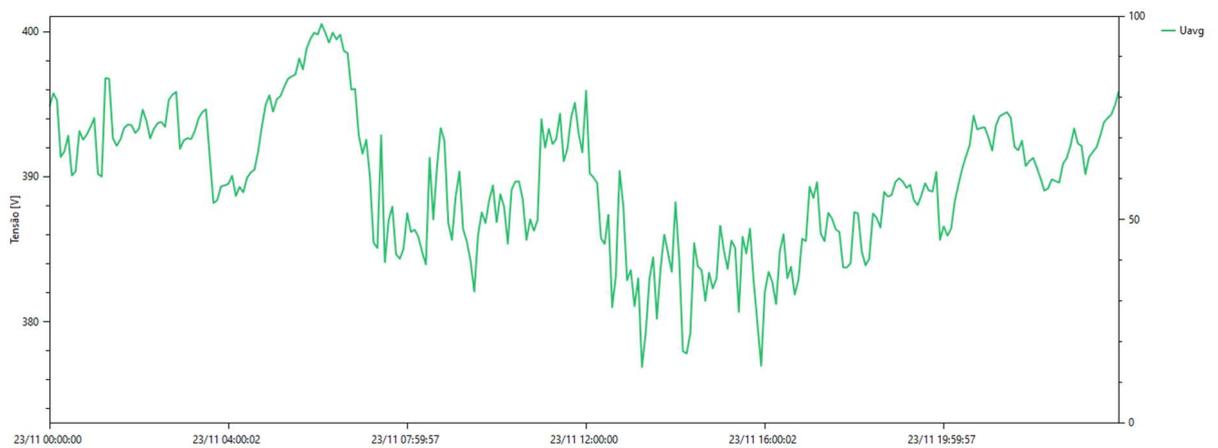


Figura A16 – Tensão Uavg, medida em 24/11/22

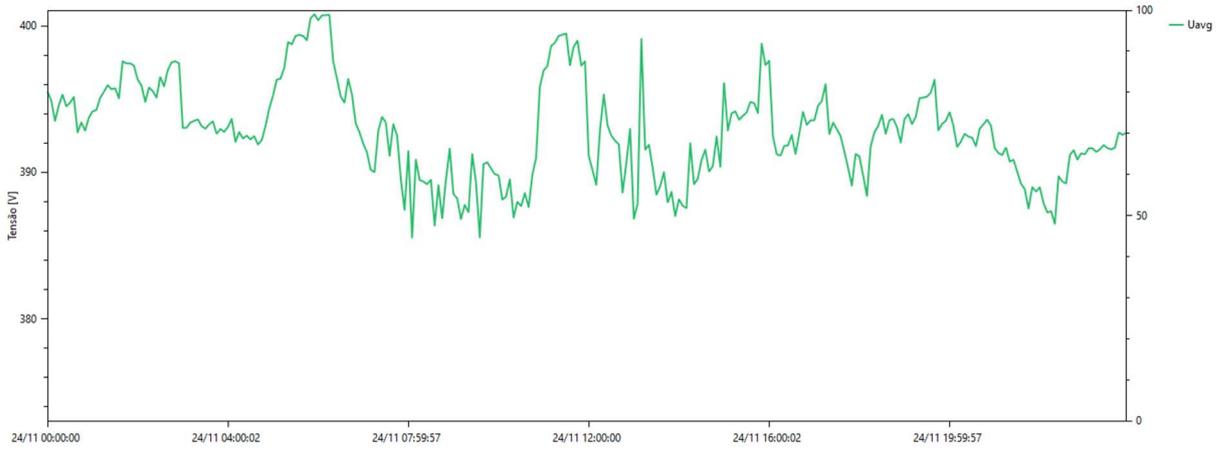


Figura A17 – Tensão Uavg, medida em 25/11/25

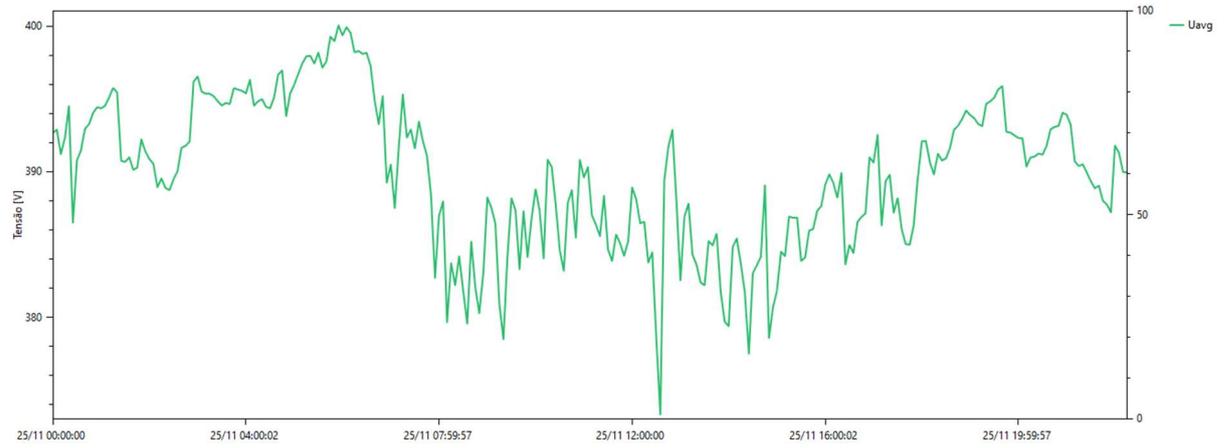


Figura A18 – Potência Ativa (P) medida em 22/11/22

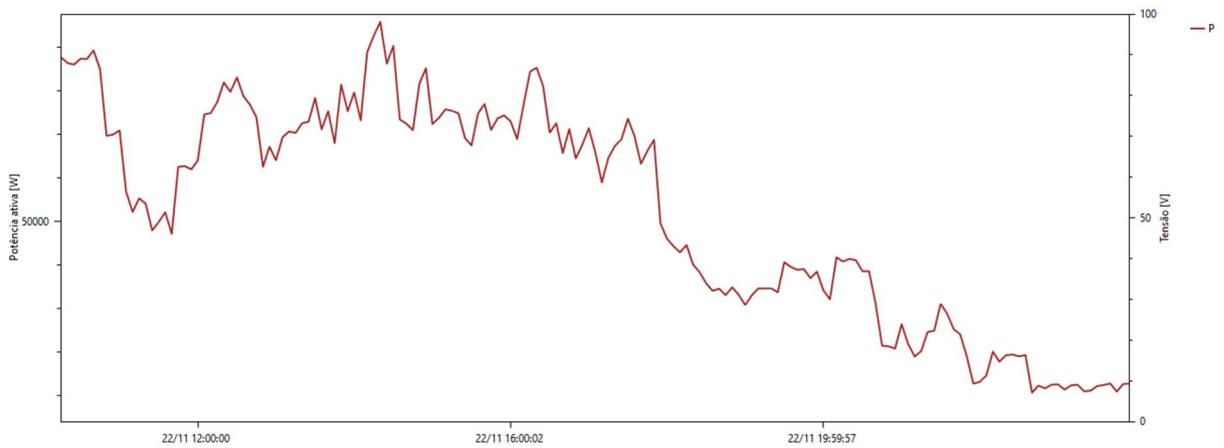


Figura A19 – Potência Ativa (P) medida em 23/11/22

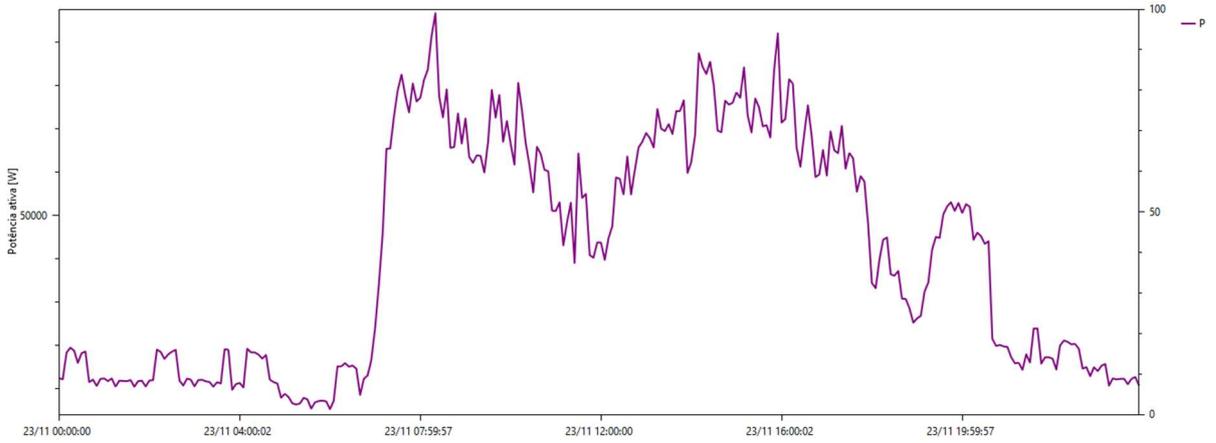


Figura A20 – Potência Ativa (P) medida em 24/11/22

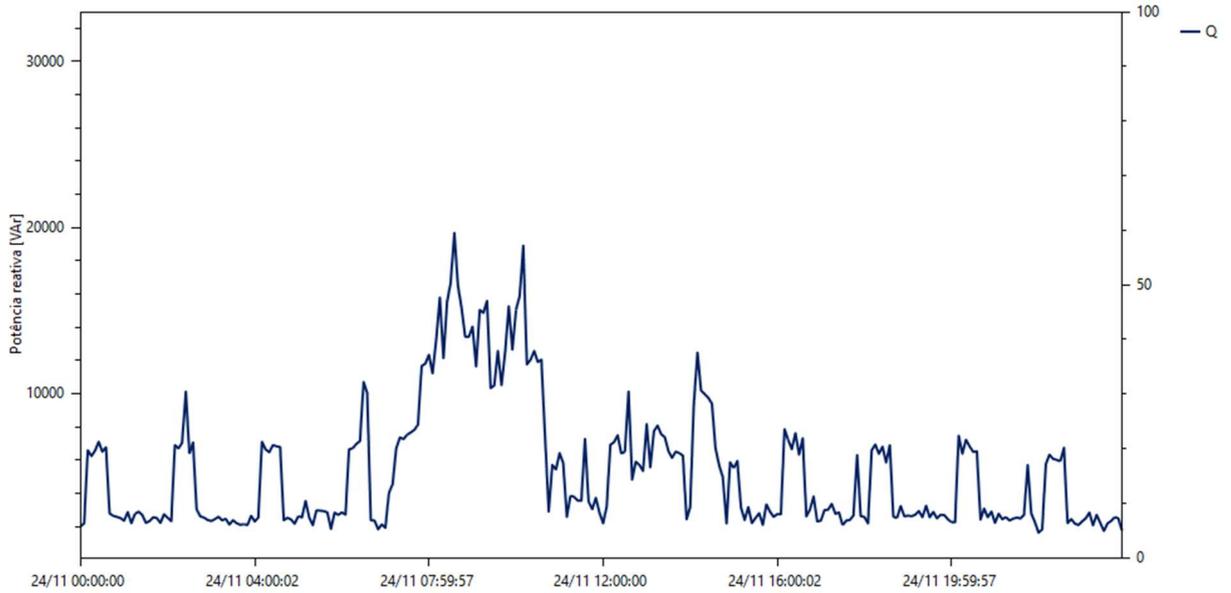


Figura A21 – Potência Ativa (P) medida em 25/11/22

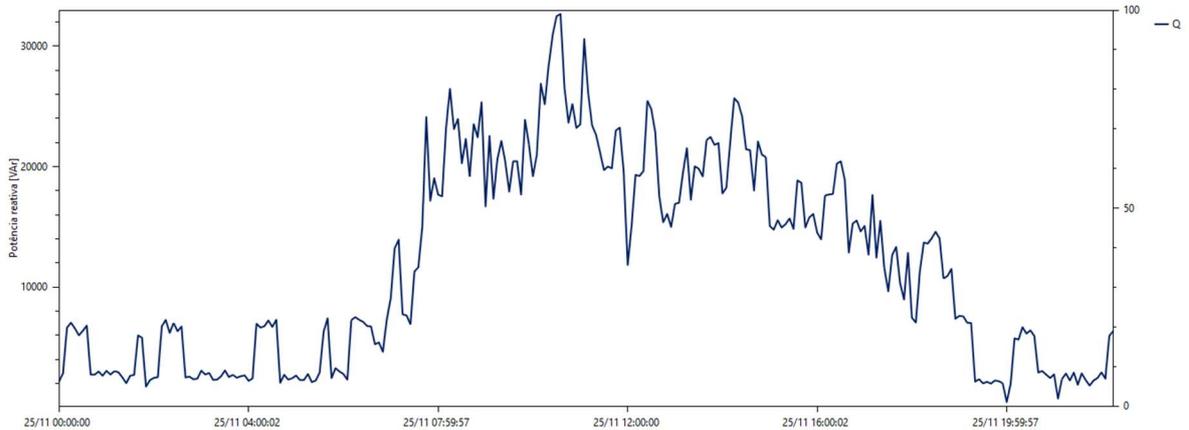


Figura A22 – Potência Reativa (Q) medida em 22/11/22

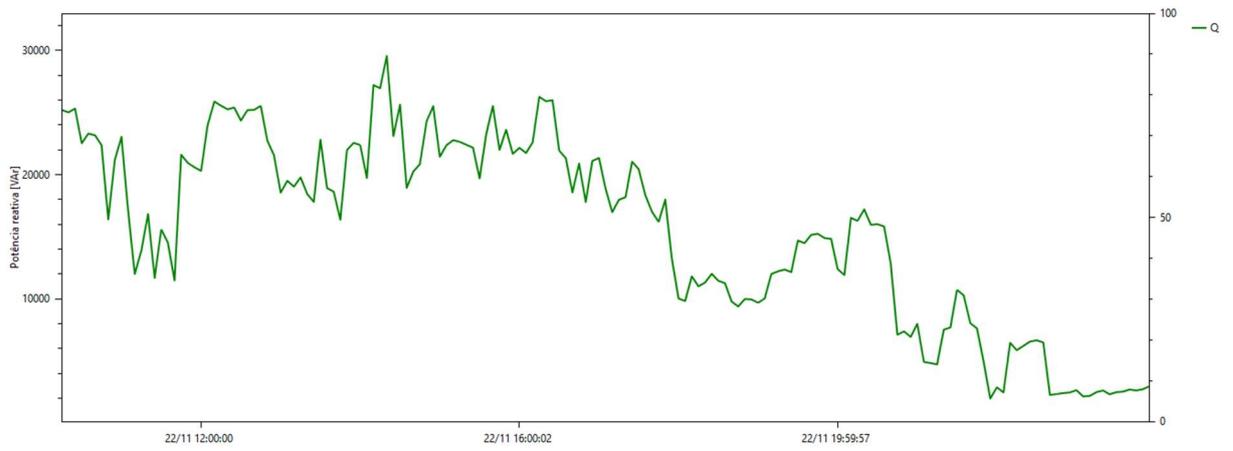


Figura A23 – Potência Reativa (Q) medida em 23/11/22

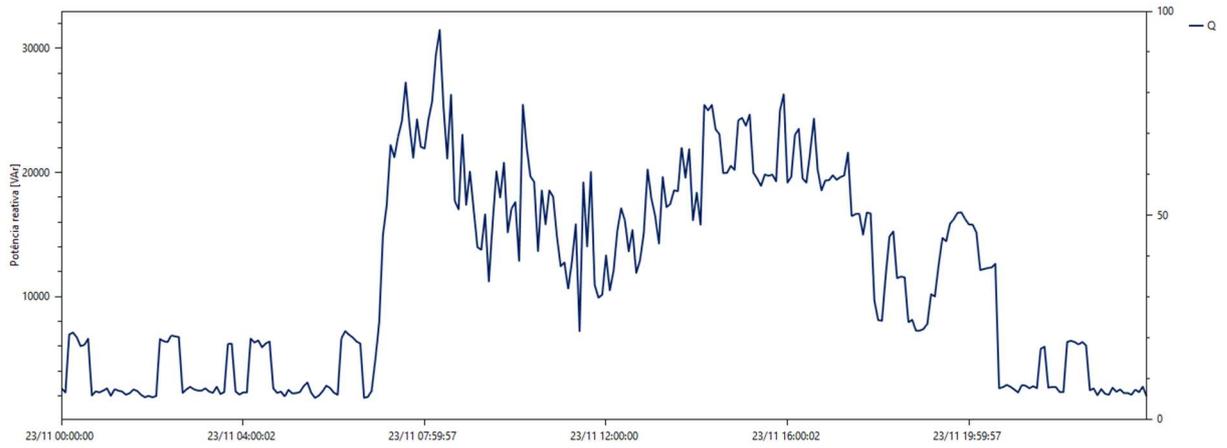


Figura A24 – Potência Reativa (Q) medida em 23/11/22

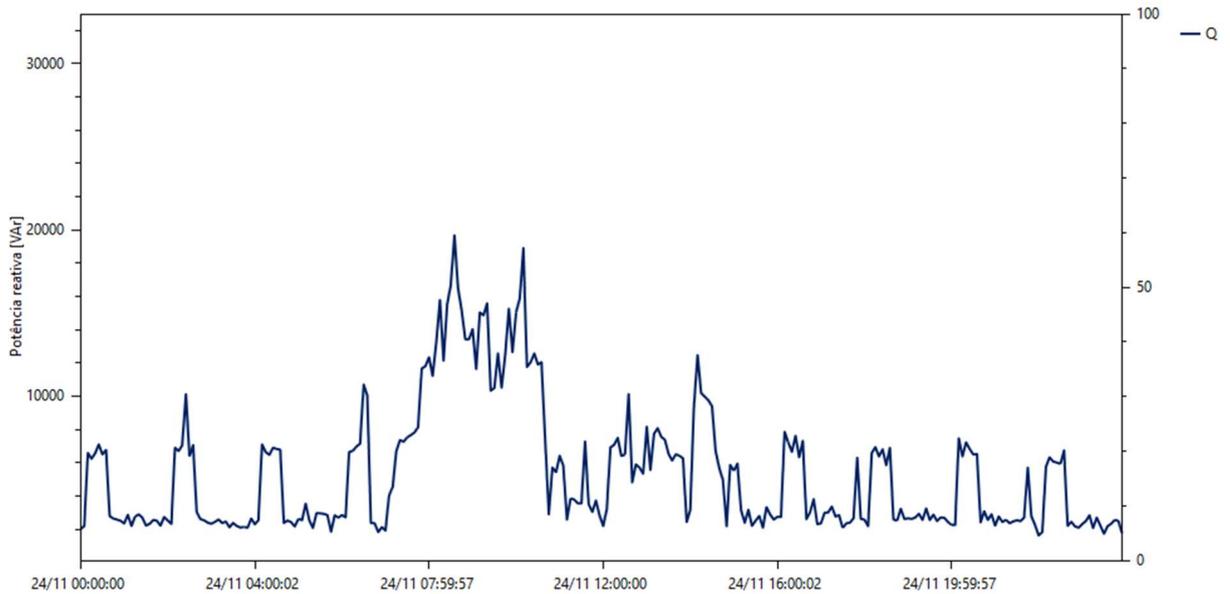


Figura A25 – Potência Reativa (Q) medida em 25/11/22

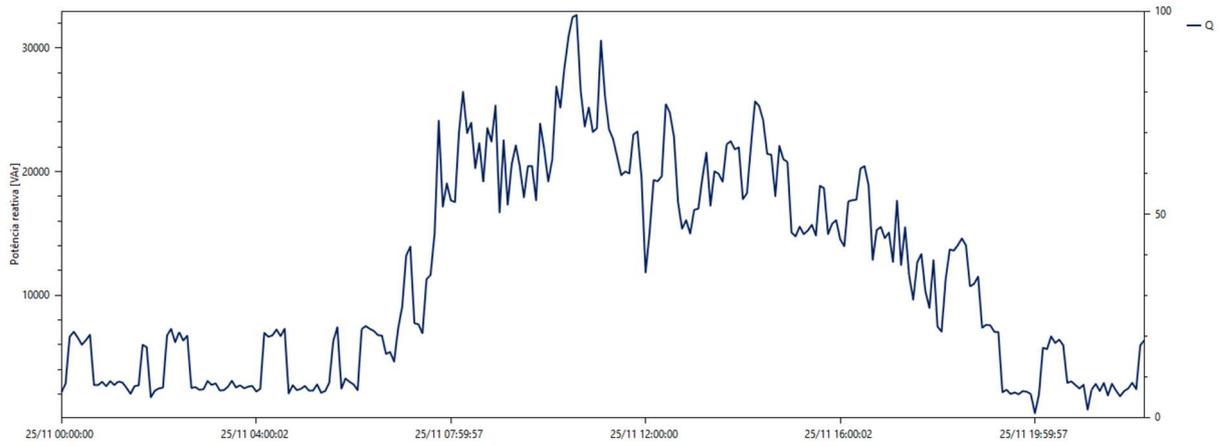


Figura A26 – TDH das fases A,B,C ao longo do período de medição

