



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL SEBASTIÃO AVELINO DO SANTOS

PAULO ROBERTO XAVIER SILVA JUNIOR

**ANÁLISE DE IMPACTO NA QUALIDADE DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO – A
SINERGIA ENTRE GERADOR A DIESEL E SOLAR NO SHOPPING ALDEIA
MALL**

PALMAS

2025

RAFAEL SEBASTIÃO AVELINO DO SANTOS

PAULO ROBERTO XAVIER SILVA JUNIOR

**ANÁLISE DE IMPACTO NA QUALIDADE DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO – A
SINERGIA ENTRE GERADOR A DIESEL E SOLAR NO SHOPPING ALDEIA
MALL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Felipe Tozzi
Bittencourt

PALMAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

J95a Junior, Paulo Roberto Xavier Silva
ANÁLISE DE IMPACTO NA QUALIDADE DE ENERGIA:
ESTUDO DE CASO – A SINERGIA ENTRE GERADOR A DIESEL E
SOLAR NO SHOPPING ALDEIA MALL / Paulo Roberto Xavier Silva
Junior, Rafael Sebastião Avelino Dos Santos. – Palmas, TO, 2025.
76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Felipe Tozzi Bittencourt

1. Qualidade de Energia Elétrica. 2. Módulo 8 do PRODIST. 3.
Análise Elétrica. I. Santos, Rafael Sebastião Avelino Dos. II.
Bittencourt, Felipe Tozzi III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

RAFAEL SEBASTIÃO AVELINO DO SANTOS

PAULO ROBERTO XAVIER SILVA JUNIOR

**ANÁLISE DE IMPACTO NA QUALIDADE DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO – A
SINERGIA ENTRE GERADOR A DIESEL E SOLAR NO SHOPPING ALDEIA
MALL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

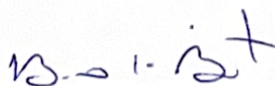
Aprovado em: 27/06/2025

BANCA AVALIADORA



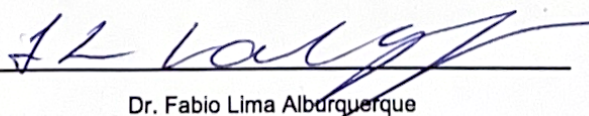
Me. Felipe Tozzi Bittencourt (Orientador)

IFTO – Campus Palmas



Dr. Brunno Henrique Brito

IFTO – Campus Palmas



Dr. Fabio Lima Albuquerque

IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho de conclusão de curso representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a soma de aprendizados, desafios superados e, principalmente, do apoio e incentivo de muitas pessoas que fizeram parte dessa caminhada.

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus, pela saúde, força e sabedoria concedidas ao longo dessa jornada.

Aos nossos pais, pelo amor incondicional, pelo exemplo de perseverança e pelos inúmeros sacrifícios feitos para que nós pudéssemos chegar até aqui. Sem vocês, nada disso seria possível.

Agradecemos aos amigos e familiares que estiveram presentes ao longo dessa jornada, oferecendo apoio, boas conversas e sorrisos nos momentos mais desafiadores. Sua presença tornou o percurso mais leve e cheio de significado.

Ao professor Felipe Tozzi Bittencourt, registramos nosso sincero agradecimento por sua paciência, empenho e pelas contribuições significativas que possibilitaram a realização deste trabalho. Seu conhecimento, apoio constante e comprometimento foram fundamentais ao longo de toda a nossa trajetória, ultrapassando o papel de orientador e nos guiando em cada fase do projeto.

Estendemos nossa gratidão ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, pelas valiosas oportunidades oferecidas ao longo da nossa caminhada acadêmica. Agradecemos a todos os professores que contribuíram para essa jornada, destacando a qualidade do ensino e o comprometimento do corpo docente, cuja dedicação e compartilhamento de saberes foram essenciais para nossa formação e preparação profissional.

Por fim, agradecemos a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa trajetória. Nossos sinceros muito obrigado.

"A jornada de mil milhas começa com o primeiro
passo e termina com a última entrega."

Lao Tsé

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso analisa a qualidade de energia elétrica em um sistema híbrido composto por geração solar fotovoltaica e um gerador a diesel no Shopping Aldeia Mall, localizado em Palmas, Tocantins. O objetivo principal é avaliar os impactos dessa combinação sobre parâmetros como fator de potência, níveis de tensão, frequência e corrente elétrica, conforme os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST da ANEEL. As medições foram realizadas com o analisador TES 3600N, e os dados revelaram ocorrências significativas de fator de potência abaixo do ideal, desequilíbrio entre fases, variações de tensão e corrente elevada no neutro. As conclusões indicam a necessidade de intervenções técnicas como instalação de banco de capacitores, redistribuição de cargas e ajustes nos parâmetros dos inversores solares, visando maior eficiência energética, estabilidade e conformidade com as normas técnicas.

Palavras-Chave: Qualidade de Energia, Geração Solar, Gerador a Diesel, Sistema Híbrido, Módulo 8, PRODIST, Análise Elétrica.

ABSTRACT

This undergraduate thesis analyzes the power quality in a hybrid electrical system consisting of solar photovoltaic generation and a diesel generator at Shopping Aldeia Mall, located in Palmas, Tocantins, Brazil. The main objective is to evaluate the impact of this synergy on power quality indicators such as power factor, voltage levels, frequency, and electrical current, based on the standards set by Module 8 of PRODIST (ANEEL). Measurements were conducted using the TES 3600N energy analyzer, and the data revealed significant occurrences of low power factor, phase imbalance, voltage fluctuations, and high neutral current. The findings point to the need for technical interventions such as capacitor banks, load redistribution, and inverter parameter adjustments, aiming at improved energy efficiency, system stability, and regulatory compliance.

Key Words: Power Quality, Solar Generation, Diesel Generator, Hybrid System, module 8, PRODIST, Electrical Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Elétrica Do Brasil.....	13
Figura 2 - Quadro Geral De Distribuição Do Shopping Aldeia Mall.	31
Figura 3 - Instalação Do Analisador De Energia No Local De Estudo.....	31
Figura 4 - Analisador Tes 3600n Da Politerm.....	32
Figura 5 - Diagrama Esquemático De Ligação Do Analisador.	33
Figura 6 - Faixa De Tensão Em Relação A Referência.....	34
Figura 7 - Dados Estatísticos Do Sistema Elétrico Do Ambiente.	36
Figura 8 - Gráfico Comparativo Do Fator De Potência.....	40
Figura 9 - Gráfico Do Fator De Potência Da Fase A.	41
Figura 10 - Gráfico Do Fator De Potência Da Fase B.	42
Figura 11 - Gráfico Do Fator De Potência Da Fase C.	43
Figura 12 - Gráfico Do Nível De Tensão Da Fase A.	45
Figura 13 - Gráfico Do Nível De Tensão Da Fase B.	45
Figura 14 - Gráfico Do Nível De Tensão Da Fase C.	46
Figura 15 - Gráfico Comparativo Do Nível De Tensão Entre Fases.....	47
Figura 16 - Ponto De Queda Referente Ao Uso Do Gerador A Diesel.	47
Figura 17 - Gráfico Dos Níveis De Frequência Do Local.....	48
Figura 18 - Gráfico Comparativo Dos Níveis De Correntes Do Shopping.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 2,3 KV (380/220).....	20
Tabela 2 – Classificações das VTCDS.....	21
Tabela 3 – Dados de FP da Fase A.	41
Tabela 4 – Dados de FP da Fase B.	42
Tabela 5 – Dados de FP da Fase C.	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Fator de potência (FP).	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFTO	Instituto Federal do Tocantins
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DIT	Demais Instalações de Transmissão
FER	Frequência Equivalente de Reclamação
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
S	Potência Aparente
FP	Fator de Potência
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Raiz Média Quadrada)
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potência
P.U	Por Unidades
HZ	Hertz
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply (nobreak)</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Objetivo Geral	15
1.3 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	17
2.1 Módulo 8 do PRODIST	17
2.2 Fator de Potência	19
2.3 Tensão em Regime Permanente	19
2.4 Variação de Tensão de Curta Duração e Longa Duração	20
2.4.1 Variação de tensão de curta duração	20
2.4.1.1 <i>Afundamento de Tensão</i>	21
2.4.1.2 <i>Salto de Tensão</i>	22
2.4.2 Variação de Tensão de longa duração	22
2.4.2.1 <i>Sobretensões</i>	23
2.4.2.2 <i>Subtensões</i>	23
2.5 Flutuações dos Parâmetros	24
2.5.1 Flutuação de Tensão	24
2.5.2 Flutuação de Corrente	24
2.5.3 Flutuação de Fator de Potência	25
2.5.4 Flutuação de Frequência	26
2.6 Desbalanceamento de Corrente	27
2.7 Análise quanto à Frequência	27
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
3.1 Local de Estudo	29

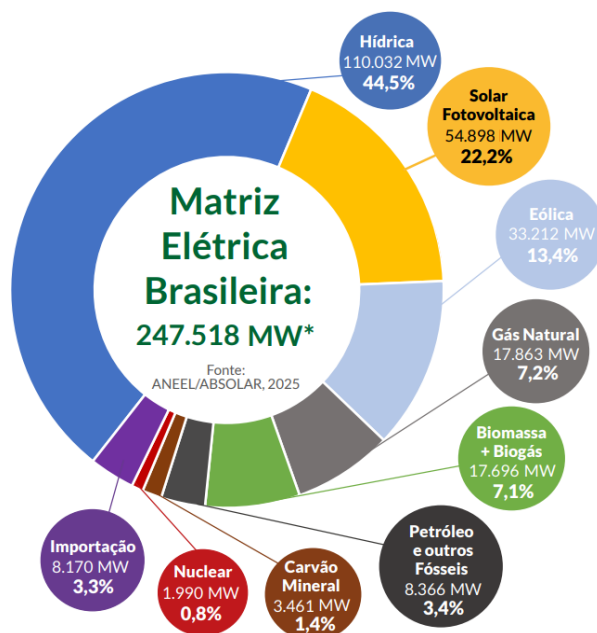
3.2 Analisador de Energia	32
3.3 Parâmetros de Medição	33
3.3.1 Fator de Potência	33
3.3.2 Níveis de Tensão	34
3.3.3 Frequência	35
3.3.4 Níveis de corrente	35
4 RESULTADOS	36
4.1 Análise de Dados	36
4.1.1 Tensão (V)	37
4.1.2 Corrente (A)	37
4.1.3 Fator de Potência	38
4.1.4 Frequência (Hz)	39
4.2 Fator de Potência	39
4.3 Níveis de Tensão	44
4.4 Frequência	48
4.5 Níveis de Corrente	49
4.6 Conclusões acerca dos Dados Obtidos	50
4.6.1 Possíveis Causas	51
4.6.2 Soluções Propostas	52
4.6.3 Relatório técnico para o cliente	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A – RELATÓRIO ENTREGUE AO CLIENTE	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2023 as fontes renováveis representaram 49,1% da oferta interna de energia no Brasil, o que posiciona o país entre os líderes mundiais em participação renovável (EPE, 2024). Historicamente, a geração hidrelétrica tem sido a principal responsável pelo suprimento de eletricidade no país, vide a Figura 1.

Figura 1 - Matriz Elétrica do Brasil.



*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

Fonte: ABSOLAR, 2025.

Conforme mostra a Figura 1, outras fontes renováveis têm ganhado destaque significativo, como o caso do solar fotovoltaico. Esse cenário demonstra a diversificação contínua da matriz elétrica brasileira, com uma tendência crescente de adoção de fontes renováveis, fortalecendo a segurança energética e a transição para uma matriz menos dependente de combustíveis fósseis.

A energia solar fotovoltaica é considerada uma das fontes renováveis mais promissoras, com mais de 52 GW instalados no Brasil até o início de 2025, segundo a ABSOLAR (2025), devido à sua abundância e menor impacto ambiental comparado às fontes fósseis.

Nesse contexto, o uso de energia solar em empreendimentos comerciais, como o Shopping Aldeia Mall, oferece diversas vantagens. Entre as vantagens, destaca-se a significativa redução dos custos com eletricidade, uma vez que a energia gerada pode suprir parte da demanda do consumidor. Além disso, a utilização da energia solar contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e promovendo a eficiência energética.

Entretanto, a geração solar possui algumas limitações relacionadas à intermitência da radiação solar ou pela ausência dela. Desse modo, o sistema elétrico comercial acaba exigindo a implementação de sistemas complementares, com a integração de outras fontes.

Os geradores a diesel são amplamente utilizados como fonte de energia de *backup* em instalações comerciais e industriais, garantindo o fornecimento de eletricidade em casos de falha da rede elétrica. Esses equipamentos funcionam por meio da queima de óleo diesel em motores de combustão interna, que acionam um alternador responsável pela geração de energia elétrica.

Os geradores a diesel são reconhecidos por sua confiabilidade e pela capacidade de entrar rapidamente em operação, mesmo sob condições climáticas adversas, sendo recomendados em aplicações críticas (ALMEIDA; RODRIGUES, 2021). No ambiente de estudo, o gerador a diesel é conectado a parte reservada ao condomínio.

Por outro lado, a geração a diesel apresenta desafios ambientais e econômicos. O consumo de combustível fóssil resulta na emissão de poluentes que contribuem para o efeito estufa e a poluição do ar. Além disso, os custos com combustíveis e manutenção periódica do gerador representam um fator significativo na gestão financeira do empreendimento.

Diante do exposto, a combinação de diferentes fontes de energia no Shopping Aldeia Mall representa uma abordagem híbrida que visa aumentar a confiabilidade e

a resiliência energética da instalação. Enquanto o sistema solar fotovoltaico contribui para a redução dos custos operacionais com a energia da concessionária, o grupo gerador a diesel atua como uma fonte de contingência, garantindo a continuidade das operações durante eventuais falhas no fornecimento da rede elétrica. A integração entre sistemas fotovoltaicos e geradores a diesel pode aumentar a resiliência energética, assegurando maior estabilidade operacional em empreendimentos comerciais (SOUZA; DUTRA, 2010).

1.2 Objetivo Geral

O trabalho de conclusão de curso tem por objetivo principal realizar estudos a respeito da qualidade de energia, bem como avaliar os impactos ocasionados pela geração solar fotovoltaica e pelo gerador a diesel, tendo como base o Shopping Aldeia Mall, localizado na Quadra Arso 21, 02 – Avenida NS 01 Condomínio, em Palmas, Tocantins.

1.3 Objetivos Específicos

1. Realizar medições de grandezas elétricas como tensão, corrente, potências e frequência do Shopping Aldeia Mall, localizado em Palmas, Tocantins, através do analisador de redes TES 3600N da Politem.
2. Analisar os dados obtidos para verificar o fator de potência, dos níveis de tensão e da frequência.
3. Averiguar se os dados coletados estão em conformidade com as normas estabelecidas no Módulo 8 do PRODIST.
4. Propor soluções para que se garanta conformidade com a norma vigente.

1.4 Justificativa

A crescente demanda por energia elétrica, aliada à necessidade de garantir a qualidade no fornecimento e a sustentabilidade ambiental, tem impulsionado a adoção de fontes renováveis. Nesse contexto, a geração distribuída por meio de sistemas fotovoltaicos tem ganhado destaque no cenário energético nacional, contribuindo significativamente para a diversificação da matriz elétrica brasileira, conforme mostrado na Figura 1.

No entanto, apesar de seus inúmeros benefícios, a integração de fontes renováveis intermitentes, como a solar, aos sistemas elétricos convencionais, exige uma análise criteriosa sobre os impactos na qualidade da energia entregue às instalações consumidoras.

A motivação para a realização deste estudo decorre da necessidade prática de se compreender os possíveis efeitos técnicos da operação conjunta entre um sistema de geração solar fotovoltaica e um gerador a diesel em uma instalação de grande porte e elevada criticidade operacional, como é o caso do Shopping Aldeia Mall.

Conforme Dugan et al. (2002), falhas no dimensionamento e monitoramento de sistemas elétricos podem provocar distúrbios como variações de tensão, desequilíbrios entre fases e queda do fator de potência, impactando negativamente a confiabilidade do sistema.

Outro fator determinante para a escolha do tema está relacionado ao rigor regulatório vigente. O Módulo 8 do PRODIST, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece limites claros e exigentes quanto à qualidade de energia. Avaliar a conformidade dos parâmetros elétricos observados no *shopping* frente a essa normativa é imprescindível para assegurar a legalidade da operação, evitar penalidades tarifárias e garantir a segurança elétrica da instalação.

Portanto, este trabalho se justifica não apenas pela importância acadêmica do aprofundamento técnico sobre qualidade de energia em sistemas híbridos, mas, sobretudo, pela sua aplicabilidade direta na melhoria de desempenho energético de empreendimentos comerciais, contribuindo para a sustentabilidade, a eficiência e a conformidade regulatória do setor elétrico brasileiro.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Módulo 8 do PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) consiste em um conjunto de documentos normativos que estabelecem diretrizes para a distribuição de energia elétrica no Brasil. Regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o PRODIST desempenha um papel fundamental na organização e padronização dos serviços prestados, abrangendo desde o planejamento da expansão dos sistemas de distribuição até a definição de normas para o monitoramento e a qualidade do fornecimento de energia.

Dentre os diversos módulos que compõem o PRODIST, destaca-se o Módulo 8, cujo objetivo é estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica fornecida.

O Módulo 8 define uma série de aspectos essenciais para essa conformidade, incluindo: terminologia e caracterização dos fenômenos, que determinam a nomenclatura utilizada e descreve os principais fenômenos que podem afetar a qualidade da energia; e indicadores e limites, que estabelecem referências para assegurar a conformidade da tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão.

A classificação da qualidade da tensão elétrica se divide em dois regimes: regime permanente, que inclui aspectos como níveis de tensão, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência, e o regime transitório, que abrange variações de tensão de curta duração, eventos que podem comprometer a estabilidade do fornecimento momentaneamente.

Para cada um desses aspectos, o documento define equações e valores de referência que devem ser observados pelas distribuidoras de energia e pelos consumidores, assegurando assim a manutenção dos padrões de qualidade e o cumprimento das exigências regulatórias.

Esse documento aborda três aspectos principais: a qualidade do produto, a qualidade do serviço e a qualidade do tratamento de reclamações, cada um com normativas específicas para garantir um padrão adequado de fornecimento e atendimento aos consumidores.

A qualidade do produto refere-se à conformidade da energia elétrica com os padrões estabelecidos, visando garantir a estabilidade e confiabilidade do fornecimento.

A qualidade do serviço diz respeito aos procedimentos adotados pelas distribuidoras de energia para garantir a eficiência e a continuidade do fornecimento aos consumidores, centrais geradoras e demais agentes do setor elétrico. A Seção 8.2 do Módulo 8, estabelece os mecanismos de acompanhamento e controle do desempenho das distribuidoras e das Demais Instalações de Transmissão (DIT).

Esses mecanismos incluem: monitoramento contínuo da qualidade do fornecimento, planejamento e execução de melhorias na infraestrutura das redes de distribuição, definição de padrões de desempenho para distribuidoras e transmissoras e subsídios para planos de expansão e reforço da rede elétrica.

Ademais, a qualidade do serviço também é avaliada por meio de indicadores de continuidade, que classificam os consumidores de acordo com sua categoria (individuais ou agrupados) e permitem mensurar a confiabilidade do sistema elétrico.

A qualidade do tratamento de reclamações abrange a metodologia que estabelece os limites anuais do indicador de qualidade comercial FER (Frequência Equivalente de Reclamação) para as distribuidoras, calculado conforme a Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010.

Portanto, o Módulo 8 do PRODIST desempenha um papel fundamental na regulamentação da qualidade da energia elétrica no Brasil, estabelecendo padrões rígidos para a qualidade do produto, do serviço e do atendimento ao consumidor. A implementação dessas diretrizes garante a segurança e confiabilidade do sistema elétrico, promovendo um serviço mais eficiente e alinhado com as necessidades dos consumidores e do setor elétrico como um todo.

2.2 Fator de Potência

A relação entre a potência ativa (P), expressa em watts (W), e a potência aparente (S), expressa em volt-ampères (VA), é conhecida como fator de potência. Ele pode ser descrito através da Equação:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\theta) \quad (1)$$

Sendo θ (*theta*) o ângulo que indica a diferença entre a tensão e a corrente no circuito. Um fator de potência próximo a 1 (unitário ou 100%) indica que a maior parte da energia disponibilizada está sendo empregada na execução de trabalho útil. Por outro lado, valores mais baixos sinalizam a existência de potência reativa (Q), que não executa trabalho, circulando no sistema, causando perdas e diminuindo a eficiência energética.

Tendo por referência o valor de 0,92 (noventa e dois centésimos) apresentado no item 3.2.1 do Módulo 8 do PRODIST, o fator de potência é um indicador crucial de uso de energia. Seu gerenciamento apropriado é fundamental para as instalações consumidoras, não apenas do ponto de vista eletroenergético, mas principalmente porque é monitorado pelos sistemas de medição das concessionárias, podendo resultar em penalidades financeiras significativas quando está fora dos padrões exigidos (Silva, 2009).

2.3 Tensão em Regime Permanente

De acordo com o PRODIST (ANEEL, 2021), são estabelecidos os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente. A tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio do conjunto de leituras realizadas.

Os valores de tensão obtidos pelas medições devem ser comparados com a tensão de referência (tensão nominal), sendo que, para cada tensão lida, serão associadas três classificações: adequadas, precárias ou críticas, com base no tamanho do afastamento do valor da tensão.

Tais níveis pré-definidos podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 2,3 kV (380/220).

Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (V)
Adequada	$202 \leq TL \leq 231$
Precária	$191 \leq TL < 202$ e $231 < TL \leq 233$
Crítica	$TL < 191$ e $TL > 233$

Fonte: Adaptado de PRODIST (ANEEL, 2021).

Logo, a tensão em regime permanente deve ser acompanhada em todo o sistema de distribuição, e a distribuidora deve dotar-se de recursos e técnicas modernas para tal acompanhamento, atuando de forma preventiva para que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos padrões adequados (PRODIST, 2021).

2.4 Variações de Tensão

Neste tópico será discorrido sobre as variações de tensão que podem ocorrer em uma instalação, sendo classificadas em variações de curta e longa duração. Cada variação terá subclasses que dependem de sua duração e amplitude.

2.4.1 Variação de tensão de curta duração

Conforme o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2021), as variações de tensão de curta duração são definidas como desvios significativos na amplitude do valor RMS da tensão durante um intervalo de tempo inferior a 3 minutos. As variações de tensão de curta duração (VTCD) são classificadas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificações das VTCDs.

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de tensão	Interrupção momentânea de Tensão - IMT	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento momentâneo de Tensão - AMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação momentânea de Tensão - EMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de tensão	Interrupção temporária de Tensão - ITT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento temporário de Tensão - ATT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação temporária de Tensão - ETT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: PRODIST (ANEEL, 2021).

Conforme apresentado na Tabela 2, as VTCDs são subdivididas entre Variações momentâneas e temporárias, com durações e valores específicos para cada uma.

2.4.1.1 Afundamento de Tensão

Segundo o Módulo 8 do PRODIST, um afundamento de tensão, também conhecido como *sag*, pode ser definido como uma queda no valor RMS da tensão igual ou superior a 0,1 p. u., e inferior a 0,9 p. u. na frequência fundamental do sistema. Podem ocorrer tanto como uma variação momentânea quanto temporária da tensão. Nas variações momentâneas, por exemplo, os afundamentos têm duração superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos. Já os afundamentos de tensão nas

variações temporárias possuem uma duração superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos.

Esses fatores são apontados como um dos principais motivos para o estudo da qualidade de energia elétrica, visto que os transtornos causados no sistema são capazes de sensibilizar dispositivos de proteção e causar prejuízos.

2.4.1.2 Salto de Tensão

Um salto de tensão, ou *swell* pode ser definido como um aumento no valor RMS da tensão superior a 1,1 p. u. na frequência fundamental do sistema. Da mesma forma que os afundamentos, os saltos de tensão podem ocorrer tanto como uma variação momentânea quanto temporária da tensão, com suas durações sendo superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos para variações momentâneas de tensão e superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos para as variações temporárias.

Segundo Dugan et al. (2002), da mesma forma que os afundamentos, as elevações de tensão costumam estar ligadas a situações de falha do sistema, embora não sejam tão frequentes quanto os afundamentos. Uma maneira pela qual pode acontecer um *swell*, é por meio do aumento temporário da tensão nas fases não falhadas durante uma falha de curto-circuito fase-terra. Também podem ser causadas pela desativação de uma grande carga ou pela energização de um grande banco de capacitores.

2.4.2 Variação de Tensão de longa duração

As variações de tensão de longa duração são as alterações do valor RMS de tensão com duração superior a três minutos.

2.4.2.1 Sobretensões

A sobretensão é a condição elétrica em que a tensão é maior do que suportada pelo circuito. Segundo Dugan et al. (2002), as sobretensões são caracterizadas pelo aumento de tensão RMS superior a 1,1 p. u. com duração superior a três minutos.

As sobretensões costumam ser provocadas por:

- a) Desconexão de cargas;
- b) Energização de capacitores;
- c) Variação de compensação de energia reativa;
- d) *Taps* dos transformadores ajustados de forma indevida.

Desse modo, as sobretensões são maléficas a rede de distribuição e ao consumidor, podendo causar danos em dispositivos eletrônicos, comprometimento da vida útil de transformadores, cabos, disjuntores TCs e TPs mesmo não apresentando falhas no momento, além de falhas de operação de relés de proteção.

2.4.2.2 Subtensões

A subtensão é a condição elétrica em que a tensão é menor do que a tensão nominal do circuito. Segundo Dugan et al. (2002), a subtensão é caracterizada pela queda na tensão eficaz inferior a 0,9 p. u. com duração superior a três minutos.

As subtensões costumam ser provocadas por:

- a) Sobrecarga dos alimentadores ou equipamentos;
- b) Desconexão de banco de capacitores;
- c) Baixo fator de potência.

As subtensões têm por parâmetros a corrente, o fator de potência e a impedância da linha. Com relação a impedância da linha, nota-se que os consumidores mais distantes da subestação acabam tendo a tensão menor, e isso se dá pelo fato da maior impedância dos cabos e cargas ligadas ao longo do alimentador. Com relação ao fator de potência, quanto menor for o mesmo, maior vai ser as perdas por potência reativa. Consequentemente, maior a queda de tensão.

Dessa maneira, as subtensões representam ônus para rede de distribuição e aos consumidores, podendo causar aumento no tempo de partida de motores e aumento da corrente de estator de motores, provocando aquecimento e redução da vida útil dos componentes, bem como redução da potência reativa produzida pelos capacitores e possível operação de proteção de equipamentos eletrônicos em geral.

2.5 Flutuações dos Parâmetros

2.5.1 Flutuação de Tensão

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica dos valores eficaz ou de pico da tensão instantânea. A determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão (PRODIST, 2021).

Os indicadores de flutuação de tensão são o Pst, Plt e o Pst95%. O indicador Pst representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos. O indicador Plt representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 2 horas. O indicador Pst95% representa o valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas (PRODIST, 2021).

2.5.2 Flutuação de Corrente

A flutuação de corrente, também conhecida como variação de corrente, é um fenômeno observado em sistemas elétricos quando a corrente elétrica fornecida não se mantém constante ao longo do tempo. Essa instabilidade pode ser causada por

diversos fatores, como variações na carga elétrica, oscilações na fonte de energia ou falhas em componentes do sistema.

A flutuação de corrente elétrica em sistemas eletrônicos pode ser atribuída a diversos fatores, sendo os mais recorrentes as variações de carga, a instabilidade na fonte de energia e falhas em componentes do sistema.

A variação da carga elétrica ocorre, por exemplo, quando dispositivos são conectados ou desconectados da rede, ou ainda em função de oscilações na demanda energética, o que afeta diretamente o valor da corrente circulante.

Além disso, a instabilidade da fonte de alimentação — notadamente flutuações na tensão fornecida pela rede elétrica — pode ser consequência de irregularidades na operação da rede, como variações abruptas na demanda, ou de problemas nos geradores, como instabilidades na velocidade de rotação ou flutuações na carga aplicada.

Por fim, defeitos em componentes do sistema, tais como capacitores, indutores, transformadores ou retificadores, também podem provocar variações indesejadas na corrente elétrica.

Tais falhas podem decorrer de fatores como envelhecimento, desgaste natural, falhas de fabricação ou deficiências no projeto, comprometendo a estabilidade e a confiabilidade do sistema elétrico como um todo, sendo, portanto, um aspecto crítico a ser monitorado em sistemas de potência.

2.5.3 Flutuação de Fator de Potência

A flutuação do fator de potência refere-se à variação do fator de potência de um sistema elétrico ao longo do tempo. O fator de potência é a relação entre a potência ativa (kW) e a potência aparente (kVA), indicando a eficiência com que a energia é utilizada.

Dessa forma, tal flutuação pode ser causada por uma mudança na carga, decorrente do ligar ou desligar de equipamentos, o que pode ocasionar alterações na relação entre potências, ou por oscilações entre cargas indutivas ou capacitivas,

cargas indutivas (como motores) tendem a ter um fator de potência atrasado, enquanto cargas capacitivas (como capacitores) tendem a ter um fator de potência adiantado. A combinação de ambas em um sistema pode levar à flutuação.

No caso de uma operação conjunta do sistema fotovoltaico com o gerador a diesel, pode haver influência significativa no fator de potência da instalação. Isso ocorre porque a geração fotovoltaica normalmente opera com fator de potência próximo de 1, ou seja, contribuindo positivamente para a eficiência do sistema.

Por outro lado, o gerador a diesel pode apresentar variações no fator de potência conforme a carga aplicada e seu modo de operação. Quando opera com cargas parciais ou desbalanceadas, há maior probabilidade de injeção de potência reativa indesejada na rede interna do *shopping*, o que compromete o fator de potência global da instalação.

Considerando esse aspecto, essa condição agrava-se com variações bruscas de carga ou comutação entre as fontes, o que pode comprometer o desempenho dos equipamentos e gerar penalidades tarifárias por baixo fator de potência. Assim, o estudo detalhado dos dados coletados será essencial para propor estratégias de correção, caso os valores observados fiquem abaixo do limite estabelecido pelo PRODIST.

2.5.4 Flutuação de Frequência

As flutuações de frequência resultam do desequilíbrio entre geração e consumo de energia. Quando a demanda supera a geração, a frequência tende a cair; inversamente, se a geração excede a demanda, a frequência aumenta.

Essas flutuações podem ser causadas por fatores como: variações súbitas de carga (mudanças abruptas no consumo de energia que afetam o equilíbrio do sistema); falhas em equipamentos (desligamentos inesperados de geradores ou linhas de transmissão que podem alterar a frequência); e interação de fontes renováveis (variações na geração dependendo das condições ambientais).

Desvios significativos da frequência nominal podem comprometer a operação de equipamentos conectados à rede elétrica, incluindo bancos de capacitores, geradores, motores e linhas de transmissão. Além disso, equipamentos eletrônicos modernos são particularmente sensíveis a essas variações, podendo sofrer danos ou operar de forma inadequada.

Portanto, a manutenção da frequência dentro dos limites operacionais é vital para a estabilidade dos sistemas elétricos.

2.6 Desbalanceamento de Corrente

Em um sistema trifásico ideal, as correntes e tensões são equilibradas, ou seja, possuem a mesma magnitude e estão defasadas em 120° (cento e vinte graus) entre si. O desbalanceamento de corrente em sistemas elétricos trifásicos é uma preocupação significativa na engenharia elétrica, pois pode comprometer a eficiência e a confiabilidade da distribuição de energia.

Um dos fatores que podem levar ao desbalanceamento das correntes é a distribuição assimétrica de cargas. Em redes de baixa tensão, é comum a presença de cargas monofásicas e a distribuição não uniforme dessas cargas entre as fases pode resultar na problemática.

Conexão de cargas monofásicas de alta potência também pode resultar em um desequilíbrio de correntes. A ligação de equipamentos monofásicos de grande porte em sistemas trifásicos pode introduzir desequilíbrios significativos nas correntes das fases (OLIVEIRA, 2017).

2.7 Análise quanto à Frequência

A frequência do sistema de potência está diretamente relacionada à rotação/velocidade dos geradores que alimentam o sistema, tendo valor nominal de 50 ou 60 Hz (no Brasil, 60 Hz).

Existem pequenas variações de frequência conforme o equilíbrio dinâmico entre carga e geração, e o tamanho da variação depende das características de carga e resposta do sistema de geração (DUGAN et al., 2002).

De acordo com o PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (ANEEL, 2021), o sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Na ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retome, no intervalo de tempo de trinta segundos, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.

Assim, caso seja necessário o corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração durante os distúrbios, a frequência não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz. Em condições extremas, ela pode permanecer: acima de 62 Hz por, no máximo, trinta segundos; acima de 63,5 Hz por, no máximo, dez segundos; abaixo de 58,5 Hz por, no máximo, dez segundos; e abaixo de 57,5 Hz por, no máximo, cinco segundos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Local de Estudo

O Shopping Aldeia Mall caracteriza-se por o uso de um sistema de geração solar fotovoltaica e, em seu ambiente, um sistema de geração a diesel.

A geração fotovoltaica do local é gerenciada pela empresa Ipper Solar, locada em Palmas, Tocantins. No mês de outubro de 2024, foi gerado 12.610 kWh, com desempenho de 105,23% da geração. Seguindo o mesmo viés, a potência instalada é de 107,69 kWp.

O gerador à diesel instalado no ambiente é o Power Generation Cummins, modelo GT40125UN72, classificação PC, que corresponde a potência contínua. A tensão nominal do gerador é 110/190 VAC – 277/480 VAC (a lembrar que o gerador a diesel é trifásico), onde o gerador tem por tensão suportada de impulso nominal de 6 kV. A máquina tem corrente nominal de 125 A, onde, a corrente de curto-circuito da máquina é de 10 kA.

Inicialmente, o sistema de geração a diesel foi projetado para atender o *shopping* em momentos de falta de energia por parte da concessionária. Contudo, após sua aquisição, seu uso foi expandido para cobrir o horário de ponta.

Um levantamento informal no local revelou que a ativação do gerador a diesel no horário de ponta decorria de uma instrução incorreta. Os funcionários realizavam essa operação com a intenção de economizar. Entretanto, para um consumidor do Grupo B, essa ação não era economicamente vantajosa, embora os cálculos de custo não tenham sido o foco deste estudo. Posteriormente, as instruções foram revisadas e a prática foi abandonada.

Atualmente, o gerador a diesel instalado no Shopping Aldeia Mall é acionado com a finalidade de suprir a demanda elétrica da área condominial em emergências, como interrupções no fornecimento de energia pela concessionária, essa operação foi confirmada em conjunto com a equipe técnica do empreendimento.

Para fins de estudo, acordou-se que seria acionado o sistema de geração em um determinado período para assim realizar os levantamentos quanto à qualidade de energia com o uso do gerador a diesel.

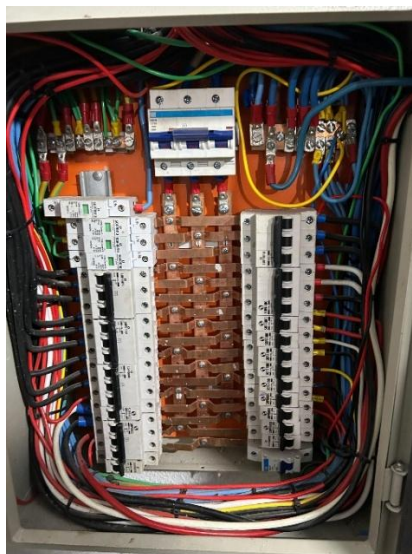
O levantamento de dados, realizado no *shopping*, teve como objetivo avaliar os principais parâmetros elétricos da instalação de baixa tensão, em conformidade com as diretrizes estabelecidas no Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), publicado pela ANEEL. O foco principal concentrou-se sobre a análise do fator de potência, níveis de tensão, frequência e corrente elétrica.

O processo de medição foi conduzido com o apoio da administração do *shopping*, que se mostrou solícita e colaborativa em todas as etapas. Desde o agendamento da visita técnica até o acesso ao quadro geral de distribuição (QGBT), a equipe de manutenção e gestão do empreendimento prestou suporte integral, fornecendo informações técnicas relevantes sobre o sistema elétrico da edificação e esclarecendo dúvidas operacionais que surgiram durante a execução das medições.

A instalação do analisador de energia TES 3600N no QGBT foi realizada de forma segura, respeitando os protocolos técnicos e as normas de segurança elétrica.

No ambiente, identificou-se uma grande aglomeração de cabos nas eletrocalhas que se dirigiam ao quadro geral e dentro do QGBT. Logo, foram necessários alguns ajustes técnicos quanto ao acesso aos condutores para realizar as medições. A Figura 2 apresenta a forma como se encontrava o QGBT, esclarecendo o que foi abordado sobre a aglomeração de cabos.

Figura 2 - Quadro Geral de Distribuição do Shopping Aldeia Mall.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Desse modo, a Figura 3 apresenta a configuração final de instalação do analisador de energia.

Figura 3 - Instalação do Analisador de Energia no local de estudo.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Durante o período de coleta de dados, o equipamento operou de maneira contínua, registrando amostras em intervalos de dez minutos, bem como continuaram havendo visitas para vistoria do equipamento, das conexões e do ambiente em questão.

3.2 Analisador de Energia

Para a análise do sistema, foi utilizado o analisador de qualidade de energia modelo TES 3600N da Politem. Este equipamento realizou as medições dos parâmetros da rede à qual foi conectado, durante um período previamente determinado. Na Figura 4, pode-se ver o analisador utilizado.

Figura 4 - Analisador TES 3600N da Politem.

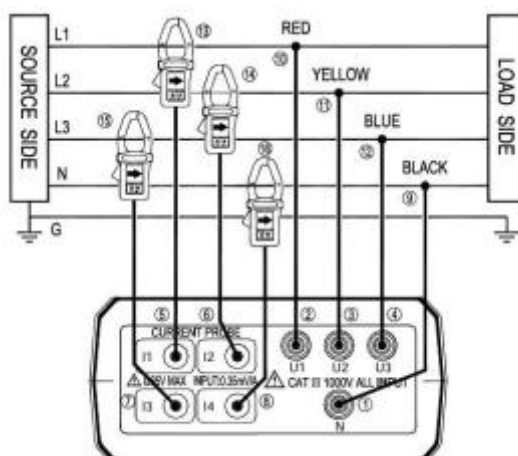


Fonte: Próprio autor, 2025.

Ao final das medições, o analisador forneceu dados de fundamental importância para estudos de qualidade de energia elétrica (QEE), incluindo: tensão, corrente, frequência, flutuações, formas de onda, potências, sobretensões, subtensões, interrupções no sistema e assimetrias. O equipamento dispõe de um *software* dedicado, *PowerAnalyzerN*, para a compilação e tratamento dos dados obtidos.

O equipamento possui quatro pontas de prova de tensão com garras jacaré e quatro sensores de corrente (do tipo alicate amperímetro flexível ou rígido, por exemplo), que foram utilizados para a conexão e medição no sistema trifásico. A Figura 5 apresenta uma representação do diagrama de ligação do TES 3600N.

Figura 5 - Diagrama Esquemático de ligação do analisador.



Fonte: Catálogo Politem, 2016.

3.3 Parâmetros de Medição

Este tópico descreve como foi realizado o levantamento de cada parâmetro considerado no estudo.

3.3.1 Fator de Potência

Para a medição do fator de potência, foram coletadas amostras consecutivas em intervalos de dez minutos, conforme metodologia recomendada pelo Módulo 8 do PRODIST. Esses dados foram obtidos por meio do analisador TES 3600N, instalado no quadro geral de distribuição do Shopping Aldeia Mall.

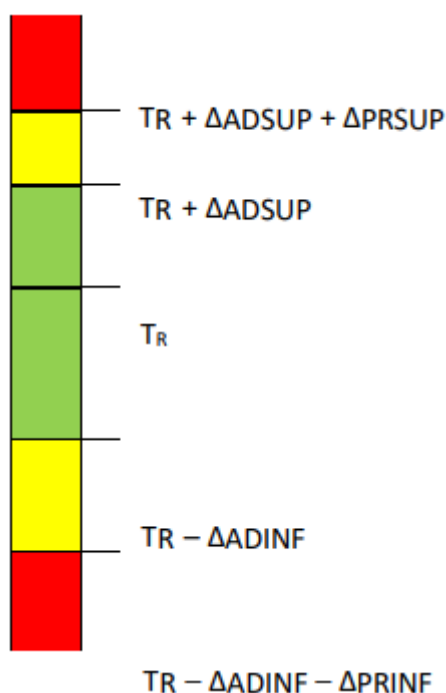
Ao final do período de medição, os resultados foram consolidados e comparados com o valor de referência de 0,92 (noventa e dois centésimos), estabelecido na página 12 do Módulo 8 do PRODIST, que trata da qualidade do produto. Esse limite é considerado o valor mínimo aceitável de fator de potência para instalações consumidoras.

3.3.2 Níveis de Tensão

Para os níveis de tensão, foram coletadas amostras consecutivas, obtidas em intervalos de dez minutos (períodos de integralização), conforme requerido pela Seção 5.1 do Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021).

A medição de tensão foi realizada no quadro geral de distribuição (QGBT) da instalação em baixa tensão. Os valores obtidos foram categorizados como adequado, precário ou crítico, com base em uma comparação com os níveis de referência definidos na Figura 6, para tensões inferiores a 2,3 kV.

Figura 6 - Faixa de Tensão em relação a referência.



Fonte: Aneel, 2021.

Sendo:

TR: Tensão de Referência;

Faixa Adequada de Tensão: intervalo entre $(TR - \Delta ADINF)$ e $(TR + \Delta ADSUP)$;

Faixas Precárias de Tensão: intervalo entre $(TR + \Delta ADSUP)$ e $(TR + \Delta ADSUP + \Delta PRSUP)$ ou intervalo entre $(TR - \Delta ADINF - \Delta PRINF)$ e $(TR - \Delta ADINF)$;

Faixas Críticas de Tensão: valores acima de $(TR + \Delta ADSUP + \Delta PRSUP)$ ou abaixo de $(TR - \Delta ADINF - \Delta PRINF)$.

3.3.3 Frequência

A página 14 do Módulo 8 do PRODIST, aponta que o sistema de distribuição e as instalações de geração ligadas a ele devem, em condições normais de operação e em regime permanente, funcionar dentro dos limites estabelecidos de frequência compreendidos entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

3.3.4 Níveis de corrente

Embora o Módulo 8 do PRODIST não estabeleça critérios específicos para a avaliação dos níveis de corrente, adotou-se uma metodologia de medição semelhante à empregada para tensão e fator de potência. Foram coletadas amostras consecutivas em intervalos de dez minutos, totalizando um ciclo de medição com períodos de integralização compatíveis com os recomendados pelo PRODIST para outros parâmetros

As medições foram realizadas no quadro geral de distribuição da instalação de baixa tensão do Shopping Aldeia Mall, utilizando o analisador de energia TES 3600N. Os dados coletados foram organizados em gráficos temporais para permitir a visualização e comparação dos valores ao longo do tempo. Essa abordagem possibilitou a identificação de variações, possíveis distorções ou padrões anormais de consumo, oferecendo uma base sólida para análise e avaliação do desempenho elétrico da instalação.

4 RESULTADOS

Ao término do período de medição, os dados foram extraídos e processados. A análise dos resultados, apresentada nas seções seguintes, revelou aspectos relevantes sobre o fator de potência, os níveis de tensão, a frequência e a corrente elétrica. Com base nessa análise, serão discutidas possíveis causas para os comportamentos observados e propor soluções para a adequação da qualidade de energia no local.

4.1 Análise de Dados

Complementando a avaliação temporal do sistema elétrico do ambiente de estudo, a Figura 7 apresenta uma síntese em tabelas das principais grandezas elétricas monitoradas durante a campanha de medição no quadro geral de baixa tensão do Shopping Aldeia Mall.

Figura 7 - Dados estatísticos do sistema elétrico do ambiente.

FASE A		FASE B		FASE C		NEUTRO	
Tensão (V)		Tensão (V)		Tensão (V)		Tensão (V)	
Maior Valor Medido	236,400	Maior Valor Medido	235,200	Maior Valor Medido	233,400	Maior Valor Medido	x
Menor Valor Medido	221,900	Menor Valor Medido	216,700	Menor Valor Medido	218,200	Menor Valor Medido	x
Valor médio	229,292	Valor médio	228,380	Valor médio	227,359	Valor médio	x
Quantas vezes dentro da faixa adequada	4857,000	Quantas vezes dentro da faixa adequada	5083,000	Quantas vezes dentro da faixa adequada	5800,000	Quantas vezes dentro da faixa adequada	x
Quantas vezes dentro da faixa precária	1428,000	Quantas vezes dentro da faixa precária	1111,000	Quantas vezes dentro da faixa precária	632,000	Quantas vezes dentro da faixa precária	x
Quantas vezes dentro da faixa crítica	154,000	Quantas vezes dentro da faixa crítica	245,000	Quantas vezes dentro da faixa crítica	7,000	Quantas vezes dentro da faixa crítica	x
Corrente (A)		Corrente (A)		Corrente (A)		Corrente (A)	
Maior Valor Medido	32,100	Maior Valor Medido	41,000	Maior Valor Medido	38,800	Maior Valor Medido	29,200
Menor Valor Medido	3,900	Menor Valor Medido	11,300	Menor Valor Medido	8,900	Menor Valor Medido	11,800
Valor médio	14,014	Valor médio	24,779	Valor médio	17,878	Valor médio	18,121
Fator de Potência		Fator de Potência		Fator de Potência		Fator de Potência	
Maior Valor Medido	0,998	Maior Valor Medido	0,997	Maior Valor Medido	0,990	Maior Valor Medido	0,978
Menor Valor Medido	0,780	Menor Valor Medido	0,773	Menor Valor Medido	0,832	Menor Valor Medido	0,836
Valor médio	0,933	Valor médio	0,926	Valor médio	0,915	Valor médio	0,924
Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	1431,000	Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	2493,000	Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	2475,000	Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	2398,000
Frequência (Hz)		Frequência (Hz)		Frequência (Hz)		Frequência (Hz)	
Maior Valor Medido	61,000	Maior Valor Medido	61,000	Maior Valor Medido	61,000	Maior Valor Medido	61,000
Menor Valor Medido	59,800	Menor Valor Medido	59,800	Menor Valor Medido	59,800	Menor Valor Medido	59,800
Valor Médio	60,006	Valor Médio	60,006	Valor Médio	60,006	Valor Médio	60,006

Fonte: Próprio autor, 2025.

As variáveis contempladas incluem tensão, corrente, fator de potência e frequência, fornecendo uma visão abrangente do desempenho eletroenergético do sistema.

4.1.1 Tensão (V)

A tensão elétrica foi avaliada em cada fase, considerando o maior e o menor valor registrado, além da média e da frequência de ocorrências dentro das faixas de qualidade estabelecidas:

- Fase A apresentou tensão média de 229,29 V, com valores variando entre 221,90 V e 236,40 V. Foram registradas 4.857 ocorrências dentro da faixa adequada, 1.428 na faixa precária e 154 na faixa crítica.
- Fase B teve tensão média de 228,38 V, com valores entre 216,70 V e 235,20 V, e apresentou 5.083 ocorrências dentro da faixa adequada, 1.111 na precária e 245 na crítica.
- Fase C obteve melhor desempenho, com tensão média de 227,36 V, limites entre 218,20 V e 233,40 V, e 5.800 ocorrências na faixa adequada, 632 na precária e apenas 7 na faixa crítica.

A análise mostra que, embora a maioria das medições se encontre dentro da faixa de conformidade, especialmente na Fase C, ainda há uma quantidade significativa de ocorrências em faixas não ideais, principalmente nas Fases A e B. Isso pode refletir desequilíbrios na distribuição de carga ou problemas na qualidade da alimentação pela concessionária.

4.1.2 Corrente (A)

A análise da corrente elétrica revelou variações expressivas entre as fases, evidenciando desequilíbrio de carga no sistema:

- A Fase A apresentou corrente média de 14,01 A, com picos de 32,10 A e mínimas de 3,90 A.
- A Fase B apresentou a maior corrente média entre as três fases, com 24,78 A, e valores extremos de 11,30 A a 41 A.

- A Fase C teve corrente média intermediária de 17,87 A, com valores entre 8,90 A e 38,80 A.
- O Neutro, cuja corrente ideal seria próxima de zero em um sistema perfeitamente balanceado, apresentou uma corrente média de 18,12 A, variando entre 11,80 A e 29,20 A.

A elevada corrente de neutro observada não apenas confirma o desbalanceamento de carga entre as fases, mas também sugere a provável presença de cargas não lineares.

4.1.3 Fator de Potência

A análise do fator de potência, variável crítica para o desempenho energético e a penalização tarifária da instalação, revelou oscilações consideráveis:

- Na Fase A, o fator de potência variou de 0,780 a 0,998, com média de 0,933. Houve 1.431 ocorrências abaixo do limite mínimo de 0,92, estabelecido como referência.
- A média mais baixa de FP entre as fases (considerando o critério de ocorrências abaixo do limite), 0,925, com variação entre 0,773 e 0,997. Foram 2.493 ocorrências abaixo do limite de 0,92.
- A Fase C apresentou fator de potência médio de 0,914, o menor entre as três fases, com 2.475 ocorrências fora da faixa ideal, variando de 0,832 a 0,990.
- No condutor de neutro, o analisador registrou valores para o fator de potência variando entre 0,836 e 0,978, com média de 0,924, e 2.398 ocorrências abaixo de 0,920. Contudo, esse dado deve ser interpretado com cautela, pois o conceito de fator de potência não é convencionalmente aplicado a um condutor de neutro desbalanceado de forma isolada.

A elevada quantidade de ocorrências com fator de potência inferior ao limite normativo (0,92) em todas as fases indica que a instalação opera frequentemente com excesso de potência reativa. Essa condição, além de comprometer a eficiência energética, pode levar à aplicação de multas pela concessionária e demanda

correção, possivelmente por meio da instalação de bancos de capacitores automáticos ou outros sistemas de compensação de reativos.

4.1.4 Frequência (Hz)

A frequência da rede elétrica manteve-se instável durante a ciclo de medição, porém com valores médios próximos aos 60 Hz nominais. Os dados registrados foram:

- Em todas as fases, os valores máximos e mínimos variaram entre 59,8 Hz e 61 Hz.
- Médias: 60,0057 Hz (Fase A); 60,0061 Hz (Fases B e C); 60,0058 Hz (Neutro).

Essa relativa instabilidade da frequência é esperada, considerando a questão geração-demanda abordada no tópico 2.5.4.

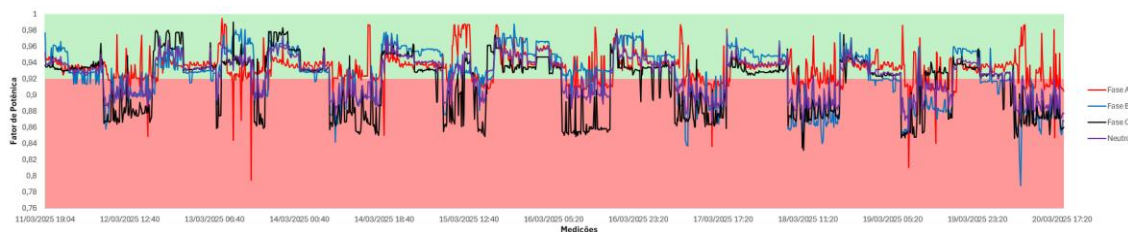
Portanto, é importante realizar uma análise mais precisa sobre cada um dos componentes de estudo deste trabalho.

4.2 Fator de Potência

O fator de potência é um dos principais indicadores da qualidade de energia de uma instalação elétrica. Manter este parâmetro dentro dos limites estabelecidos pela regulamentação é essencial para garantir o bom funcionamento dos equipamentos, evitar perdas elétricas e prevenir penalidades por parte da concessionária. No caso do Shopping Aldeia Mall, as amostras coletadas ao longo de vários dias permitiram uma análise detalhada do comportamento do sistema em relação ao FP.

A partir das amostras coletadas, gerou-se um gráfico de nível que pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico comparativo do Fator de Potência.



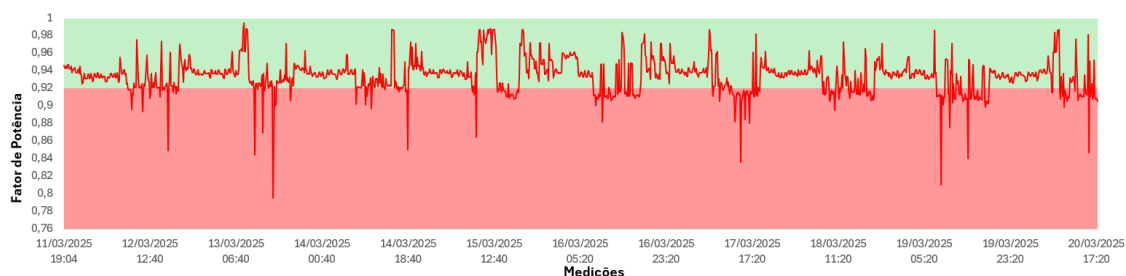
Fonte: Próprio autor, 2025.

A Figura 8 apresenta a variação temporal do fator de potência para as três fases (A, B, C) e para o condutor neutro, com base em medições realizadas entre 11 e 20 de março de 2025. No eixo vertical (Y), estão representados os valores do fator de potência, que variam de 0,76 a 1,00. Já no eixo horizontal (X), se tem o registro cronológico das medições.

No gráfico, as linhas coloridas indicam o comportamento do FP por fase: vermelho para a Fase A, azul para a Fase B, preto para a Fase C e roxo para o neutro. A área verde do gráfico representa os valores adequados de fator de potência, acima de 0,92, conforme exigido pelo Módulo 8 do PRODIST. Já a área em vermelho sinaliza os momentos em que o FP esteve abaixo do limite mínimo regulamentar.

A análise do gráfico comparativo (Figura 8) revela que o sistema do Shopping Aldeia Mall apresentou, durante o período monitorado, variabilidade significativa no FP entre as três fases e no valor calculado para o neutro. Para uma compreensão mais precisa do comportamento elétrico da instalação, o fator de potência é analisado individualmente para cada fase nas subseções seguintes.

A análise individual da Fase A, cujo comportamento temporal do FP é apresentado na Figura 9, revela uma relativa estabilidade em comparação com as demais fases, com a maior parte dos valores situando-se acima do limite mínimo de 0,92. No entanto, observam-se quedas pontuais ao longo do período monitorado, indicando momentos de desequilíbrio entre as potências ativa e reativa.

Figura 9 - Gráfico do Fator de Potência da Fase A.

Fonte: Próprio autor, 2025.

A Tabela 3 resume os dados estatísticos do fator de potência para a Fase A.

Tabela 3 – Dados de FP da Fase A.

Fase A	
Fator de Potência	
Maior Valor Medido	0,998
Menor Valor Medido	0,780
Valor médio	0,933
Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	1431

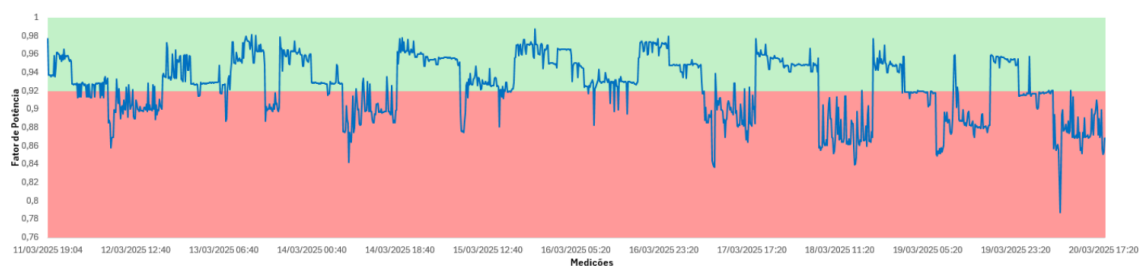
Fonte: Próprio autor, 2025.

A Tabela 3 e a Figura 9 indicam um comportamento do fator de potência na Fase A predominantemente estável, com valor médio de 0,933, acima do limite mínimo estabelecido pelo Módulo 8 do PRODIST (0,92). O maior valor medido foi 0,998, indicando que em certos momentos o sistema operou muito próximo do ideal. No entanto, o menor valor registrado foi 0,780, o que mostra que também ocorreram instabilidades significativas.

Contabilizaram-se 1.431 ocorrências em que o fator de potência ficou abaixo do limite de 0,92, o que representa uma quantidade expressiva de eventos fora da conformidade. Isso evidencia que, embora a média geral da fase seja aceitável, há momentos de baixa eficiência energética que devem ser investigados com mais profundidade.

Na Fase B, cujo comportamento temporal do FP é ilustrado na Figura 10, observa-se um perfil de variação mais acentuado, com diversas ocorrências de fator de potência inferior a 0,92. Comparativamente à Fase A, a Fase B permanece por períodos mais longos abaixo do limite regulamentar de FP.

Figura 10 - Gráfico do Fator de Potência da Fase B.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Os dados estatísticos do fator de potência para a Fase B são resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de FP da Fase B.

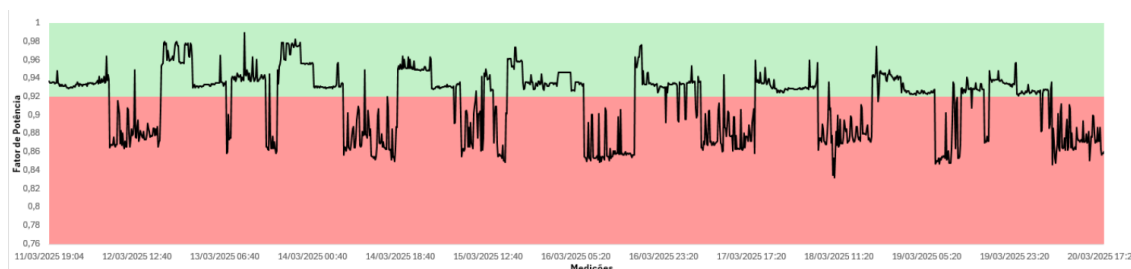
Fase B	
Fator de Potência	
Maior Valor Medido	0,997
Menor Valor Medido	0,773
Valor médio	0,926
Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	2493

Fonte: Próprio autor, 2025.

Os dados da Tabela 4 indicam que, na Fase B, o fator de potência apresentou maior instabilidade em comparação à Fase A. O valor (0,926), situou-se ligeiramente acima do limite de 0,92 definido pelo Módulo 8 do PRODIST. No entanto, o número de ocorrências abaixo do limite foi de 2.493, indicando que há uma recorrência significativa de baixa eficiência energética. Embora o valor máximo de 0,997 demonstre capacidade de operação com alta eficiência em alguns momentos, o mínimo registrado (0,773) sinaliza períodos críticos.

A Fase C, conforme ilustrado na Figura 11, apresentou o comportamento mais crítico do fator de potência entre as três fases, com quedas frequentes e duradouras do fator de potência para valores bem abaixo do limite estabelecido. Essa condição sugere um desbalanceamento de carga mais acentuado nesta fase, ou uma maior concentração de cargas indutivas e/ou variações severas de demanda.

Figura 11 - Gráfico do Fator de Potência da Fase C.



Fonte: Próprio autor, 2025.

A Tabela 5, com os dados estatísticos da Fase C, corrobora essa criticidade: o FP médio foi de 0,915, o único valor médio entre as fases abaixo do limite mínimo de 0,92. Isso demonstra que a Fase C operou predominantemente fora da conformidade regulamentar, comprometendo a eficiência energética da instalação. Foram contabilizadas 2.475 medições abaixo do limite, o que representa um alto volume de eventos indesejados. O maior valor foi 0,990, mas o menor atingiu 0,832, confirmando uma grande variação.

Tabela 5 – Dados de FP da Fase C.

Fase C	
Fator de Potência	
Maior Valor Medido	0,990
Menor Valor Medido	0,832
Valor médio	0,915
Quantas vezes abaixo do limite (0,92)	2475

Fonte: Próprio autor, 2025.

Essas oscilações detectadas em cada fase indicam que há momentos em que o sistema opera com baixo fator de potência, sugerindo um desequilíbrio entre potência ativa e reativa, especialmente em horários específicos onde ocorrem picos ou quedas abruptas. As fases B e C, em especial, apresentam quedas recorrentes de fator de potência, sugerindo a necessidade de implementar ações corretivas.

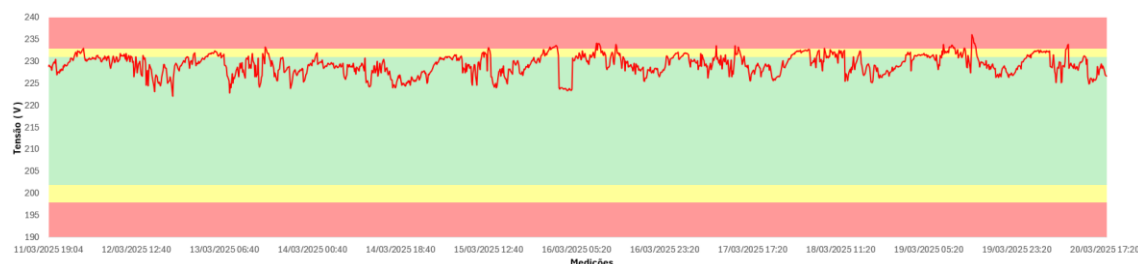
4.3 Níveis de Tensão

Para a análise dos níveis de tensão, utilizaram-se 1.008 (mil e oito) leituras válidas, obtidas em intervalos consecutivos de dez minutos, conforme os critérios do Módulo 8 do PRODIST.

Os gráficos apresentados nesta seção ilustram a variação temporal dos níveis de tensão e são demarcados por três faixas de cores que indicam os limites de conformidade: verde para a faixa adequada, amarelo para a faixa precária e vermelho para a faixa crítica, conforme definido no PRODIST.

A Figura 12 exhibe o gráfico dos níveis de tensão para a Fase A.

Figura 12 - Gráfico do Nível de Tensão da Fase A.

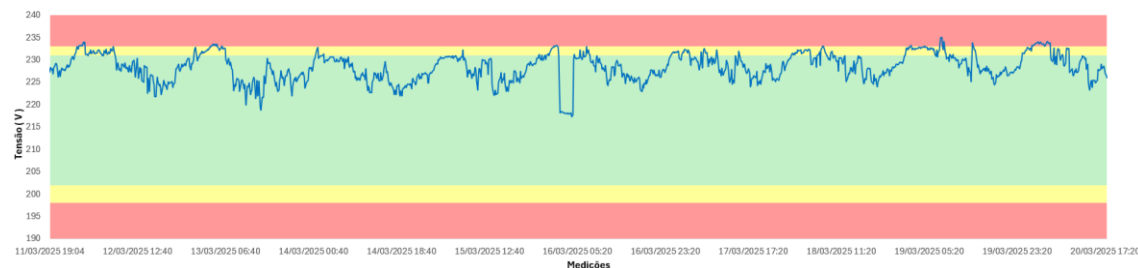


Fonte: Próprio autor, 2025.

A análise do gráfico da Fase A (Figura 12) revela que, embora a maioria das medições de tensão permaneça na faixa adequada (verde), observam-se oscilações significativas durante o período monitorado. Em diversos momentos, os valores de tensão aproximam-se dos limites superiores da faixa adequada ou os ultrapassam, atingindo a faixa precária (amarela) e, pontualmente, a faixa crítica (vermelha), especialmente em picos de sobretensão.

A Fase B do ambiente de estudo possui aspectos semelhantes aos da Fase A, porém apresenta suas particularidades. A Figura 13 traz o gráfico do nível de tensão da Fase B.

Figura 13 - Gráfico do Nível de Tensão da Fase B.

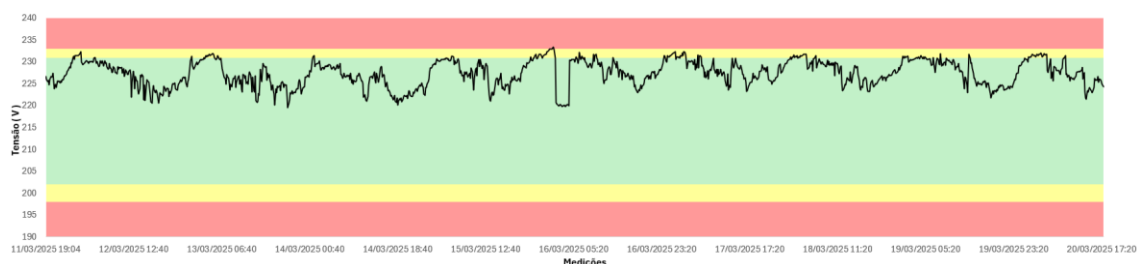


Fonte: Próprio autor, 2025.

Desconsiderando as oscilações de curta duração, nota-se na Figura 13 que a tensão na Fase B não mantém um patamar estável, apresentando variações constantes em seu valor médio ao longo do tempo.

A Fase C é a fase que apresenta menos ocorrências no nível crítico de tensão, com apenas 7 (sete) momentos no nível crítico. A Figura 14 mostra o gráfico do nível de tensão da Fase C.

Figura 14 - Gráfico do Nível de Tensão da Fase C.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Observa-se que os níveis de tensão na Fase C são, em geral, inferiores aos das Fases A e B (conforme também indicado na Figura 7). Embora tenham ocorrido momentos em que a tensão ultrapassou os limites da faixa adequada, a frequência dessas ocorrências apresenta-se visivelmente menor em comparação com as outras fases.

Essas incursões nas faixas de atenção, ainda que pontuais, indicam a presença de variações que podem estar relacionadas a flutuações de carga, manobras operacionais da concessionária ou interferências na rede interna da instalação.

Observou-se, de modo geral, uma instabilidade na tendência dos níveis de tensão, com oscilações constantes e ausência de um perfil mais estável ao longo do tempo. Embora os valores médios de tensão possam estar dentro dos padrões do PRODIST (conforme Seção 4.1.1), essas oscilações frequentes requerem atenção, pois podem comprometer o desempenho de equipamentos sensíveis e indicar a necessidade de uma avaliação mais aprofundada da qualidade da energia fornecida à instalação.

A Figura 15 abaixo apresenta um gráfico comparativo entre as três fases do sistema.

Figura 15 - Gráfico comparativo do Nível de Tensão entre fases.

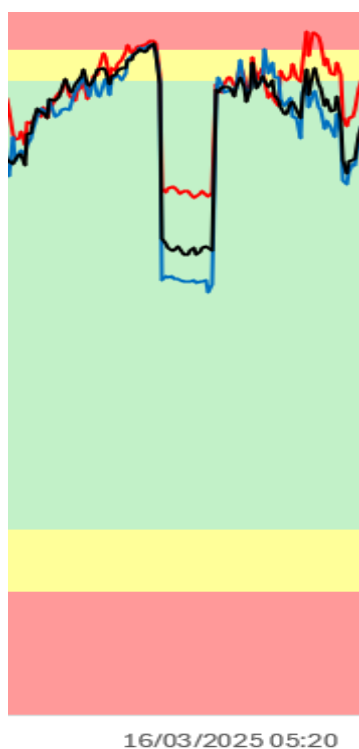


Fonte: Próprio autor, 2025.

Conforme ilustrado na Figura 15, reitera-se que a Fase A geralmente apresenta níveis de tensão superiores aos das outras fases, a Fase B demonstra maior variabilidade, e a Fase C, embora com níveis inferiores, tende a permanecer mais tempo dentro da faixa adequada de tensão.

Um evento específico a se destacar está relacionado a uma queda nos níveis de tensão das fases no dia 16 (dezesesseis). Tal queda é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Ponto de queda referente ao uso do gerador a diesel.



Fonte: Próprio autor, 2025.

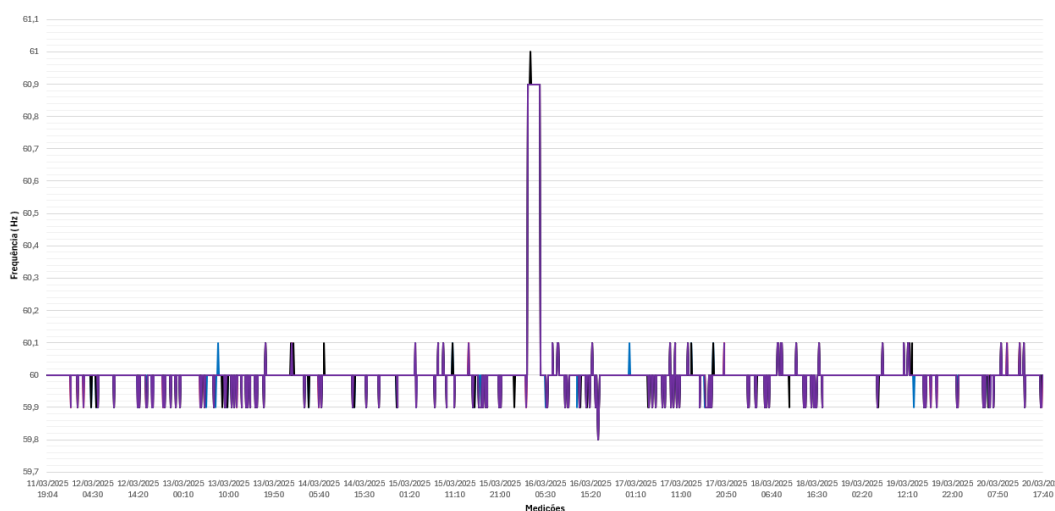
Essa queda está relacionada com a ativação do gerador. Nesse momento, os níveis de tensão das três fases estiveram próximos ao valor ideal de 220 (duzentos e vinte) volts.

4.4 Frequência

A análise dos dados coletados permite avaliar o comportamento da frequência do sistema em regime permanente. Observa-se que, em determinados períodos, a frequência não se manteve dentro da faixa operativa normal estabelecida pelo PRODIST (59,9 Hz a 60,1 Hz), apresentando variações significativas.

A Figura 17 revela os níveis de frequência durante o período de estudo.

Figura 17 - Gráfico dos Níveis de Frequência do local.



Fonte: Próprio autor, 2025.

O gráfico da Figura 17 exibe a frequência medida nas três fases e no neutro (os traçados frequentemente se sobrepõem, indicando valores idênticos). Observa-se que, embora a frequência tenha permanecido na faixa de 59,9 Hz a 60,1 Hz em diversos momentos, ocorreram períodos de desvio significativo. Destaca-se um intervalo em que a frequência atingiu aproximadamente 60,9 Hz em todas as fases e no neutro, chegando a 61,0 Hz na Fase C. Em outra ocasião, registrou-se um valor mínimo de 59,8 Hz.

Os níveis mais elevados de frequência (60,9 Hz e 61,0 Hz) foram registrados durante a operação do grupo gerador a diesel. Tal fato indica que o gerador estava fornecendo energia com frequência fora dos padrões ideais, o que pode afetar negativamente os equipamentos da instalação.

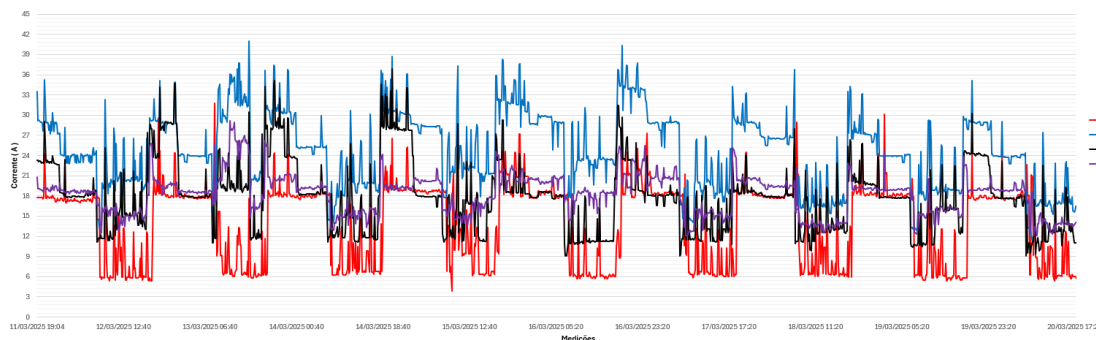
Em outro momento, com o sistema novamente alimentado pela concessionária, a frequência atingiu um valor mínimo de 59,8 Hz, que está fora da faixa de operação normal (59,9 Hz - 60,1 Hz) estabelecida pelo PRODIST. Quanto à permanência nesse valor, o intervalo de registro de dados do analisador (configurado para medidas de dez minutos, conforme metodologia) não permitiu determinar se a duração dessa variação excedeu os 30 segundos, limite para retorno à faixa 59,5 Hz - 60,5 Hz após distúrbios, conforme Seção 2.7.

4.5 Níveis de Corrente

Embora o Módulo 8 do PRODIST não estabeleça limites específicos para os níveis de corrente como faz para outros parâmetros de qualidade, a análise dos dados de correntes coletados no Shopping Aldeia Mall revela aspectos importantes sobre o comportamento da carga e do sistema elétrico.

A Figura 18 demonstra o gráfico de níveis de corrente das três fases e neutro.

Figura 18 - Gráfico comparativo dos Níveis de Correntes do Shopping.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Conforme ilustrado na Figura 18, o gráfico temporal das correntes elétricas das fases A (vermelho), B (azul), C (roxo) e do condutor de neutro (preto) evidencia comportamentos dinâmicos e assimétricos ao longo do período de medição.

Durante o período analisado, observa-se uma variação significativa nos valores de corrente entre as fases, o que indica desequilíbrio de carga na instalação. A Fase B, em particular, apresenta valores médios e picos de corrente substancialmente superiores aos das Fases A e C, evidenciando um claro desbalanceamento entre as fases. Essa condição pode comprometer a qualidade de energia e acarretar sobrecarga em componentes específicos do sistema elétrico.

As oscilações abruptas observadas nos perfis de corrente das três fases também são dignas de nota, sugerindo variações significativas e rápidas na carga conectada ao sistema. Esses comportamentos podem ser problemáticos, pois flutuações acentuadas e frequentes de corrente têm o potencial de gerar distúrbios eletromagnéticos e estresse nos componentes do sistema.

A corrente mensurada no condutor de neutro, cujos valores foram apresentados na Seção 4.1.2, reforça a hipótese de expressivo desbalanceamento de cargas e da provável presença de cargas não lineares. Conforme discutido anteriormente, em um sistema trifásico idealmente equilibrado e com cargas lineares, a corrente no neutro tende a ser nula ou muito próxima de zero.

4.6 Conclusões acerca dos Dados Obtidos

A análise de dados evidencia importantes aspectos a serem considerados para a melhoria da qualidade da energia elétrica na instalação do Shopping Aldeia Mall. O desequilíbrio de correntes entre fases, as recorrentes ocorrências de fator de potência abaixo do limite aceitável, e a alta corrente no neutro, bem como a elevada frequência quando o sistema está alimentado pelo gerador indicam a necessidade de:

- Balanceamento das cargas trifásicas, visando à redução de correntes no neutro e à mitigação de perdas.
- Correção do fator de potência, por meio de capacitores ou filtros ativos, reduzindo penalidades tarifárias.
- Avaliação da qualidade da energia fornecida pela concessionária, especialmente considerando as medições de tensão fora da faixa adequada.

- Calibração do gerador, tendo como objetivo estabilizar a frequência do sistema a padrão normativa de 60 Hz.

A implementação desse conjunto de ações contribuirá diretamente para o aumento da qualidade energética, a redução dos custos operacionais e o prolongamento da vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos da instalação.

4.6.1 Possíveis Causas

Com base na análise das medições elétricas do Shopping Aldeia Mall, foi possível identificar alguns comportamentos que podem indicar ineficiências no uso da energia elétrica, uma baixa qualidade no fornecimento e, conseqüentemente, potenciais riscos operacionais.

O baixo fator de potência, que esteve presente em diversos momentos da medição, sugere a presença de cargas reativas elevadas, como motores, entre outros. Dessa forma, o baixo fator de potência pode resultar em multas por excedente de reativo, sobrecarga nos condutores e uma menor eficiência do sistema elétrico.

É relevante destacar que a geração solar, por padrão, injeta predominantemente potência ativa, ou seja, se a carga reativa continuar existindo e a parte ativa for suprida pela geração solar, o fator de potência pode piorar.

O expressivo desequilíbrio de corrente entre as fases é outro ponto de destaque. A diferença significativa observada sugere uma distribuição inadequada de cargas monofásicas no QGBT. O desbalanceamento entre fases pode provocar aumento significativo de corrente em determinados condutores, causando sobreaquecimento e sobrecarga, conforme descrito por Oliveira (2017).

As variações de tensão fora das faixas adequadas podem estar relacionadas à instabilidade no fornecimento da concessionária, ao subdimensionamento de condutores na instalação interna ou a sobrecargas em determinados circuitos ou períodos. Tais variações podem acarretar danos a equipamentos sensíveis, mau funcionamento de sistemas automatizados e redução da vida útil de motores.

Adicionalmente, a operação dos inversores do sistema solar fotovoltaico também pode contribuir para variações locais de tensão, especialmente em momentos de alta geração e baixo consumo na instalação (sobretensão ou controle inadequado de tensão pelos inversores, por exemplo).

Entre as possíveis causas identificadas para a frequência registrada acima de 60,1 Hz, destaca-se a má calibração do gerador a diesel. A frequência elétrica está diretamente associada à rotação do motor do gerador, sendo controlada por meio do regulador de velocidade. Quando este sistema não está devidamente ajustado, o gerador pode operar acima de sua rotação nominal, resultando em frequências superiores ao limite estabelecido pelo PRODIST.

No caso analisado, a frequência de 61 Hz indica um desvio que pode comprometer o desempenho de cargas sensíveis, além de representar uma não conformidade com os padrões de qualidade de energia exigidos.

As consequências dos problemas identificados podem comprometer significativamente os custos operacionais e a confiabilidade do sistema elétrico do Shopping Aldeia Mall. A implementação das soluções propostas na próxima seção visa não apenas reduzir esses problemas, mas também melhorar a qualidade energética, reduzir despesas e garantir maior segurança elétrica no empreendimento, representando um investimento necessário para a sustentabilidade técnica e financeira da instalação.

4.6.2 Soluções Propostas

A análise detalhada dos dados elétricos do empreendimento revelou diversas ineficiências operacionais e riscos técnicos que comprometem o desempenho energético e a segurança da instalação. As soluções propostas a seguir, baseadas em boas práticas de engenharia e na aplicabilidade ao tipo de instalação analisada, visam corrigir as falhas observadas e promover uma operação mais estável, econômica e em conformidade com os padrões regulatórios.

Para a correção do baixo fator de potência, sugere-se a instalação de bancos de capacitores automáticos, dimensionados conforme a demanda de reativos da

instalação. Adicionalmente, recomenda-se uma avaliação da operação dos principais motores, verificando se estão superdimensionados ou operando frequentemente em vazio. A substituição de motores antigos por modelos de alta eficiência pode contribuir para a melhoria do fator de potência.

Para mitigar o desbalanceamento de corrente entre as fases, é fundamental uma redistribuição das cargas monofásicas no QGBT, buscando um equilíbrio mais adequado. Complementarmente, deve-se avaliar a viabilidade de converter alguns circuitos monofásicos em bifásicos ou trifásicos.

Para atenuar as variações de tensão, recomenda-se: o reforço dos condutores em trechos da instalação que apresentem quedas de tensão acentuadas; a instalação de estabilizadores de tensão ou Sistemas de Alimentação Ininterrupta (UPS/Nobreaks) com regulação de tensão para cargas críticas; e o ajuste fino dos parâmetros de controle de tensão dos inversores fotovoltaicos.

É crucial, também, solicitar à concessionária uma verificação da qualidade da energia no ponto de entrega, para identificar se parte dos problemas de tensão origina-se na rede de distribuição.

Como medida corretiva para a frequência, recomenda-se solicitar à equipe responsável pela instalação do gerador a realização de uma nova calibração do sistema de controle de velocidade. Esse ajuste é essencial para que a rotação do motor do gerador seja mantida dentro dos parâmetros nominais, assegurando que a frequência elétrica permaneça dentro da faixa permitida de 59,9 Hz a 60,1 Hz, conforme estabelecido pelo PRODIST. A intervenção técnica adequada contribuirá para a conformidade com os padrões de qualidade de energia e para a proteção dos equipamentos conectados à rede da instalação.

As soluções apontadas neste trabalho são medidas reconhecidamente eficazes na correção do fator de potência e no balanceamento do sistema trifásico. No entanto, para implementação prática dessas medidas, é essencial um estudo complementar de dimensionamento, localização dos equipamentos e viabilidade econômica.

As soluções propostas visam não apenas mitigar os problemas elétricos identificados nas medições, mas também otimizar a eficiência energética e reduzir custos operacionais no Aldeia Mall. A requalificação da instalação elétrica,

implementada em conjunto com essas medidas, pode assegurar maior estabilidade operacional, segurança e economia para o empreendimento.

4.6.3 Relatório técnico para o cliente

Com o objetivo de consolidar os dados técnicos obtidos e traduzi-los para uma linguagem acessível e orientada à aplicação prática, elaborou-se um relatório técnico, intitulado "Relatório de Monitoramento da Qualidade de Energia no Shopping Aldeia Mall" (Apêndice A).

Este documento tem como finalidade informar a administração do empreendimento sobre as condições operacionais do sistema elétrico, apontar eventuais não conformidades e sugerir medidas corretivas com base em boas práticas da engenharia elétrica e nas normas vigentes.

A estrutura do relatório foi cuidadosamente planejada para atender aos padrões de clareza, objetividade e relevância, fundamentais em comunicações destinadas ao público não especializado, mas diretamente envolvido na operação e manutenção de sistemas elétricos comerciais. O conteúdo foi segmentado em tópicos que contemplam:

- Introdução contextual: com a apresentação dos objetivos e da importância do estudo;
- Descrição do sistema elétrico local: incluindo informações sobre os arranjos de geração (fotovoltaico e gerador a diesel) e suas funcionalidades;
- Dados sobre a qualidade de energia: com base na análise dos parâmetros medidos — tensão, corrente, frequência e fator de potência — e comparação com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST;
- Diagnóstico técnico com possíveis causas: apontando os principais desvios encontrados e os fatores que podem estar associados às anomalias observadas;

- Soluções propostas: fundamentadas em critérios técnicos e economicamente viáveis, visando à correção dos problemas e à otimização do desempenho elétrico da instalação;
- Conclusão e recomendações finais: com foco na continuidade do monitoramento e no aprimoramento da eficiência energética.

A elaboração do relatório buscou não apenas evidenciar os resultados obtidos por meio das medições realizadas com o analisador TES 3600N, mas também transformá-los em informações úteis para a tomada de decisão por parte da gestão do *shopping*.

Foram utilizados recursos visuais, como tabelas, gráficos e indicadores de desempenho, com o propósito de facilitar a interpretação e demonstrar com clareza os pontos críticos identificados.

Ressalta-se que todo o embasamento técnico e o conteúdo do relatório entregue à administração do *shopping* foram revisados pelo professor orientador deste trabalho de conclusão de curso.

Adicionalmente, incluiu-se no relatório uma seção de agradecimentos formais à administração do local, em reconhecimento à disponibilidade e à colaboração prestadas ao longo da execução do trabalho. A permissão de acesso às instalações e o suporte operacional fornecido foram essenciais para o êxito do projeto.

Portanto, o relatório entregue ao cliente representa o cumprimento de uma etapa técnica do estudo, que articula conhecimento acadêmico e aplicação prática, evidenciando o compromisso com a qualidade da energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) teve como objetivo principal avaliar a qualidade da energia elétrica em um sistema composto por geração solar fotovoltaica e um gerador a diesel, com estudo de caso no Shopping Aldeia Mall, situado na cidade de Palmas, Tocantins.

A partir da coleta e análise de dados, realizadas com o auxílio do analisador TES 3600N da Politem, foi possível identificar parâmetros de qualidade da energia, como fator de potência, níveis de tensão, frequência e corrente elétrica, em desconformidade com os limites estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST, publicado pela ANEEL.

Os resultados obtidos revelaram deficiências relevantes na qualidade do fornecimento energético do empreendimento, com destaque para: desbalanceamento de corrente entre as fases; níveis significativos de corrente no condutor de neutro; variações de tensão fora das faixas adequadas; e fator de potência frequentemente abaixo do limite aceitável de 0,92 (noventa e dois centésimos). Tais aspectos evidenciam a necessidade de ajustes operacionais, técnicos e estruturais no sistema elétrico da instalação.

A análise também demonstrou que a operação conjunta do sistema fotovoltaico com o gerador a diesel, embora utilizada em determinados contextos, pode intensificar a presença de cargas reativas e comprometer a estabilidade do sistema, especialmente se não for acompanhada de medidas de compensação e balanceamento adequadas.

Além disso, foram observadas oscilações de frequência superiores ao limite estabelecido em momentos de acionamento do gerador a diesel, o que reforça a importância da calibração e do monitoramento constante deste equipamento.

Diante dos achados, recomenda-se a implementação de soluções técnicas, como: instalação de bancos de capacitores automáticos para correção do fator de potência; redistribuição adequada das cargas trifásicas; revisão do

dimensionamento de cabos e dispositivos de proteção; bem como a configuração e manutenção dos parâmetros dos inversores fotovoltaicos e do gerador a diesel.

Em suma, o presente estudo evidencia a complexidade e a importância da gestão da qualidade de energia em sistemas como este, ressaltando o papel fundamental da engenharia elétrica na busca por eficiência energética, conformidade regulatória e sustentabilidade.

Espera-se que os resultados aqui apresentados contribuam não apenas para a melhoria das condições operacionais do Shopping Aldeia Mall, mas também para futuras aplicações e pesquisas voltadas à integração segura e eficiente de múltiplas fontes de geração no setor elétrico nacional.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Energia solar bate recorde de potência instalada em 2024. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br>. Acesso em: 09 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional–PRODIST: Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica.** ANEEL, Resolução Normativa, v. 956, 2021.

ALMEIDA, C. F.; RODRIGUES, P. S. **Sistemas Híbridos de Energia: Integração entre Fontes Renováveis e Tradicionais.** Congresso Brasileiro de Energia, Anais, 2021.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as regras para prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica.** Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/>. Acesso em: 20 maio 2025.

CHAPECALI. **O que é flutuação de corrente?** Disponível em: <https://chapecali.com.br/glossario/o-que-e-flutuacao-de-corrente/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

DUGAN, R. C, et al. **Electrical Power Systems Quality.** 2. ed. [S.l.]: McGrawHill Professional, 2002. 521 p.

DUTRA, José Antônio Vieira; SOUZA, Maurício Alves de. **Qualidade da energia elétrica: análise, medições e compensações.** Rio de Janeiro: LTC, 2010.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023. Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 09 jun. 2025.

GRAZIA, Rogério T. Della. **Correção do fator de potência: teoria e aplicações práticas.** São Paulo: Érica, 2013.

NBR 5410:2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

OLIVEIRA, J. P.; SOUZA, R. L. **Geração de Energia Solar Fotovoltaica e seus Impactos.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2023.

OLIVEIRA, Rodrigo Alessandro Nunes de. **Compensação de desequilíbrios em redes trifásicas a quatro fios utilizando dispositivos híbridos**. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista.

SILVA, M. A.; CARVALHO, T. F. **Uso de Geradores a Diesel em Aplicações Comerciais: Vantagens e Desafios**. Engenharia Energética, v. 15, n. 1, p. 30-48, 2022.

XAVIER, Edson Luiz. **Instalações elétricas comerciais e industriais**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2017.

APÊNDICE A – RELATÓRIO ENTREGUE AO CLIENTE



**RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA REALIZADO
NO SHOPPING ALDEIA MALL**

Período das atividades: **11/03/2025 à 20/03/2025**

Data de emissão do relatório: **11/06/2025**

Entidades Envolvidas: **Instituto Federal do Tocantins - IFTO**

Autoria: **Rafael Sebastião Avelino dos Santos e Paulo Roberto Xavier Silva Junior**

PALMAS

2025



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2
2 OBJETIVOS.....	3
3 DADOS ACERCA DO SISTEMA ELÉTRICO.....	4
4 DADOS ACERCA DA QUALIDADE DE ENERGIA	5
4.1 Fator de Potência	5
4.2 Níveis de Tensão	7
4.3 Frequência	8
4.4 Corrente Elétrica	9
5 POSSÍVEIS CAUSAS	10
6 SOLUÇÕES PROPOSTAS.....	11
6.1 Correção do Fator de Potência	11
6.2 Balanceamento das Cargas	11
6.3 Melhoria da Estabilidade de Tensão.....	11
6.4 Ajuste do Gerador Diesel	12
7 CONCLUSÃO E AGRADECIMENTOS	13
REFERÊNCIAS	14

1 INTRODUÇÃO

A busca por eficiência energética e confiabilidade no fornecimento de energia elétrica tem se tornado um diferencial estratégico para empreendimentos comerciais. O Shopping Aldeia Mall, situado em Palmas/TO, dispõe de um sistema de geração elétrica composto por painéis solares fotovoltaicos e gerador a diesel. Essa combinação tem por objetivo garantir fornecimento contínuo de energia, além de reduzir custos com a rede concessionada.

Contudo, para assegurar que a operação se mantenha dentro dos padrões técnicos e normativos, torna-se essencial o monitoramento da qualidade da energia elétrica entregue e consumida. Este relatório apresenta os resultados do monitoramento realizado no local, com base nas diretrizes do Módulo 8 do PRODIST (ANEEL), abordando aspectos como tensão, corrente, frequência e fator de potência.

Vale ressaltar que será enviado, de forma separada, todas as medições em formato Excel, onde será possível observar os dados com mais detalhes.

Outro ponto a destacar diz respeito que toda a análise apresentada é avaliada de perto pelo orientador do trabalho, Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt.

2 OBJETIVOS

Este relatório tem por finalidade apresentar os dados coletados e analisados no sistema elétrico do Shopping Aldeia Mall, apontando:

- As condições da qualidade de energia elétrica no ponto de medição;
- As possíveis não conformidades em relação aos padrões normativos;
- As causas técnicas observadas a partir dos dados medidos;
- As soluções recomendadas para correção e prevenção de problemas elétricos.

3 DADOS ACERCA DO SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico monitorado está instalado no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do shopping, com alimentação trifásica em 380/220V. O sistema conta com:

- **Geração solar fotovoltaica**, responsável por parte do suprimento energético;
- **Gerador a diesel**, acionado em situações emergenciais e em testes programados;
- **Distribuição de cargas trifásicas e monofásicas**, com equipamentos comerciais diversos;
- **Analisador TES 3600N** utilizado para medir grandezas como tensão, corrente, fator de potência e frequência, durante uma campanha de medição entre os dias 11 e 20 de março de 2025.

4 DADOS ACERCA DA QUALIDADE DE ENERGIA

Durante o período de monitoramento no Shopping Aldeia Mall, são coletadas mais de mil leituras válidas, com intervalos de 10 minutos entre elas. As análises focaram nos seguintes parâmetros: fator de potência, nível de tensão, frequência e corrente elétrica, conforme orientações do Módulo 8 do PRODIST (ANEEL).

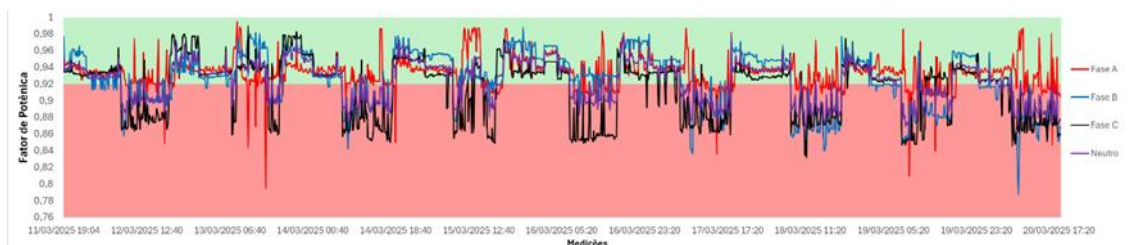
4.1 Fator de Potência

Os dados revelam que o fator de potência esteve frequentemente **abaixo do limite mínimo recomendado de 0,92**, especialmente nas fases B e C:

- **Fase A:** média de 0,933, com 1.431 ocorrências abaixo de 0,92.
- **Fase B:** média de 0,926, com 2.493 ocorrências fora do limite.
- **Fase C:** média de 0,915, com 2.475 ocorrências abaixo do padrão.

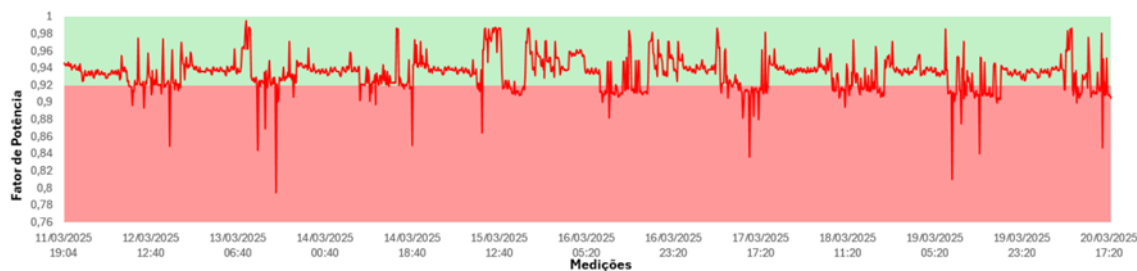
Esse comportamento indica **presença elevada de potência reativa**, comprometendo a eficiência energética e podendo gerar **penalidades financeiras** da concessionária.

Figura 1 – Gráfico comparativo do Fator de Potência do sistema



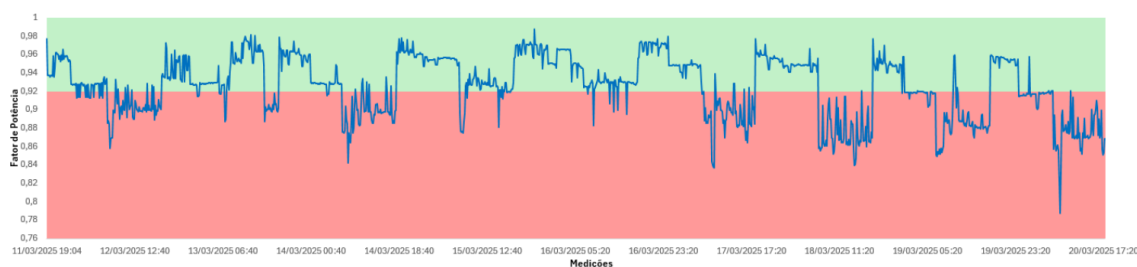
Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 2 - Fator de Potência da Fase A



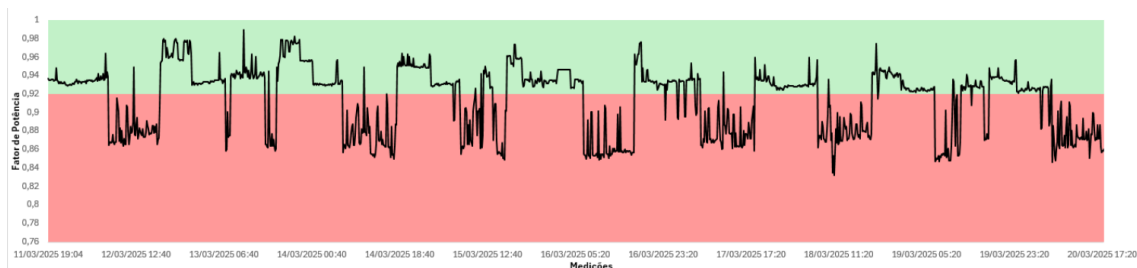
Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 3 – Fator de Potência da Fase B



Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 4 – Fator de Potência da Fase C



Fonte: Próprio autor, 2025.

Os gráficos são compostos por toda as amostras das medições realizadas no local, onde a faixa verde do gráfico indica o intervalo permitido por norma. Por conseguinte, a faixa vermelha apresenta os valores abaixo do permitido pelo módulo 8 do PRODIST.

4.2 Níveis de Tensão

As medições mostram variações entre as faixas adequada, precária e crítica:

- **Fase A:** 4857 medições adequadas, 1428 precárias e 154 críticas.
- **Fase B:** 5083 adequadas, 1111 precárias e 245 críticas.
- **Fase C:** apresenta o melhor desempenho, com 5800 adequadas e apenas 7 críticas.

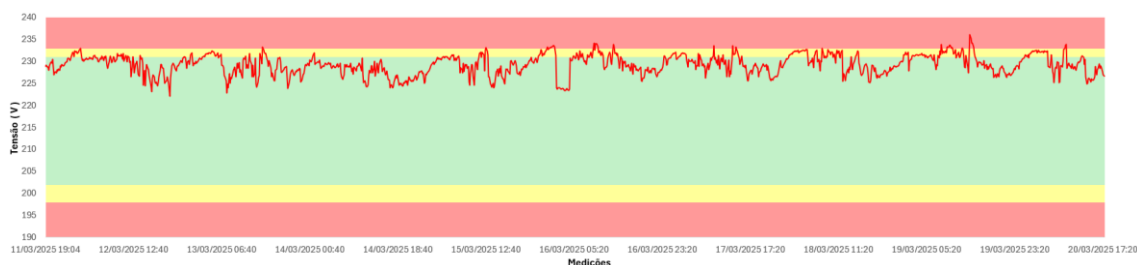
Apesar de uma parte das medições estar dentro do padrão, os **picos fora da faixa ideal indicam oscilações (variações de tensão)** que pode afetar o funcionamento de equipamentos sensíveis.

Figura 5 – Gráfico comparativo de Tensão do Sistema



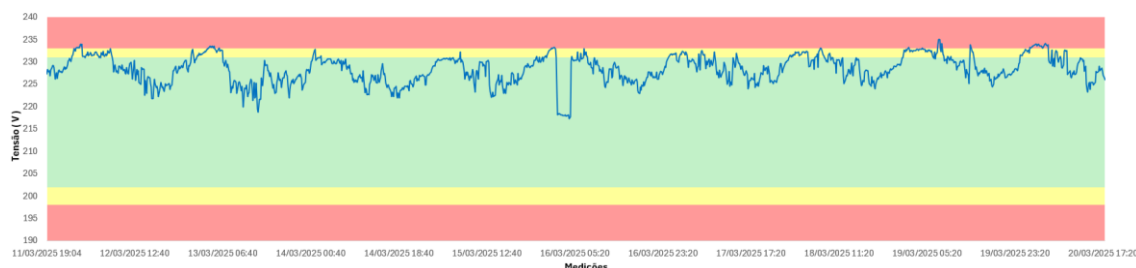
Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 6 – Tensão da Fase A



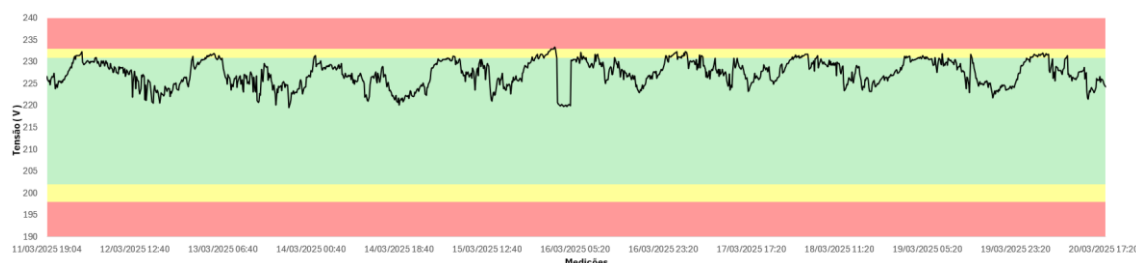
Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 7 – Tensão da Fase B



Fonte: Próprio autor, 2025.

Figura 8 – Tensão da Fase C



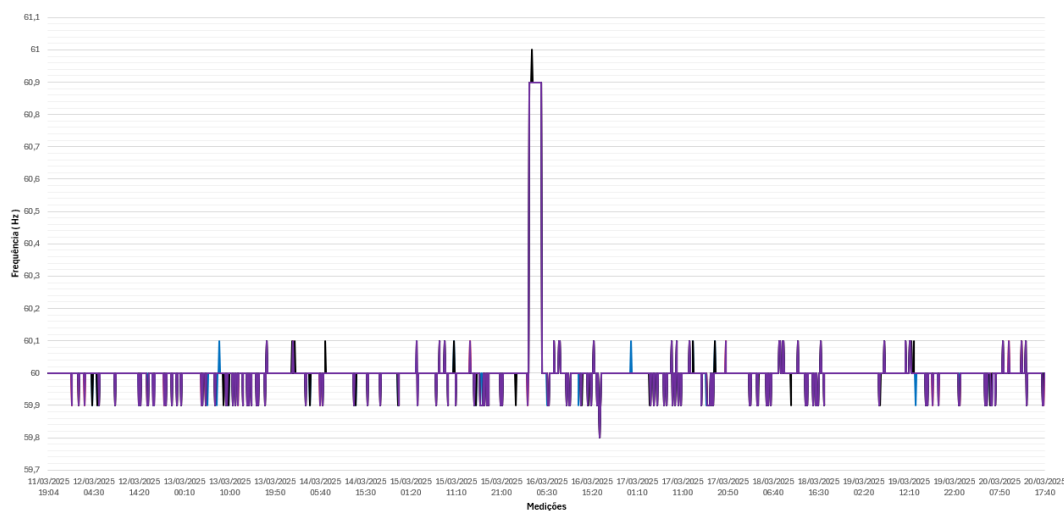
Fonte: Próprio autor, 2025.

Os gráficos de tensão são compostos por todas as amostras das medições realizadas no local. O gráfico é composto por três faixas, sendo a verde, a faixa adequada de tensão, a faixa amarela, a faixa precária de tensão e a faixa vermelha, sendo a faixa crítica de tensão.

4.3 Frequência

A frequência da rede, **em sua maior parte, manteve-se dentro dos limites operacionais (59,9 Hz a 60,1 Hz)**, porém há de se destacar as constantes variações desses valores. No entanto, observa-se que, durante a operação do gerador a diesel, os valores chegaram a **60,9 Hz e até 61 Hz, ultrapassando o limite estabelecido**. No momento que ocorreu a frequência de 61 Hz, é notado que tal feito decorre da ligação do gerador a diesel. Isso pode impactar a vida útil de determinados equipamentos.

Figura 9 – Gráfico comparativo de Frequência do sistema

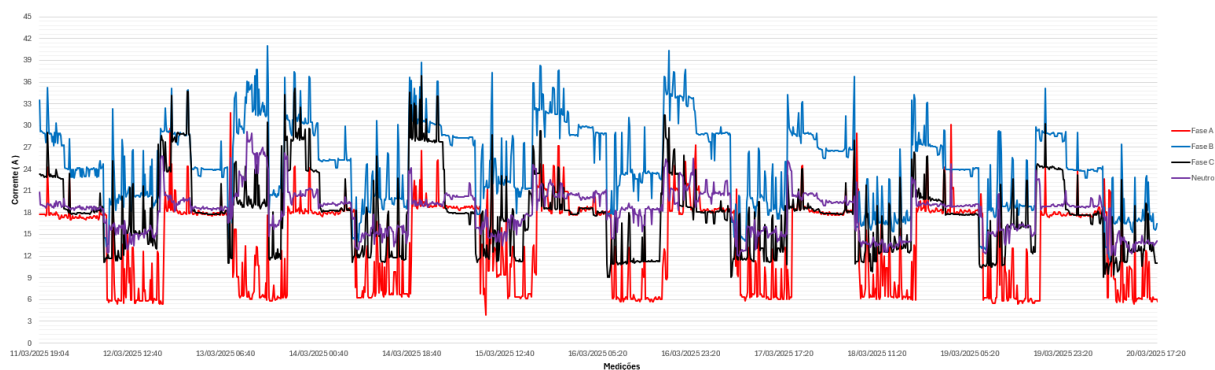


Fonte: Próprio autor, 2025.

4.4 Corrente Elétrica

A corrente medida revela **forte desbalanceamento entre as fases**, com a Fase B apresentando picos muito superiores às demais. Além disso, o condutor neutro — que idealmente deveria registrar corrente próxima de zero — apresentou **corrente média de 18,12 A**, o que indica **desequilíbrio e presença de cargas não lineares**.

Figura 10 – Gráfico comparativo das Correntes do sistema



Fonte: Próprio autor, 2025.

5 POSSÍVEIS CAUSAS

A análise dos dados evidencia:

- **Baixo fator de potência em diversos momentos**, principalmente nas fases B e C. Isso pode estar relacionado à predominância de cargas indutivas, como motores, sem compensação reativa adequada;
- **Desequilíbrio entre as fases**, com diferença significativa de corrente, sobretudo na fase B. Tal desequilíbrio tende a elevar a corrente no condutor neutro (valores médios acima de 18 A), resultando em perdas e possível sobrecarga;
- **Variações de tensão** com ocorrências em faixas precária e crítica. As causas pode estar associadas à má distribuição de cargas, interferência da geração local (solar ou gerador) e eventuais limitações da rede de fornecimento da concessionária;
- **Frequência fora dos padrões** com bastante oscilações e quando em operação pelo gerador a diesel, atingindo valores de até 61 Hz. Isso sugere que o gerador não está ajustado para manter a frequência dentro do limite exigido (60 Hz).

6 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Com base nos resultados e nas melhores práticas de engenharia elétrica, é proposto as seguintes soluções:

6.1 Correção do Fator de Potência

- Instalação de bancos de capacitores automáticos nas áreas de maior carga;
- Verificação do dimensionamento dos motores e substituição de equipamentos obsoletos por modelos com correção interna de fator de potência.

6.2 Balanceamento das Cargas

- Redistribuição das cargas monofásicas entre as fases, buscando equilíbrio;
- Quando possível, converter circuitos monofásicos para bifásicos ou trifásicos.

6.3 Melhoria da Estabilidade de Tensão

- Reforço dos condutores em trechos com maior queda de tensão;
- Instalação de reguladores automáticos de tensão (UPS) para cargas sensíveis;
- Reconfiguração dos parâmetros dos inversores fotovoltaicos, para minimizar distorções locais;
- Solicitação formal à concessionária para verificação da qualidade da energia fornecida.

6.4 Ajuste do Gerador Diesel

- Reprogramação do gerador a diesel para manter a frequência nominal próxima de 60 Hz;
- Implementação de rotina de manutenção preventiva e calibração periódica.

7 CONCLUSÃO E AGRADECIMENTOS

O monitoramento realizado no sistema elétrico do Shopping Aldeia Mall permite identificar pontos críticos e oportunidades de melhoria, fundamentais para o aumento da eficiência energética e confiabilidade da instalação.

Embora o sistema apresente, em média, desempenho aceitável, observa-se situações que demandam intervenção técnica, principalmente relacionadas ao desequilíbrio de fases, fator de potência e frequência do gerador.

A adoção das soluções recomendadas neste relatório proporciona maior estabilidade operacional, prevenção de penalidades tarifárias e melhor desempenho dos equipamentos elétricos. Recomenda-se também a continuidade do monitoramento periódico da qualidade da energia elétrica, como prática preventiva e de gestão eficiente.

Por fim, expressamos **nosso sincero agradecimento à administração do Shopping Aldeia Mall** pela receptividade, apoio técnico e disponibilidade durante todas as etapas do monitoramento da qualidade de energia elétrica.

A abertura concedida para a realização das medições, bem como a colaboração da equipe técnica do empreendimento, são fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. O comprometimento demonstrado por parte do shopping fez-se essencial para que as análises fossem conduzidas com segurança, eficiência e precisão, refletindo diretamente na qualidade dos resultados apresentados neste relatório.

Nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais e reforçamos nosso compromisso com a melhoria contínua da qualidade energética e da confiabilidade do sistema elétrico da instalação.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº 956, 2021.

DUGAN, R. C. et al. ***Electrical Power Systems Quality***. 2. ed. McGraw-Hill, 2002.

OLIVEIRA, Rodrigo A. N. de. **Compensação de desequilíbrios em redes trifásicas**. UNESP, 2017.

SILVA, M. A.; CARVALHO, T. F. **Uso de Geradores a Diesel em Aplicações Comerciais**. Engenharia Energética, v. 15, n. 1, 2022.

XAVIER, Edson Luiz. **Instalações Elétricas Comerciais e Industriais**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2017.

NBR 5410:2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021. **Estabelece as regras para prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/>. Acesso em: 20 maio 2025.



DUTRA, José Antônio Vieira; SOUZA, Maurício Alves de. **Qualidade da energia elétrica: análise, medições e compensações**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.