

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM PORTO ALEGRE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

ADEMIR SANTOS DE BORBA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA EM UM APARTAMENTO RESIDENCIAL
EM PORTO ALEGRE-RS

PORTO ALEGRE

2022

ADEMIR SANTOS DE BORBA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA EM UM APARTAMENTO RESIDENCIAL
EM PORTO ALEGRE-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para obtenção do título de
Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini

PORTO ALEGRE

2022

ADEMIR SANTOS DE BORBA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA EM UM APARTAMENTO RESIDENCIAL
EM PORTO ALEGRE-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título Bacharel em Engenharia
de Energia na Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini

Aprovado em: ___/___/___

Orientador: Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Fidel Romel Mallqui Espinoza
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof. Dr. Vinícius Leonidas Curcio
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2022

AGRADECIMENTOS

À minha família, em Especial minha Esposa, que é minha fonte inspiradora, seu apoio e sua vontade de conquistar e sonhar é meu combustível para tudo. À minha filha e a minha Mãe que sempre acreditaram na minha capacidade e me deram força ao longo dessa caminhada. E ao meu Pai, in Memória, Belmiro Iost de Borba, que me deixou um legado de suas realizações, onde sempre fazia questão de fazer as coisas da melhor forma possível, dedico!

Agradeço ao Prof. Elton, que sempre incentivou a pesquisa e não pensou duas vezes em orientar este trabalho e contribuiu com suas experiências e conhecimentos e foi excelente orientador durante toda pesquisa.

Agradeço aos meus colegas e amigos, no qual, estiveram juntos e me apoiando, incentivando e foram importantes que eu fosse na busca do meu sonho!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade de energia elétrica de uma instalação elétrica de baixa tensão em apartamento residencial na cidade de Porto Alegre/RS, construído no ano de 1969. Para a avaliação, foi utilizado o aparelho analisador de qualidade de energia Fluke 1735, da UERGS, utilizando os parâmetros descritos e regulamentados pelo módulo 8 do Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional (PRODIST), da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Foram feitas duas medições na rede elétrica: uma na instalação original e antiga do apartamento, e outra após a substituição e atualização da rede. Os dados elétricos analisados mostram problemas de distorções harmônicas de correntes elétrica registrados pelo analisador de qualidade da Fluke, após serem tratados e comparados com os valores de referência. A assertividade dos parâmetros de qualidade de energia elétrica e a comprovação dos possíveis distúrbios e anormalidades presentes nas redes elétricas antiga e nova do apartamento são causados por equipamentos elétricos e eletrônicos considerados cargas não-lineares de baixa potência, que injetam altas taxas de distorções harmônicas de corrente elétrica (VHD A) na rede elétrica.

Palavras-chave: qualidade de energia, medição, distorções harmônicas, instalação elétrica residencial.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the electrical energy quality of a low voltage electrical installation in a residential apartment in the city of Porto Alegre/RS, built in 1969. For the evaluation, the power quality analyzer Fluke 1735, from UERGS, was used, using the parameters described and regulated by module 8 of Procedures for electrical energy distribution in the national electrical system (PRODIST), of the National Electric Energy Agency – ANEEL. Two measurements were made on the electrical network: one in the original and old installation of the apartment, and another after the replacement and updating of the network. The analyzed electrical data shows problems of harmonic distortions of electrical currents recorded by the Fluke quality analyzer, after being treated and compared with the reference value. The assertiveness of the electrical power quality parameters and the proof of possible disturbances and abnormalities present in the old and new electrical networks of the apartment are caused by electrical and electronic equipment considered non-linear low-power loads, which inject high rates of harmonic distortions of electric current (VHD A) in the power grid.

Keywords: power quality, measurement, harmonic distortions, residential electrical installation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 – Medidor de energia elétrica do apartamento	20
Figura 2 – Centro de distribuição de cargas do apartamento.....	21
Figura 3 – Lâmpadas fluorescentes compactas do apartamento.....	22
Figura 4 – Planta elétrica do apartamento do ano de 1969.....	23
Figura 5 – Faixas de tensões em RP para tensões nominais inferiores a 1 KV.....	25
Figura 6 – Analisador de qualidade de energia elétrica da Fluke 1735.....	27
Figura 7 – Menu Média.....	28
Figura 8 – Tela do Fluke 1735 com tempo de integração e tempo de registro.....	29
Figura 9 – Menu Rede de Energia.....	29
Figura 10 – Tela do Fluke 1735 com os parâmetros da Rede de Energia.....	30
Figura 11 – Esquema de ligação do analisador Fluke no CD do apartamento.....	31
Figura 12 – Fator de potência médio e total.....	44

Gráficos

Gráfico 1 – Indicadores dos níveis de tensão na rede elétrica antiga.....	33
Gráfico 2 – Indicadores do fator de potência na rede elétrica antiga.....	33
Gráfico 3 – Indicadores da frequência na rede elétrica antiga.....	34
Gráfico 4 – Indicadores de THD V na rede elétrica antiga.....	34
Gráfico 5 – Indicadores dos níveis de tensão na rede elétrica nova.....	35
Gráfico 6 – Indicadores do fator de potência na rede elétrica nova.....	35
Gráfico 7 – Indicadores da frequência na rede elétrica antiga.....	36
Gráfico 8 – Indicadores de THD V na rede elétrica nova.....	37
Gráfico 9 – Valores das médias das tensões da rede elétrica antiga.....	38
Gráfico 10 – Valores das médias das tensões da rede elétrica antiga.....	39
Gráfico 11 – Valores das médias de fator de potência rede elétrica antiga.....	41
Gráfico 12 – Valores das médias de fator de potência rede elétrica nova.....	43
Gráfico 13 – Valores das médias de frequências na rede elétrica antiga.....	45
Gráfico 14 – Valores das médias de frequências na rede elétrica nova.....	46
Gráfico 15 – Valores das médias da THD-V de tensão na rede elétrica antiga	48
Gráfico 16 – Valores das médias da THD V de tensão na rede elétrica nova.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostra dos dados elétricos das tensões registradas, em Volts.....	37
Tabela 2 – Valores da média dos níveis de tensão da rede elétrica antiga.....	38
Tabela 3 – Amostra dos dados elétricos das tensões registradas, em Volts.....	39
Tabela 4 – Valores da média dos níveis de tensão da rede elétrica nova.....	40
Tabela 5 – Valores médios do fator de potência da rede elétrica antiga.....	42
Tabela 6 – Valores médios do fator de potência da rede elétrica nova.....	43
Tabela 7 – Valores médios da frequência na rede elétrica antiga.....	46
Tabela 8 – Valores médios da variação de frequência na rede elétrica nova.....	47
Tabela 9 – Valores médios das harmônicas de tensão na rede elétrica antiga.....	48
Tabela 10 – Valores médios das harmônicas de tensão na rede elétrica nova.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional De Energia Elétrica
CD	Centro de distribuição
DRC	Duração Relativa da transgressão para tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da transgressão para tensão Precária
FP	Fator de Potência
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PRODIST	Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional
QDC	Quadro de Distribuição de Cargas
QQE	Qualidade de Energia
RMS	Root Mean Square (Média Quadrática)
RP	Regime Permanente
THD	Distorções harmônicas totais
TL	Teste de Leituras

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Corrente em Amperes
H1	Harmônicas de primeira ordem
Hz	Frequência em Hertz
L1	Fase1 da instalação elétrica
L2	Fase 2 da instalação elétrica
N	Neutro
V	Tensão em Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	15
2.2 NORMA NBR-5410 – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	16
2.3 MÓDULO 8 DO PRODIST	17
3. METODOLOGIA	18
3.1 PRÉ-ESTUDO DO LOCAL.....	19
3.2 VISITA TÉCNICA	19
3.3 METODOLOGIA DE MEDIÇÃO	24
3.3.1 NÍVEIS DE TENSÃO.....	25
3.3.2 FATOR DE POTÊNCIA.....	25
3.3.3 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA	26
3.3.4 HARMÔNICOS	26
3.4 USO DO ANALISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA	27
3.4.1 TEMPO DE INTEGRAÇÃO E TEMPO DE REGISTRO	28
3.4.2 REDE DE ENERGIA	29
3.5 INSTALAÇÃO DO ANALISADOR DE QUALIDADE	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 RESULTADOS DOS REGISTROS.....	32
4.1.1 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA ANTIGA	32
4.1.2 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA	33
4.1.3 VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA.....	33
4.1.4 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA ANTIGA.....	34

4.1.5 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA NOVA	35
4.1.6 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA	35
4.1.8 HARMÔNICOS REDE ELÉTRICA NOVA	36
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
4.2.1 NÍVEIS DE TENSÃO REDE ELÉTRICA ANTIGA	37
4.2.2 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA NOVA	39
4.2.3 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA	40
4.2.4 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA	42
4.2.5 FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA	45
4.2.6 FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA	46
4.2.7 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA ANTIGA	47
4.2.8 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA NOVA	48
5 CONCLUSÃO	50

1 INTRODUÇÃO

Diante das grandes mudanças tecnológicas e do constante aumento de consumo de energia elétrica nos grandes centros urbanos, busca-se alternativas de reduzir o desperdício de energia e melhorar sua utilização em todos os setores, sejam eles comerciais, industriais, residenciais, entre outros. Uma das ações de ampla relevância que possibilita melhorar a forma em que a energia elétrica é utilizada, está na aplicação do conceito de qualidade de energia. Uma instalação elétrica bem dimensionada e bem projetada pode propiciar a otimização do aproveitamento de energia elétrica, reduzir gastos, aumentar a eficiência e trazer mais segurança (ABNT, 2008).

Para tanto, a ANEEL criou um módulo específico sobre qualidade de energia junto aos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, que regulamentam as atividades da distribuição de energia elétrica no Brasil. Neste módulo, foram estabelecidos valores de referência que servem de parâmetros sobre fornecimento ou consumo da energia elétrica e permitem analisar a qualidade da energia elétrica fornecida nas residências (ANEEL, 2021).

A análise do comportamento real da rede elétrica, a compreensão sobre seu funcionamento e a verificação de seus parâmetros são importantes para constante melhoria e maior eficiência da relação fornecimento e consumo de energia (BEVILAQUA, 2014). No presente trabalho, foi desenvolvido o estudo da rede elétrica de um apartamento de construção da década de 70, na cidade de Porto Alegre/RS, o qual apresentava uma instalação elétrica em precárias condições de conservação e desatualizada visto seu tempo existência, conforme a norma NBR-5410 (ABNT, 2008).

Inicialmente, foi realizada análise da rede de energia existente na residência, utilizando um aparelho analisador de qualidade de energia elétrica da marca Fluke, modelo 1735, disponibilizado pela UERGS. Em um segundo momento, foram repetidas as medições para estudo da rede após a atualização e substituição da instalação elétrica do imóvel. Utilizaram-se os parâmetros definidos pela seção 8.1 do Módulo citado anteriormente, referente às análises da qualidade do produto em

medições com o uso de um analisador de qualidade de energia elétrica. Visando aprofundar o conhecimento do funcionamento de redes elétricas residenciais e contribuir com informações que possam auxiliar em ações mitigadoras, assim podendo entender os fenômenos e perturbações que podem ocorrer em instalações elétricas e propor sugestões de alternativas e melhorias.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da energia elétrica de uma instalação elétrica de baixa tensão em um apartamento residencial na cidade de Porto Alegre-RS, construído no ano de 1969.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São identificados os seguintes objetivos específicos neste trabalho:

- a) Analisar a aplicação do item 8.1 módulo 8 do PRODIST da análise da qualidade do produto após a instalação de rede elétrica no apartamento;
- b) Medir os valores de grandezas elétricas na rede elétrica do apartamento (antiga e nova), através do uso de um analisador de qualidade de energia elétrica;
- c) Comparar os comportamentos das medições feitas nas instalações elétricas (antiga e nova);
- d) Avaliar a assertividade dos métodos utilizados para a análise da rede elétrica e ver qual contribuição para futuros trabalhos e pesquisas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado e descrito em tópicos, organizados em cinco capítulos: Objetivos, Referencial Teórico, Metodologia, Resultados e Discussões, Conclusão e Trabalhos Futuros.

O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais do trabalho de conclusão.

No capítulo 2, encontra-se o referencial teórico utilizado em que estão contextualizados os tópicos para melhor compreensão do trabalho. Foram descritos os padrões utilizados para analisar uma instalação elétrica previsto na norma NBR-5410 durante a visita inicial e os procedimentos previstos no módulo 8 do PRODIST. Ambos documentos normatizam e definem as atividades técnicas e os parâmetros de qualidade de energia elétrica numa instalação elétrica de baixa tensão encontrada no apartamento residencial.

No Capítulo 3, descreve-se a metodologia utilizada, o pré-estudo do local, visita técnica, a metodologia de medição e o uso do analisador qualidade de energia.

O Capítulo 4 aponta o tratamento dos resultados e discussão em relação aos dados encontrados nas medições com uso do analisador de qualidade de energia na rede elétrica antiga; os dados das medições com uso do analisador de qualidade de energia na rede elétrica nova; e respectivamente, os resultados dos comportamentos reais das redes elétricas analisadas (antiga e nova) do apartamento.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões dos resultados obtidos no desenvolvimento dos estudos com a expectativa de demonstrar a assertividade dos métodos utilizados para a análise da qualidade da energia através das medições realizadas na rede elétrica do apartamento antes e depois da substituição e, abrir caminho para futuros trabalhos e pesquisas no meio acadêmico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir estão descritos os referenciais e conceitos teóricos, utilizados para o conhecimento e o entendimento de cada indicador estudado e auxiliam para a plena compreensão deste trabalho.

2.1 QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Existem normas internacionais que estabelecem parâmetros importantes que submetem a QEE - Qualidade de Energia Elétrica que é fornecida pelas

concessionárias, indústrias, centros comerciais e residências, dentre elas estão a norma europeia - EN 50160 e a norma da Comissão Internacional de Eletrotécnica - IEC 61000-4-30.

A qualidade de energia elétrica engloba medidas que expressam o quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores, levando em consideração parâmetros considerados desejáveis para uma operação segura (BORGES, 2020).

De acordo com Giacomini (2016), a qualidade de energia elétrica representa um equilíbrio para a operação do sistema elétrico e é constituída em três parâmetros: a continuidade de serviço (interrupções), a qualidade do produto (forma de onda do sinal) e a qualidade do atendimento (satisfação do cliente com as condições técnicas e comerciais do fornecimento de energia elétrica).

Em 2008, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, criou o documento Procedimentos de distribuição de energia elétrica – (PRODIST), cujo módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica, define os parâmetros de qualidade de energia elétrica utilizados neste estudo e que serão utilizados nas medições feitas pelo analisador de qualidade de energia elétrica da UERGS.

2.2 NORMA NBR-5410 – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

A NBR 5410 determina condições e regras aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1.000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1.500 V em corrente contínua no Brasil (ABNT, 2008). A norma foi criada com a função de garantir as condições mínimas de segurança nas instalações, não oferecendo riscos para trabalhadores e animais, trazendo uniformidade entre instalações e sistemas elétricos. A publicação da Resolução Normativa Brasileira (NBR) 5410, na 2ª edição em 30 de setembro de 2004 pela ABNT (2008), tem como objetivo estabelecer condições adequadas para as instalações elétricas de baixa tensão. Com isso, há a garantia do funcionamento adequado das instalações, conservação de bens e segurança dos envolvidos. Ou seja, a norma NBR 5410 tem a função de guiar o profissional desta área sobre o que ele deve ou não fazer para assegurar a segurança de todos. O uso aplicado desta norma é mais

comum de ser vista em instalações de casas, apartamentos e prédios, sejam eles comerciais, industriais ou residenciais.

A NBR 5410 é uma norma antiga e, apesar disso, muitos profissionais da área desconhecem suas regras. Para a presente pesquisa serão utilizados alguns tópicos importantes da norma para realizar as análises iniciais como:

O item 4.1.11 Seleção dos componentes da instalação elétrica devem ser conforme as normas técnicas aplicáveis e possuir características compatíveis com as condições elétricas, operacionais e ambientais a que forem submetidos. Se o componente selecionado não reunir, originalmente, essas características, devem ser providas medidas compensatórias, capazes de compatibilizá-las com as exigências da aplicação.

2.3 MÓDULO 8 DO PRODIST

Em 2008, a ANEEL publicou os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) a partir da Resolução Normativa nº 345/2008, que padroniza as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Assim, definindo regras e parâmetros para os sistemas de medição e estabelecendo valores padronizados para todos os modelos relativos ao fornecimento ou consumo da energia elétrica. O módulo 8 deste documento trata aspectos referentes à qualidade de energia e apresenta valores de referência e procedimentos sobre níveis de tensão elétrica, corrente elétrica e fator de potência. O PRODIST recebe constante atualização pela agência, estando em vigência a partir de janeiro de 2022 a revisão de 2021.

Através da Resolução Normativa nº 956/2021 foram aprovadas pela ANEEL as atualizações do módulo 8, no qual trata de indicadores da qualidade do produto, que são observados neste trabalho. Os indicadores da qualidade do produto estabelecem parâmetros e valores de referência relativos à tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda da tensão. Define, ainda, métodos que permitem a ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE. Para gerar indicadores, devem ser registradas de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em

intervalos consecutivos (período de agregação) de 10 minutos cada leitura. Intervalos adicionais devem ser agregados, sempre consecutivos.

O módulo 8 sobre QEE do PRODIST, permite a análise dos seguintes fenômenos da qualidade do produto:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variação de frequência.

No presente trabalho, os valores utilizados como referência para os parâmetros analisados, bem como a metodologia específica serão abordados e explicados no capítulo 3.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida e organizada em pré-estudo do local para a definição do local para estudo, visitas técnicas para o levantamento de dados da instalação elétrica e para o uso do analisador de rede elétrica para análises temporais de grandezas elétricas na rede elétrica e demais informações importantes para construção da metodologia utilizada no presente trabalho. Vale ressaltar o uso de um analisador de qualidade de energia elétrica disponibilizado pela UERGS, que é utilizado para medições de indicadores de qualidade do produto na rede elétrica do apartamento. As medições são realizadas em dois momentos importantes para o nosso estudo, sendo o primeiro momento, ainda com a rede elétrica existente e o segundo momento após a substituição da rede elétrica.

3.1 PRÉ-ESTUDO DO LOCAL

Inicialmente foi realizado o estudo prévio, a partir das informações obtidas pelo morador do apartamento. A obtenção dessas informações é importante para a definição do local de estudo, para organização e o planejamento da metodologia aplicada na visita técnica. Foram levantadas as seguintes informações:

- a) Rua Coronel Massot, nº. 233, apartamento 101, Bairro Tristeza, Cidade de Porto Alegre;
- b) Área de 85 m²;
- c) Rede elétrica bifásica, 220 V / 127 V;
- d) Rede Elétrica de Baixa Tensão da concessionária CEEE Equatorial;
- e) Apartamento residencial do ano de 1969.

3.2 VISITA TÉCNICA

Foram organizadas as visitas técnicas para levantamento de informações específicas do local, para definição do local das medições, para instalação do analisador de qualidade de energia elétrica e organização dos passos metodológicos empregados no trabalho.

Inicialmente, na primeira visita foram verificadas as condições da instalação em conformidade com a norma NBR-5410 junto à medição, onde fica o medidor de energia elétrica do apartamento. Este é o ponto de entrada do fornecimento de energia elétrica recebida pela concessionária de energia e, neste local, estão também o medidor e o disjuntor geral que, respectivamente, medem e ligam a energia elétrica do apartamento.

No local, foi analisado visualmente o disjuntor geral e identificado suas características como modelo, valor de corrente e número de polos. O segundo item inspecionado foi o medidor, na qual foram obtidos os dados da unidade consumidora (UC) e o tipo de entrada de energia elétrica. O terceiro item verificado foi o cabo de aterramento. Por último, analisamos os cabos elétricos, suas bitolas, identificações e organização de acesso à eletrovia (tubulação) do ramal de alimentação elétrica que

vai para o apartamento. Tais informações são importantes para atestar a conformidade com a norma NBR-5410 e também verificar as condições físicas dos materiais elétricos existentes, responsáveis pela qualidade e segurança da energia elétrica fornecida para o apartamento (OLIVEIRA, 2020). Foram levantadas as seguintes informações:

- a) Medidor GE UC- 2116008, tipo bifásico 220 V / 127 V;
- b) Disjuntor da entrada dois disjuntores monopolares com valor de corrente de 40 A, modelo NEMA;
- c) Cabos sólidos do ramal de alimentação do medidor para o disjuntor da medição com quatro cabos (#4x10,0 mm²);
- d) Há cabo PE de Aterramento no local, porém não havia conexão ou cabo PE indo para o apartamento;
- e) Cabos saindo do disjuntor geral de medição para o ramal de alimentação que vai para o apartamento com três cabos (#3x4,0 mm²);

A Figura 1 mostra a imagem do medidor, do disjuntor geral de entrada, e a disposição dos cabos que vem do medidor e dos cabos que saem do disjuntor geral para o ramal de alimentação elétrica que vai para o apartamento.

Figura 1 – Medidor de energia elétrica do apartamento.



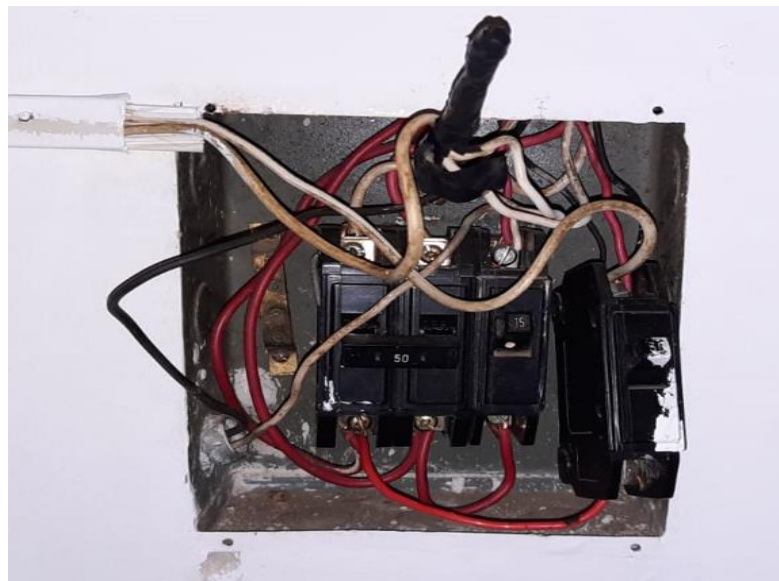
Fonte: do autor

Na segunda etapa, foi analisada a composição do centro de distribuição de cargas (CD) dentro do apartamento e relacionados dados detalhados do número de circuitos, dos tipos de cabos, de bitolas e de itens de proteção da instalação elétrica, em conformidade com norma NBR-5410. O dimensionamento do CD é um dos pontos

fundamentais da instalação elétrica, pois garante o equilíbrio de cargas, o balanceamento de circuitos e a distribuição dos mesmos pela edificação. O CD do apartamento avaliado está apresentado na figura 2, os quais foram levantadas as seguintes informações:

- a) Cabos sólidos do ramal de entrada que vem da medição #3x4,0 mm²;
- b) Circuito com cabos sólidos de #2x6,0 mm² no disjuntor bipolar de 50 A;
- c) Circuito com cabos sólidos de #1x1,5 mm² no disjuntor monopolar de 50 A;
- d) Circuito com cabos sólidos de #1x1,5 mm² no disjuntor bipolar de 15 A;
- e) Circuito com cabo paralelo de #2x2,5 mm² repetindo no disjuntor de monopolar de 15 A;
- f) Cabos quatro cabos de #1x1,5 mm² ligado ao neutro do quadro;

Figura 2 – Centro de distribuição de cargas do apartamento.



Fonte: do autor.

Na terceira etapa, buscou-se conhecer o perfil da instalação elétrica através da identificação do número de tomadas nos cômodos, pontos de iluminação e aparelhos elétricos e eletroeletrônicos, tendo uma visão geral das cargas do apartamento. Foram levantadas as seguintes informações:

- a) 10 tomadas de 10 A no apartamento;
- b) 14 pontos de iluminação;

- c) 02 lâmpadas fluorescente compactas de 20 W;
- d) 08 lâmpadas fluorescente compactas de 25 W;
- e) 05 lâmpadas led de 9 W;
- f) 02 televisores Led;
- g) 01 micro-ondas;
- h) 01 máquina de lavar roupas;
- i) 01 refrigerador duplex;
- j) 02 ventiladores de teto;
- k) 02 Computadores PC;
- l) 02 Notebook;
- m) 02 Tablet.

Na Figura 3, apresenta a quantidade de lâmpadas compactas fluorescentes encontradas nos pontos de iluminação do apartamento.

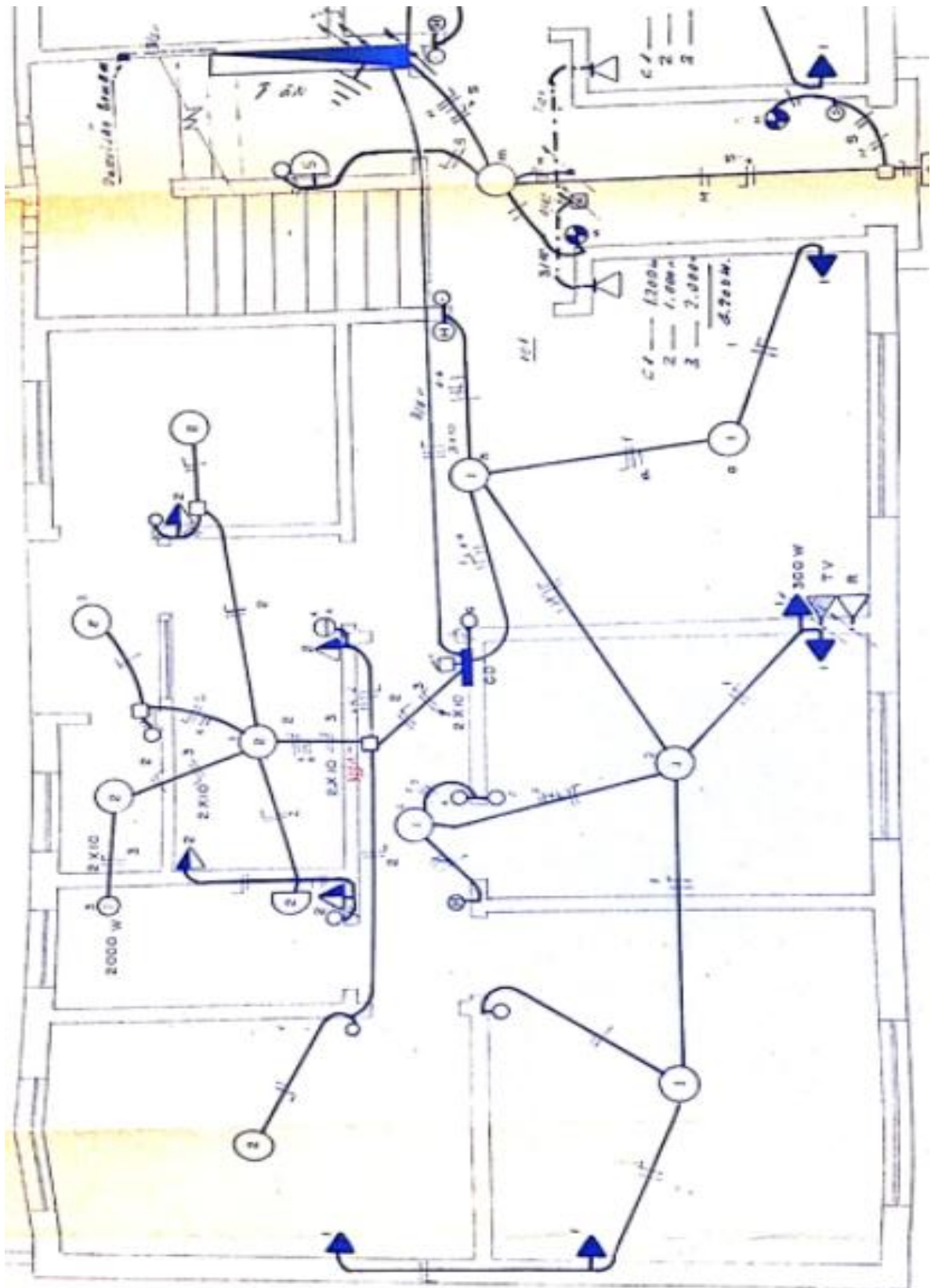
Figura 3 – Lâmpadas fluorescentes compactas do apartamento.



Fonte: do autor

Por último, foram verificadas documentações referentes à instalação elétrica do imóvel, na qual identificou-se a existência somente da planta baixa do apartamento com o detalhamento elétrico do projeto original do ano de 1969, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Planta elétrica do apartamento do ano de 1969.



Fonte: do autor

A planta foi aprovada no ano de 1969 e, apesar do tempo de existência, ainda estava em ótimo estado de conservação e foi possível obter algumas informações técnicas que serviram para entender o dimensionamento dos circuitos, espaço físico disponível, orientação das tubulações de entrada de energia que vem da medição e vão para o quadro de distribuição de cargas do apartamentos e a distribuição dos circuitos pela edificação. Foram levantadas nesta etapa as seguintes informações:

- a) A planta elétrica do apartamento;
- b) O valor total da carga do apartamento em 4200 W;
- c) O dimensionamento em três circuitos monofásicos de 127 V;
- d) A localização do quadro de distribuição de cargas;
- e) A localização da medição;
- f) As eletrovias do ramal de entrada de energia do apartamento;
- g) A distribuição de eletrovias da edificação;

A partir dos dados coletadas na visita técnica inicial, foram observadas as informações da planta elétrica, das condições de conservação da instalação elétrica, o número de equipamentos elétricos e eletrônicos, a quantidade insuficiente de circuitos, a existência de disjuntores e cabos elétricos antigos, a falta de aterramento e de condutor terra, a falta de dispositivo residual para proteção humana, sem disjuntor geral para seccionamento da rede diretamente no CD. Todos itens analisados são importantes para uma instalação elétrica adequada e segura, e foram determinantes para a tomada de decisão na atualização e substituição da rede elétrica original, realizada pelo morador após a primeira fase deste estudo (OLIVEIRA, 2020).

3.3 METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

De acordo com a seção 8.1 sobre qualidade do produto do PRODIST, são definidos os indicadores referentes às análises do fator de potência, distorções harmônicas, níveis de tensão, variação de frequência, duração e frequência de interrupções. No presente trabalho, serão avaliados os indicadores níveis de tensão,

fator de potência, variação frequência e harmônicos. Nesta etapa aplica-se a metodologia específica para cada parâmetro analisado neste trabalho.

3.3.1 NÍVEIS DE TENSÃO

Para as medições realizadas, foi adotado o item 24 para indicadores individuais do PRODIST, onde o conjunto de leituras deve compreender o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de integralização) de 10 minutos cada, no qual a tensão RMS é integralizada a cada 12 ciclos, ou seja, com período de 200 ms, a 60 Hertz, salvo as que eventualmente sejam expurgadas conforme item 87, no intuito de se obter 1008 (mil e oito) leituras válidas, intervalos adicionais devem ser agregados, sempre consecutivamente.

As medições da tensão são realizadas no CD do apartamento, em baixa tensão. Para tanto, foi realizada a classificação das faixas de tensão em adequada, precária ou crítica, comparando os valores medidos com os níveis de tensão de referência definidos na Figura 5, para tensões abaixo de 1 KV.

Figura 5 – Faixas de tensões em RP para tensões nominais inferiores a 1 KV.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$ $(TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: (Anexo 1, Módulo 8 do PRODIST).

3.3.2 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é uma grandeza adimensional que determina a eficiência em que a energia elétrica é transformada em trabalho, para unidade consumidora do Grupo A ou ponte de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, conforme estabelecido no Item 41 do Módulo 8 do

PRODIST (ANEEL, 2021) e pela concessionária local. As medições são feitas através de 1008 leituras válidas, e com períodos de integração de 10 minutos cada leitura. As medições, foram tratadas e comparados aos registros realizados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, nas redes elétricas antiga e nova.

3.3.3 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Os valores definidos no item 65 do PRODIST determinam que o sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo, em condições normais de operação e em regime permanente, devem operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz (ANEEL, 2021). As medições, serão tratadas e comparados aos registros realizados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, nas redes elétricas antiga e nova.

3.3.4 HARMÔNICOS

As ondas senoidais periódicas de frequência múltipla da frequência fundamental, conhecidas como harmônicos, são gerados por cargas não lineares. Conforme Campos (2016), caracterizam-se no espectro harmônico principalmente pela magnitude de cada componente e as respectivas taxa de distorção harmônica, em relação à tensão nominal.

O item 46 do Módulo 8 do PRODIST estabelece o limite de distorção total permitido para faixas de tensão abaixo de 1kV em 10% da tensão nominal.

Os equipamentos eletroeletrônicos como televisores e computadores são itens comuns nas residências. A grande maioria dos eletrônicos tem funcionamento semelhante e injetam altas taxas da distorção harmônica na rede elétrica, causando sobredimensionamento dos cabos e deteriorando a rede elétrica (GIACOMIN, 2016).

De acordo com Pires (2006), “devido ao processo de conversão CA-CC empregado em suas fontes de alimentação, é um grupo em que, em sua grande maioria, irá apresentar uma grande produção de harmônicos,” esses equipamentos

têm baixa potência e injetam na rede elétrica um THD médio de corrente de 100% e com correntes baixas em relação a corrente do barramento. Este autor ainda cita que as cargas não-lineares, muito comum em eletrônicos, são as de menor potência e tem correlação inversa entre a potência dos eletrônicos e a distorção de corrente, com uma alta taxa de até 100%. No entanto, produzem uma carga muito baixa sem representar problemas maiores na rede elétrica ainda (PIRES, 2006).

3.4 USO DO ANALISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA

Os analisadores de qualidade de energia da Fluke são amplamente utilizados em análises de rede elétrica, medem a maioria dos parâmetros e harmônicos de energia e captam eventos de tensão. Os dados registrados são instantaneamente visíveis, transferíveis e partilháveis com o software Power Log fornecido junto com o equipamento.

Neste trabalho, para o registro das medições foi utilizado o analisador de rede elétrica Fluke, modelo 1735, disponibilizado pela Uergs, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Analisador de qualidade de energia elétrica da Fluke 1735.



Fonte: do autor.

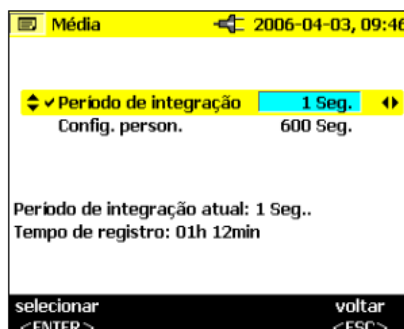
Na grande maioria, os analisadores de qualidade de energia vêm configurados de fábrica com os parâmetros de normas internacionais. O analisador Fluke modelo 435 vem configurado com os parâmetros da norma americana EN50160 (Campos, 2016) e o modelo 1735 apresenta configurações iniciais com padrões da norma Australiana NC101410, conforme manual do fabricante (Fluke, 2006). Para seu uso adequado em território brasileiro, é necessário portanto o ajuste no *setup* para atender os parâmetros definidos no item 8,1, do módulo 8 do PRODIST.

Os itens reestabelecidos foram: no menu média, o período de integração e o tempo de registro; no menu rede de energia, o tipo de potência, a tensão nominal e a frequência da rede. Os demais parâmetros utilizados no analisador são básicos para os demais fenômenos elétricos medidos e registrados pelo analisador de qualidade de energia, mesmo que não citados, não precisam ser alterados.

3.4.1 TEMPO DE INTEGRAÇÃO E TEMPO DE REGISTRO

Conforme a seção 9.1 do módulo 8 do PRODIST, o período de integração válido para 1008 leituras válidas precisa ser de 10 minutos. Os analisadores da Fluke já vêm com o tempo de registro predefinido conforme o período de integração escolhido, na Figura 7 o menu Média de configuração do tempo de integração e tempo do registro.

Figura 7 – Menu Média.

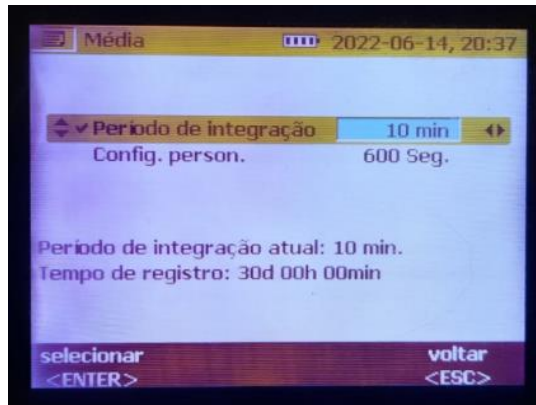


Fonte: do autor, adaptado do Manual Fluke 1735.

Foram configurados no analisador de qualidade de energia Fluke 1735 os seguintes parâmetros (Figura 8):

- a) Período de Integração de 10 minutos;
- b) Tempo de registro pré-definido de fábrica em 30 dias 00h 00min.

Figura 8 – Tela do Fluke 1735 com o tempo de integração e o tempo de registro.

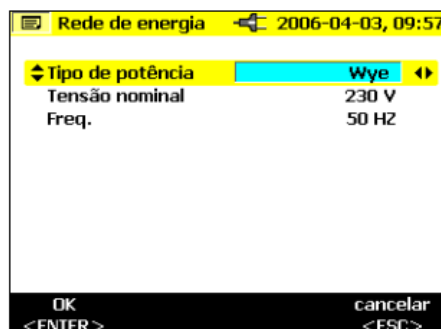


Fonte: do autor.

3.4.2 REDE DE ENERGIA

O analisador Fluke 1735 precisa ser configurado a rede de energia de acordo com os dados levantados na primeira visita técnica, no qual, obtive-se as informações rede de energia, a tensão nominal e a frequência da rede elétrica do apartamento, a Figura 9, mostra a tela de configuração do Fluke 1735.

Figura 9 – Menu Rede de Energia.

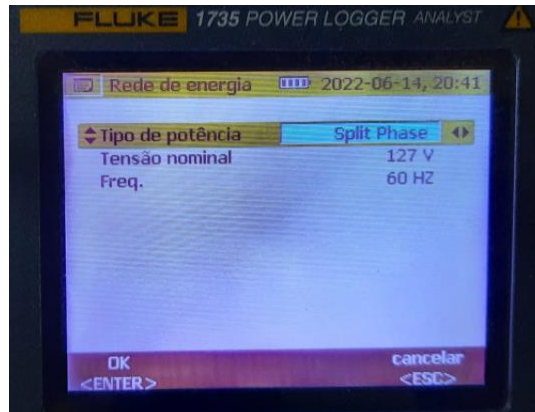


Fonte: do autor, adaptado do Manual Fluke 1735.

Conforme mostrado na figura 10, o analisador de qualidade de energia Fluke foi configurado nos seguintes parâmetros:

- a) Split Phase, para uma rede elétrica bifásica,
- b) Tensão Nominal de 127;
- c) e frequência de 60Hz.

Figura 10 – Tela do Fluke 1735 com os parâmetros da Rede de Energia



Fonte: do autor

3.5 INSTALAÇÃO DO ANALISADOR DE QUALIDADE

Após a definição dos parâmetros da rede elétrica fornecida durante a visita técnica no local, foram realizados o preparo do quadro e a instalação do analisador Fluke 1735. Para a instalação do analisador, foi preciso observar as normas de segurança e desligar a energia elétrica do apartamento para poder organizar os cabos junto ao quadro de distribuição de cargas. Como a rede elétrica e os cabos da unidade são antigos, foi preciso cuidado na hora de cortar a capa de isolamento dos cabos elétricos para poder preparar para a instalação dos terminais de teste do analisador.

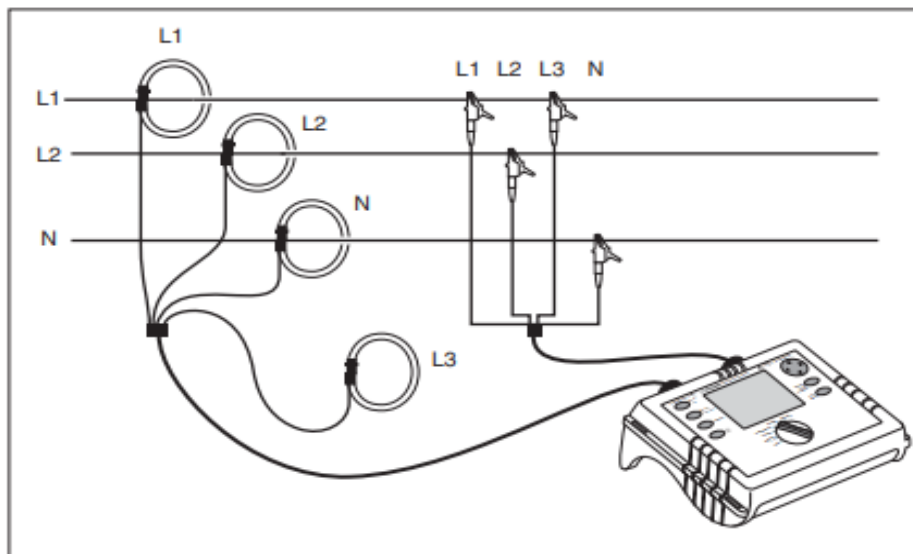
O Fluke 1735 possui duas entradas para conectores dos terminais de teste, sendo uma exclusiva para o conjunto de sondas de corrente flexíveis FS17XX quadrifásica blindada (15 A/150 A/1500 A), e outra entrada também exclusiva, para os terminais de tensão quadrifásica do tipo banana. Ambos os conjuntos já vêm com a identificação L1, L2, L3 e N, em cada cabo de prova.

As sondas de correntes possuem pinças flexíveis para envolver os cabos sem precisar romper a capa de isolamento para realizar a medição. Os terminais de teste

de tensão possuem um clipe do tipo jacaré, que é utilizado para fazer a conexão de prova junto ao cabo da rede elétrica. Por isso, é preciso cortar a capa de proteção dos cabos e fazer a conexão segura e adequada para ter uma boa medição.

Para a correta instalação do analisador do Fluke 1735 na rede elétrica, foram seguidas as recomendações do manual do fabricante em todas as etapas (Fluke, 2006). Como a rede de energia elétrica do apartamento é bifásica, foi utilizado esquema de ligação fase dividida e, para tanto, primeiramente foram identificados os cabos do ramal de energia que vem da medição de acordo o padrão da Fluke. Foram utilizados a identificação para as fases como L1 e L2 e N para o Neutro. Como não havia disjuntor geral no CD do apartamento, foi decidido por conectar as pinças das sondas L1, L2 e N e os terminais de testes L1, L2, L3 e N do analisador, antes dos disjuntores que alimentam as cargas do apartamento, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Esquema de ligação do analisador Fluke no CD do apartamento.



Fonte: do autor, adaptado do Manual Fluke 1735.

O analisador de QEE foi instalado junto ao quadro de distribuição de cargas do apartamento para monitorar o desempenho das cargas e realizar as medições das grandezas elétricas de rede elétrica. Desta forma o ponto de instalação do analisador não registra as interferências na rede elétrica da concessionária, mas analisa a qualidade do produto perante o funcionamento real da rede elétrica e de todas as cargas do apartamento.

Após a coleta de dados de QEE na rede original (antiga) do apartamento, o morador realizou a substituição e atualização da instalação elétrica do imóvel incluindo ramal de entrada, disjuntor geral da medição e cabos elétricos do ramal conforme a norma NBR 5410 e regulamento da concessionária de energia local, junto a profissional habilitado. Para segunda análise comparativa da rede, foram repetidas as medições com o analisador na rede elétrica nova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São demonstradas através de gráficos de evolução temporal as informações dos registros realizados pelo analisador de qualidade de energia Power Log 1735 nas duas redes elétricas (antiga e nova) do apartamento.

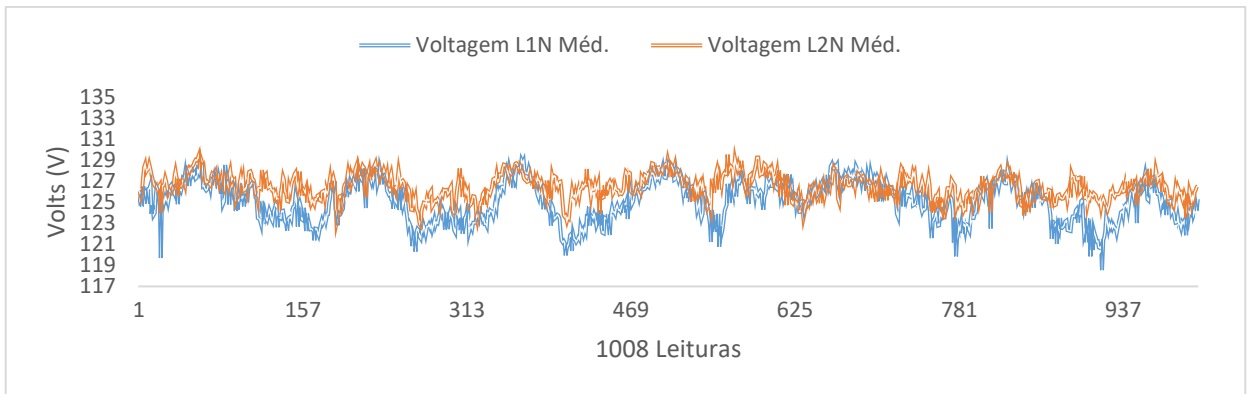
4.1 RESULTADOS DOS REGISTROS

Os resultados e valores dos indicadores de tensão, fator de potência, variação de frequência e harmônicos, são apresentados separadamente (rede antiga e rede nova) para facilitar a comparação ao final desta seção, para a plena interpretação do estudo.

4.1.1 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

O registro dos níveis de tensão da medição realizada pelo analisador de QEE na rede elétrica antiga é apresentado no Gráfico 1, no qual apresenta os indicadores das taxas médias em volts [V], obtidas entre a fase L1 e N; e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Gráfico 1 – Indicadores dos níveis de tensão na rede elétrica antiga.

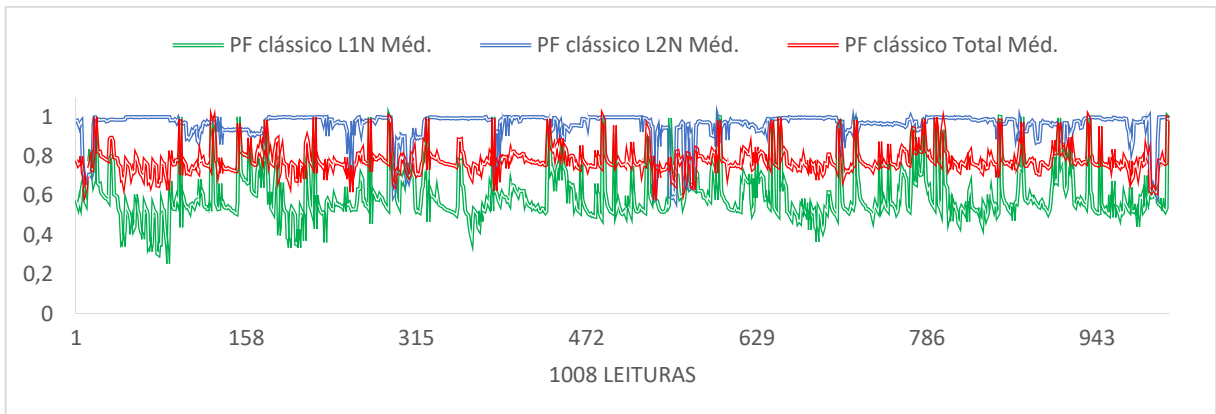


Fonte: do autor.

4.1.2 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

São apresentados no Gráfico 2, os indicadores das taxas médias do fator de potência registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede antiga do apartamento.

Gráfico 2 – Indicadores do fator de potência na rede elétrica antiga.

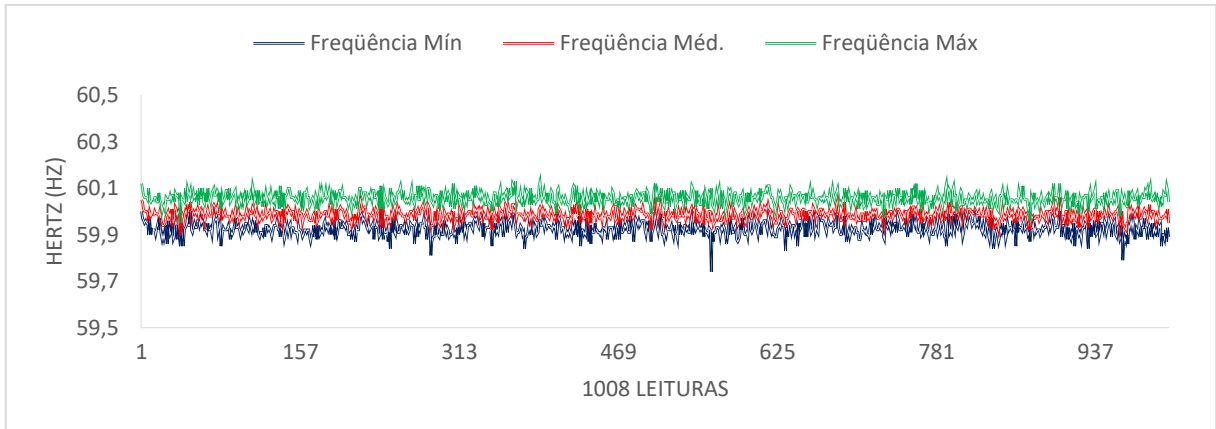


Fonte: do autor.

4.1.3 VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

São apresentados no Gráfico 3, os indicadores das taxas médias da variação de frequência registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, na rede antiga do apartamento.

Gráfico 3 – Indicadores da frequência na rede elétrica antiga.

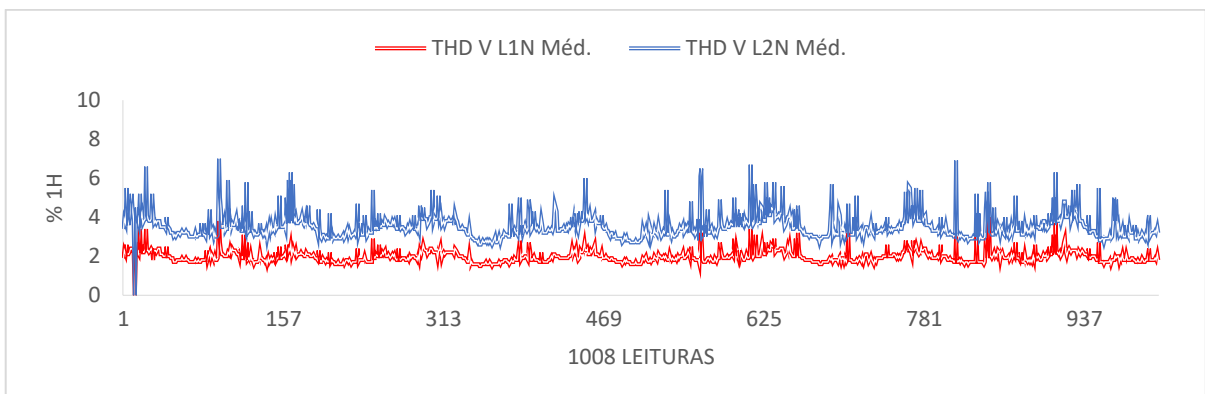


Fonte: do autor.

4.1.4 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

No Gráfico 4, são apresentados os indicadores das taxas médias das THD V distorções harmônicas totais de tensão elétrica, registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, obtidas entre a fase L1 e N; e entre a fase L2 e N na rede antiga do apartamento.

Gráfico 4 – Indicadores de THD V na rede elétrica antiga.



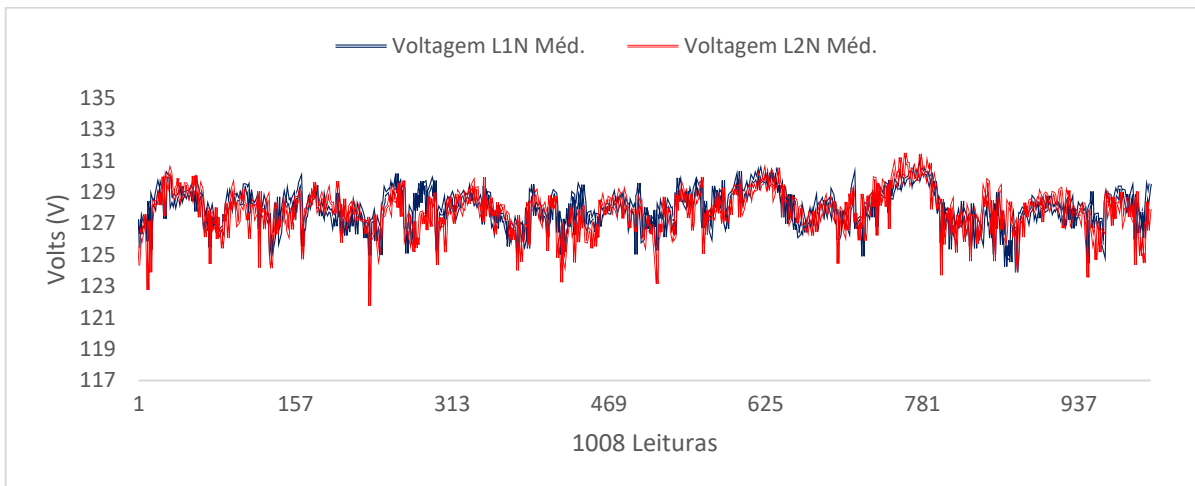
Fonte: do autor

As análises dos resultados dos indicadores da rede elétrica nova, são informados e abordados na seção 4.2 deste capítulo.

4.1.5 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA NOVA

O registro dos níveis de tensão da medição realizada pelo analisador de QEE na rede elétrica antiga é apresentados no Gráfico 5, no qual apresenta os indicadores das taxas médias em volts [V], obtidas entre a fase L1 e N; e entre a fase L2 e N, na rede elétrica nova.

Gráfico 5 – Indicadores dos níveis de tensão na rede elétrica nova.

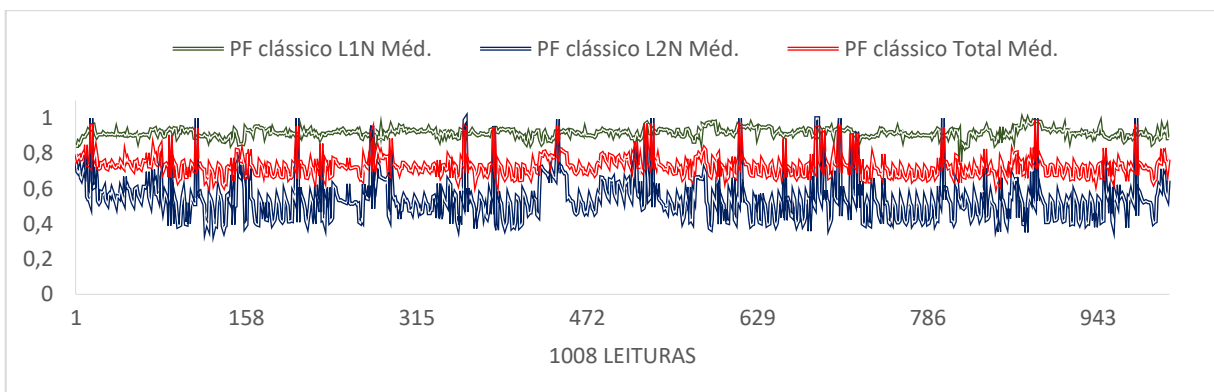


Fonte: do autor.

4.1.6 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA

São apresentados no Gráfico 6, os indicadores das taxas médias do fator de potência registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede nova do apartamento.

Gráfico 6 – Indicadores do fator de potência na rede elétrica nova.

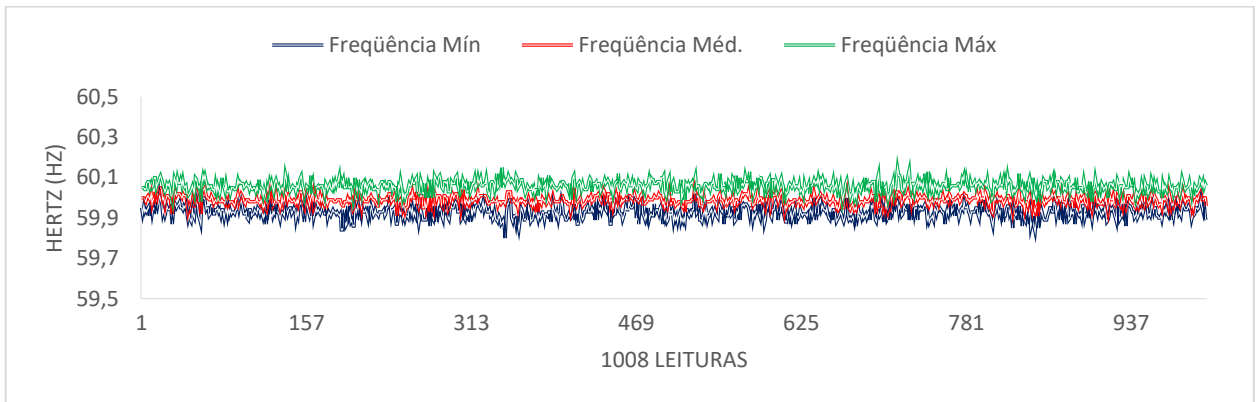


Fonte: do autor.

4.1.7 VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA

São apresentados no Gráfico 7, os indicadores das taxas médias da variação de frequência registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, na rede nova do apartamento.

Gráfico 7 – Indicadores da frequência na rede elétrica antiga.

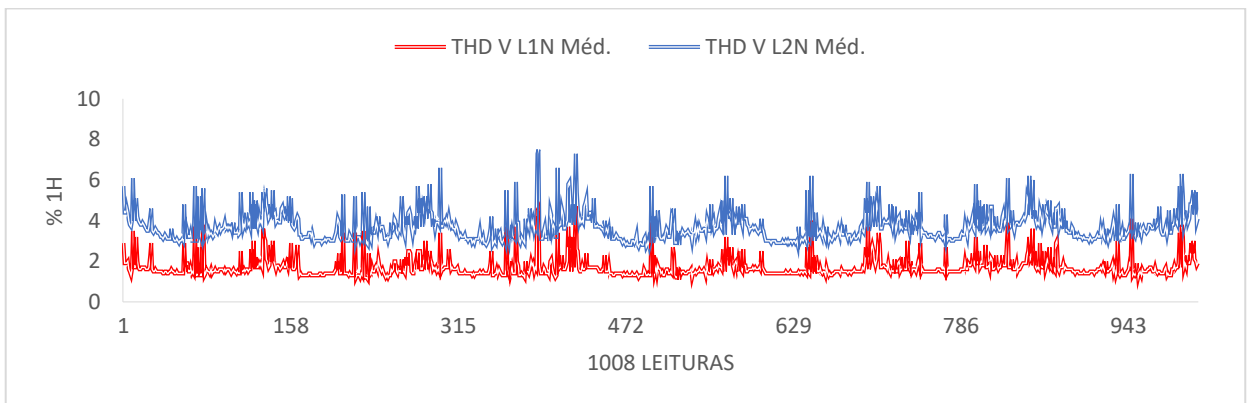


Fonte: do autor.

4.1.8 HARMÔNICOS REDE ELÉTRICA NOVA

São apresentados no Gráfico 8, os indicadores das taxas médias das THD V distorções harmônicas totais de tensão elétrica, registrados pelo analisador de qualidade da Fluke 1735, obtidas entre a fase L1 e N; e entre a fase L2 e N na rede nova do apartamento.

Gráfico 8 – Indicadores de THD V na rede elétrica nova.



Fonte: do autor.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa são apresentados a comparação dos resultados, de modo a verificar as informações das duas medições (rede elétrica antiga e rede elétrica nova) e constatar desta forma sua assertividade, assim como a relação com os parâmetros de referência definidos pelo módulo 8 do PRODIST, compreendidos para análise da qualidade do produto. Conforme Campos (2016), nas instalações elétricas onde são executadas as medições, é possível que algum dos parâmetros não esteja em conformidade com os valores definidos no PRODIST. A apreciação das não conformidades provê dados para se inferirem causas dos distúrbios relatados na instalação.

4.2.1 NÍVEIS DE TENSÃO REDE ELÉTRICA ANTIGA

A tabela 1, apresenta os dados dos valores dos indicadores dos níveis de tensão registrados pelo analisador de QEE na rede elétrica antiga.

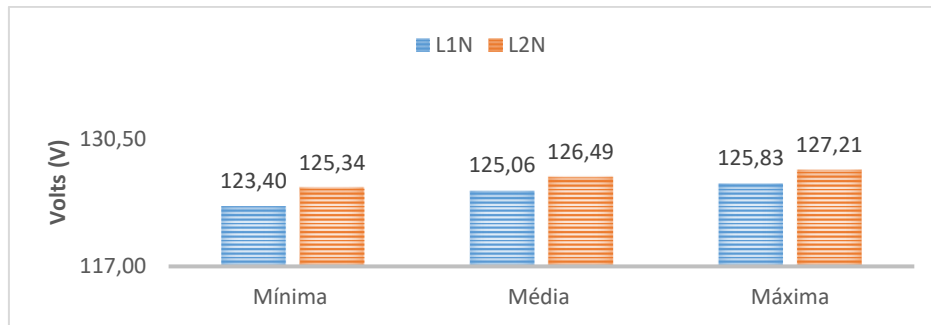
Tabela 1 – Amostra dos dados elétricos das tensões registradas, em Volts.

Voltagem L1N Mín	Voltagem L1N Méd.	Voltagem L1N Máx	Voltagem L2N Mín	Voltagem L2N Méd.	Voltagem L2N Máx
124,936	125,781	126,278	124,662	126,12	126,61
123,089	125,109	125,874	124,157	125,896	126,567
124,359	125,283	125,903	124,085	125,535	126,452
122,786	124,604	125,268	124,792	126,019	126,87
124,619	126,524	127,303	126,509	127,469	128,212
124,59	125,997	126,812	127,736	128,342	128,717
124,893	126,062	127	127,462	128,624	129,064
124,691	125,6	126,581	127	127,895	128,284
123,666	124,871	126,553	127,274	128,111	129,064
125,081	126,278	126,899	126,899	128,183	128,847
123,334	126,3	126,942	128,313	128,638	129,396

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

No Gráfico 9, apresenta os dados estatísticos das médias dos valores obtidos para os indicadores de tensão elétrica registrados pelo analisado de QEE. Os valores apresentados são referentes aos níveis de tensões médias entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Gráfico 9 – Valores das médias das tensões da rede elétrica antiga.



Fonte: do autor.

Analisando os valores obtidos no gráfico 9, é possível analisar os níveis encontrados e compará-los aos limites estabelecidos no anexo 1, do módulo 8 do PRODIST, quanto a faixa de variação de TL em Volts, mostrado da Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da média dos níveis de tensão da rede elétrica antiga.

Níveis de tensão [V] da Rede Elétrica Antiga						
TL1	L1N				125,06	V
TL2	L2N				126,49	V
Tensão de Atendimento		Faixa de Variação de Tensão de Leitura (TL) em Volts				
Adequada	L1N	117	≤	125,06	≤	135 V
Adequada	L2N	117	≤	126,49	≤	135 V

Fonte: do autor, adaptado da tabela 4, Anexo 1, Módulo 8 do PRODIST.

Analisando a Tabela 2, apresentam-se os seguintes resultados:

As fases L1 e L2 apresentam-se com o nível de tensão em média de 125,06 V e 126,49 V, portanto estão dentro da faixa de tensão de leitura TL como Tensão Adequada. Embora esses valores obtidos para as fases L1 e L2 estejam abaixo da tensão nominal 127 V, não causam nenhum problema maior aos equipamentos elétricos que utilizam a energia elétrica.

Observa-se com base nos resultados obtidos nas análises, observa-se que as tensões entre fases nas duas, L1 e L2, respectivamente, nas duas fases apresentaram-se como adequadas e dentro das faixas de tensão de leitura (TL) e de acordo com tensão nominal de 127 V, definidas pelos parâmetros utilizados.

Conclui-se que a rede elétrica antiga estava em conformidade com os parâmetros dos níveis de tensão previstos pela qualidade de energia elétrica do PRODIST.

4.2.2 NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE ELÉTRICA NOVA

A tabela 3, apresenta os dados dos valores dos indicadores dos níveis de tensão registrados pelo analisador de QEE na rede elétrica nova.

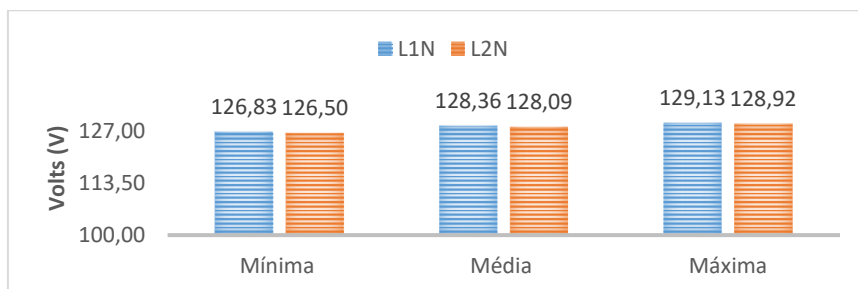
Tabela 3 – Amostra dos dados elétricos das tensões registradas, em Volts.

Voltagem L1N Mín	Voltagem L1N Méd.	Voltagem L1N Máx	Voltagem L2N Mín	Voltagem L2N Méd.	Voltagem L2N Máx
123,998	124,929	127,072	125,485	127,072	127,664
128,039	128,667	129,049	125,874	128,761	129,526
125,109	126,581	127,346	126,134	128,003	128,689
123,926	127,483	129,569	125,485	128,097	130,103
124,907	127,873	129,54	124,806	127,195	130,088
126,322	128,486	129,02	126,538	128,739	129,713
125,701	128,537	129,237	125,932	128,111	129,338
126,697	128,515	129,396	126,149	128,393	129,468
127,058	127,952	128,804	127,087	128,703	129,627
126,928	129,02	129,439	126,553	128,054	128,573
126,394	127,938	128,862	126,033	127,628	129,049

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

No Gráfico 10, apresenta os dados estatísticos das médias dos valores obtidos para os indicadores de tensão elétrica registrados pelo analisado de QEE. Os valores apresentados são referentes aos níveis de tensões médias entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica nova.

Gráfico 10 – Valores das médias das tensões da rede elétrica nova.



Fonte: do autor.

Analisando os valores obtidos do gráfico 10, é possível analisar os níveis encontrados e compará-los aos limites estabelecidos no anexo 1, do módulo 8 do PRODIST, quanto a faixa de variação de Tensão de Leitura (TL) em Volts denominadas com tensão precária, adequada ou crítica, mostrado da Tabela 4.

Tabela 4 – Valores da média dos níveis de tensão da rede elétrica nova.

Níveis de tensão [V] da Rede Elétrica Nova							
TL1	L1N			128,36	V		
TL2	L2N			128,09	V		
Tensão de Atendimento		Faixa de Variação de Tensão de Leitura (TL) em Volts					
Adequada	L1N	117	≤	128,36	≤	135	V
Adequada	L2N	117	≤	128,09	≤	135	V

Fonte: do autor, adaptado da tabela 4, Anexo 1, Módulo 8 do PRODIST.

Analisando a Tabela 4, apresentam-se os seguintes resultados:

As fases L1 e L2 apresentam-se com o nível de tensão em média de 128,36 V e 128,09 V, portanto estão dentro da faixa de tensão de leitura TL como Tensão Adequada. Embora esses valores obtidos para as fases L1 e L2 estejam abaixo da tensão nominal 127 V, não causam nenhum problema maior aos equipamentos elétricos que utilizam a energia elétrica.

Observa-se com base nos resultados obtidos nas análises, observa-se que as tensões entre fases nas duas, L1 e L2, respectivamente, nas duas fases apresentaram-se como adequadas e dentro das faixas de tensão de leitura (TL) e de acordo com tensão nominal de 127 V, definidas pelos parâmetros utilizados.

Verificou-se que a rede elétrica nova estava em conformidade com os parâmetros dos níveis de tensão previstos pela qualidade de energia elétrica do PRODIST.

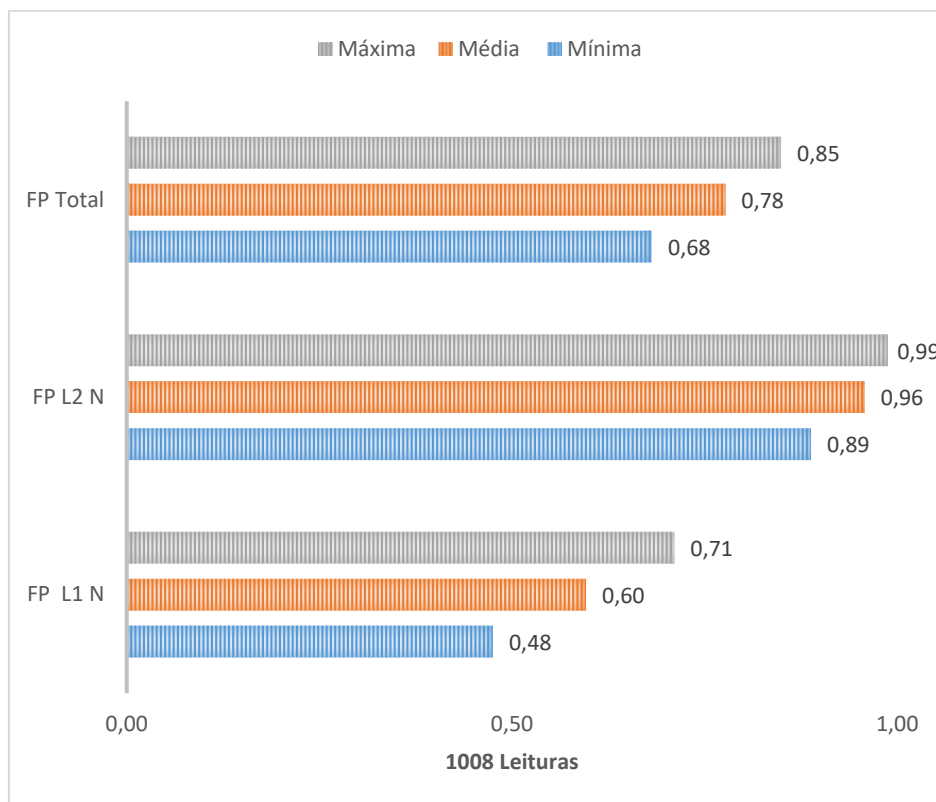
4.2.3 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

Conforme o item 41 do módulo 8 do PRODIST os valores do fator de potência, para uma unidade consumidora, opere em condições ideais, o limite deve estar

compreendidos entre 0,92 e 1,00 indutivo e 1,00 e 0,92 capacitivo, desse modo, estabelecendo os padrões elementares de qualidade de energia na instalação elétrica.

No gráfico 11, apresenta os dados estatísticos das médias dos valores obtidos para os indicadores do fator de potência registrados pelo analisado de QEE. Os valores apresentados são referentes as médias entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Gráfico 11 – Valores das médias de fator de potência rede elétrica antiga.



Fonte: do autor.

Analisando os valores médios dos indicadores do fator de potência apresentados no Gráfico 11, é possível analisar e compará-los ao limite 0,92 estabelecido no item 3.2.1, do módulo 8 do PRODIST, referente a qualidade do produto. Para tanto, a tabela 5, apresenta os valores médios dos indicadores do fator de potência obtidos na medição das 1008 leituras válidas, registradas entre a fase L1 e N e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Tabela 5 – Valores médios do fator de potência da rede elétrica antiga.

Rede Elétrica Antiga		
1008 Leituras		Fator de Potência
Fase e Neutro	Médio	Médio Total
L1N	0,60	0,78
L2N	0,96	

Fonte: do autor.

Analisando a Tabela 5, apresentam-se os seguintes resultados:

Os valores médios do fator de potência medidos na rede elétrica antiga em média foi de 0,60 para a fase L1, ficando abaixo do limite de 0,92, no entanto, para fase L2, a média ficou em 0,96, ou seja, acima de 0,92.

Observa-se que o fator de potência total da rede elétrica antiga ficou em média 0,78, ou seja, ficou abaixo dos limites definido pela qualidade do produto, conforme o item 3.2.1 do módulo 8 do PRODIST.

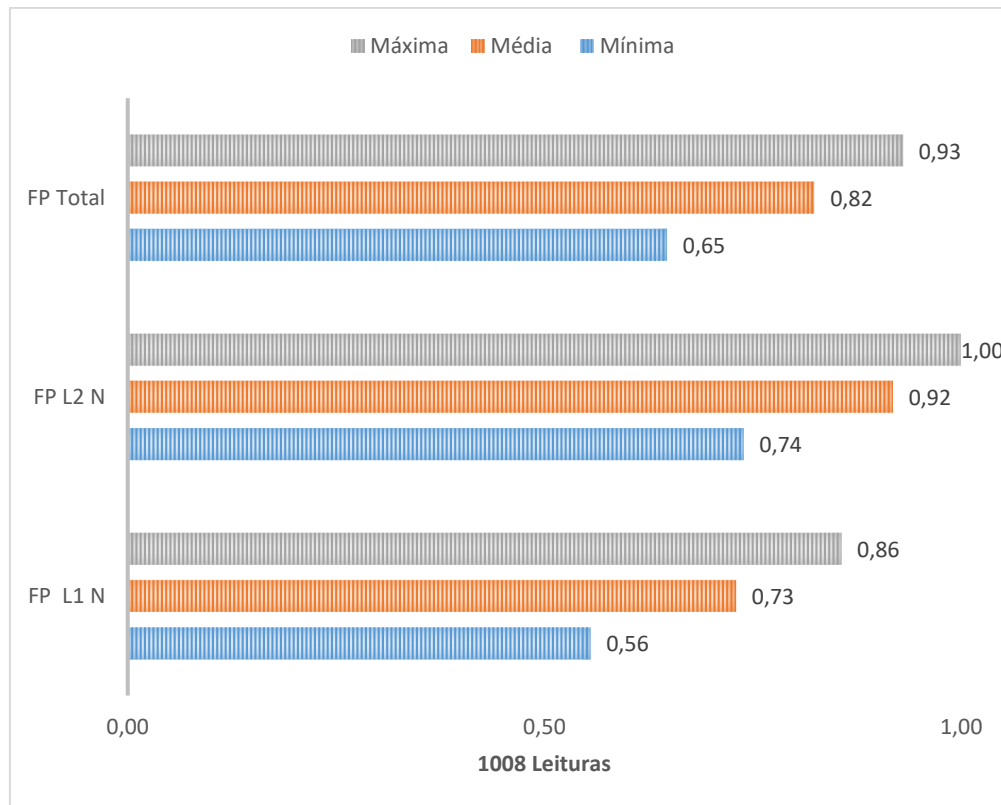
Verificou-se que o fator de potência na rede elétrica antiga não estava em conformidade com os parâmetros previstos pela qualidade de energia elétrica do PRODIST.

4.2.4 FATOR DE POTÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA

Conforme o item 41 do módulo 8 do PRODIST os valores do fator de potência, para uma unidade consumidora, opere em condições ideais, o limite deve estar entre 0,92 e 1,00 indutivo e 1,00 e 0,92 capacitivo, desse modo, estabelecendo os padrões de qualidade de energia na instalação elétrica.

No gráfico 12, apresenta os dados estatísticos das médias dos valores obtidos para os indicadores do fator de potência registrados pelo analisado de QEE. Os valores apresentados são referentes às médias entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica nova.

Gráfico 12 – Valores das médias de fator de potência rede elétrica nova.



Fonte: do autor.

Analisando os valores médios dos indicadores do fator de potência apresentados no Gráfico 12, é possível analisar e compará-los ao limite 0,92 estabelecido no item 3.2.1, do módulo 8 do PRODIST, referente a qualidade do produto. Para tanto, a tabela 6, apresenta os valores médios dos indicadores do fator de potência obtidos na medição das 1008 leituras válidas, registradas entre a fase L1 e N e entre a fase L2 e N, na rede elétrica nova.

Tabela 6 – Valores médios do fator de potência da rede elétrica nova.

Rede Elétrica Nova		
1008 Leituras		Fator de Potência
Fase e Neutro	Médio	Médio Total
L1N	0,73	0,82
L2N	0,92	

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

Analisando a Tabela 6, apresentam-se os seguintes resultados:

Os valores médios do fator de potência medidos na rede elétrica nova em média foi de 0,73 para a fase L1, ficando abaixo do limite de 0,92, no entanto, para fase L2, a média ficou em 0,92, ou seja, dentro do limite de 0,92.

Observa-se que o Fator de Potência Total da rede elétrica nova ficou em média 0,82, ou seja, ficou abaixo dos limites definido pela qualidade do produto, conforme o item 3.2.1 do módulo 8 do PRODIST.

Conforme a literatura o fator de potência depende da carga que está ligada na rede elétrica, de acordo com Finocchio (2009):

“O baixo fator de potência residencial é devido, em muito, aos refrigeradores, freezers, máquinas de lavar e aos aparelhos de ar-condicionado. As características funcionais destes equipamentos resultam em um acréscimo de energia não computado pelo medidor de indução. Outras causas são a iluminação fluorescente, os televisores e aparelhos eletrônicos em geral.”

Na figura 12, mostra o resultado do estudo de Finocchio (2009), que avaliou o fator de potência médio e total de cinco consumidores residenciais, em horários diferentes do dia, utilizando a mesma metodologia de instalação do analisador, sendo instalado junto ao CD de cada residência. Os resultados apontaram para os valores médios dos indicadores quase idênticos aos obtidos nos registros realizados pelo analisador Fluke 1735 no presente trabalho.

Figura 12 – Fator de Potência Médio e Total.

Período	Fator de Potência	
	Médio	Médio Total
Madrugada	0,60	0,78
Manhã	0,81	
Noite	0,93	

Fonte: Finocchio (2009).

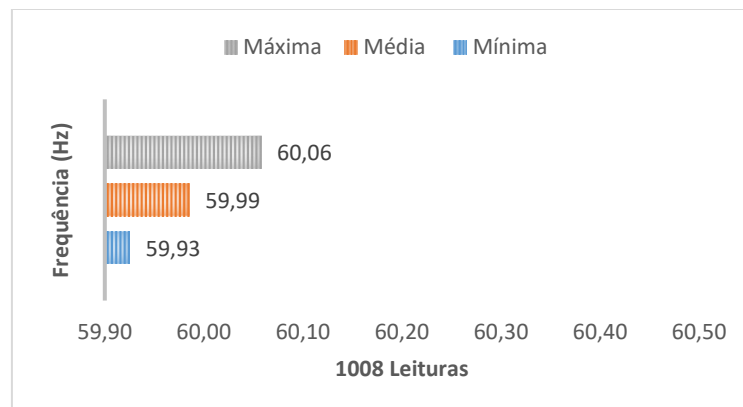
Já em Atkinson (2017), avalia que o fator de potência quando tem variação entre os limites de -0,92 e 0,92 dificulta qualquer tipo de correção na rede elétrica, devido aos circuitos indutivos e capacitivos presentes nos circuitos internos dos aparelhos elétricos e eletrodomésticos tão comuns nas residências e que são os causadores dessas variações apresentadas.

A análise das tabelas 5 e 6 mostrou que o fator de potência teve uma variação tanto acima quanto abaixo de 0,92 e, no entanto, foi observado que se manteve com valores muito próximos nas duas redes elétricas. Como o uso de equipamentos elétricos e eletrônicos no apartamento se manteve o mesmo, o resultado dos registros está dentro do normal. Entretanto, conforme as literaturas consultadas e citadas acima, indicam que o fator de potência baixo ou a sua variação é devido ao tipo de carga utilizada na rede elétrica e não está relacionado a qualidade do produto ou a qualidade de energia na rede elétrica.

4.2.5 FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

De acordo Aneel (2021), o item 65 do módulo 8 do PRODIST, os procedimentos estabelecem, que a frequência da tensão elétrica tem limites definidos entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Os dados do registro da variação de frequência na rede elétrica antiga são apresentados no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Valores das médias da variação de frequências na rede elétrica antiga.



Fonte: do autor.

Analisando as informações do Gráfico 13, observa-se os valores médios dos indicadores da variação da frequência, na rede antiga, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios da variação de frequência na rede elétrica antiga.

Rede Elétrica Antiga			
1008 Leituras		Frequência	
		Médio Total	
Mínima	59,93	59,99	Hz
Máxima	60,06		

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

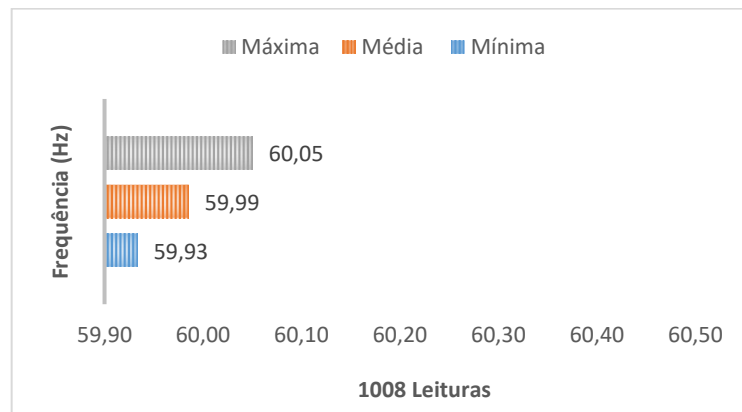
Analisando a Tabela 7, apresentam-se os seguintes resultados:

A média da variação da frequência está 59,99 Hz, e está dentro dos limites definidos pelo item 65 do módulo 8 do PRODIST, e está em conformidade com parâmetros de qualidade do produto na rede elétrica antiga.

4.2.6 FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA NOVA

De acordo ANEEL (2021), o item 65 do módulo 8 do PRODIST, os procedimentos estabelecem, que a frequência da tensão elétrica tem limites definidos entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. No Gráfico 14, apresenta os dados do registro da variação de frequência na rede elétrica nova.

Gráfico 14 – Valores das médias da variação de frequências na rede elétrica nova.



Fonte: do autor.

Analisando as informações do Gráfico 14, observa-se os valores médios dos indicadores da variação da frequência, na rede nova, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores médios da variação de frequência na rede elétrica nova.

Rede Elétrica Nova			
1008 Leituras		Frequência	
		Médio Total	
Mínima	59,92	59,99	Hz
Máxima	60,05		

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

Analisando a Tabela 8, apresentam-se os seguintes resultados:

A média da variação da frequência está 59,99 Hz, e está dentro dos limites definidos pelo item 65 do módulo 8 do PRODIST, e está em conformidade com parâmetros de qualidade do produto na rede elétrica nova

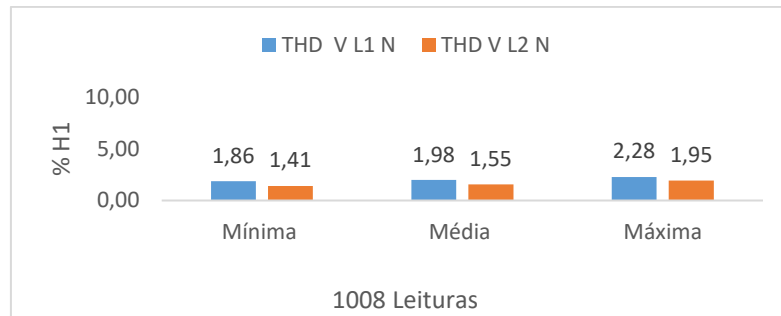
Dessa forma, foi avaliado que a variação de frequência das duas redes elétricas analisadas se manteve dentro dos limites de conformidade com a qualidade de energia do PRODIST.

4.2.7 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA ANTIGA

De acordo com a ANEEL (2021), o limite de distorção total permitido para faixas de tensão abaixo de 1kV é de 10% da tensão nominal, previstos no Item 46 do Módulo 8 do PRODIST.

O Gráfico 15, apresenta os valores médios dos indicadores de distorções harmônicas de tensão entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Gráfico 15 – Valores das médias da THD V de tensão na rede elétrica antiga.



Fonte: do autor.

Analisando as informações do Gráfico 15, observa-se os valores médio das taxas dos indicadores de harmônicas de tensão registrados pelo analisador de QEE, na rede elétrica nova. Essas informações são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Harmônicos THD V da rede elétrica antiga.

Rede Elétrica Antiga			
Harmônicos THD V de Tensão Elétrica [%]			
	Mínima	Média	Máxima
THD V L1 N	1,86	1,98	2,28
THD V L2 N	1,41	1,55	1,95

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

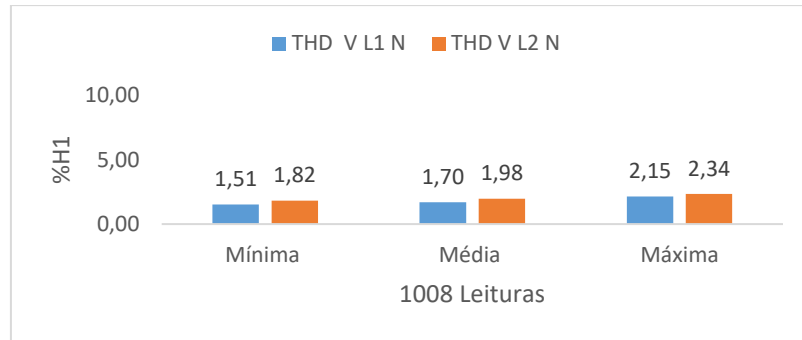
De acordo com a Tabela 9, os valores das taxas dos indicadores de distorções harmônicas de tensão (THD V), para as fases L1 e L2, aponta os valores das taxas médias em 1,98 % e 1,55 %, respectivamente, comprovando estar dentro dos limites definidos no item 46, do módulo 8 do PRODIST.

4.2.8 HARMÔNICOS DA REDE ELÉTRICA NOVA

De acordo com a ANEEL (2021), o limite de distorção total permitido para faixas de tensão abaixo de 1kV é de 10% da tensão nominal, previstos no Item 46 do Módulo 8 do PRODIST.

O Gráfico 16, apresenta os valores médios dos indicadores de distorções harmônicas de tensão entre a fase L1 e N, e entre a fase L2 e N, na rede elétrica antiga.

Gráfico 16 – Valores das médias da THD V de tensão na rede elétrica nova.



Fonte: do autor.

Analisando as informações do Gráfico 16, observa-se os valores médio das taxas dos indicadores de harmônicas de tensão registrados pelo analisador de QEE, na rede elétrica nova. Essas informações são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Harmônicos THD V da rede elétrica nova.

Rede Elétrica Nova			
Harmônicos THD V de Tensão Elétrica [%]			
	Mínima	Média	Máxima
THD V L1 N	1,51	1,70	2,15
THD V L2 N	1,82	1,98	2,34

Fonte: do autor, adaptado do software Power Log Versão 4.6.

De acordo com a Tabela 10, os valores das taxas dos indicadores de distorções harmônicas de tensão (THD V), para as fases L1 e L2, aponta os valores das taxas médias em 1,70 % e 1,98 %, respectivamente, comprovando estar dentro dos limites definidos no item 46, do módulo 8 do PRODIST.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa detalhada dos parâmetros de QEE na instalação elétrica de baixa tensão em um apartamento residencial na cidade de Porto Alegre/RS, construído no ano de 1969. Os dados foram medidos através do analisador de propriedade da UERGS modelo Fluke 1735, em dois momentos distintos: uma na instalação original e antiga do apartamento, e outra após a substituição e atualização da rede. Os parâmetros descritos e regulamentados pelo módulo 8 do PRODIST, emitidos pela ANEEL, serviram de referência para o estudo.

De acordo com a análise dos resultados, os níveis de tensão se mostraram adequados durante os períodos analisados, apresentando valores entre os limites de tensão de 117 V e 135 V em ambas as instalações elétricas (antiga e nova).

Não houve distúrbios de frequência ou desbalanceamentos de corrente através do registro do analisador de qualidade de energia nas redes elétricas (antiga e nova).

O fator de potência esteve abaixo dos valores de referência, no entanto, foram identificados períodos de oscilação tanto acima quanto abaixo do limite de 0,92 e se manteve com valores muito próximos nas duas redes elétricas. Isso pode indicar que o fator de potência não depende diretamente dos parâmetros de qualidade do PRODIST, mas está diretamente relacionado aos tipos de cargas que são ligadas na rede elétrica do apartamento.

Para os indicadores de distorções harmônicas de tensão (THD V), não foram observadas anormalidades nas duas instalações elétricas (antiga e nova), estando dentro dos limites dos parâmetros do PRODIST.

Desta forma, os dados levantados no estudo apresentaram parâmetros considerados adequados conforme os indicadores de QEE do PRODIST em ambos os períodos de medição, atestando a qualidade de energia nas redes elétricas (antiga e nova).

Ao longo das coletas dos registros na rede elétrica, foram identificadas alterações nas redes conforme o tipo de carga utilizada. As cargas não-lineares de aparelhos elétricos e eletrônicos, como por exemplo carregador de baterias portáteis

(celular e computador) e lâmpadas fluorescentes compactas, emitiram altos níveis de distorções harmônicas na rede, mas tais dados não foram explorados nesse estudo. Portanto, para trabalhos futuros, sugere-se o estudo sobre distorções harmônicas de corrente (THD A) em instalações elétricas residenciais.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. 2ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2004. Versão corrigida, 2008.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional / PRODIST. Módulo 8 - Qualidade da energia elétrica**. Brasília, 2008. Versão atualização 2021.
- ATKINSON, Guilherme de Souza. **Análise da qualidade de energia residencial: um estudo para identificação de distorções harmônicas e índice de fator de potência**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. Ijuí, 2017.
- BEVILAQUA, Lucas; OLIBONI, Carlos RP. **Avaliação e determinação dos indicadores de qualidade e eficiência da energia elétrica**. Projeto apresentado na III FICE – Feira de Iniciação Científica e Extensão do Instituto Federal Catarinense – IFC, Campus Videira. Videira, 2014.
- BORGES, Ricardo Vieira. **Analisador de qualidade de energia elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília. Brasília, 2020.
- CAMPOS, Gustavo Dixini. **Análise da qualidade da energia elétrica: Um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS. Varginha, 2016.
- FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira; CAGNON, José Ângelo; GEROMEL, Luiz Henrique. **Avaliação do fator de potência de consumidores residenciais**. Revista Tecnologia & Humanismo, v. 23, n. 36, p. 6-11, 2009.
- FLUKE. **Manual do usuário: Analisadores de qualidade de potência e energia trifásicos modelo 1735**. Versão língua portuguesa (BR), rev.2, 2006.
- GIACOMIN, Ítalo Girardelli. **Caracterização de harmônicas em equipamentos residenciais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. João Monlevade, 2016.
- OLIVEIRA, Gabriele Donato. Oliveira, Silvio Moraes de. **Estudo de readequação de instalações elétricas em imóveis antigos com projetos existentes**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica da Centro Universitário FACVEST. Lages, 2020.