



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO MONTEIRO DE ALBUQUERQUE

Análise de qualidade de energia, gestão de modalidade tarifária e sugestão de melhorias em
uma unidade rural de média tensão

Cabo de Santo Agostinho — PE
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO MONTEIRO DE ALBUQUERQUE

Análise de qualidade de energia, gestão de modalidade tarifária e sugestão de melhorias em
uma unidade rural de média tensão

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Vitória de Almeida Macêdo

Cabo de Santo Agostinho — PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A345a Albuquerque, Eduardo Monteiro de
Análise de qualidade de energia, gestão de modalidade tarifária e sugestão de melhorias em uma unidade rural de
média tensão / Eduardo Monteiro de Albuquerque. - 2022.
85 f.

Orientadora: Ana Vitoria de Almeida Macedo.
Inclui referências e apêndice(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Elétrica, Cabo de Santo Agostinho, 2022.

1. análise de qualidade de energia. 2. eficiência energética. 3. analisador de energia. 4. modalidade tarifária. I.
Macedo, Ana Vitoria de Almeida, orient. II. Título

CDD 621.3

EDUARDO MONTEIRO DE ALBUQUERQUE

Análise de qualidade de energia, gestão de modalidade tarifária e sugestão de melhorias em
uma unidade rural de média tensão

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural
de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Aprovada em: ____/____/____

Banca examinadora

Prof. Dra. Ana Vitória de Almeida Macêdo

Orientadora

Prof. Dr. Felipe Alberto Barbosa Simão Ferreira

Examinador Interno

Prof. Dr. Oswaldo Hideo Ando Junior

Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado sabedoria e força para que eu pudesse chegar até esse momento tão importante e crucial em minha vida, além de ter colocado pessoas essenciais em minha vida. Agradeço a Deus, que sempre guiou minha trajetória e colocou pessoas em minha vida de forma inacreditavelmente perfeita.

Agradeço aos responsáveis por esta conquista e meus dois maiores apoiadores e que sempre acreditaram que esse dia chegaria: minha mãe, Sra. Carosita Maria Monteiro e meu pai Sr. Jefferson Quirino de Albuquerque, que sempre estiveram presente e sempre me apoiaram nas minhas decisões de escolha de vida profissional, nunca deixaram que eu estivesse sozinho nessa caminhada e que com bastante amor e carinho me mantiveram forte em toda essa trajetória. Espero poder retribuir todo esse amor, carinho e atenção. Gostaria de agradecer aos meus irmãos Tais Fernanda Maria Monteiro da Silva e Heider Silva Quirino de Albuquerque, por sempre estarem presentes em minha vida e compartilhando juntos os bons e maus momentos.

Agradeço aos meus amigos do colégio que estão juntos comigo até hoje, me apoiando e que eu posso contar com eles nos bons e maus momentos, e que quando estamos juntos sempre temos a boa “resenha”.

Agradeço aos meus colegas de curso, que estiveram comigo durante a graduação e sabem muito bem que tiveram papel fundamental nesta conquista, seremos colegas de profissão, além de grandes amigos que levarei para o resto da minha vida.

Também agradeço aos meus amigos de infância que estão comigo até hoje e que sei que sempre estarão presentes para me apoiar, muito obrigado.

Também gostaria de agradecer a minha namorada Beatriz Sales por todo carinho e apoio nesse momento tão importante na minha vida, além de agradecer a toda a sua família pelo carinho e acolhimento que recebo.

Agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Ana Vitória de Almeida Macêdo, que acreditou e confiou em mim nessa jornada, desde a orientação referente a disciplina do Estágio Supervisionado até a defesa do TCC. Muito obrigado por ter dedicado seu tempo e compartilhado seus ensinamentos comigo, serei eternamente grato a senhora.

Aos demais familiares e amigos, em especial minha querida tia Sra. Gercina Xavier do Nascimento e minha querida avó, a Sra. Maria Eulina de Albuquerque que desde o primeiro dia de curso me falava “Um dia verei meu netinho Engenheiro”, esse dia chegou e sempre carregarei essa frase em minha memória. Infelizmente, elas não puderam vivenciar esta conquista, mas estarão sempre presentes na minha vida.

RESUMO

A energia elétrica possui inúmeras grandezas correlacionadas fazendo com que se tenha o sistema elétrico de potência em pleno funcionamento. A operação desses sistemas é realizada a partir de projetos fazendo com que se minimize as perdas e se evite possíveis acidentes relacionados à energia elétrica. A análise de qualidade de energia e a eficiência energética, são cruciais para entender causas, efeitos e se realizar as correções necessárias nas instalações elétricas fazendo com que se tenha uma maior vida útil dos equipamentos e economia para o cliente. Neste trabalho será realizado uma fundamentação teórica a respeito das grandezas elétricas fundamentais para que se tenha uma boa qualidade de energia, além de ser realizado uma análise de qualidade de energia juntamente com a análise tarifária em uma unidade rural de média tensão, através de um analisador de energia (P53, classe B de exatidão da marca Primata Tecnologia Eletrônica), avaliando o cenário atual e sugerindo melhorias na instalação, além disso, será realizado um estudo adequando a unidade consumidora para a melhor modalidade tarifária, fazendo com que se tenha uma economia ainda maior na instalação.

Palavras-chave: análise de qualidade de energia; eficiência energética; analisador de energia; modalidade tarifária.

ABSTRACT

The electrical energy has correlated countless quantities making it have the electrical power system in full working order. The operation of these systems is carried out from projects making it minimize and avoid possible accidents related to electricity. The power quality analysis and energy efficiency are crucial to understanding causes, effects and making the necessary corrections in electrical installations resulting in a longer useful life of the equipment and savings for the customer. In this work a theoretical foundation will be carried out regarding the fundamental electrical quantities to have a good quality of energy, in addition to an analysis of energy quality together with the tariff analysis in a rural medium voltage unit, through an analyzer power (P53, class B of accuracy of brand Primata Tecnologia Eletrônica), evaluating the current scenario and suggesting improvements to the installation, furthermore, a study will be carried out to adapt the consumer unit to the best tariff modality, resulting in even greater savings in the installation.

keywords: power quality analysis; energy efficiency; energy analyzer; tariff modality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.2	METODOLOGIA.....	1
2	QUALIDADE DE ENERGIA.....	3
2.1	COMPONENTES SIMÉTRICAS	4
2.2	TENSÃO E CORRENTE	7
2.2.1	Desequilíbrio de tensão	8
2.2.2	Afundamento de tensão.....	11
2.2.3	Sobretensão	13
2.2.4	Distorção harmônica	14
2.3	POTÊNCIA ATIVA, APARENTE E REATIVA	18
2.3.1	Correlação entre as potências.....	19
2.3.2	Fator de potência	20
2.3.3	Consequências de um baixo fator de potência	20
2.3.4	Correção do fator de potência	21
2.4	ANALISADOR DE ENERGIA	23
2.4.1	Equipamento utilizado	24
2.5	ANÁLISE TARIFÁRIA.....	25
2.5.1	Tarifa	26
2.5.2	Demanda.....	26

2.5.3	Modalidade tarifária	27
2.6	MERCADO LIVRE DE ENERGIA	28
2.7	GERADOR DE ENERGIA.....	30
3	RESULTADOS DA ATUAÇÃO DO ANALISADOR DE ENERGIA	31
4	SUGESTÃO DE MELHORIAS	46
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A - RESULTADOS DA ATUAÇÃO DO ANALISADOR DE ENERGIA	58

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é crucial para a sociedade, e com o crescimento tecnológico, as máquinas elétricas e os motores vão sendo utilizados em grandes quantidades. É de extrema importância que se tenha uma energia elétrica de qualidade, para o maior aproveitamento dos equipamentos. A análise de qualidade de energia elétrica (QEE) é a ação de coletar dados e parâmetros elétricos com o objetivo de diagnosticar problemas existentes na rede elétrica, pois os problemas relacionados à QEE podem ocasionar um mau funcionamento dos equipamentos, causando custos excessivos relacionados à energia, menor vida útil dos equipamentos e até mesmo podendo ocasionar a obstrução total do trabalho.

Assim como existem vários tipos de distúrbios relacionados à má QEE, também existem dispositivos para a realização da correção destes. Os dispositivos encontrados no mercado são aplicados aos principais problemas, e encontrar a combinação correta entre o problema e a solução faz parte da análise de QEE (LOPEZ, 2013).

As modalidades tarifárias são responsáveis por diferentes formas de cobranças relacionadas ao consumo de energia elétrica, com isso, a unidade consumidora poderá pagar valores diferentes na mesma instalação elétrica dependendo da modalidade escolhida. A análise tarifária consiste no estudo da fatura de energia com o objetivo de obter a melhor contratação para a unidade consumidora e diante disso, realizar a melhor contratação para o cliente.

A análise de QEE é útil para se avaliar a segurança, a qualidade e o consumo de energia de uma instalação elétrica. Além de garantir uma maior segurança, a análise de QEE juntamente com uma análise tarifária, podem ser responsáveis por uma maior economia relacionada à energia elétrica.

1.1 OBJETIVOS

O Objetivo deste estudo é realizar a revisão bibliográfica sobre o tema qualidade de energia elétrica, realizar avaliação da qualidade de energia em uma instalação e com os resultados obtidos identificar possíveis problemas e sugerir melhorias no sistema estudado para que se tenha uma maior vida útil dos equipamentos. Além disso, realizar o estudo da modalidade tarifária e de contratação de demanda para que se tenha uma maior economia financeira de potenciais clientes

1.2 METODOLOGIA

O trabalho baseia-se na pesquisa sobre a qualidade de energia e no estudo das modalidades tarifárias, cuja aplicação possa ser viável do pequeno comércio até as grandes

indústrias. Em seguida, os impactos causados para o sistema de energia devido ao mau dimensionamento dos equipamentos e instalações serão avaliados, sugerindo correções com o objetivo de propor melhorias nesses sistemas. O trabalho compreende três etapas, detalhadas a seguir:

Etapa 1: Fundamentação teórica a respeito dos principais índices e indicadores de qualidade de energia que sejam aplicáveis não só às indústrias, mas nos diversos setores que utilizam energia elétrica, além do estudo de modalidades tarifárias e como cada cliente se enquadra.

Etapa 2: Analisar dados reais provenientes de uma instalação de média tensão obtidos por meio do analisador de qualidade de energia.

Etapa 3: Sugerir melhorias na rede elétrica e instalações, com isso, planejar diferentes estratégias para o melhor aproveitamento da energia elétrica. Sugerir mudança na modalidade tarifária e possível contratação de demanda a depender das necessidades da instalação.

2 QUALIDADE DE ENERGIA

Em um sistema trifásico ideal, as tensões e correntes equilibradas em relação à amplitude, frequência e a fase em qualquer ponto são consideradas senóides perfeitas, porém no mundo real esse equilíbrio perfeito não é possível, quanto maior o desequilíbrio, mais perdas no sistema, com isso, é ocasionado perdas referentes a qualidade de energia elétrica.

A qualidade de energia elétrica está associada à qualidade de tensão e do seu serviço de fornecimento (FREITAS e CORRÊA, 2006). Ainda segundo Freitas e Corrêa (2006), a QEE é relacionada a qualquer problema de energia que esteja sendo manifestado através da tensão, da corrente ou até mesmo relacionadas a variações de frequências que ocasionam um mau aproveitamento dos equipamentos elétricos ou que resultem em alguma falha no sistema.

Segundo Bollen (2000), a QEE é a junção de cinco variáveis, que são:

- **Qualidade de Tensão:** A qualidade de tensão indica uma onda senoidal com a frequência e a amplitude constantes.
- **Qualidade de Corrente:** Seguindo a mesma ideia da qualidade de tensão, a qualidade de corrente seria uma onda senoidal com a frequência e a amplitude constantes.
- **Qualidade de Potência:** A potência é obtida pelo produto da corrente com a tensão, ou seja, a qualidade de potência seria a junção da qualidade de corrente com a qualidade de tensão.
- **Qualidade de Fornecimento:** A qualidade de fornecimento é a junção da qualidade de tensão com uma boa qualidade de atendimento entre a fornecedora de energia elétrica com o consumidor.
- **Qualidade de Consumo:** A qualidade de consumo indica a utilização correta da energia elétrica por parte do consumidor final.

De acordo com Dugan *et al.* (2004), existem quatro razões para uma maior preocupação com a análise de QEE:

- Devido aos equipamentos de última geração que possuem microprocessadores e dispositivos eletrônicos de potência mais sensíveis às variações de QEE.
- Devido a uma maior conexão entre os equipamentos, ou seja, uma falha em qualquer componente poderá se tornar um problema em cadeia.
- Assim como citado por Bollen (2003), os consumidores finais estão mais preocupados e com uma maior conscientização sobre a QEE, causando uma pressão maior nas concessionárias.
- Com uma melhora na eficiência geral nos sistemas de energia, devido às correções de fator de potência através de bancos de capacitores, além de maior inserção de motores,

isso resultará em maiores níveis de harmônicos em sistemas de energia o que gera preocupação com o impacto futuro nas capacidades do sistema.

Para as empresas de Energia Elétrica, a QEE é considerada a ausência de deformação na amplitude ou da frequência na forma de onda (senóide). Para os fabricantes de equipamentos elétricos, a QEE está relacionada com as características do fornecimento de energia que atendam os requisitos necessários para a operação dos equipamentos. Já para o consumidor final, a QEE está relacionada ao uso contínuo e eficaz da energia elétrica (BRONZEADO *et al.*, 1997).

Um fornecimento de energia sem a qualidade desejada pode ser devido a qualquer problema de energia manifestado em desvios de tensão, corrente ou frequência que resulte em falha ou operação incorreta do equipamento do cliente (DUGAN *et al.*, 2004).

De acordo com Freitas e Corrêa (2006), a QEE está intimamente associada ao funcionamento adequado e seguro dos equipamentos, de forma a garantir o conforto desejado aos usuários, sem afetar o meio negativamente.

“A qualidade da energia, como a qualidade de outros bens e serviços, é difícil de quantificar. Não existe uma única definição aceita da QEE. São padrões para tensão e outros critérios técnicos que podem ser medidos, mas a medida final da qualidade de energia é determinada pelo desempenho e produtividade do equipamento do usuário final.” (DUGAN *et al.*, 2004).

A análise da QEE é fundamental para diagnosticar o funcionamento correto das instalações elétricas, além de conter uma grande influência na gestão de custos, podendo gerar economia e uma maior eficiência dos equipamentos elétricos.

2.1 COMPONENTES SIMÉTRICAS

As componentes simétricas são utilizadas como uma forma de estudo para a resolução de problemas em sistemas trifásicos desequilibrados. Esse método de estudo consiste na decomposição das tensões e correntes em três sequências de fase para que através disso seja possível solucionar problemas relacionados ao sistema elétrico desequilibrado. As componentes simétricas são de extrema importância para a análise de qualidade de energia elétrica, pois através desse método é possível compreender e solucionar problemas relacionados aos desequilíbrios de tensão e corrente.

De acordo com o Teorema de Fortescue (1918), um sistema trifásico desequilibrado pode ser decomposto em três sistemas equilibrados, tais sistemas são: Sequência zero, sequência positiva e sequência negativa.

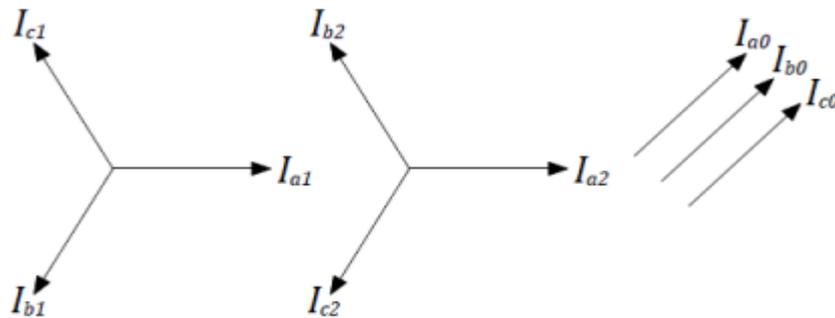
- **Sequência zero (0):** Estão associadas com a terra em condições de desbalanceamento.

Essa sequência consiste em três de fasores iguais tanto de magnitude, quanto de fase angular.

- **Sequência positiva (1):** É a sequência quando o sistema trifásico se encontra equilibrado. Essa sequência consiste em três fasores de magnitude iguais e defasados de 120 graus, além de estarem na mesma sequência do sistema original.
- **Sequência negativa (2):** Está relacionada à quantidade de desbalanceamento entre o sistema elétrico de potência e suas grandezas. Essa sequência é semelhante a sequência positiva, diferenciando na defasagem de 120 graus sendo oposta a sequência original.

Todas as componentes simétricas são definidas através das impedâncias de sequência, tensões de sequência e correntes de sequência. A seguir será apresentado a representação das componentes simétricas.

Figura 1: Representação das componentes simétricas



Fonte: SAADAT (1999)

De acordo com Glover, Sarma e Overbye (2012), uma sequência qualquer pode ser decomposta entre as três sequências de componentes simétricas e são definidas através da seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

No qual,

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1 \angle 120^\circ \quad (2)$$

Através das equações (1) e (2) é possível obter os valores referentes às tensões e correntes de um sistema trifásico qualquer desequilibrado, de acordo com as seguintes equações:

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2 \quad (3)$$

$$V_b = V_0 + \alpha^2 V_1 + \alpha V_2 \quad (4)$$

$$V_c = V_0 + \alpha V_1 + \alpha^2 V_2 \quad (5)$$

Analogamente a obtenção das correntes:

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 \quad (6)$$

$$I_b = I_0 + \alpha^2 I_1 + \alpha I_2 \quad (7)$$

$$I_c = I_0 + \alpha I_1 + \alpha^2 I_2 \quad (8)$$

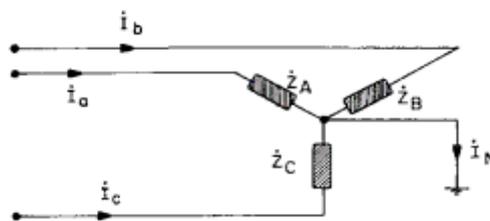
Baseado nas componentes sequenciais, define-se que o sistema trifásico pode ser dividido em três modelos:

- **Sistema trifásico simétrico:** nesse sistema, apenas as componentes de seqüências positiva ou negativa podem possuir valores, ou seja, $V_0 = 0$; $V_1 \neq 0$ ou $V_2 \neq 0$
- **Sistema trifásico puro:** nesse sistema, apenas as componentes de seqüências positiva e negativa podem possuir valores, ou seja, $V_0 = 0$; $V_1 \neq 0$ e $V_2 \neq 0$
- **Sistema trifásico impuro:** nesse sistema, todas as componentes de seqüência possuem valores, ou seja, $V_0 \neq 0$; $V_1 \neq 0$ e $V_2 \neq 0$

Segundo Kindermann (1997), para a análise dos sistemas trifásicos impuros existem três modelos de circuitos, que são:

- Sistema trifásico com Y aterrado:

Figura 2: Sistema trifásico com Y aterrado



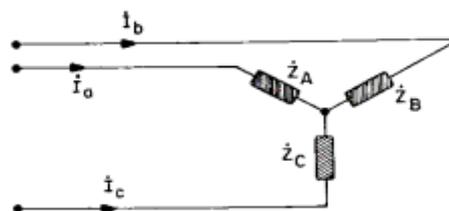
Fonte: KINDERMANN (1997)

Aplicando a Lei de Kirchhoff das correntes, obtém-se:

$$I_a + I_b + I_c = I_n, \text{ logo } I_n = 3I_0, \text{ ou seja, } I_0 = I_n/3$$

- Sistema trifásico com Y não aterrado:

Figura 3: Sistema trifásico com Y não aterrado



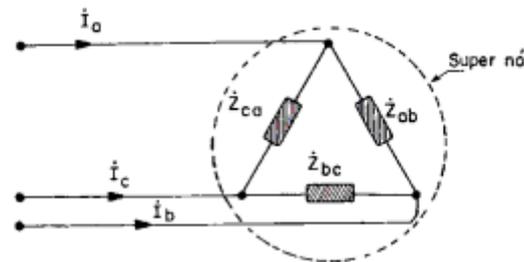
Fonte: KINDERMANN (1997)

Aplicando a Lei de Kirchhoff das correntes, obtém que:

$$I_a + I_b + I_c = 0, \text{ logo, } I_0 = 0$$

- Sistema trifásico em delta:

Figura 4: Sistema trifásico em Δ :



Fonte: KINDERMANN (1997)

Aplicando a Lei de Kirchhoff das correntes, obtém que:

$$I_a + I_b + I_c = 0, \text{ logo, } I_0 = 0$$

Ou seja, só pode existir corrente de sequência zero em um sistema com neutro aterrado (KINDERMANN, 1997).

Como principais consequências dos sistemas trifásicos impuros, têm-se um aumento nas perdas dos sistemas, implicando em gastos financeiros e uma menor eficiência e perda de vida útil dos equipamentos da instalação, fluxo de correntes de sequência zero pelos condutores neutros, ocasionando um deslocamento de neutro das cargas monofásicas.

2.2 TENSÃO E CORRENTE

A tensão elétrica é uma grandeza física que é representada através de uma diferença de potencial elétrico (ddp) entre dois pontos. Essa diferença de potencial elétrico é obtida através de uma força que move os elétrons para uma determinada direção. A quantidade de ddp (expressa em volts) determina quanta energia potencial existe para mover elétrons de um ponto específico para outro, ou seja, a quantidade identifica quanto trabalho potencial poderá ser realizado através de determinado circuito elétrico. Essa grandeza implica diretamente na quantidade de corrente que irá passar na rede e para os equipamentos, bem como a eficiência e segurança das células capacitivas.

A tensão e a corrente elétrica podem ser obtidas através de qualquer fonte de energia que contenha uma ddp, por exemplo: Baterias, pilhas, módulos fotovoltaicos, geradores, entre outros. A ddp para a existência da tensão elétrica pode ser realizada através de duas formas: Tensão contínua ou alternada, a diferença entre elas é que a tensão contínua se mantém constante e não altera sua polaridade em função do tempo, já a tensão alternada varia em função do tempo.

Devido à ddp no circuito, cargas elétricas se movimentam no interior do equipamento, essa movimentação dos elétrons é denominada de corrente elétrica. Da mesma forma que a tensão, a corrente elétrica também poderá existir variando ou não em função do tempo, definindo assim as correntes como Corrente Contínua (CC) e Corrente Alternada (CA).

A corrente elétrica é a passagem de cargas por um material em um determinado tempo, ou seja:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (9)$$

Sendo,

I = Corrente elétrica (A);

ΔQ = Quantidade de cargas (C);

Δt = tempo (s);

A corrente elétrica é de extrema importância principalmente para avaliar a necessidade de dimensionamento de condutores ou dispositivos de proteção. Na figura 5 é apresentado um gráfico indicando o sinal contínuo (em vermelho) e alternado (em azul).

Figura 5: Gráfico de tensão ou corrente contínua e alternada



Fonte: O autor (2022)

2.2.1 Desequilíbrio de tensão

De acordo com a ANEEL (2021a), o desequilíbrio de tensão é a diferença na amplitude entre as três tensões de fase em um determinado sistema trifásico. O desequilíbrio de tensão também pode ocorrer na defasagem de 120° entre as tensões do mesmo sistema. Ou seja, em um sistema elétrico trifásico ideal, tomando a tensão da fase A como referência, o seguinte cenário é obtido:

$$V_a = 1 \angle 0^\circ$$

$$V_b = 1 \angle -120^\circ$$

$$V_c = 1 \angle 120^\circ$$

O fator de desequilíbrio de tensão a ser comparado com os limites é o FD95% (valor que foi superado em apenas 5% dos registros), que representa o valor do Fator de Desequilíbrio de tensão. A equação para o cálculo do indicador é:

$$FD\% = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \quad (10)$$

Como citado no tópico 2.1, os valores de tensões utilizados para a obtenção do FD são as tensões de componentes simétricas de sequência positiva (1) e negativa (2). O surgimento, por alguma razão, de componentes de sequência zero, provoca apenas a assimetria das tensões de fase. As tensões de linha, cujas componentes de sequência zero são sempre nulas, permanecem equilibradas.

De acordo com a ANEEL (2021a), determina-se o valor que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de 1 dia (24 horas), considerando os valores dos indicadores integralizados em intervalos de dez minutos, ao longo de sete dias consecutivos e o valor do indicador corresponde ao maior entre os sete valores obtidos anteriormente, em base diária.

Outra forma de obter o FD é através da seguinte equação:

$$FD\% = 100\% \times \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (11)$$

Sendo β obtido através da seguinte equação:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (12)$$

No qual V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} correspondem às tensões eficazes de linha na frequência fundamental.

Ainda segundo a ANEEL (2021a), o FD deve respeitar o limite máximo de variação, que é referente ao Tabela 1:

Tabela 1: Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão

INDICADOR	Tensão Nominal ($V_n < 2,3 \text{ kV}$)	Tensão Nominal ($2,3 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$)
FD95%	3%	2%

Fonte: ANEEL (2021a)

O desequilíbrio de tensão ocasiona consequências danosas no funcionamento de alguns equipamentos elétricos, comprometendo, na maioria dos casos, o seu desempenho e a sua vida útil.

Segundo um estudo realizado pelo Paulilo (2013), considerando um motor de indução trifásico com potência de 5 HP com 1725 RPM atuando com uma tensão de 230 V e 60Hz, foi obtido o resultado do Tabela 2:

Tabela 2: Efeitos dos desequilíbrios de tensão em motores elétrico

Característica	Desempenho do motor	
Tensão média (V)	230	230
Desequilíbrio de tensão (%)	0,3	2,3
Desequilíbrio de corrente (%)	0,4	17,7
Elevação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	0	30

Fonte: PAULILO (2013)

Ou seja, um pequeno desequilíbrio de tensão (2,3%) pode ocasionar um grande desequilíbrio de corrente (17,7%), e como consequência ocasionar uma elevação de temperatura, esse aumento na temperatura faz com que se tenha uma menor vida útil da isolação dos motores utilizados na instalação elétrica.

De acordo com Rezende e Samesima (2012), o desequilíbrio de tensão possui dois tipos de origem:

- **Estrutural:** As causas estruturais correspondem a qualquer desequilíbrio na rede elétrica, como transformadores, linhas de transmissão e bancos de capacitores desbalanceados
- **Funcionais:** As causas funcionais correspondem a distribuições desiguais de carga nas três fases, seja pela presença de cargas trifásicas desequilibradas, pela má distribuição de cargas monofásicas ou pela variação nos ciclos de demanda de cada fase.

Ainda segundo Rezende e Samesima (2012), o desequilíbrio de tensão pode ocasionar vários problemas, por exemplo: Desperdício de energia devido à existência de maiores perdas provocadas por altas correntes desequilibradas, ou seja, um menor rendimento dos equipamentos utilizados, além de causar uma redução do conjugado disponível para a carga pela existência de componente de campo magnético girante em sentido contrário ao da rotação do motor.

Em grandes indústrias, os problemas relacionados ao desequilíbrio de tensão podem ocasionar grandes problemas aos motores que estão em operação, ocasionando aumento das perdas internas, redução de vida útil, surgimento de torque eletromagnético que age no sentido de frear o motor, alterações no tempo de partida no motor e uma diminuição no fator de potência da instalação. (REZENDE e SAMESIMA, 2012).

Soluções para correção de redes desbalanceadas são, portanto, além de adequações econômicas e operacionais, ações sustentáveis do ponto de vista ambiental. Por outro lado, caso os valores de desbalanceamento sejam

significativos, podem chegar a desligar plantas industriais ou prédios comerciais, pela atuação do relé de proteção específico. (STAROSTA, 2019).

2.2.2 Afundamento de tensão

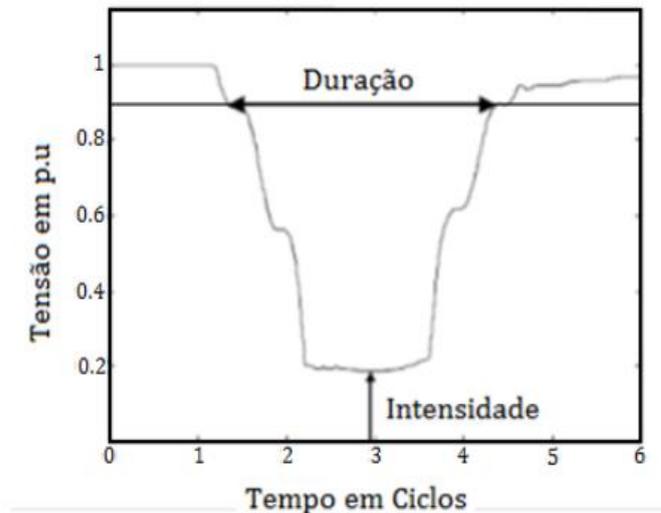
Os afundamentos de tensão estão entre os principais distúrbios na qualidade da energia elétrica, pois são os maiores causadores de danos e prejuízos para consumidores sensíveis.

Segundo Oliveira (2015), as faltas no sistema elétrico são a principal causa dos afundamentos de tensão, sobretudo no sistema da concessionária de energia elétrica, devido à existência de milhares de quilômetros de linhas aéreas de transmissão e de distribuição, sujeitas a fenômenos naturais.

Pessoa (2016) afirma que o afundamento de tensão é definido através de três características: Magnitude, duração e taxa de ocorrência. Para determinação destas características podem ser utilizados alguns métodos, como: Medição, avaliação estocástica e simulações.

Para Oliveira (2018), afundamentos de tensão são principalmente causados por faltas elétricas em um sistema elétrico de potência ou na rede interna dos consumidores. As faltas elétricas estão associadas a alterações climáticas, tais como: Chuva, umidade, temporal, vento forte e descargas atmosféricas, também podem ser oriundas de contato por animais, contaminação de isoladores, poluição, ações do homem e falhas operacionais.

Segundo Carvalho (1997), as principais causas dos afundamentos de tensão são as partidas de motores e as ocorrências de faltas (curtos-circuitos) no sistema elétrico. Os afundamentos de tensão causados por partidas de grandes motores podem ser controlados a partir de processos de partida indireta, onde se destaca a partida com chave estrela-triângulo, com chaves compensadoras, com chaves estáticas e utilizando reostato. Na figura 6 será apresentado um exemplo de afundamento de tensão.

Figura 6: Afundamento de Tensão

Fonte: OLIVEIRA (2015)

As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo inferior a 3 minutos (ANEEL, 2021a). No Quadro 1 está apresentado a classificação das VTCDs.

Quadro 1: – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração – VTCD

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: ANEEL (2021a)

De acordo com a ANEEL (2021a), o Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT) é o evento em que o valor eficaz da tensão do sistema se reduz para valores abaixo de 90% e acima ou igual a 10% da tensão nominal de operação, durante um intervalo superior ou igual a um

ciclo e inferior ou igual a 3 segundos. Já o Afundamento Temporário de Tensão (ATT) é o evento em que o valor eficaz da tensão do sistema se reduz para valores abaixo de 90% e acima ou igual a 10% da tensão nominal de operação, durante um intervalo superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos.

Segundo Maia (2011), o afundamento de tensão é caracterizado principalmente por seis parâmetros, que são:

- Desequilíbrio de tensão;
- Tempo de duração, que pode ser expresso em ciclos ou segundos;
- Ponto na forma de onda da tensão onde inicia o afundamento de tensão, expresso em graus;
- Amplitude da sua tensão residual;
- Ângulo de deslocamento;
- Recuperação da tensão;

Ainda segundo a ANEEL (2021a), o valor da amplitude da VTCD pode ser obtido através da seguinte equação:

$$V_e \% = \frac{V_{res}}{V_{ref}} \times 100\% \quad (13)$$

Sendo o V_{res} correspondente tensão residual do evento de VTCD e V_{ref} corresponde a tensão de referência ambos medidos em Volts.

Através de um estudo realizado por Dardengo, Antônio e Pereira (2011), foram executadas simulações de VTCD considerando três possíveis cenários: Monofásico, bifásico e trifásico. Através dessas simulações foi possível observar que os afundamentos de tensão além de trazerem prejuízos devido à paralisação das máquinas, fazendo com que se tenha um grande prejuízo financeiro, também podem causar correntes três vezes maiores que as correntes em regime permanentes. Essas correntes elevadas podem provocar diversos problemas, como a queima de dispositivos, maior aquecimento das bobinas dos transformadores e motores, fazendo com que sua atuação seja prejudicada e assim reduzir sua vida útil.

2.2.3 Sobretensão

A sobretensão é uma tensão maior do que o projetado para a operação normal do circuito. As sobretensões estão associadas a ressonâncias produzidas pelos diversos componentes do sistema e podem ser excitadas por componentes harmônicos presentes na tensão (VENDRUSCULO e POMILIO, 2003).

A variação de tensão de curta duração não está associada apenas ao afundamento de

tensão, de acordo com a ANEEL (2021a), a VTCD pode ter variações momentâneas e temporárias. A Elevação Momentânea de Tensão (EMT) é o evento em que o valor eficaz da tensão do sistema supera em 10% a tensão nominal de operação, durante um intervalo superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 segundos. Já a Elevação Temporária de Tensão (ETT) é o evento em que o valor eficaz da tensão do sistema supera em 10% o valor da tensão nominal de operação, durante um intervalo superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos. E assim como no afundamento de tensão, a sobretensão pode ser calculada através da equação (13).

De acordo com Carvalho (1997), as sobretensões podem ocorrer no momento de entrada dos bancos de capacitores, quando acontece a saída de cargas e até mesmo devido ao projeto incorreto dos transformadores.

Em grandes indústrias a sobretensão poderá ser um grande vilão na unidade consumidora, pois a atuação de motores em níveis de tensão acima do recomendado implica em um maior aquecimento de seus componentes bem como a redução de vida útil dos mesmos, consequente do estresse elétrico em que se é submetido, além das consequências de se manter o funcionamento nessas condições, ficando também suscetível a perdas de equipamentos ao realizar a partida em níveis de tensão superiores à tensão nominal estabelecida.

De acordo com Carvalho (1997), caso a sobretensão no sistema seja relacionada com a entrada dos bancos de capacitores, essa sobretensão pode ocasionar um aumento na potência fazendo com que se tenha um estufamento dos invólucros das unidades capacitivas, ocasionando uma menor vida útil dos equipamentos e prejuízos financeiros para a instalação elétrica.

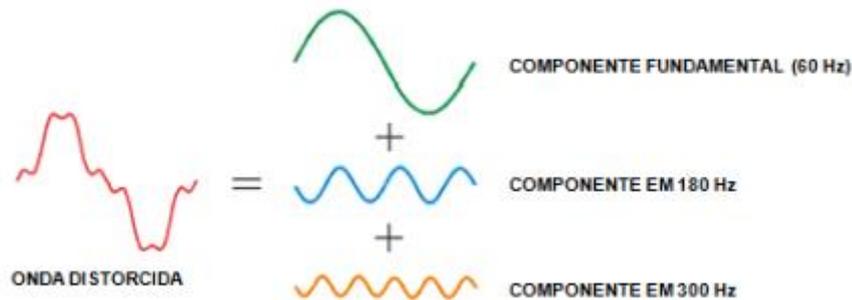
A sobretensão também pode ocasionar grandes problemas relacionados aos transformadores, podendo ocasionar perdas a vazio, perdas em carga, elevação de temperatura do topo do óleo, elevação de temperatura do ponto mais quente, aumento nos níveis de ruído, além de forças de curto circuito (BARBOSA, 2005).

2.2.4 Distorção harmônica

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

De acordo com Neves (2014), uma distorção pode ser representada a partir da série de Fourier, ou seja, uma onda distorcida é a junção da componente fundamental com as componentes ímpares múltiplas da fundamental. Na figura 7 será apresentado uma onda distorcida decomposta através da série de Fourier.

Figura 7: Onda distorcida decomposta através da série de Fourier.



Fonte: NEVES (2014)

Ainda segundo Neves (2014), as ondas harmônicas tem como principal responsável as cargas não lineares, pois a partir do momento no qual se aplica uma tensão senoidal em uma carga não linear irá surgir uma corrente com sua forma de onda distorcida, logo, com essa corrente distorcida fluindo pela instalação elétrica, isso causará várias tensões distorcidas. Ou seja, essas cargas não lineares podem fazer com que as cargas lineares também sofram com as distorções harmônicas.

As distorções harmônicas podem ocasionar diversos problemas, fazendo com que se tenha uma menor vida útil dos equipamentos, ocasionando em prejuízos financeiros e até mesmo a paralisação de toda a instalação elétrica.

De acordo com Brito e Leão (2006), a distorção harmônica de tensão pode ocasionar aquecimento dos equipamentos, perda de eficiência, queda no fator de potência, além de vibrações mecânicas nas máquinas elétricas. Outros fenômenos que podem acontecer devido a Distorção Harmônica de Tensão (DHT) é o aumento do tempo de partida do motor e a oscilação do conjugado do motor, pois, de acordo com Neves (2014), as harmônicas de sequência positiva aceleram o eixo, enquanto as harmônicas de sequência negativa freiam o eixo.

De acordo com a ANEEL (2021a), os indicadores de distorção harmônicas são os apresentados no Quadro 2:

Quadro 2: Indicadores de distorção harmônicas

Descrição	Símbolo
Distorção Harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção Harmônica total de tensão	$DTT\%$
Distorção Harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	$DTT_p\%$
Distorção Harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção Harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Valor do indicador $DTT\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{95\%}$
Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{p,95\%}$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{i,95\%}$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas	$DTT_{3,95\%}$

Fonte: ANEEL (2021a)

As equações para o cálculo dos indicadores $DIT_h\%$, $DTT\%$, $DTT_p\%$, $DTT_i\%$ e $DTT_3\%$ são as seguintes:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (14)$$

Sendo:

V_h = tensão harmônica de ordem h;

h = ordem harmônica individual;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (15)$$

Sendo:

h = todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 (h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, ...);

h_p = máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (16)$$

Sendo:

h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 ($h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, \dots$);

h_i = máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (17)$$

Sendo:

h = todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 ($h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, \dots$);

h_3 = máxima ordem harmônica múltipla de 3;

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida.

A presença dessa deformação da onda senoidal de tensão pode acarretar impactos negativos à instalação elétrica como um todo, tendo como um dos principais fatores o aumento da taxa de aquecimento em cabos, maquinários e transformadores, reduzindo dessa forma a vida útil e comprometendo a segurança elétrica como um todo. A distorção harmônica total de tensão pode ser calculada da seguinte forma:

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (18)$$

Sendo:

h = todas as ordens harmônicas de 2 até h_{max} .

h_{max} = ordem harmônica máxima, conforme classe do equipamento de medição utilizado (classe A ou S);

V_h = tensão harmônica de ordem h ;

V_1 = tensão fundamental medida

Para fins de qualidade de energia, o módulo 08 (Qualidade de Energia Elétrica) do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST

estabelece no Tabela 3 os seguintes parâmetros de análise.

Tabela 3: Limites dos indicadores das distorções harmônicas totais

Indicador	Tensão nominal (V_n)		
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT_p95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT_i95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT₃95%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2021a)

Através desses parâmetros é necessário que o especialista avalie os valores referentes às Distorções harmônicas de tensão e os valores referentes à tensão para que por meio disso possa avaliar as distorções e os possíveis efeitos causados devido às harmônicas.

2.3 POTÊNCIA ATIVA, APARENTE E REATIVA

A Potência elétrica é todo o trabalho realizado por uma determinada corrente em um intervalo específico de tempo. A potência é a componente mais importante do sistema elétrico, pois está relacionada a transmissão de energia de um ponto para outro. Todo equipamento eletrônico possui uma potência nominal, respeitar o limite dessa potência é crucial para evitar danos para o equipamento ou até mesmo toda instalação elétrica.

A potência aparente é a potência total entregue à instalação elétrica, essa potência é composta pelas potências ativa e reativa do sistema. Esta potência indica toda potência entregue ao circuito, ou seja, quantifica a máxima potência que poderia ser gerada ou consumida se a tensão e a corrente estivessem perfeitamente em fase. A potência aparente é o produto dos valores RMS da tensão e da corrente:

$$S = V_{\text{RMS}} \times I_{\text{RMS}} \quad (19)$$

A potência aparente é medida em volt-ampère (VA).

A potência ativa é a potência que realiza o trabalho, ou simplesmente, é a energia consumida que realiza o movimento, o calor, a emissão de luz. A potência ativa do sistema pode ser calculada através da relação entre a potência aparente e o cosseno da diferença de fase entre a tensão e a corrente:

$$P = S \times \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (20)$$

A potência ativa é medida em Watts (W).

A potência reativa é a potência que oscila entre a fonte elétrica e a carga. Essa potência é responsável por gerar o campo magnético entre os extremos da carga. A potência reativa não gera calor e não realiza trabalho, a função da potência reativa é magnetizar as bobinas dos equipamentos elétricos. A potência reativa do sistema pode ser calculada através da relação

entre a potência aparente e o seno da diferença de fase entre a tensão e a corrente:

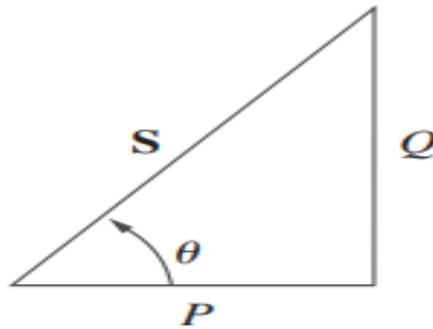
$$Q = S \times \text{sen}(\theta_v - \theta_i) \quad (21)$$

A potência aparente é medida em volt-ampère reativo (VAr).

2.3.1 Correlação entre as potências

Através das propriedades matemáticas, sabe-se que o seno corresponde ao cateto oposto dividido pela hipotenusa e o cosseno corresponde ao cateto adjacente dividido pela hipotenusa, com isso, isolando cosseno na equação (20) e o seno na equação (21) é possível observar que o cateto oposto corresponde a potência reativa, o cateto adjacente corresponde a potência ativa e a potência aparente como a hipotenusa, através disso é possível obter o triângulo das potências. A seguir será apresentado o triângulo das potências.

Figura 8: Triângulo das potências



Fonte: SADIKU e ALEXANDER (2013)

Utilizando o teorema de Pitágoras no triângulo das potências é possível obter uma maior relação entre as potências, com isso, têm se que:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (22)$$

A potência aparente total é representada através do modelo de potência complexa, a potência complexa é o produto do fasor da tensão RMS e o conjugado complexo do fasor de corrente RMS. Através disso é obtido um número complexo, no qual a parte real indica a potência ativa e a parte imaginária indica a potência reativa, com isso, a potência complexa pode ser representada de duas maneiras, sendo em amplitude e graus, onde a amplitude é obtida através da equação (22) e o ângulo obtido através da defasagem entre a corrente e a tensão, como também pode ser representada pela soma da potência ativa com a potência reativa na forma imaginária ($S = P + jQ$).

2.3.2 Fator de potência

O fator de potência (FP) é a razão entre a potência ativa e a potência aparente, indicando a proporção de quanto da potência aparente está de fato sendo utilizada para consumo de energia ativa, quanto mais próximo do valor unitário melhor será o aproveitamento do circuito, caso o valor do FP esteja abaixo do recomendado poderá prejudicar no funcionamento dos equipamentos, além de acarretar em multa financeira para o consumidor.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (23)$$

Ou seja, o fator de potência (FP) é o cosseno da diferença de fase entre tensão e corrente, essa diferença indica que o FP também pode ser representado pelo cosseno do ângulo da impedância, caso a corrente esteja adiantada em relação a tensão, o sistema se caracteriza como capacitivo, caso a corrente esteja defasada em função da tensão (FP adiantado), o sistema é caracterizado como indutivo (FP atrasado). Como a potência ativa é a potência que realiza o trabalho, o fp indica o quanto da potência total do sistema está realmente sendo aproveitada.

De acordo com a ANEEL (2021a), o valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias, utilizando-se a seguintes equação:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (24)$$

De acordo com a resolução normativa 1000 da ANEEL (2021b), O fator de potência de referência (fr), indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92, caso não atenda este requisito terá que pagar a multa referente ao excesso de energia reativa. Ou seja, as unidades consumidoras do grupo B não têm fator de potência de referência e não podem ser cobradas pelo consumo de energia elétrica reativa excedente.

2.3.3 Consequências de um baixo fator de potência

Tudo que exige muita energia reativa acaba sendo os maiores vilões para um fator de potência abaixo do ideal (0,92). Por exemplo, motores trabalhando em vazio durante grande parte do tempo, motores superdimensionados para as respectivas cargas, grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo, lâmpadas de descargas, entre outros.

De acordo com Mamede Filho (2017), um baixo fp demonstra que a energia está sendo mal aproveitada pela unidade consumidora e pode trazer riscos e prejuízos. Um baixo FP indica

um aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia elétrica da concessionária e das unidades consumidoras, podendo sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos, trazendo inconvenientes diversos, tais como:

- Variações de tensão, que podem provocar queima de equipamentos elétricos;
- Condutores aquecidos;
- Perdas de energia;
- Redução do aproveitamento da capacidade de transformadores;
- Multas por excesso de reativo, ou seja, se o fator de potência medido nas instalações do consumidor for inferior a 0,92, será cobrado o custo do consumo reativo excedente, decorrente da diferença entre o valor mínimo permitido e o valor calculado no ciclo. O custo excedente é obtido pela seguinte fórmula:

$$\text{CUSTO}_{\text{exc}} = \text{kWh}_{\text{Medido}} \times \text{Tarifa}_{\text{R\$/kWh}} \times \left(\frac{0,92}{\text{fp}_{\text{medido}}} - 1 \right) \quad (25)$$

2.3.4 Correção do fator de potência

A maioria das cargas industriais são indutivas e operam com um fp baixo e atrasado. Embora não tenha como alterar a características dessas cargas, é possível aumentar o fp através de correções. O processo de aumentar o fp sem alterar a corrente ou a tensão para a carga original é conhecido como correção de fator de potência (SADIKU e ALEXANDER, 2013).

A correção do fp normalmente é realizada adicionando um elemento reativo (Capacitor) em paralelo com a carga do sistema com o objetivo de tornar o fp mais próximo do valor unitário.

Para correção de fp existem algumas providências básicas que podem aumentar o fp fazendo com que se tenha menos prejuízos financeiros e um melhor funcionamento dos equipamentos elétricos, por exemplo, dimensionar corretamente motores e equipamentos, utilizar e operar os equipamentos da forma correta e respeitando os limites indicados pelo fornecedor, além da instalação de bancos de capacitores.

É de extrema importância tanto para a concessionária quanto para o consumidor minimizar o nível da corrente e manter o fp o mais próximo do valor unitário. Ao escolher o valor adequado do capacitor *shunt* para a instalação elétrica, a defasagem entre a tensão e a corrente irá minimizar e chegar próximo ao valor unitário.

Os capacitores são equipamentos capazes de armazenar a energia reativa e fornecer aos equipamentos essa energia necessária ao seu funcionamento.

Uma forma econômica e racional de obter-se a energia reativa necessária para a operação dos equipamentos é a instalação de bancos de capacitores próximo a esses equipamentos. A instalação de capacitores, porém, deve ser precedida de medidas operacionais que levem à diminuição da necessidade de reativo, como o desligamento de motores e outras cargas indutivas ociosas ou superdimensionadas.

O objetivo do dimensionamento do banco de capacitores é conseguir um maior aumento do fp sem alterar a potência ativa atual do sistema, ou seja, a potência será:

$$P = S_{\text{antigo}} \times \text{Cos}(\Theta_{\text{antigo}}) \quad (26)$$

com isso, têm-se que:

$$Q_{\text{antigo}} = S_{\text{antigo}} \times \text{sen}(\Theta_{\text{antigo}}) = P \times \text{tg}(\Theta_{\text{antigo}}) \quad (27)$$

$$P = S_{\text{novo}} \times \text{Cos}(\Theta_{\text{novo}}) \quad (28)$$

com isso, têm-se que:

$$Q_{\text{novo}} = S_{\text{novo}} \times \text{sen}(\Theta_{\text{novo}}) = P \times \text{tg}(\Theta_{\text{novo}}) \quad (29)$$

Toda a redução da energia reativa ocorre devido a inserção do capacitor *shunt*, de acordo com as equações (27) e (29), da seguinte forma:

$$Q_c = P \times \text{tg}(\Theta_{\text{antigo}}) - P \times \text{tg}(\Theta_{\text{novo}}) = P \times (\text{tg}(\Theta_{\text{antigo}}) - \text{tg}(\Theta_{\text{novo}})) \quad (30)$$

De acordo com Sadiku e Alexander (2013), o capacitor *shunt* também pode ser obtido da seguinte forma:

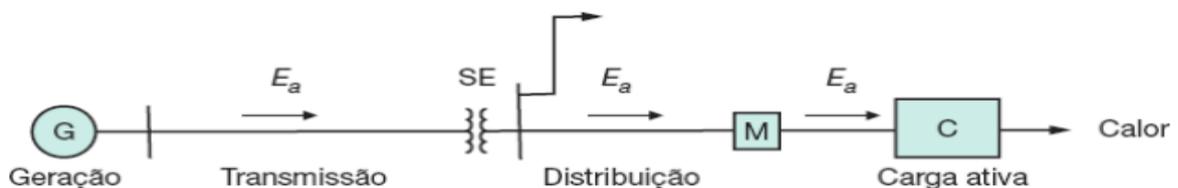
$$Q_c = \frac{V_{\text{RMS}}^2}{X_c} = w \times C \times V_{\text{RMS}}^2 \quad (31)$$

com isso, têm-se que o capacitor *shunt* será:

$$C = \frac{Q_c}{w \times V_{\text{RMS}}^2} = \frac{P \times (\text{tg}(\Theta_{\text{antigo}}) - \text{tg}(\Theta_{\text{novo}}))}{w \times V_{\text{RMS}}^2} \quad (32)$$

Antes da correção do fp o diagrama da unidade consumidora é apresentado na Figura 9.

Figura 9: Unidade consumidora antes da correção do fp

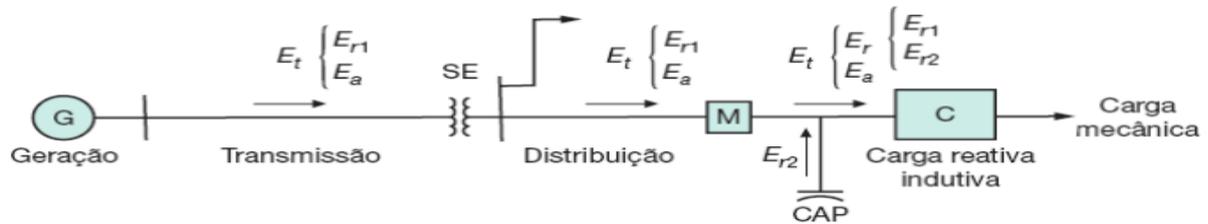


Fonte: MAMEDE FILHO (2017)

Com os capacitores funcionando como fonte de energia reativa, a circulação dessa energia fica limitada aos pontos onde ela é efetivamente necessária, reduzindo perdas, melhorando condições operacionais e liberando capacidade em transformadores e condutores

para atendimento a novas cargas, tanto nas instalações consumidoras como nos sistemas elétricos das concessionárias. Na Figura 10 têm-se o diagrama da unidade consumidora após a instalação do capacitor *shunt*.

Figura 10: Unidade consumidora após a correção do fp



Fonte: MAMEDE FILHO (2017)

Após a correção do fp é possível obter uma menor variação de tensão, um menor aquecimento dos condutores, perdas de energia reduzidas, transformadores com uma eficiência melhor, aumento da vida útil dos equipamentos, fim da cobrança do consumo de energia reativa excedente, entre outros benefícios.

2.4 ANALISADOR DE ENERGIA

Um analisador de energia é um equipamento utilizado para medir o fluxo de potência (W) em um sistema elétrico. Isto se refere à taxa de transferência elétrica entre uma fonte de energia e um dissipador.

Os analisadores podem ser empregados para medir o fluxo de energia em sistemas de corrente alternada ou contínua. Com eles, torna-se possível fazer a detecção da corrente e da tensão do sistema. O cálculo do consumo e da demanda de energia elétrica também pode ser realizado por meio do analisador de energia. Esses números podem ser obtidos em relação a dias, semanas ou meses. O monitoramento da rede pode ser feito em tempo real, o que impede que os problemas na rede passem despercebidos.

Ao conseguir captar todos esses dados, os analisadores oferecem a possibilidade de identificar anormalidades no fornecimento de energia. Com esses dados em mãos, pode-se buscar soluções para esses problemas e evitar a suspensão do fornecimento de energia.

Com um analisador de energia, é possível evitar acidentes e prejuízos ocasionados por falhas e anormalidades, além de ser um instrumento crucial para obter uma maior economia na unidade consumidora. Por isso, essa não é uma despesa, mas um investimento que garante mais recursos.

2.4.1 Equipamento utilizado

Para o determinado estudo, foi utilizado um analisador de energia para comparação fiscal da Primata do modelo P53. O Analisador de Energia para Comparação Fiscal P53 foi projetado para realizar medições em sistemas de distribuição de energia elétrica. É a segunda geração de analisadores desenvolvidos pela PRIMATA ELETRÔNICA, visando a atender às demandas das concessionárias e permissionárias de energia viabilizando o combate às perdas comerciais sofridas e medições fiscais em medidores de energia elétrica instalados nas unidades consumidoras.

O Analisador P53 possui unidade de armazenagem de dados removível em Pendrive, fornecido com memória de 8GB, além de comunicação via portas USB, display e teclado que permitem realizar a programação diretamente no equipamento. Os dados medidos e registrados podem ser monitorados de forma remota e em tempo real.

Esse equipamento possui quatro garras golfinho (CAT III 1000V / 32A), sendo três para fase e uma para neutro, possui Transformadores de Corrente (TCs), cabos para conexões de tensão e corrente, além dos equipamentos utilizados para a realização da análise de energia e armazenamento de dados. Na Figura 11 têm-se o analisador de energia primata P53.

Figura 11: Analisador de Energia Primata P53



Fonte: Primata eletrônica (2021)

O equipamento pode ser utilizado para medição e fiscalização da energia elétrica, gestão de modalidade tarifária, comparação de energia elétrica (consumido e injetado na rede), levantamento da curva de carga de consumidores ou transformações, gráfico de demandas, entre outros.

As grandezas elétricas obtidas através desse equipamento são:

- Tensão RMS obtida entre fase-fase e fase-neutro, obtendo os valores máximos, mínimos e médios durante a atuação do analisador.
- Corrente RMS obtendo os valores máximos, mínimos e médios durante a atuação do analisador.
- Corrente de neutro
- Potências Ativas, Reativas e Aparentes
- Fator de potência
- Frequência
- Distorção harmônica total e individual
- Demanda

2.5 ANÁLISE TARIFÁRIA

Unidades consumidoras de média e alta tensão várias vezes possuem um valor mais alto referente a fatura de energia e procuram meios para economizar na energia elétrica e ao mesmo tempo evitar a perda de produção de alguns equipamentos, porém, nem sempre a solução é simplesmente reduzir o consumo de energia elétrica, mas sim analisar como está sendo o uso da energia, para o melhor desenvolvimento da energia elétrica e sem custos por multas ou excesso de contratação da energia, ou seja, é necessário a realização do estudo referente a análise tarifária.

A análise tarifária é o estudo realizado sobre a fatura de energia da unidade consumidora, sendo possível através deste estudo obter todas as contratações referentes a tal empreendimento. A análise tarifária é a análise dos parâmetros de tarifação para verificar se estão de fato de acordo com as necessidades de determinado estabelecimento ou se podem ser otimizados para uma estrutura mais conveniente financeiramente.

Entre as unidades consumidoras é possível ser dividido em dois grupos tarifários, que são:

- **Grupo B:** É o grupo composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia (O consumidor paga por kWh consumido) e subdividido nos seguintes subgrupos:
 1. Subgrupo B1: Residencial;
 2. Subgrupo B2: Rural;
 3. Subgrupo B3: Demais classes;
 4. Subgrupo B4: Iluminação pública;

- **Grupo A:** É o grupo composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica (Além de pagar pelo consumo efetivo (kWh), você também paga pela demanda contratada (kW)) e subdividido nos seguintes subgrupos:
 1. Subgrupo A1: Tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
 2. Subgrupo A2: Tensão de fornecimento de 88 kV até 138 kV;
 3. Subgrupo A3: Tensão de fornecimento de 69 kV;
 4. Subgrupo A3a: Tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
 5. Subgrupo A4: Tensão de fornecimento de 2,3 kV até 25 kV;
 6. Subgrupo AS: Tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição

2.5.1 Tarifa

A tarifa é o valor financeiro estabelecido pela ANEEL, fixado em R\$ (reais) por cada unidade que possui energia elétrica ativa, ou seja, é o preço a ser pago pelo consumidor. A tarifa é divulgada mensalmente nas faturas de energia elétrica sendo dividido em Tarifa de Energia (TE) que é o valor da energia consumida na unidade consumidora mensalmente determinado pela ANEEL, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) que é o valor financeiro único determinado pela ANEEL, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do sistema. Essa tarifa cobre os custos com as instalações, equipamentos e componentes da rede de distribuição utilizados para levar a energia com qualidade ao consumidor final.

2.5.2 Demanda

De acordo com a ANEEL (2021b), a demanda elétrica é a quantidade de potência em kW que o equipamento requer da rede elétrica para funcionar, ou seja, a demanda de energia de uma empresa é a quantidade de potência em kW que o local precisa para que funcionem todos os seus componentes.

Ainda segundo a ANEEL (2021b), a demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição durante um intervalo de tempo especificado.

Entre as unidades consumidoras enquadradas no grupo A que possuem transformador

maior que 112,5 kVA é obrigatório a contratação de demanda, que é a potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora no ponto de conexão, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, em kW (quilowatts).

Assim como o baixo fator de potência pode ocasionar prejuízos financeiros, a contratação de demanda projetada de forma equivocada pode causar multas relacionadas a ultrapassagem de demanda (existe uma tolerância de 5% para ultrapassagem da demanda contratada.), e caso a demanda seja superdimensionada, a unidade consumidora não pagará multas, porém, irá pagar um valor acima do necessário para a unidade, pois a demanda será paga independente da utilização, com isso, causando prejuízos financeiros para instalação. É de extrema importância o planejamento da contratação de demanda. A demanda mínima de contratação é de 30 kW.

A demanda considerada pela concessionária é a maior demanda de potência ativa injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição pela carga ou geração. É verificada por medição realizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento, em kW.

A contratação de demanda é necessária para que a concessionária tenha um controle de toda a operação do sistema elétrico, a concessionária precisa estar preparada para atender todas as unidades consumidoras, pois essa operação possui toda uma infraestrutura a ser dimensionada e instalada. Por isso existem multas por ultrapassagem de demanda, pois essa ultrapassagem pode danificar equipamentos, e a rede elétrica sofrer danos já que não foi preparada para este dimensionamento.

2.5.3 Modalidade tarifária

A modalidade tarifária é um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência, definidas de acordo com o grupo tarifário em que o consumidor está classificado.

É de extrema importância conhecer as diferenças entre as modalidades e o impacto delas no perfil de consumo da empresa. Dessa forma, é possível avaliar uma mudança de enquadramento, ou de sua própria operação, realocando o uso da energia ao longo do dia, quando viável, para otimizar a fatura de energia elétrica.

De acordo com a ANEEL, as modalidades tarifárias são definidas de acordo com o consumo e demanda de potência da unidade consumidora. Além de valores relativos ao horário de ponta (período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, não se aplica aos sábados, domingos e feriados nacionais); fora de

ponta (período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta); e intermediário (período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao horário de ponta).

Unidades consumidoras pertencentes ao grupo B podem optar entre duas modalidades tarifárias, que são:

- **Tarifa convencional:** Tarifa única de consumo de energia, independente das horas de utilização do dia;
- **Tarifa Branca:** A modalidade tarifária branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.

Unidades consumidoras pertencentes ao grupo A podem optar entre duas modalidades tarifárias, que são:

- **Modalidade tarifária horário Azul:** Na modalidade Azul, são aplicadas tarifas diferenciadas de consumo e de demanda de acordo com o horário de utilização da energia no dia;
- **Modalidade tarifária horário Verde:** Modalidade caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia, e uma única tarifa de demanda de potência.

As unidades consumidoras do grupo A que possuem transformador de até 112,5 kVA podem ser faturadas da mesma forma que o grupo B, ou seja, sem a necessidade de contratação de demanda e sem precisar se preocupar com o horário de ponta, porém, diferentemente do grupo B, essas unidades consumidoras também são multadas devido ao excesso de energia reativa injetada na rede elétrica.

2.6 MERCADO LIVRE DE ENERGIA

O Mercado livre de energia é um ambiente competitivo de negociação de energia elétrica em que os participantes podem negociar livremente todas as condições comerciais como fornecedor, preço, quantidade de energia contratada, período de suprimento, pagamento, entre outras.

A ANEEL é responsável por instituir as regras do mercado de energia elétrica. A comercialização de energia elétrica pode acontecer de forma livre ou com preços e quantidades definidos ou limitados pelo Poder Público. No âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN), as duas formas são operacionalizadas pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) que deve seguir os regulamentos estabelecidos pela ANEEL (ANEEL, 2018). Segundo a ANEEL (2018), existem algumas normas já estabelecidas, tais normas são: Convenção de

Comercialização de Energia Elétrica, regras de comercialização a respeito da energia elétrica, liquidação das operações de compra e venda, desligamento de agentes e impugnação de atos praticados na CCEE, garantias financeiras e a efetivação de registros de contratos de compra e venda de energia elétrica, além do controle dos contratos de comercialização de energia elétrica.

Segundo a ANEEL, a CCEE é a pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, que atua sob a autorização do poder concedente a regulação e fiscalização da ANEEL, e segundo a convenção de comercialização. A CCEE foi criada após mudanças do novo modelo do setor elétrico, substituindo o Mercado Atacadista de Energia (MAE). A CCEE iniciou em 2004 após a publicação da lei 10.848 e dos decretos 5.163/04 e 5.177/04 (JANUÁRIO, 2007). A CCEE é responsável pela realização de leilões de energia, pelo cálculo e divulgação do PLD (Preço de Liquidação das Diferenças). Entre as principais atividades da CCEE estão a contabilização dos mercados livres e regulados, além dos registros dos contratos de comercialização de energia elétrica. Ainda segundo Januário (2007), a CCEE é composta por categorias de Agentes, que são: Agentes de Geração, distribuição e comercialização.

Os ambientes de contratação de energia são conhecidos como Ambiente de Contratação Livre (ACL) e Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

O Mercado Livre de Energia é o ambiente no qual os Agentes dos setores podem negociar os contratos de forma bilateral, ou seja, completamente livre a respeito de compra e venda de energia com condições de volume, preço e período (RIZKALLA, 2018). Atuam no Mercado Livre ofertando energia as geradoras, autoprodutores, geradores independentes e as comercializadoras. Atuam comprando energia os consumidores livres e os consumidores especiais.

O Mercado Livre de Energia é uma opção bastante econômica para aquisição, pois o fornecedor é livre na negociação sobre valor e prazo, de forma similar a aquisição de geração por energia solar, um mesmo contrato pode ser útil para várias unidades (desde que estejam no mesmo CPF/CNPJ). Mesmo sendo uma opção bastante viável, o Mercado Livre de Energia é uma opção apenas para empresas/ indústrias, pois está relacionada a contratação da demanda. A demanda mínima para se tornar um consumidor do Mercado Livre é de 500 kW.

Segundo a ANEEL (2015), o ACR é uma operação de compra e venda de energia entre os agentes vendedores e de distribuição e são precedidas de licitação, conforme as regras de comercialização. O ACL é o popularmente conhecido como Mercado Livre de Energia já definido anteriormente.

Ainda de acordo com a ANEEL (2015), a diferença entre esses ambientes de contratação, é que no ACR os valores já são estabelecidos pela própria ANEEL, já no ACL, o

consumidor pode negociar em relação ao preço, o prazo e até mesmo de forma direta com a comercializadora a respeito do volume

A CCEE é composta por Agentes, e dentre esses Agentes existem os Agentes comercializadores de energia que atuam reduzindo os custos de transação, fazendo o encontro eficiente entre geradores e consumidores. Os comercializadores viabilizam preços, assumem os riscos dos consumidores e produtores, além de oferecerem liquidez ao mercado, viabilizando a competição. Segundo a ANEEL (2015), o Agente comercializador de energia é a pessoa jurídica especialmente constituída para exercer a atividade de comercialização de energia elétrica, que compreende a compra e a venda de energia elétrica para concessionárias, autorizados ou a consumidores que tenham livre opção de escolha do fornecedor.

2.7 GERADOR DE ENERGIA

Um gerador de energia elétrica é qualquer máquina que usa energia mecânica, química, solar ou de qualquer outro tipo para produzir energia elétrica. Ou seja, é um sistema de transformação de uma energia em outra. O seu funcionamento vai depender do tipo de fonte de energia. Nos geradores que utilizam combustão, é necessário o diesel ou gasolina, que quando queimado, gera a energia mecânica para movimentar um ímã, que produz um campo magnético que gera energia elétrica. Os geradores a diesel são os geradores mais versáteis e de maiores potências, são os geradores mais usados em locais onde não pode haver interrupção de abastecimento de energia.

O gerador de energia elétrica é de extrema importância em qualquer segmento da indústria, como também em outros contextos como operações logísticas e construção civil, isso porque ficar sem energia impacta negativamente no desenvolvimento da produção, de tarefas ou processos do cotidiano de cada um dos contextos que dependem da energia elétrica, fazendo com que ocorra grandes prejuízos referentes a produção.

Os geradores são equipamentos utilizados para suprir a energia elétrica, assim tendo uma grande utilidade em locais onde não há energia elétrica ou em locais cujo fornecimento da concessionária é instável, eles garantem uma entrada de emergência em casos de falta de energia pela concessionária, além de ser importante para a realização de estudos referentes à gestão de modalidade tarifária, pois o gerador poderá suprir o consumo de energia elétrica da unidade consumidora durante o horário de ponta da concessionária.

3 RESULTADOS DA ATUAÇÃO DO ANALISADOR DE ENERGIA

O estudo da análise de QEE foi realizado em uma unidade consumidora de média tensão com uma potência aparente de 82,65 kVA enquadrada na agropecuária, localizada no estado de Alagoas e foi executado em um período de seis dias. Período utilizado para se ter uma base do perfil de consumo do local, e com isso, traçar uma base das grandezas da unidade consumidora. O equipamento utilizado para a realização do estudo foi analisador de qualidade de energia P53, classe B de exatidão da marca Primata Tecnologia Eletrônica.

Todo o estudo foi realizado seguindo como base a ANEEL (2021a), tendo como principal objetivo a análise comparativa das grandezas elétricas da instalação da unidade consumidora em questão. Na Figura 12 têm-se o analisador de energia instalado no quadro geral da unidade consumidora.

Figura 12: Analisador de energia instalado no quadro geral da unidade consumidora



Fonte: O autor (2022)

Após a instalação do analisador de energia foi possível observar as grandezas elétricas do sistema em tempo real e com isso, observar o comportamento do sistema elétrico da unidade consumidora durante seis dias e sugerir melhorias para um funcionamento mais eficiente do sistema.

A seguir serão apresentados os resultados em tabelas e seus respectivos gráficos relacionadas a tensão da unidade consumidora. Sendo nos gráficos, vermelho a tensão na fase A, preto a fase B e azul a fase C, referentes as tensões de fase. Já para as tensões de linha, o

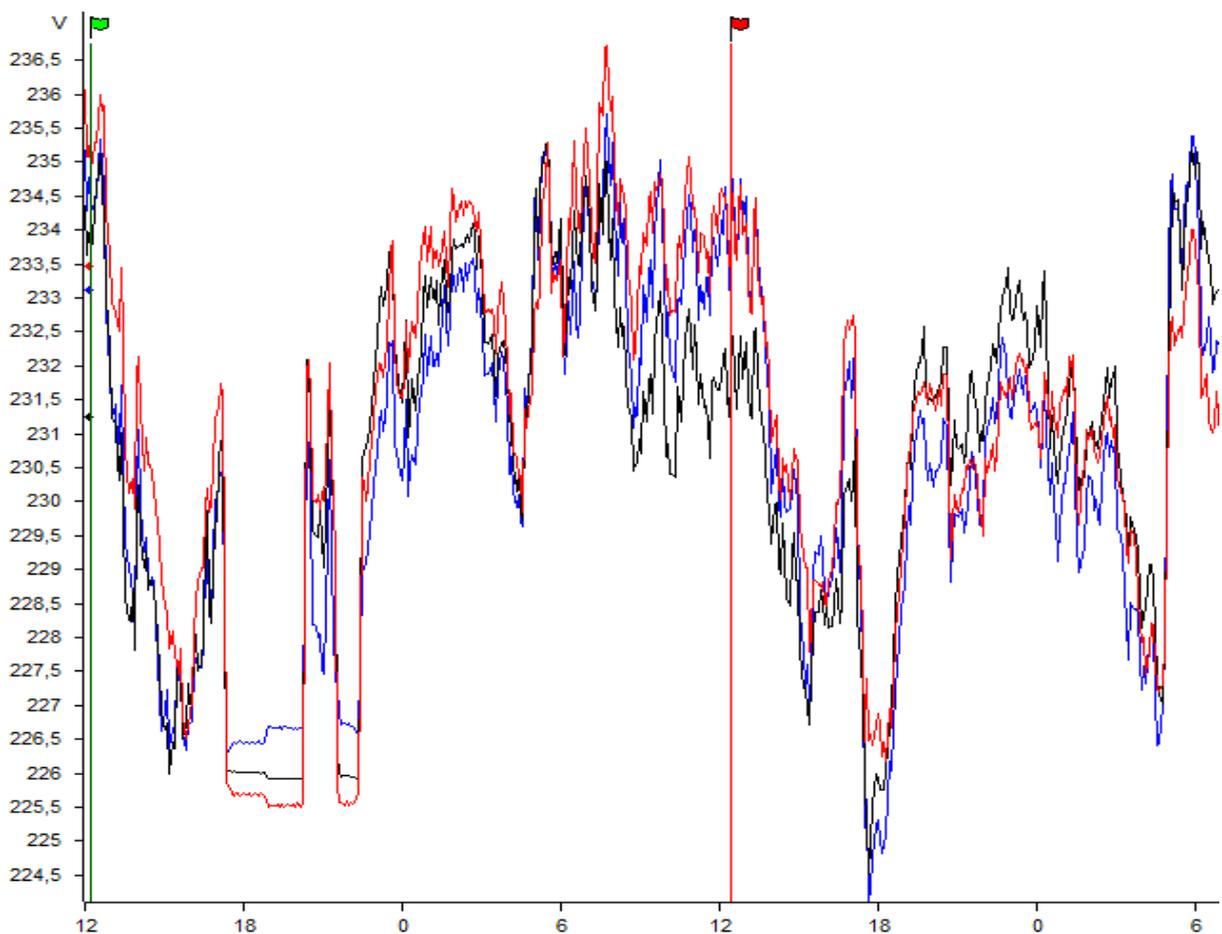
vermelho indica a tensão de linha AB, preto a tensão de linha BC e azul a tensão de linha CA. A bandeira verde indica o início do dia e a bandeira vermelha o final do dia no qual está sendo referido nas tabelas.

Tabela 4: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no primeiro dia

Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	236,1	234,4	235,2	407,4	406,6	408,1
2	230,3	228,7	228,6	397,5	396	397,5
4	226,8	227	226,7	392,5	392,3	392,2
6	225,7	226	226,4	391,2	391,9	391,6
8	225,6	225,9	226	391	391,9	391,6
10	225,6	226	226,7	391	392	391,7
12	231,8	232	230,8	401,7	400,8	400,6
14	234,5	233,9	233,3	405,6	404,6	405,1
16	232,9	232,4	232,1	403	402,2	402,7
18	233,6	234,2	233,9	405,1	405,4	404,9
20	235,8	233,6	234,6	406,5	405,5	407,4
22	233,3	230,9	232,8	402	401,5	403,6

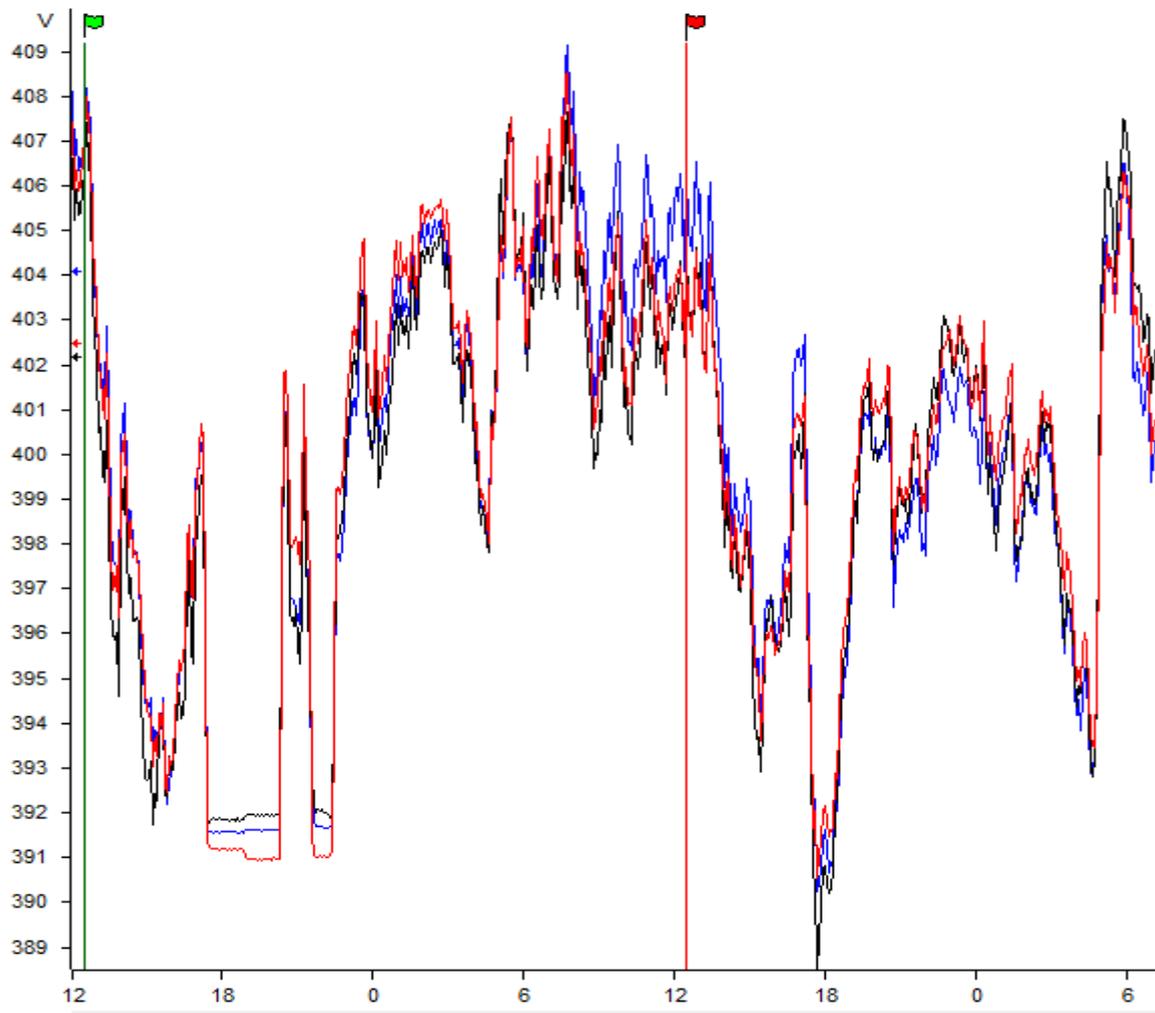
Fonte: O autor (2022)

Figura 13: Gráfico das tensões de fase do primeiro dia



Fonte: O autor (2022)

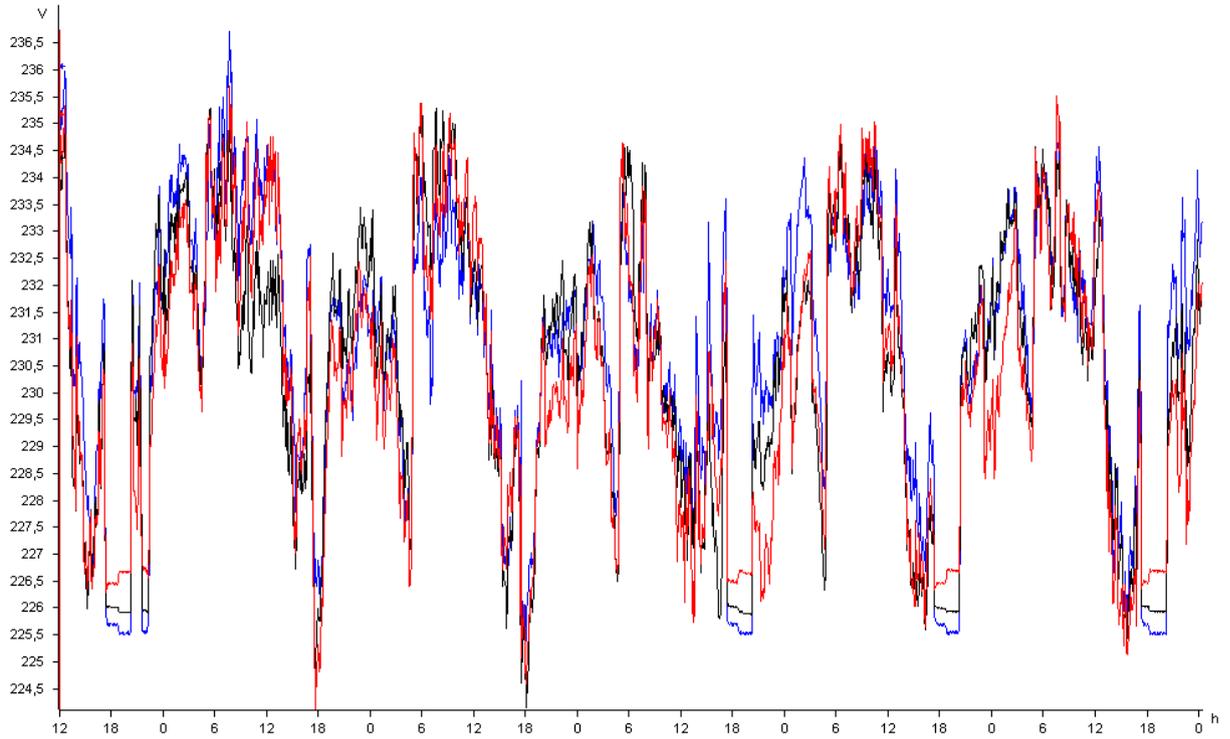
Figura 14: Gráfico das tensões de linha do primeiro dia



Fonte: O autor (2022)

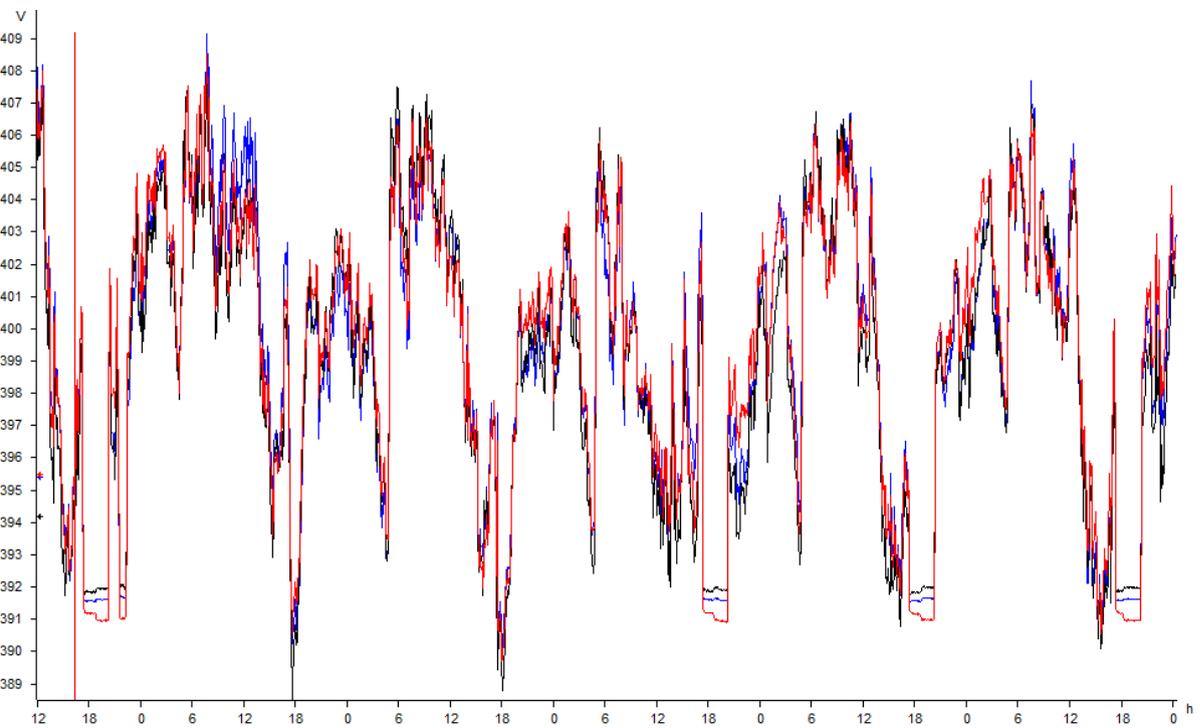
Nas Figuras 15 e 16 serão mostrados os gráfico das tensões de fase e de linha, respectivamente, durante toda a atuação do analisador de energia. Os gráficos e tabelas de tensões dos demais dias serão apresentados no Apêndice A.

Figura 15: Gráfico das tensões de fase durante toda atuação do analisador de energia



Fonte: O autor (2022)

Figura 16: Gráfico das tensões de linha durante toda atuação do analisador de energia



Fonte: O autor (2022)

Analisando os resultados das tensões obtidas pelo analisador de energia é possível observar por meio das tabelas e dos gráficos que as tensões encontram-se equilibradas durante

toda a atuação do analisador, com isso, não é necessário uma atuação de melhoria de QEE referentes ao desequilíbrio de tensão. Tendo como base a Tabela 1 e utilizando as equações (11) e (12) é possível concluir essa análise através dos resultados obtidos referentes a frequência relativa por faixa de desequilíbrio de tensão (FD). Na Tabela 5 será apresentado a frequência relativa por faixa de desequilíbrio de tensão.

Tabela 5: Frequência relativa por faixa de desequilíbrio de tensão (FD)

Desequilíbrio de Tensão (FD)	Frequência relativa
0 – 0,2%	97%
0,2% - 2%	3%
Maior ou igual a 2%	0%
Total	100%

Fonte: O autor (2022)

Estando dessa forma dentro do limite de 2% para o FD estabelecido com base na tensão nominal da unidade consumidora.

Em contrapartida, tanto por meio das tabelas quanto dos gráficos, é possível observar um valor de tensão acima do valor de referência durante todo o tempo. Tomando como base a ANEEL (2021a) temos os limites aceitáveis de fornecimento de tensão apresentados na Tabela 6. Na Tabela 6 será apresentado um quadro referente a faixa etária de tensão indicando a qualidade da grandeza.

Tabela 6: Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (380/220)

Tensão de atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (V)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403) /$ $(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) /$ $(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Fonte: ANEEL (2021a)

Através da atuação do analisador é possível observar na Tabela 7 durante quanto tempo as tensões encontram-se fora dos limites adequados.

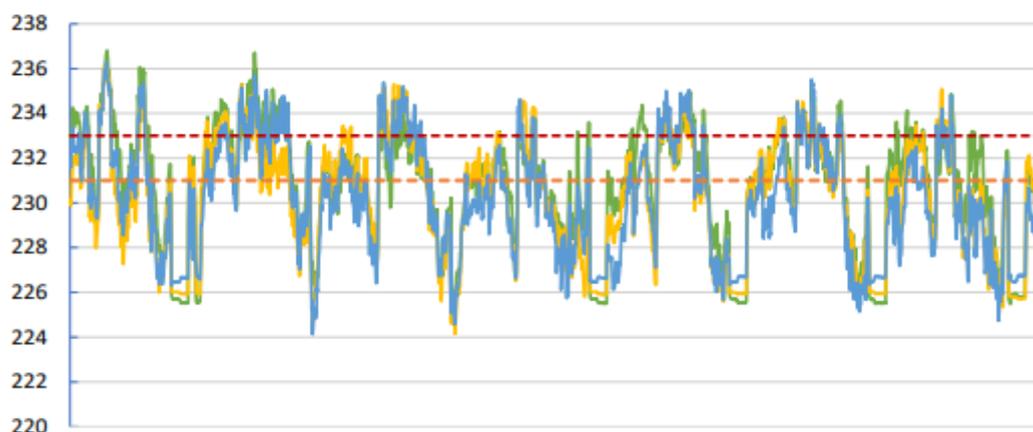
Tabela 7: Porcentagem de frequência da tensão, por fase, em cada classificação de tensão

Tensão de fase	Adequada	Precária	Crítica
A	46%	33%	21%
B	55%	29%	16%
C	61%	22%	17%

Fonte: O autor (2022)

Ao plotar o gráfico das tensões de fase inserindo as referências das tensões adequadas, precárias e críticas, é possível visualizar o comportamento das tensões de fase (Figura 17).

Figura 17: Tensão por fase (V) e limite da tensão máxima crítica durante a atuação do analisador de energia



Fonte: O autor (2022)

Sendo a fase A na cor verde, fase B na cor amarela e fase C na cor azul, além da linha tracejada amarela indicando o limite de tensão adequado, entre as linhas indicando as tensões em momentos precários e acima da linha tracejada vermelha indicando as tensões em momentos críticos.

Por conta da tensão elevada que se mantém na maior parte do tempo, é necessário analisar a possibilidade de reduzir a relação do tape do transformador de modo a diminuir a tensão fornecida pelo mesmo.

A seguir serão apresentados os resultados em tabelas e seus respectivos gráficos relacionadas as às correntes da unidade consumidora no primeiro dia de atuação do analisador. Através dos gráficos referente as correntes, têm-se as correntes sendo verde para a fase A, vermelho fase B, preto fase C e azul a corrente de neutro.

Tabela 8: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no primeiro dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	67,6	63,27	64,73	0,332
2	83,94	77,94	78,22	0,983
4	71,09	69,16	68,38	0,587
6	75,49	71,44	72,53	3,321
8	77,44	70,99	72,72	7,273
10	69,16	62,44	64,04	7,128
12	71	64,29	62,94	6,54
14	64,99	57,53	57,47	6,544
16	63,79	57,29	57,66	6,215
18	63,78	63,46	62,76	0,521
20	66,24	61,52	63,49	0,414
22	70,7	65,56	68,95	0,734

Fonte: O autor (2022)

Através dos resultados obtidos pelo analisador de energia é possível observar na Tabela 9 os valores máximos, médios e mínimos referentes as correntes da unidade consumidora.

Tabela 9: Valores máximo, médio e mínimo das correntes durante a atuação do analisador

Corrente	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
Média	77,51	71,54	72,35	2,54
Máxima	95,64	92,61	93,85	8,47
Mínima	11,14	5,27	5,66	0
Amplitude	84,5	87,34	88,19	0,02

Fonte: O autor (2022)

Ao analisar os valores da corrente e seu comportamento, não foram encontradas divergências significativas entre as fases, bem como distúrbios relevantes para o funcionamento do empreendimento.

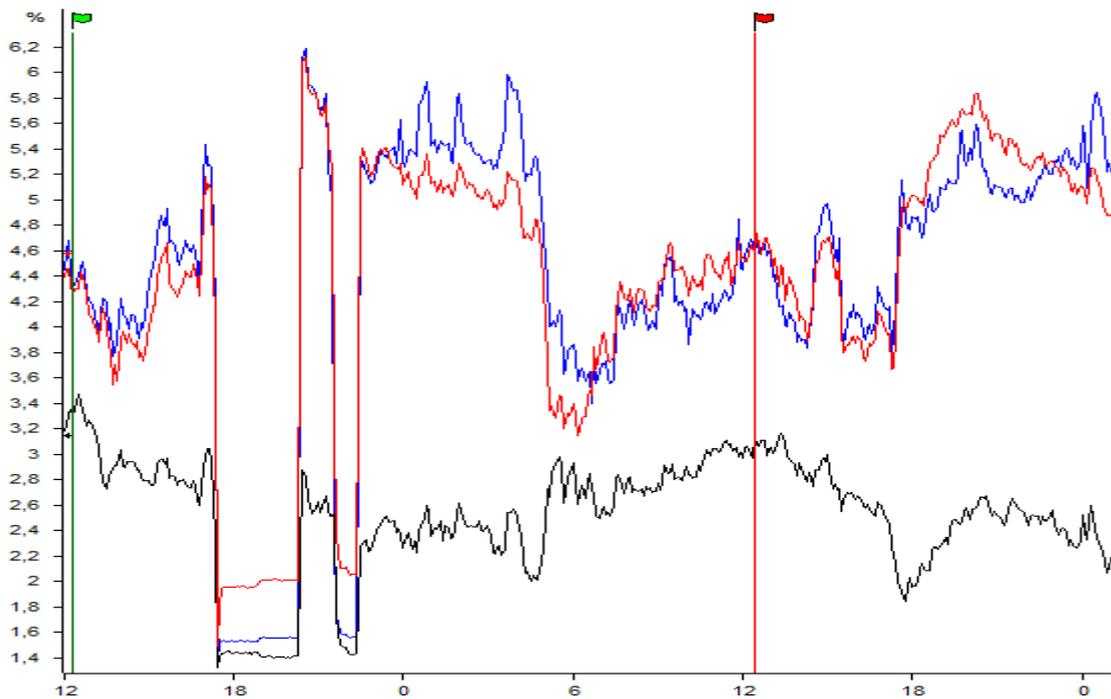
A seguir serão apresentados os resultados em tabela e seu respectivo gráfico relacionado às distorções harmônicas de tensão da unidade consumidora durante o primeiro dia de atuação do analisador. Sendo vermelho fase A, preto fase B e vermelho azul C.

Tabela 10: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no primeiro dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,397	3,187	4,451
2	3,892	3,036	4,225
4	4,278	2,82	4,644
6	1,953	1,449	1,532
8	2,013	1,409	1,557
10	2,11	1,481	1,582
12	5,288	2,367	5,627
14	5,283	2,614	5,837
16	5,156	2,57	5,851
18	3,31	2,846	3,824
20	4,204	2,801	4,149
22	4,416	2,856	4,128

Fonte: O autor (2022)

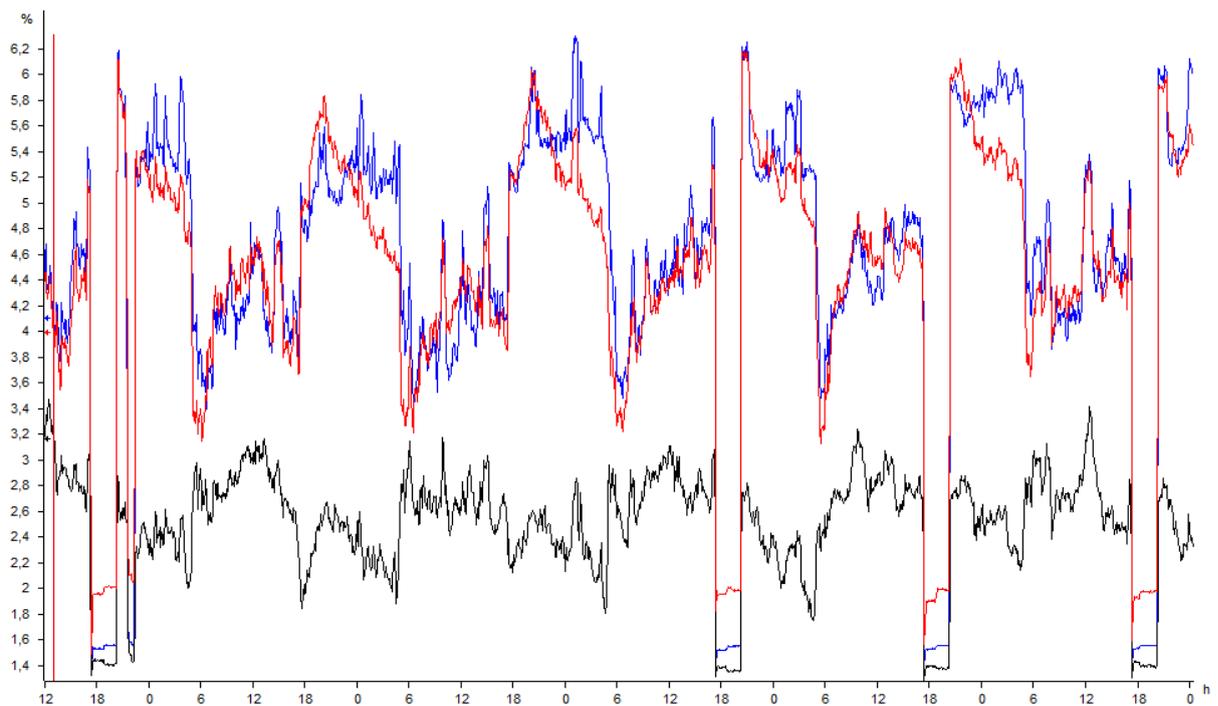
Figura 20: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do primeiro dia



Fonte: O autor (2022)

Na Figura 21 é mostrado o gráfico das distorções harmônicas de tensão durante toda a atuação do analisador de energia. Os gráficos e tabelas das distorções harmônicas de tensão dos demais dias serão apresentados no Apêndice A.

Figura 21: Distorções harmônicas de tensão durante toda atuação do analisador



Fonte: O autor (2022)

Através dos resultados obtidos pelo analisador de energia é possível observar na Tabela 11 os valores máximos, médios e mínimos de cada fase referentes as distorções harmônicas de tensão da unidade consumidora

Tabela 11: Distorção harmônica total de tensão por fase

DHT	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
Médio	4,41	2,49	4,52
Máximo	6,31	3,47	6,3
Mínimo	1,49	1,29	1,34

Fonte: O autor (2022)

Com base na Tabela 11 e com o maior valor de distorções harmônica de tensão sendo 6,31%, ou seja, abaixo dos 8% considerados como maior valor aceitável pela ANEEL (2021a) é possível verificar na Tabela 3 que a unidade consumidora encontra-se dentro do padrão relacionado às distorções harmônicas.

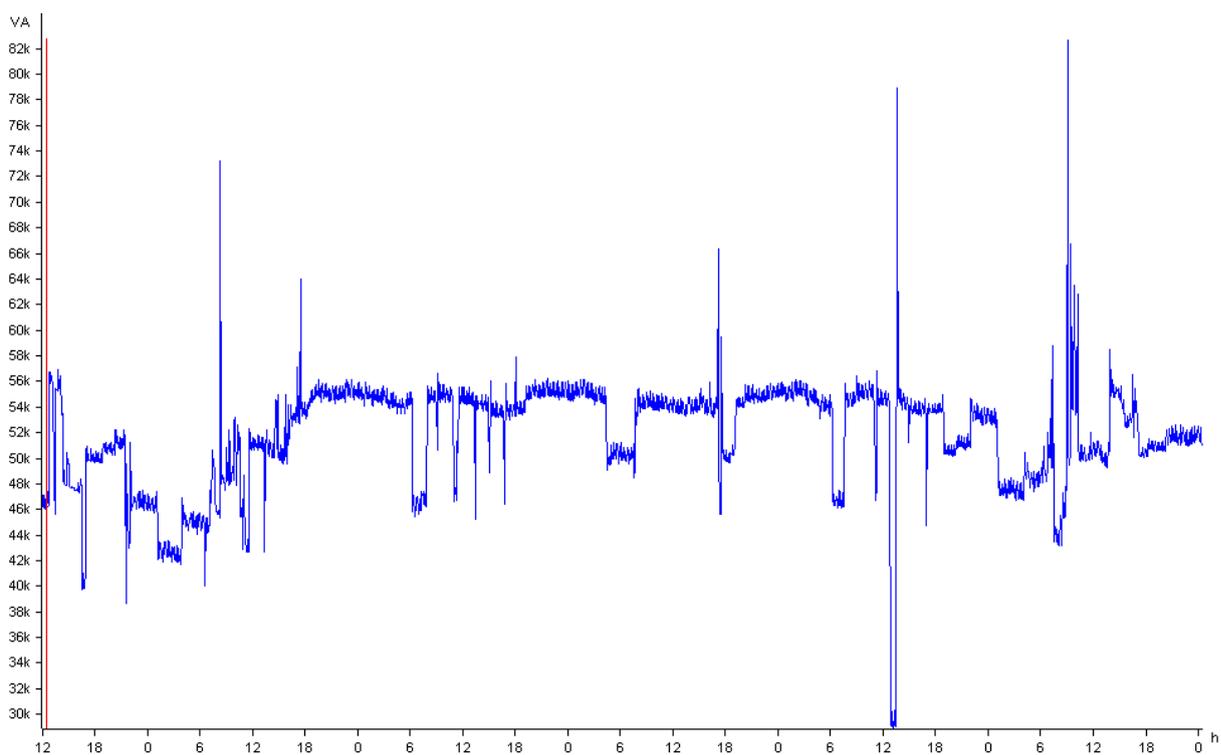
A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e o fator de potência da unidade consumidora durante o primeiro dia de atuação do analisador de energia. Os demais resultados das medições encontram-se no Apêndice A.

Tabela 12: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no primeiro dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP (%)
0	46,01	36,94	27,4	80,28
2	55,48	44,69	31,93	80,71
4	47,37	39	26,87	82,35
6	49,46	41,18	27,43	83,2
8	50,08	42,01	27,23	83,82
10	42,62	36,47	22,08	85,41
12	45,89	37,99	25,52	82,93
14	41,88	34,78	23,66	82,62
16	44,89	34,82	25,2	83,08
18	44,32	35,82	26,25	80,83
20	44,88	36,48	26,63	80,67
22	47,81	38,56	29,23	80,66

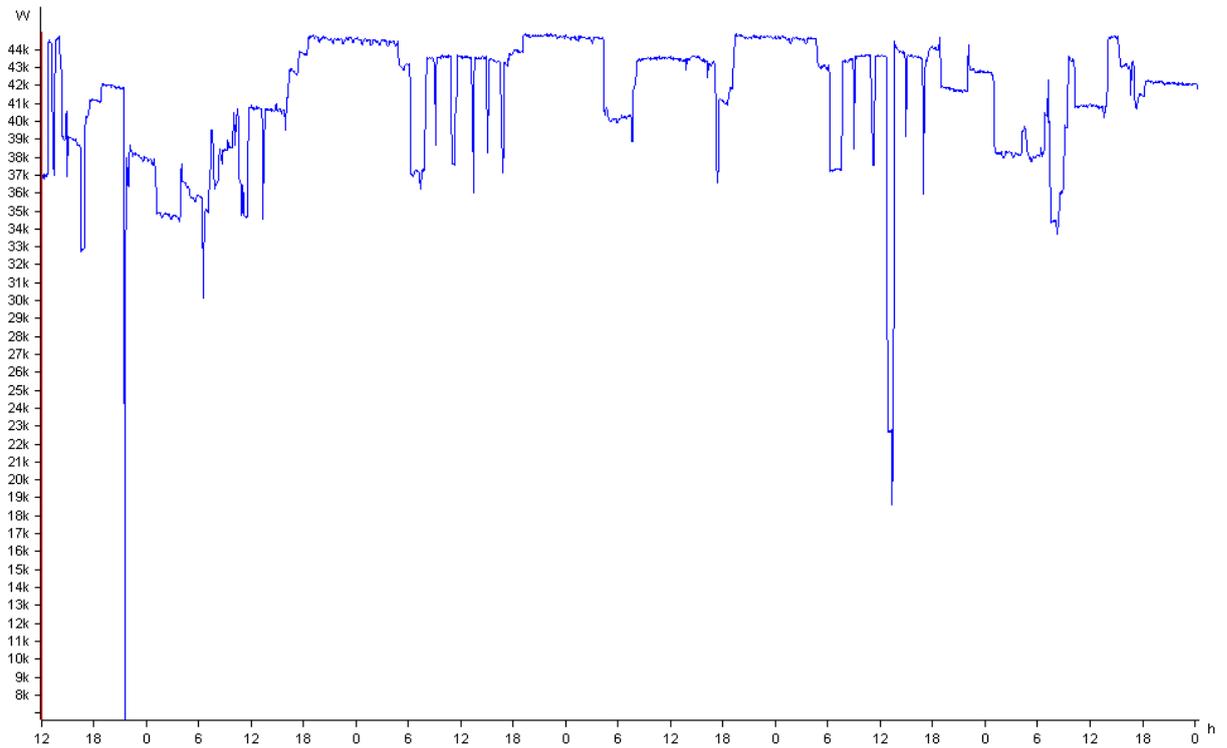
Fonte: O autor (2022)

A seguir será mostrado o gráfico da potência aparente trifásica durante a atuação do analisador de energia.

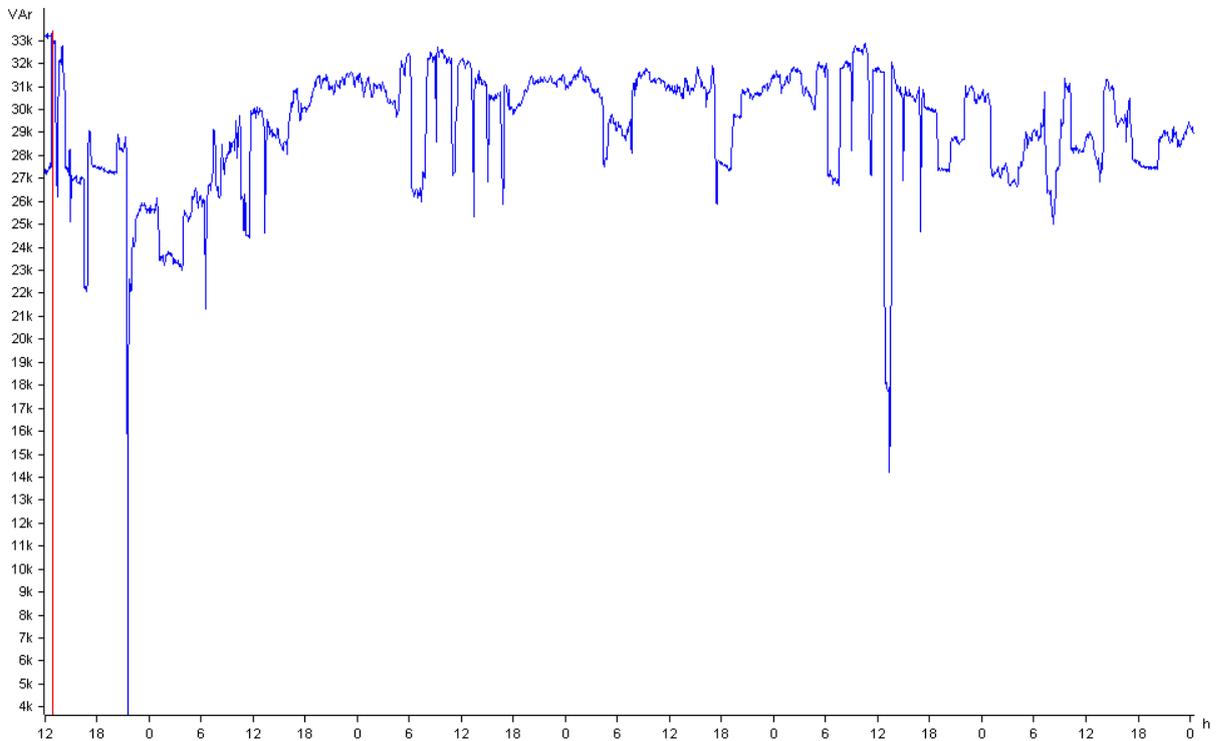
Figura 22: Potência aparente trifásica durante a atuação do analisador

Fonte: O autor (2022)

De acordo com o analisador o maior valor de potência aparente corresponde a 82,65 kVA. A seguir será mostrado o gráfico da potência ativa e reativa trifásica durante a atuação do analisador de energia.

Figura 23: Potência ativa trifásica durante a atuação do analisador

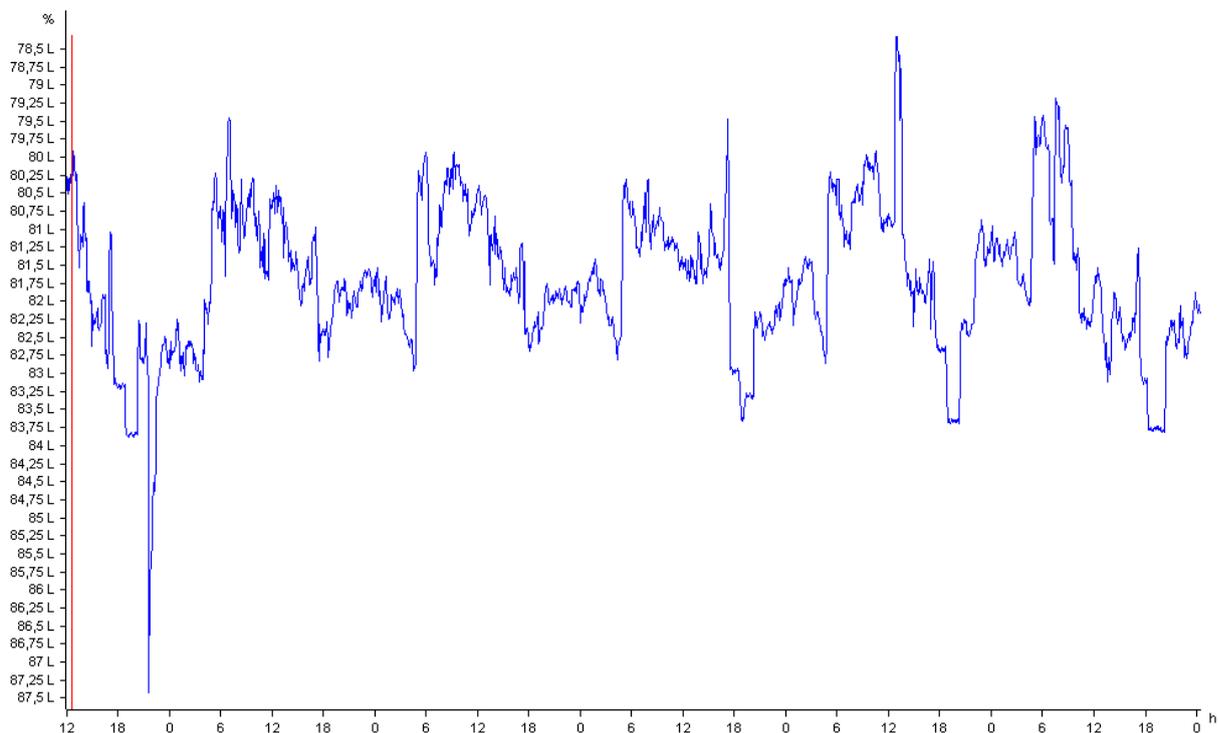
Fonte: O autor (2022)

Figura 24: Potência reativa trifásica durante a atuação do analisador

Fonte: O autor (2022)

Na Figura 25 é mostrado o gráfico referente ao fator de potência da unidade consumidora durante a atuação do analisador de energia.

Figura 25: Fator de Potência durante a atuação do analisador

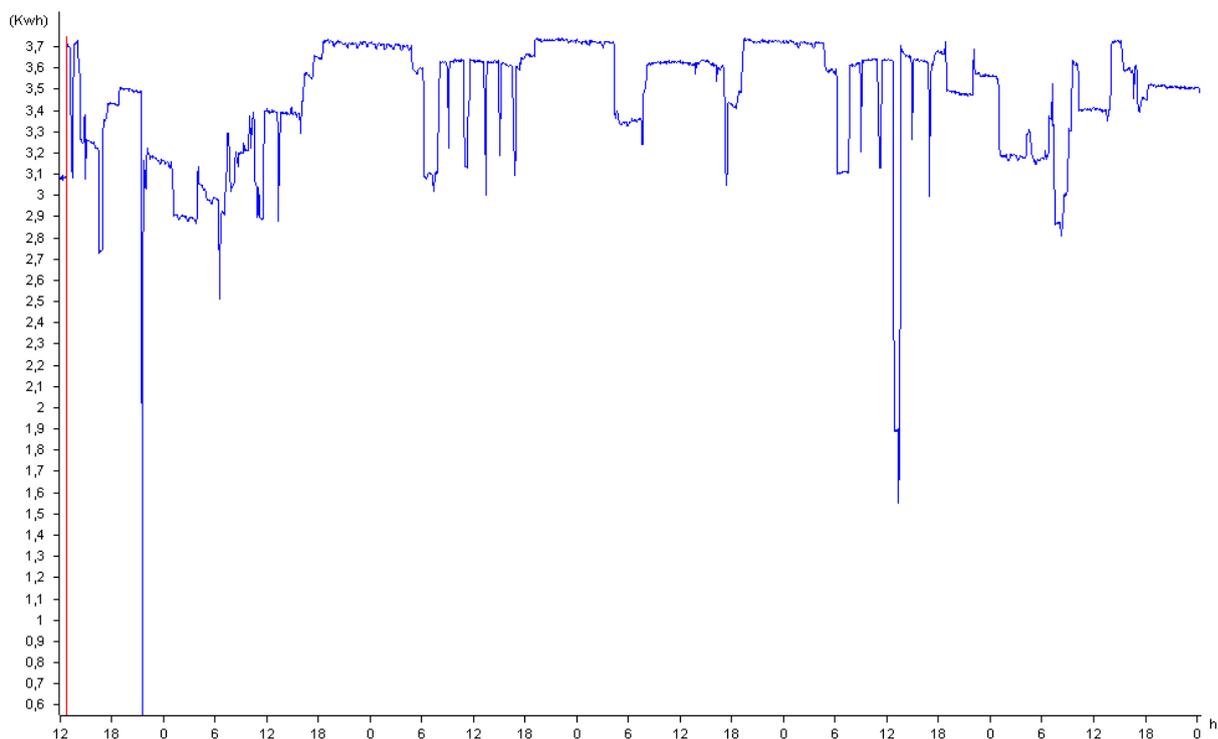


Fonte: O autor (2022)

Através dos dados obtidos pelo analisador de energia é possível observar que a unidade consumidora em questão possui um baixo fator de potência, com isso, é possível verificar que existe uma alta potência reativa que é constante durante os dias. Com o gráfico obtido pelo analisador é possível observar que o fator de potência predomina visivelmente abaixo do mínimo em sua totalidade, justificando assim as muitas mensais cobradas pela concessionária de energia, o mínimo estabelecido pela ANEEL é de 0,92.

A análise do consumo de energia de uma instalação é sempre importante por apontar as rotinas de funcionamento, como identificar possíveis surtos ou desperdícios, os quais impactam a eficiência energética como um todo.

Na Figura 26 é mostrado o gráfico do consumo de energia ativa trifásica durante a atuação do analisador de energia.

Figura 26: Consumo de energia ativa durante a atuação do analisador

Fonte: O autor (2022)

Através do analisador de energia foi possível obter na Tabela 13 os valores referente a energia consumida por fase da unidade consumidora

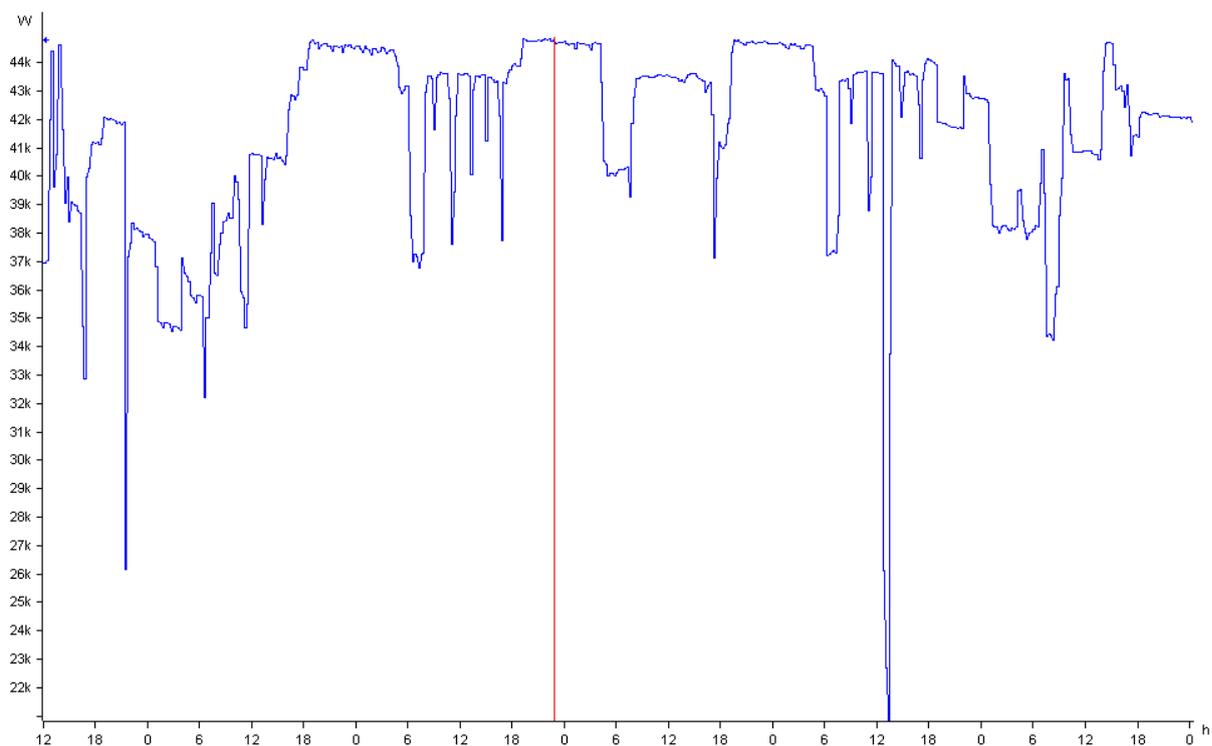
Tabela 13: Energia consumida durante atuação do analisador de energia

Fase	Energia consumida (kWh)
Fase A	2450
Fase B	2203
Fase C	2272
Trifásico	6925

Fonte: O autor (2022)

Visando identificar o consumo energético em cada fase do sistema trifásico foi possível observar que os valores de consumo são próximos e que estão diretamente ligados ao balanceamento de fases, obtidos nos gráficos e tabelas das tensões e correntes. Logo, teremos que a fase A apresenta um maior consumo, seguida das fases C e B respectivamente.

Na Figura 27 é mostrado o gráfico da demanda de energia ativa trifásica durante a atuação do analisador de energia.

Figura 27: Demanda utilizada durante a atuação do analisador

Fonte: O autor (2022)

A demanda é medida pela concessionária em intervalos de 15 minutos, o valor considerado como a demanda da unidade consumidora é o maior medido pela concessionária, com isso, é de extrema importância que se tenha uma demanda que não ultrapasse o valor contratado para evitar multas aplicadas pela concessionária. A medição da energia consumida e da demanda são de extrema importância para a realização do estudo da melhor modalidade tarifária para a unidade consumidora. A maior demanda medida pelo analisador foi de 51,72 kW. Para fins de cálculos será utilizado a maior demanda comparando os dados do analisador com o da fatura de energia.

4 SUGESTÃO DE MELHORIAS

Como destacado nos tópicos relacionados aos resultados de tensão e corrente, não será necessário realizar correções referentes ao desequilíbrio destes parâmetros (a grande diferença entre o valor mínimo das correntes ocorreu devido uma falta de energia na unidade consumidora), assim como não será necessário ajustes relacionados a distorção harmônica de tensão, porém é necessário a realização de novas medições caso seja inserido novas cargas não lineares ou dispositivos relevantes que possam influenciar nessa distorção.

A medição aponta irregularidades na tensão, apresentando valores superiores aos estabelecidos. Faz-se necessário a avaliação da possibilidade de regulação do tape do transformador e com isso, verificar se a sua regulação normaliza os valores dentro dos limites necessários e atende à demanda dos motores existentes, pois também será necessário a inserção de um banco de capacitores que poderá ocasionar um aumento na tensão da rede.

Para o dimensionamento do banco de capacitores será considerado um novo fator de potência de 0,95 ($\Theta_{\text{novo}} = 18,19^\circ$) para que a instalação atue com uma certa “folga” relacionada ao fp ($\Theta_{\text{antigo}} = 37,35^\circ$), além de evitar multas por excesso de energia reativa. Para dimensionar o banco de capacitores serão utilizadas as Equações (28), (29) e (30), além dos valores obtidos por meio do analisador de energia.

Analisando o menor valor medido referente ao FP, temos que:

$$47,93 = S_{\text{novo}} \times \text{Cos}(18,19^\circ)$$

$$S_{\text{novo}} = 47,93 \div \text{Cos}(18,19^\circ) = 50,03 \text{ kVA}$$

$$Q_{\text{novo}} = 50,03 \times \text{sen}(18,19^\circ) = 47,93 \times \text{tg}(18,19^\circ) = 15,75 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = 47,93 \times (\text{tg}(37,35^\circ) - \text{tg}(18,19^\circ)) = 20,83 \text{ kVAr}$$

Considerando o menor FP registrado pelo analisador de energia e pelo padrão de consumo atual, um sistema de 20 kVAr seria mais que o suficiente para a devida adequação com margem de folga para o decaimento da capacitância das células.

Ao considerar que a instalação irá realizar um possível expansão da carga instalada e que novas cargas podem ser acopladas à mesma, faz-se necessário um banco de 40 kVAr para a devida adequação, os bancos de capacitores serão inseridos de forma automática em estágios:

- Um estágio inicial de 15 kVAr;
- Um estágio para o menor fator de potência medido pelo analisador de energia (estágio dois de 5 kVAr) totalizando os 20 kVAr calculados;
- E outros dois estágios para futuras expansões na unidade consumidora, sendo dois estágio de 10 kVAr.

De acordo com o fabricante (WEG) dos bancos de capacitores projetados, é necessário utilizar condutores superdimensionados em 1,43 vezes a corrente nominal do capacitor, e com isso dimensionar seus respectivos condutores e dispositivos de proteção.

A seguir, nas Tabelas 14 e 15, serão projetados os estágios de atuação dos bancos de capacitores, juntamente com seus respectivos condutores e dispositivos de proteção

Tabela 14: Dimensionamento por estágio de atuação

Estágios	Banco de capacitor (kVAr)	Corrente nominal (A)	Corrente máxima (A)	Contator	Diâmetro do cabo (mm)	Disjuntor de proteção (A)
1	15	22,79	32,59	CWBC18	10	40
2	5	7,6	10,81	CWBC9	2,5	16
3	10	15,19	21,72	CWBC9	6	25
4	10	15,19	21,72	CWBC9	6	25

Fonte: O autor (2022)

Tabela 15: Dimensionamento do disjuntor geral do banco de capacitor

Banco de capacitor (kVAr)	Corrente nominal (A)	Corrente máxima (A)	Diâmetro do cabo (mm)	Disjuntor de proteção (A)
40	60,77	86,84	35	100

Fonte: O autor (2022)

A unidade consumidora pertence à zona rural desenvolvendo atividades relacionadas a aquicultura se enquadrando no grupo tarifário A4.

De acordo com a ANEEL (2021b), a aquicultura independente de sua localização, onde seja desenvolvida atividade de cultivo de organismos cujo ciclo de vida em condições naturais se dá total ou parcialmente em meio aquático, sendo que o titular da unidade consumidora deve possuir registro de produtor rural expedido por órgão público, registro ou licença de aquicultor, exceto para aquicultura com fins de subsistência.

Ainda segundo a ANEEL (2021b), a demanda contratada única não se aplica às unidades consumidoras da classe rural e àquelas com sazonalidade reconhecida, as quais devem contratar segundo um cronograma mensal, ou seja, a unidade consumidora pagará apenas pela demanda utilizada. Para o estudo relacionado a modalidade tarifária, é necessário observar as tarifas de aplicação e base econômica para o grupo A da concessionária local, além de observar o horário reservado como horário de ponta, para a unidade consumidora estudada o horário de ponta está reservado entre às 17:30 h até às 20:30h. A partir do Quadro 3 é possível obter os valores referente as modalidades tarifárias.

Quadro 3: Tarifas de aplicação e base econômica para o grupo A da concessionária local

SUBGRUPO	MODALIDADE	ACESSANTE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO			BASE ECONÔMICA		
				TUSD		TE	TUSD		TE
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
A3 (69kW)	AZUL	NA	P	26,46	65,13	346,61	36,47	62,87	364,24
			FP	15,23	65,13	219,97	23,42	62,87	229,96
	AZUL APE	NA	P	26,46	22,20	0,00	36,47	23,79	0,00
			FP	15,23	22,20	0,00	23,42	23,79	0,00
	DISTRIBUIÇÃO	Celpe	P	28,93	6,88	0,00	36,47	6,81	0,00
			FP	16,82	6,88	0,00	23,42	6,81	0,00
	GERAÇÃO	NA	NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			NA	13,97	0,00	0,00	15,06	0,00	0,00
A4 (2,3 a 25kW)	AZUL	NA	P	60,20	97,61	346,61	71,07	97,62	364,24
			FP	21,85	97,61	219,97	26,90	97,62	229,96
	AZUL APE	NA	P	60,20	46,44	0,00	71,07	49,76	0,00
			FP	21,85	46,44	0,00	26,90	49,76	0,00
	VERDE	NA	NA	21,85	0,00	0,00	26,90	0,00	0,00
			P	0,00	1.557,74	346,61	0,00	1.820,03	364,24
	VERDE APE	NA	FP	0,00	97,61	219,97	0,00	97,62	229,96
			NA	21,85	0,00	0,00	26,90	0,00	0,00
	DISTRIBUIÇÃO	Celpe	P	0,00	1.506,58	0,00	0,00	1.772,17	0,00
			FP	0,00	46,44	0,00	0,00	49,76	0,00
	GERAÇÃO	NA	P	30,29	17,72	0,00	36,03	17,53	0,00
			FP	12,67	17,72	0,00	15,80	17,53	0,00
	GERAÇÃO	NA	NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			NA	11,99	0,00	0,00	12,99	0,00	0,00

Fonte: ANEEL (2022).

A unidade consumidora estudada possui o gerador de energia para a atuação durante o horário de ponta da unidade. Com isso, foi utilizada a fatura antes da utilização do gerador de energia (Figura 28) e após a inserção do gerador de energia (Figura 29).

Figura 28: Fatura da unidade consumidora antes da inserção do gerador de energia

Itens Faturados	Tar. sem Impostos (R\$)	Valor (R\$)
Consumo Ponta 2.858 kWh a 2,539983	1,923090	7.259,27
Demanda 58 kW a 27,696812	20,970000	1.606,41
En R Exc Ponta 249 kWh a 0,304479	0,230530	75,81
Dem R Exc 6 kW a 28,859101	21,850000	173,15
Consumo F/Ponta 27.501 kWh a 0,528035	0,399790	14.521,49
En R Exc F/Ponta 2.197 kWh a 0,304479	0,230530	668,94
Contrib. Iluminação Pública Municipal (COSIP)		69,92
Adicional Bandeira Vermelha - 2881,07		
Fecoep R\$ - 243,05		

Fonte: O autor (2022)

Figura 29: Fatura da unidade consumidora após inserção do gerador de energia

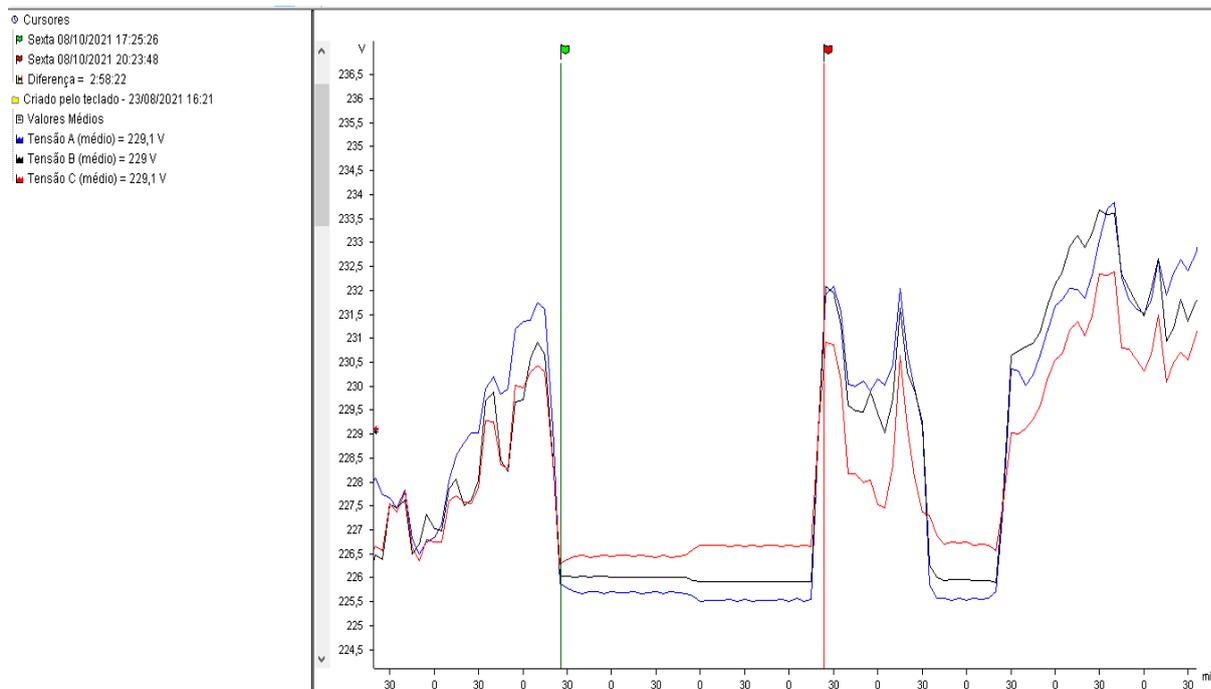
Consumo Ponta 878 kWh a 2,603056	1,970170	2.285,48
Demanda 57 kW a 27,706300	20,970000	1.579,25
En R Exc Ponta 74 kWh a 0,304584	0,230530	22,53
Dem R Exc 6 kW a 28,868988	21,850000	173,21
Consumo F/Ponta 26.187 kWh a 0,590419	0,446870	15.461,30
En R Exc F/Ponta 2.054 kWh a 0,304584	0,230530	625,61
Contrib. Iluminação Pública Municipal (COSIP)		77,42
Adicional Bandeira Vermelha - 3842,31		
Fecoep R\$ - 201,47		

Fonte: O autor (2022)

Através das duas faturas é visível a redução do consumo de energia através da concessionária no horário ponta, entretanto, é possível identificar algum equívoco relacionado

ao gerador, pois ele não está suprindo todo o consumo da unidade consumidora no horário de ponta. Ao observar os resultados obtidos através do analisador de energia é possível identificar na Figura 30 que o gerador de energia está sendo acionado (17:25h) e desligado (20:23h) em momentos equivocados.

Figura 30: Atuação do gerador de energia através do analisador de energia



Fonte: O autor (2022)

Ao realizar o ajuste de atuação do gerador de energia que mesmo após o acionamento continua utilizando energia da concessionária, será possível obter uma economia na fatura de R\$ 2.285,48 por mês.

- **Gerador atuando**

A seguir são apresentados por meio de tabelas os resultados dos cálculos referentes às modalidades tarifárias tomando como base a fatura da unidade consumidora e que o gerador irá continuar atuando durante o horário de ponta, para que se contrate a modalidade no qual a unidade terá um valor menor para pagar e com isso, obter economia referente a fatura de energia elétrica. De acordo com os fabricantes (STEMAC, MWM e Maxi Trust), um gerador de energia a diesel para uma potência aparente de 75 kVA possui um consumo de 16,6 litros por hora. Ao considerar as três horas do horário de ponta, considerando vinte e dois dias úteis no mês e um valor médio de R\$ 7,00 o litro do diesel é possível obter um valor aproximado com o preço gasto com gerador que será de R\$ 7.669,20.

Tabela 16: Modalidade tarifária verde com atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa ponta	1,90435	0	0
Tarifa fora ponta	0,31758	26187	8.316,47
Demanda	21,85	58	1.267,30
Gerador			7.669,20
Total			17.252,97

Fonte: O autor (2022)

Tabela 17: Modalidade tarifária azul com atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa ponta	0,44421	0	0
Tarifa fora ponta	0,31758	26187	8.316,47
Demanda ponta	60,2	58	3.491,60
Demanda fora ponta	21,85	58	1.267,30
Gerador			7.669,20
Total			20.744,57

Fonte: O autor (2022)

Tabela 18: Optante por ser taxado na baixa tensão com atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa Convencional	0,55097	26187	14.428,25
Gerador			7.669,20
Total			22.097,45

Fonte: O autor (2022)

- **Sem atuação do gerador**

A seguir serão apresentados por meio de tabelas os resultados dos cálculos referentes às modalidades tarifárias tomando como base a fatura da unidade consumidora e que o gerador não irá ser utilizado durante o horário de ponta, para que se contrate a modalidade no qual a unidade terá um valor menor para pagar e com isso, obter economia referente a fatura de energia elétrica.

Tabela 19: Modalidade tarifária verde sem atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa ponta	1,90435	2858	5.442,63
Tarifa fora ponta	0,31758	26187	8.316,47
Demanda	21,85	58	1.267,30
Total			15.026,40

Fonte: O autor (2022)

Tabela 20: Modalidade tarifária azul sem atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa ponta	0,44421	2858	1.269,55
Tarifa fora ponta	0,31758	26187	8.316,47
Demanda ponta	60,2	58	3.491,60
Demanda fora ponta	21,85	58	1.267,30
Total			14.344,92

Fonte: O autor (2022)

Tabela 21: Optante por ser taxado na baixa tensão sem atuação do gerador

	Valores sem imposto (R\$)	Consumo (kW)	Total a pagar (R\$)
Tarifa Convencional	0,55097	29045	16.002,92

Fonte: O autor (2022)

Com a atuação do gerador de energia durante o horário de ponta, a modalidade tarifária indicada para a unidade consumidora seria a modalidade tarifária verde, pois é bem perceptível a redução na fatura da unidade consumidora através do uso do gerador de energia durante o horário de ponta (comparação entres as Figuras 28 e 29), entretanto, é necessário levar em consideração os gastos referentes ao uso do gerador para suprir o consumo da unidade consumidora e não simplesmente realizar a troca. Ao realizar todos os cálculos foi observado que ao conectar o gerador de energia no horário de ponta utilizando a modalidade tarifária verde a unidade terá um gasto maior do que utilizando a modalidade tarifária azul sem o uso do gerador de energia para suprir o horário ponta, ou seja, é mais viável financeiramente a escolha da modalidade tarifária azul e a utilização do gerador de energia apenas em casos de emergências. Salientando também que os valores podem alterar com o decorrer do tempo, pois a utilização do gerador de energia é totalmente dependente do valor do diesel e o consumo e a demanda da unidade consumidora variam de acordo com os equipamentos instalados da unidade e do seu respectivo tempo de uso.

Ainda de acordo com a ANEEL (2021b), no Nordeste e municípios de Minas Gerais das regiões geoeconômicas denominadas Polígono da Seca, de que trata a Lei nº 1.348, de 10 de fevereiro de 1951, e do Vale do Jequitinhonha: redução de 73% (setenta e três por cento) para o Grupo B e de 90% para o Grupo A para o horário destinado às atividades de irrigação e de aquicultura desenvolvidas em um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos, sendo o horário das 21:30h até às 6h, observando os resultados obtidos pelo analisador, têm-se na Tabela 22 o consumo de energia durante o horário reservado:

Tabela 22: Consumo de energia durante o horário reservado

Dias	Consumo (kWh)
1	350
2	352
3	405
4	397
5	403
6	364
Total	2271

Fonte: O autor (2022)

Considerando que o mês possui 30 dias, ou seja, 5 vezes a quantidade de dias que o analisador ficou instalado, têm-se aproximadamente 11355 kWh consumidos durante o horário reservado para aquicultura, com isso, tendo um valor de consumo fora ponta de R\$ 0,59419, sem a utilização do benefício a unidade consumidora paga um total de R\$ 6.747,03, ao obter o benefício irá pagar um valor total de R\$ 674,70. Ou seja, com a utilização do benefício a unidade consumidora terá uma economia de R\$ 6.072,33 por mês. Através desses estudos é possível observar nas Tabelas 23 e 24 a economia financeira da unidade consumidora ao realizar as sugestões de melhorias.

Tabela 23: Economia obtida através da análise de QEE e gestão de modalidade tarifária mantendo a modalidade tarifária verde e utilizando o gerador

Atividade	Economia mensal	Economia anual
Correção do FP	R\$ 821,35	R\$ 9.856,20
Enquadramento na aquicultura	R\$ 6.072,33	R\$ 72.867,96
Ajuste do horário de funcionamento do gerador	R\$ 2.285,48	R\$ 27.425,76
Total	R\$ 9.179,16	R\$ 110.149,92

Fonte: O autor (2022)

Tabela 24: Economia obtida através da análise de QEE e gestão de modalidade tarifária utilizando a modalidade tarifária azul e sem o gerador

Atividade	Economia mensal	Economia anual
Correção do FP	R\$ 821,35	R\$ 9.856,20
Enquadramento na aquicultura	R\$ 6.072,33	R\$ 72.867,96
Ajuste da modalidade tarifária e sem o uso do gerador	R\$ 2.908,05	R\$ 34.896,60
Total	R\$ 9.801,73	R\$ 117.620,76

Fonte: O autor (2022)

Vale salientar que as perspectivas e estimativas de economia foram concebidas com os dados presentes nas faturas e adquiridos com o analisador de energia, sem considerar a possibilidade de redução de demanda e os aumentos na fatura de energia nos próximos anos, o que aumentaria o cenário de economia. Além disso, é necessário levar em consideração o valor gasto para a utilização do gerador considerando o valor atual do diesel para saber o valor total gasto referente ao consumo da unidade consumidora e os valores referentes a manutenção do gerador. Todo o cálculo das modalidades tarifárias são realizados sem considerar impostos. Ressaltando também que na Tabela 24 não foi considerado a economia relacionado aos gastos do acionamento do gerador em momentos equivocados.

5 CONCLUSÃO

Dentro deste estudo foi realizado uma revisão bibliográfica sobre as variáveis que compõem uma instalação elétrica. Percebeu-se a relevância do tema e a necessidade de estudarmos a qualidade de energia elétrica da unidade consumidora tomando como base o módulo 8 do PRODIST que é destinado ao assunto, além da importância de se realizar um estudo referente a gestão de modalidade tarifária tendo como base a resolução normativa 1000/2021 da ANEEL.

O estudo da análise de QEE através de um analisador revela informações cruciais sobre a operação da unidade consumidora fazendo com que se tenha um melhor aproveitamento dos equipamentos elétricos, a prevenção de problemas presentes e futuros da instalação, além de fazer com que se tenha uma grande economia financeira ao se realizar as correções necessárias.

Mediante o uso dos dados obtidos pelo analisador foi possível dimensionar o banco de capacitores que será implementado na unidade, fazendo com que se tenha uma economia financeira referente às multas por excesso de energia reativa, além de proporcionar uma maior vida útil para os equipamentos.

O estudo de gestão de modalidade tarifária através de um analisador revela informações valiosas sobre os gastos da unidade consumidora fazendo com que se tenha uma fatura mais enxuta em termos financeiros, além de evitar que se tenha um acréscimo de multas por uma contratação equivocada de demanda com a concessionária local.

Diante desse estudo constatou-se que a modalidade tarifária estava adequada para o uso do gerador no horário de ponta, entretanto, a unidade consumidora não estava levando em consideração os valores gastos com a utilização do gerador, ao realizar os cálculos percebe-se que a utilização do gerador não está sendo vantajoso financeiramente, ou seja, a unidade consumidora não estava enquadrada na modalidade tarifária adequada. Outro ponto importante com o estudo de gestão de modalidade tarifária é a obtenção de benefícios inclusos na resolução normativa 1000/2021 da ANEEL, que fez com que a unidade consumidora obtivesse uma grande economia referente a atividade de aquicultura que a unidade realiza.

Vale salientar que o estudo foi realizado para o atual cenário da unidade consumidora, ou seja, a partir da inserção de novas cargas é necessário a realização de um novo estudo para analisar como irá se comportar a unidade consumidora e através disso realizar novas adequações referentes a QEE e estudar o novo consumo para saber se a unidade ainda estará enquadrada no melhor cenário financeiro referente a modalidade tarifária.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Ambiente de Contratação Regulada**. 2015. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/ambiente-de-contratacao-regulada-acr->. Acesso em: 11 set. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Calendário e Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição**. 2022. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em: 11 set. 2022

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5177.htm. Acesso em 02 set. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **PRODIST: Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – módulo 8, qualidade da energia elétrica**. 2021a. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em 12 jul. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 1000: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica, direitos e deveres do consumidor de energia elétrica**. 2021b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 23 ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Regulação do mercado de energia elétrica: Comercialização**. 2018. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/mercado-de-eletricidade>. Acesso em: 22 ago. 2022.

BARBOSA, Sérgio Ricardo. **Estudo dos efeitos de sobretensão em transformadores de potência aliada a carregamentos acima da potência nominal**. Belo Horizonte, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/439M.PDF>. Acesso em: 20 jul. 2022.

BOLLEN, M. H. J., **Understanding power quality problems**. New York: Series editor, 2000.

BRITO, Claudio Marzo Cavalcante de e LEÃO, Ruth Pastôra Saraiva. **Desempenho de um Motor de Indução Trifásico Submetido a Distorções Harmônicas na Tensão de Alimentação**. 2006. Disponível em: <https://pdfslide.net/documents/desempenho-de-um-motor-de-inducao-trifasico-submetido-a-distorcoes-harmonicadas-na-tensao-de-alimentacao.html?page=1>. Acesso em 30 jul. 2022.

BRONZEADO, H. S. *et al.* **Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições associados à qualidade da energia elétrica**. Recife. 1997. Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081215143558-T207.PDF>. Acesso em 11 jul. 2022.

CARVALHO, P. L., **Uma contribuição ao estudo da Depressão de Tensão**. Itajubá. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Engenharia de Itajubá. 1997. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2941>. Acesso em: 27 jul. 2022.

DARDENGO, Victor Pellanda; ANTÔNIO Adriano da Silva; PEREIRA, Heverton Augusto. Impacto das variações de tensão de curta duração em um fábrica de laticínios. *In*. IX CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA, 2011, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: GESEP. Disponível em: <https://www.novos cursos.ufv.br/projetos/ufv/gesep/www/wp-content/uploads/10.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2022.

DUGAN, Roger C. *et al.* **Electrical power systems quality**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2004

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017

FORTESCUE, C. L., Method of symmetrical co-ordinates applied to the solution of polyphase networks. *In*: AIEE TRANSACTION, 1918, Atlantic City. **Anais** [...]. Atlantic City: AIEE. Disponível em: <https://vdocuments.mx/method-of-symmetrical-co-ordinates-applied-to-the-solution-of-polyphase-networks-569bdf392c0a8.html>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FREITAS, Gilberto Eduardo Rocha e CORRÊA, Rodrigo José da Fonseca. **Análise de distúrbios harmônicos em componentes do sistema elétrico**. Belém, 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará. Disponível em: <https://document.onl/documents/analise-de-disturbios-harmonicos-em-componentes-do.html>. Acesso: 01 ago. 2022.

GLOVER, J. Duncan; SARMA, Mulukutla; OVERBYE, Thomas J., **Power System: Analysis and design**, SI Version. 5 ed. Stamford: Cengage Learning, 2012

JANUÁRIO, Alexandra Cristina Vidal. **O Mercado de energia elétrica de fontes incetivadas**: Proposta para a sua expansão e implicações na câmara de comercialização de energia elétrica. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062007-164745/publico/DissertacaoAlexandrafinal.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

KINDERMANN, Geraldo. **Curto-Circuito**. 2 ed. Rio Grande do Sul: Sagra Luzzato, 1997.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Qualidade de Energia Elétrica**: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções. 2 ed. São Paulo: Artliber, 2013.

MAIA, Reinaldo Moreira. **Caracterização das Variações de Tensão de Curta Duração e seus Impactos em uma Planta da Indústria Alimentícia**. Belo Horizonte, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/158M.PDF>. Acesso em: 30 jul. 2022.

NEVES, Ana Bárbara Fernandes. **Análise dos efeitos do desequilíbrio e da distorção harmônica de tensão no conjugado e no rendimento de um motor de indução trifásico**. Brasília, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17461>. Acesso em: 05 ago. 2022.

OLIVEIRA, Filipe Dias de. **Monitoramento e análise de afundamentos momentâneos de**

tensão. Belo Horizonte, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1045M.PDF>. Acesso em: 28 jul. 2022.

OLIVEIRA, Roger Alves de. **Afundamentos de tensão em consumidores industriais**: Uma análise baseada no fator de impacto e na severidade dos eventos considerando os efeitos de faltas elétricas em sistemas de potência. Porto Alegre, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/185257>. Acesso em 27 jul. 2022.

PAULILO, Gilson. **Desequilíbrios de Tensão**. 2013. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed86_fasc_qualidade_cap3.pdf. Acesso em: 18 jul. 2022.

PESSOA, Letícia Lúcia da Silva. **Impactos provocados pelos afundamentos de tensão em redes elétricas com geração distribuída**. Recife, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27851>. Acesso em: 28 jul. 2022.

REZENDE, Paulo Henrique Oliveira e SAMESIMA, Milton Itsuo. **Efeitos do desequilíbrio de tensões de suprimentos nos motores de indução trifásico**. Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4473/11857>. Acesso em 21 jul. 2022.

RIZKALLA, Felipe Farage. **Migração para o Mercado Livre de energia**: Estudo de caso do centro de tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://docplayer.com.br/81706894-Migracao-para-o-mercado-livre-de-energia-estudo-de-caso-do-centro-de-tecnologia-da-universidade-federal-do-rio-de-janeiro-felipe-farage-rizkalla.html>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SAADAT, Hadi. **Power system analysis**. New York: WCB/McGraw-Hill. 1999

SADIKU, Matthew N. O. e ALEXANDER, Charles K., **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5 ed. Minas Gerais: AMGH, 2013.

STAROSTA, José. **Desequilíbrio (Desbalanceamento) de tensão**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.acaoenge.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2019/12/Desequilibrio-de-tens%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2022.

VENDRUSCULO, Edson Adriano e POMILIO, José Antenor. **Motores de indução acionados por inversores PSW-VSI**: Estratégia para atenuação de sobretensões. Campinas, 2003. Disponível em: <https://sobraep.org.br/site/uploads/2018/05/rvol8no1p7.pdf>. Acesso em 17 jul. 2022.

APÊNDICE A - RESULTADOS DA ATUAÇÃO DO ANALISADOR DE ENERGIA

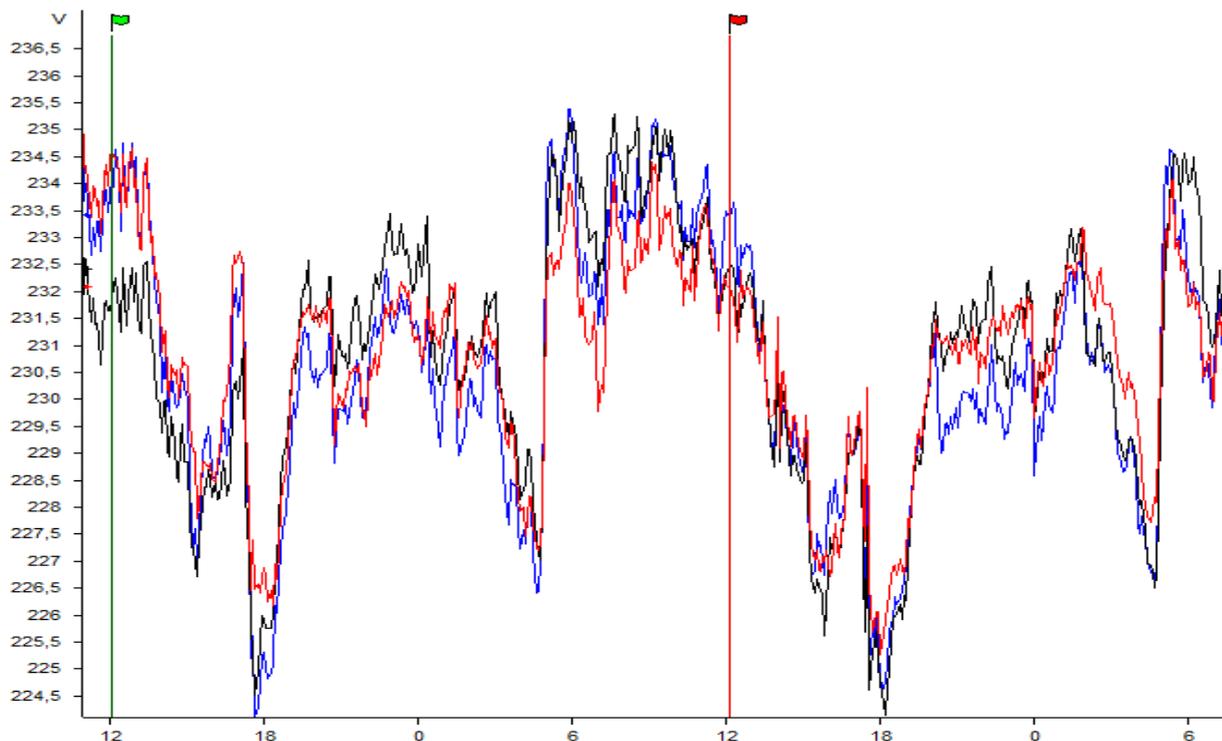
A seguir serão apresentados os valores obtidos através do analisador de energia elétrica relacionadas as grandezas de tensão, corrente e Distorção Harmônica de tensão, potências ativa, reativa e aparente e o fator de potência a partir do segundo dia. Serão apresentados os gráficos e tabelas referentes as grandezas de tensão da unidade consumidora. Têm-se as tensões de fase e de linha do segundo dia de análises.

Tabela A.1: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no segundo dia

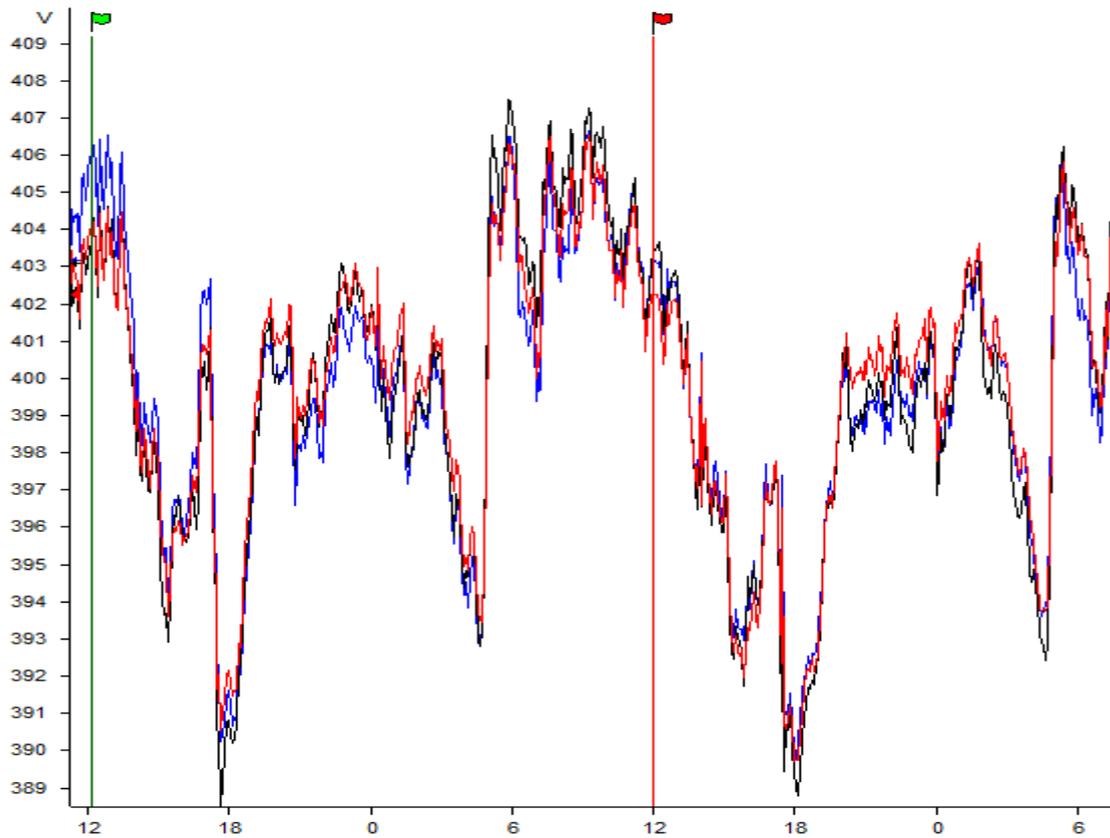
Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	234	231,6	233,5	403,2	402,8	404,8
2	233	231,1	232,8	401,9	401,7	403,4
4	228,5	228,2	228,6	395,5	395,6	395,9
6	226,4	225,5	224,8	391,4	390	390,7
8	231,7	231,5	230,6	401,2	400,2	400,4
10	229,8	231	229,8	399,1	399,1	398
12	231,1	232	231,3	401	401,3	400,4
14	230,9	231	230,4	400	399,5	399,5
16	228,6	229,2	228,4	396,5	396,3	395,8
18	233,7	234,8	235,1	405,8	407	406
20	232,9	234,1	233,6	404,4	405	404
22	232,5	233,4	233,6	403,4	404,4	403,6

Fonte: O autor (2022)

Figura A.1: Gráfico das tensões de fase do segundo dia



Fonte: O autor (2022)

Figura A.2: Gráfico das tensões de linha do segundo dia

Fonte: O autor (2022)

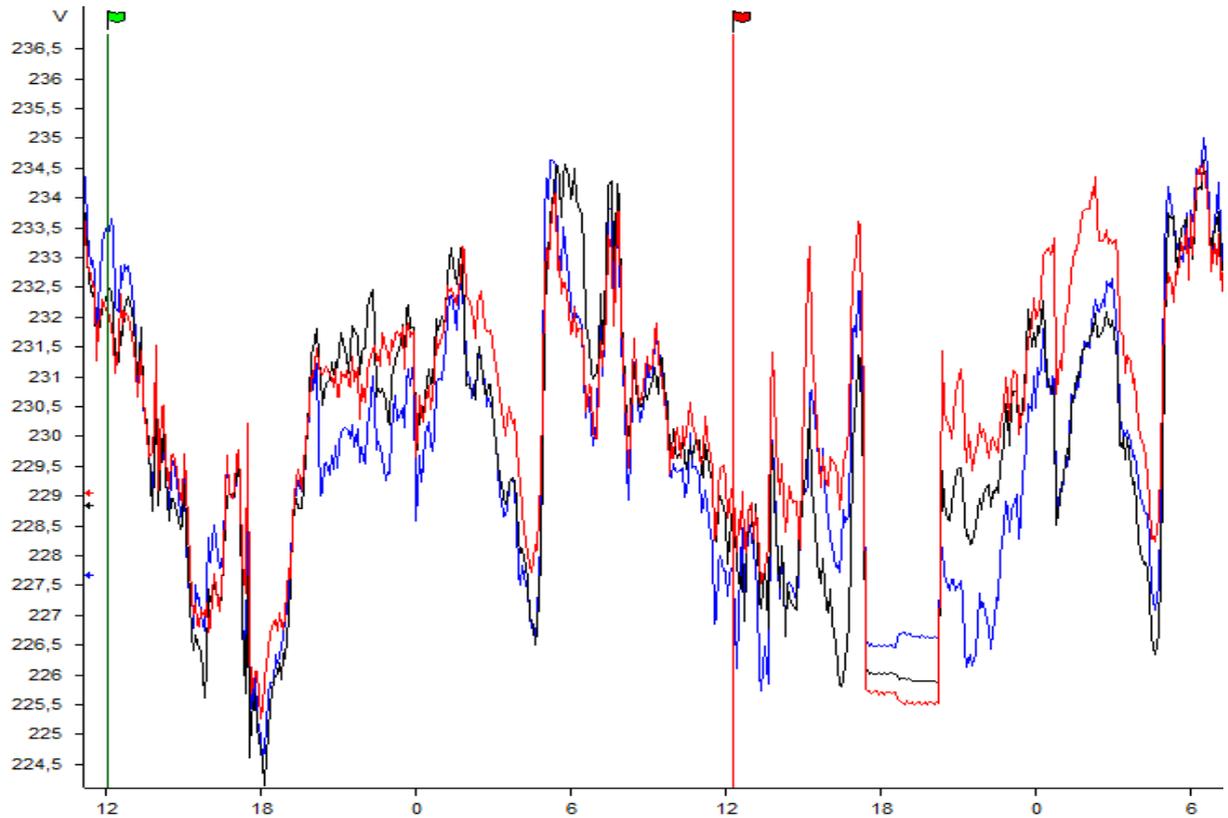
A seguir serão apresentados os gráficos e tabela referentes as tensões da unidade consumidora durante o terceiro dia.

Tabela A.2: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no terceiro dia

Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	232,3	232,2	233,2	402,3	403,1	403,2
2	229,7	228,8	229,1	397,1	396,5	397,3
4	226,7	227,4	228,3	393,3	394,7	394
6	226,1	225,7	226,1	391,2	391,2	391,5
8	231	231,4	231,3	400,4	400,7	400,4
10	230,9	231,4	229,8	400,3	399,4	399
12	230,1	229,9	229,1	398,3	397,4	397,6
14	233,1	231,9	232,1	402,7	401,8	402,9
16	230,3	229,2	229,2	398	397	397,9
18	231,7	234	232,3	403,3	403,8	401,8
20	233,8	234,2	233,8	405,3	405,3	404,9
22	229,6	230,1	229,5	398,2	398,1	397,6

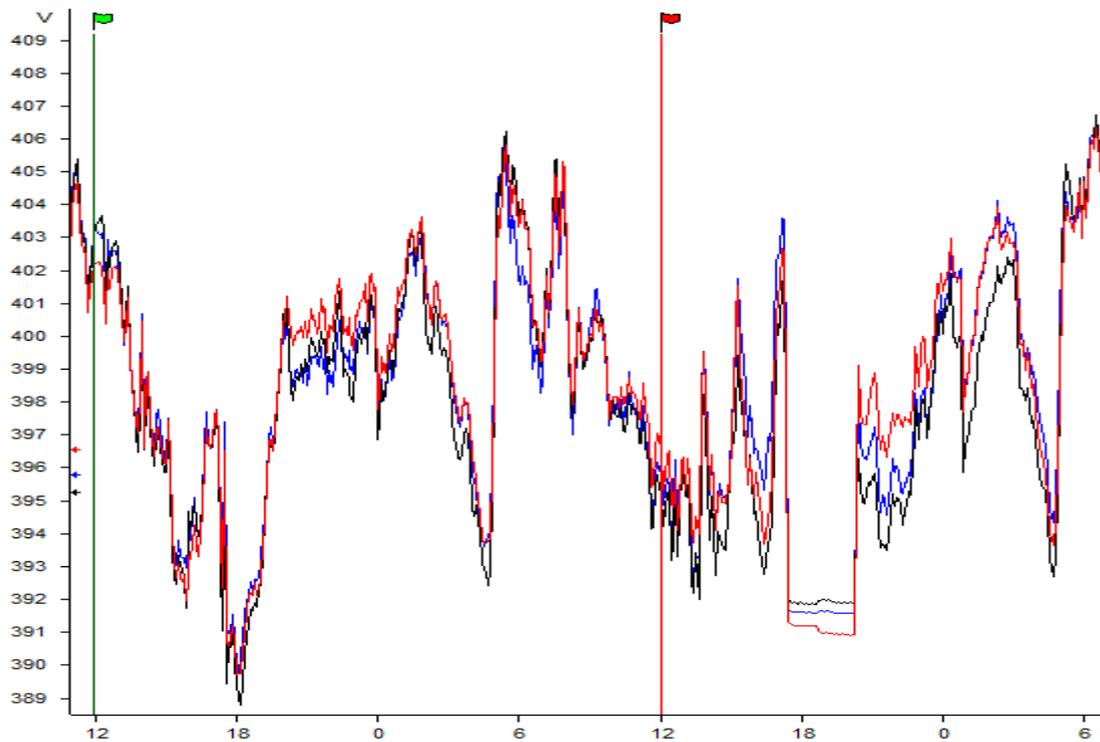
Fonte: O autor (2022)

Figura A.3: Gráfico das tensões de fase do terceiro dia



Fonte: O autor (2022)

Figura A.4: Gráfico das tensões de linha do terceiro dia



Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os gráficos e tabela referentes as tensões da unidade

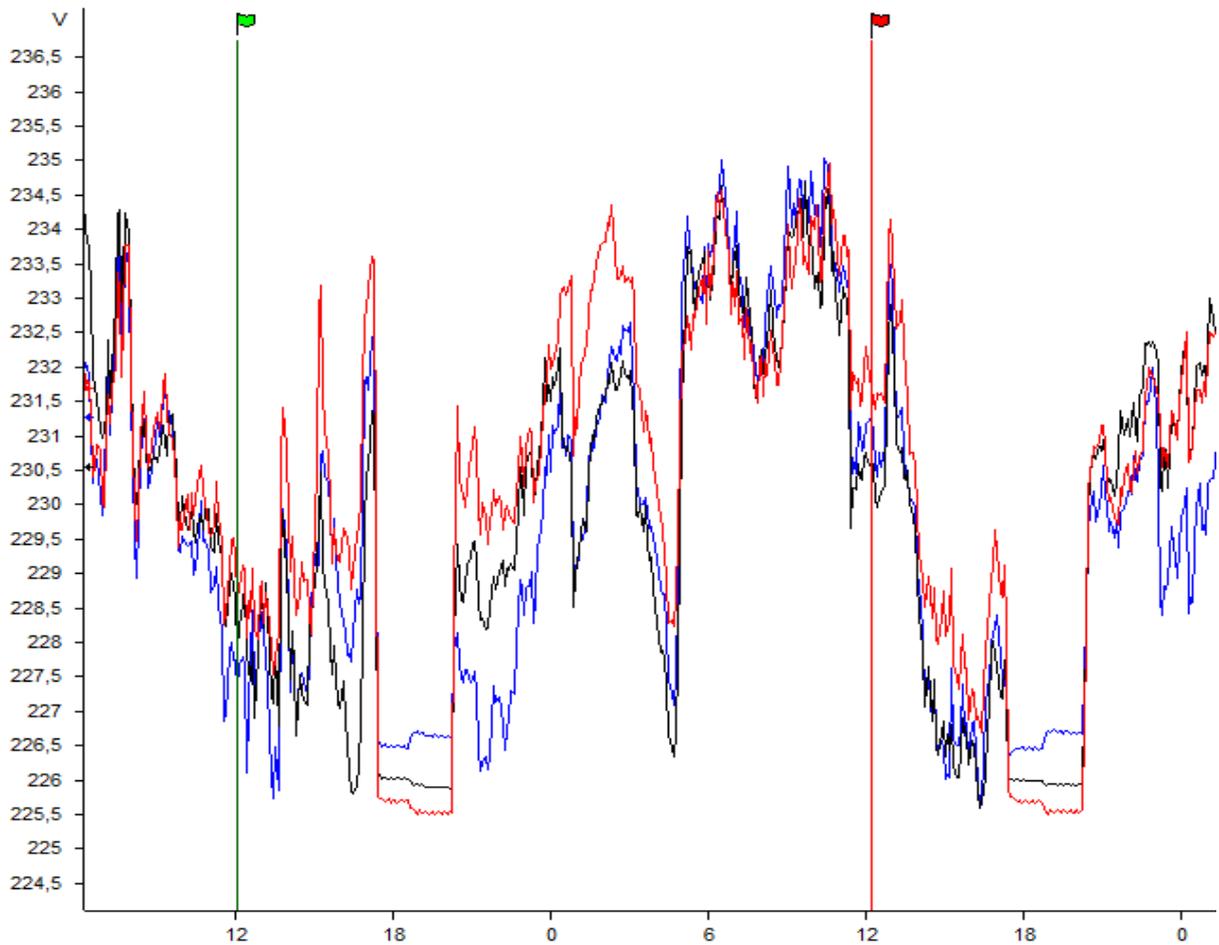
consumidora durante o quarto dia.

Tabela A.3: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no quarto dia

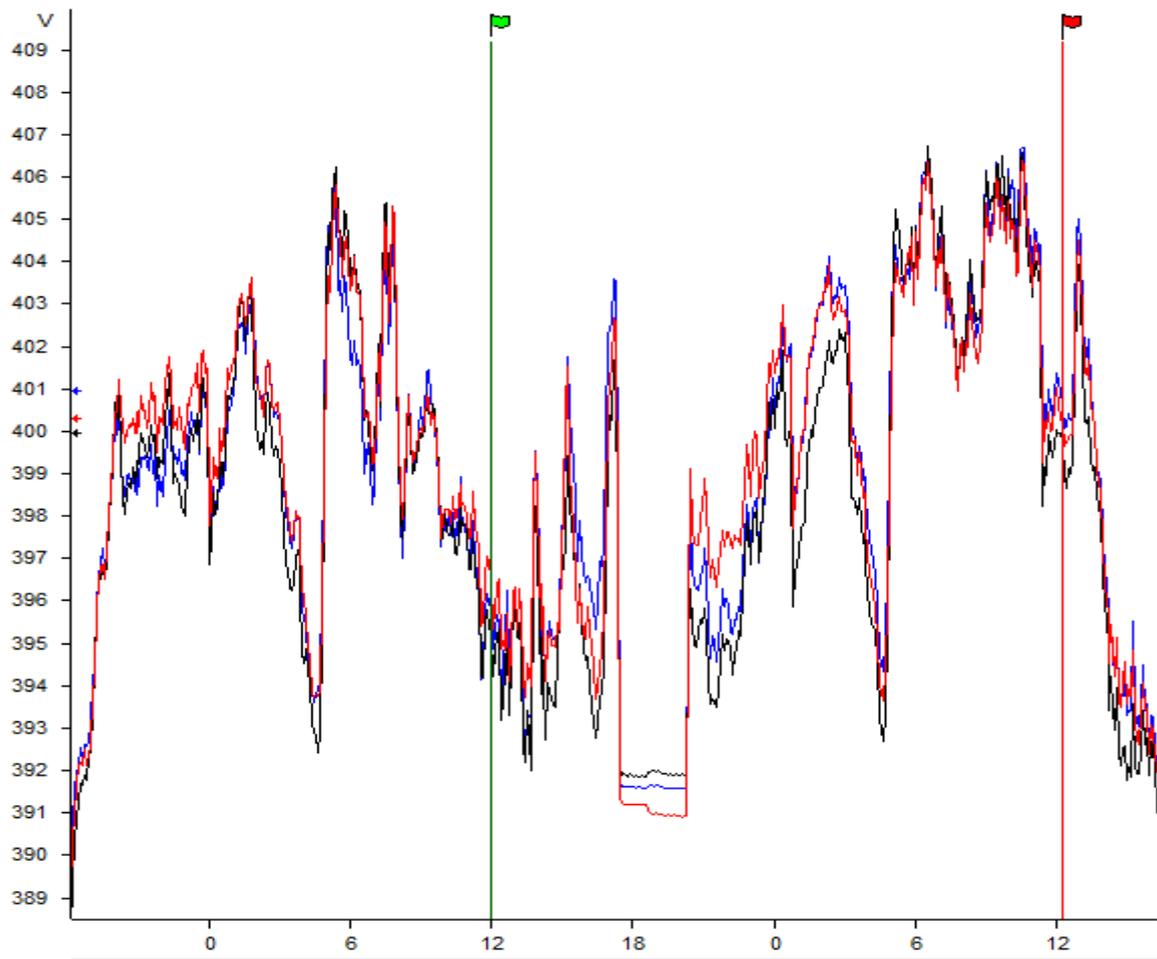
Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	229,5	228,8	227,7	396,9	395,4	396
2	230,8	229	229,4	398,2	397	398,6
4	229,7	227	228,6	395,1	394,6	396,4
6	225,7	226	226,5	391,2	391,9	391,6
8	225,5	225,9	226,6	390,9	391,9	391,6
10	230	228,8	227,1	397,3	398,4	395,9
12	232	231,8	231,2	401,7	401	401,1
14	233,8	231,6	231,5	403,1	401	403
16	230,6	228,8	229,5	397,8	396,9	398,5
18	233	233	233,6	403,6	404,1	404,1
20	231,5	231,5	231,8	400,9	401,2	401,2
22	234	233,1	234,2	404,5	404,7	405,5

Fonte: O autor (2022)

Figura A.5: Gráfico das tensões de fase do quarto dia



Fonte: O autor (2022)

Figura A.6: Gráfico das tensões de linha do quarto dia

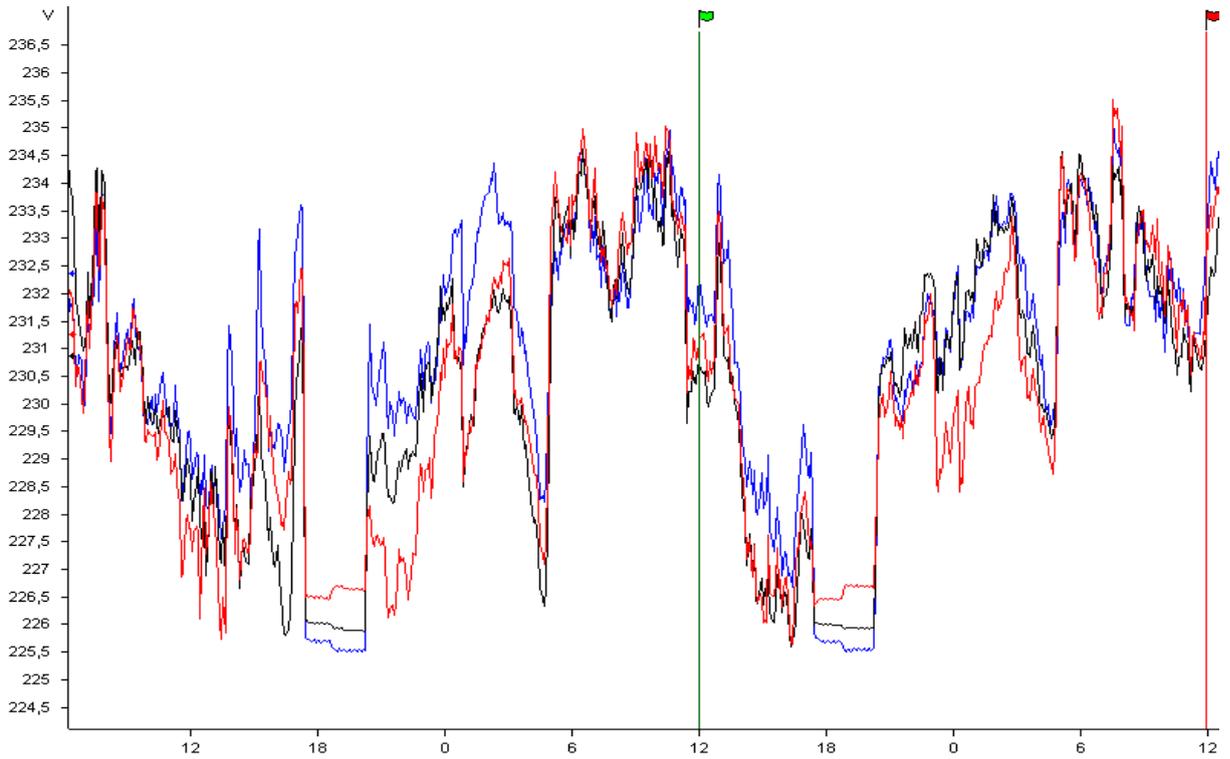
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os gráficos e tabela referentes as tensões da unidade consumidora durante o quinto dia.

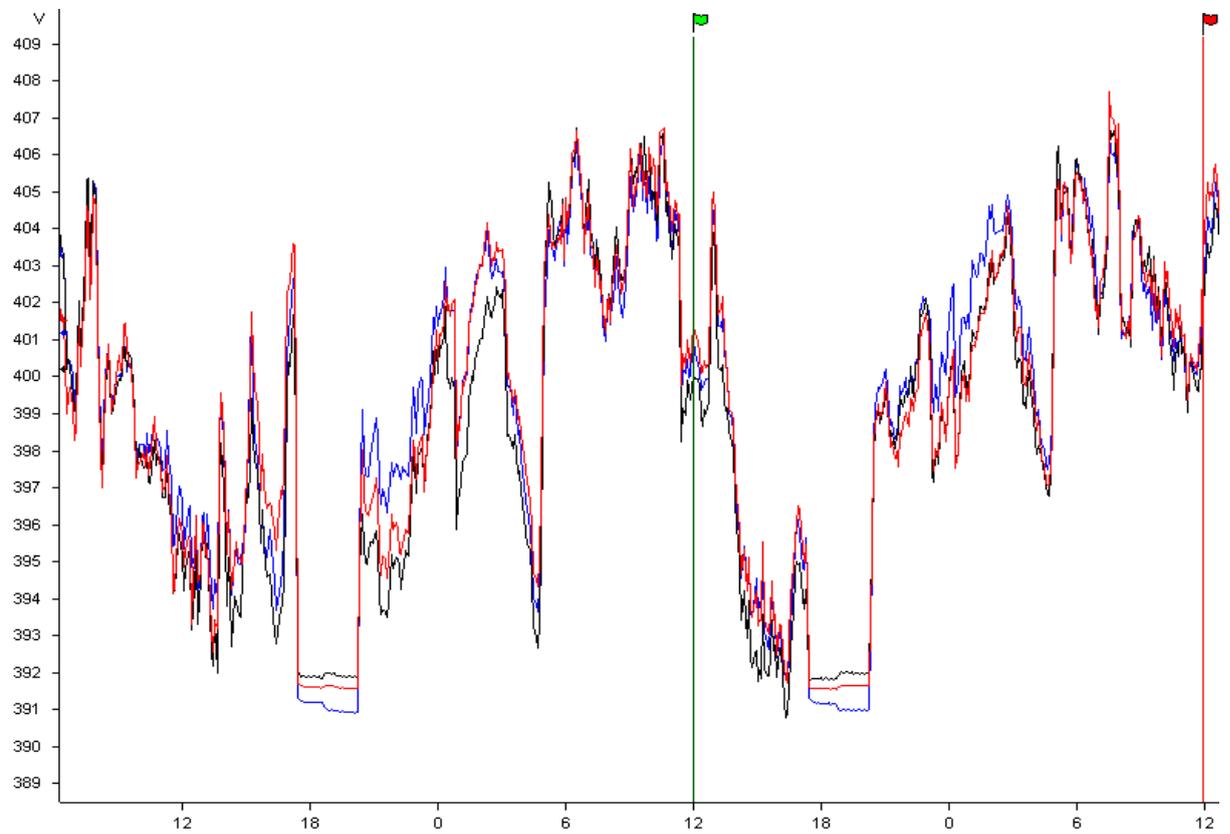
Tabela A.4: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no quinto dia

Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	232	230,7	230,9	400,7	399,7	400,8
2	229,9	229	229,1	397,4	396,8	397,6
4	226,9	226,2	226,3	392,4	391,9	392,5
6	225,7	226	226,4	391,2	391,8	391,6
8	225,6	225,9	226,7	391	392	391,6
10	230,4	231	229,9	399,6	399,2	398,7
12	231,1	231	229,3	400,2	398,6	398,6
14	233,4	233	231,7	404	402,5	402,8
16	231,6	231,1	230,3	400,8	399,6	400,1
18	233,9	234	234	405,3	405,4	405,3
20	234,3	233,8	234,5	405,4	405,6	406
22	231,6	231,7	232,1	401,2	401,7	401,6

Fonte: O autor (2022)

Figura A.7: Gráfico das tensões de fase do quinto dia

Fonte: O autor (2022)

Figura A.8: Gráfico das tensões de linha do quinto dia

Fonte: O autor (2022)

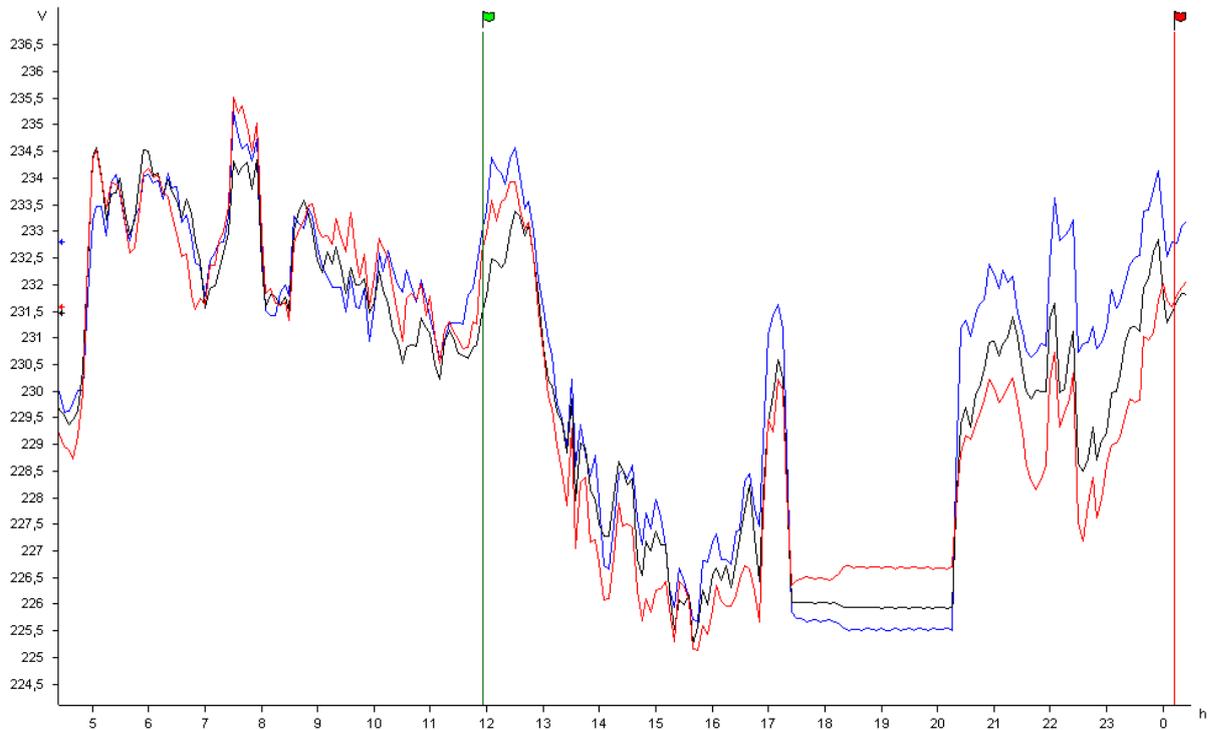
A seguir serão apresentados os gráficos e tabela referentes as tensões da unidade consumidora durante o sexto dia.

Tabela A.5: Medição das tensões realizadas a cada 2 horas no sexto dia

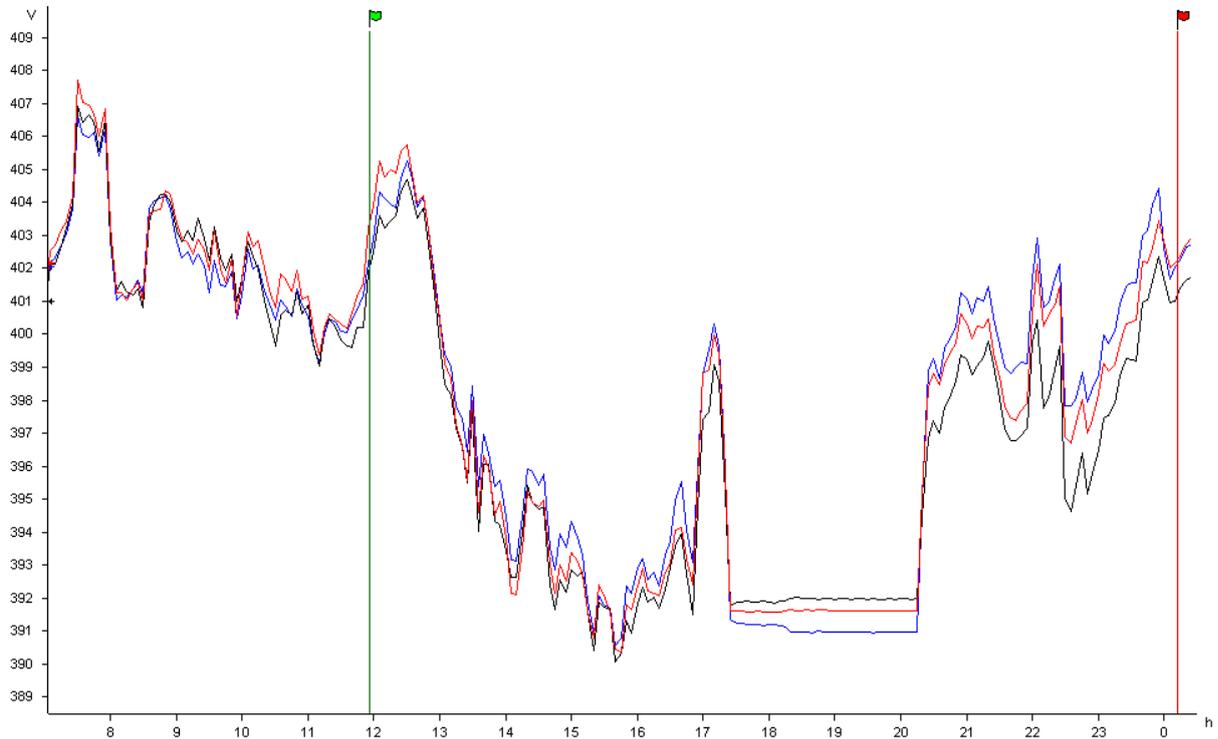
Hora (h)	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
0	233,4	231,8	233	402,9	402,5	403,9
2	228,8	228	227,2	395,6	394,2	394,9
4	227,2	226,5	225,9	392,9	391,8	392,4
6	225,7	226	226,5	391,2	391,9	391,6
8	225,5	225,9	226,7	391	392	391,6
10	233,6	231,6	230,7	402,9	400,4	402,1
12	233,2	231,8	232,1	402,7	401,7	402,9

Fonte: O autor (2022)

Figura A.9: Gráfico das tensões de fase do sexto dia



Fonte: O autor (2022)

Figura A.10: Gráfico das tensões de linha do sexto dia

Fonte: O autor (2022)

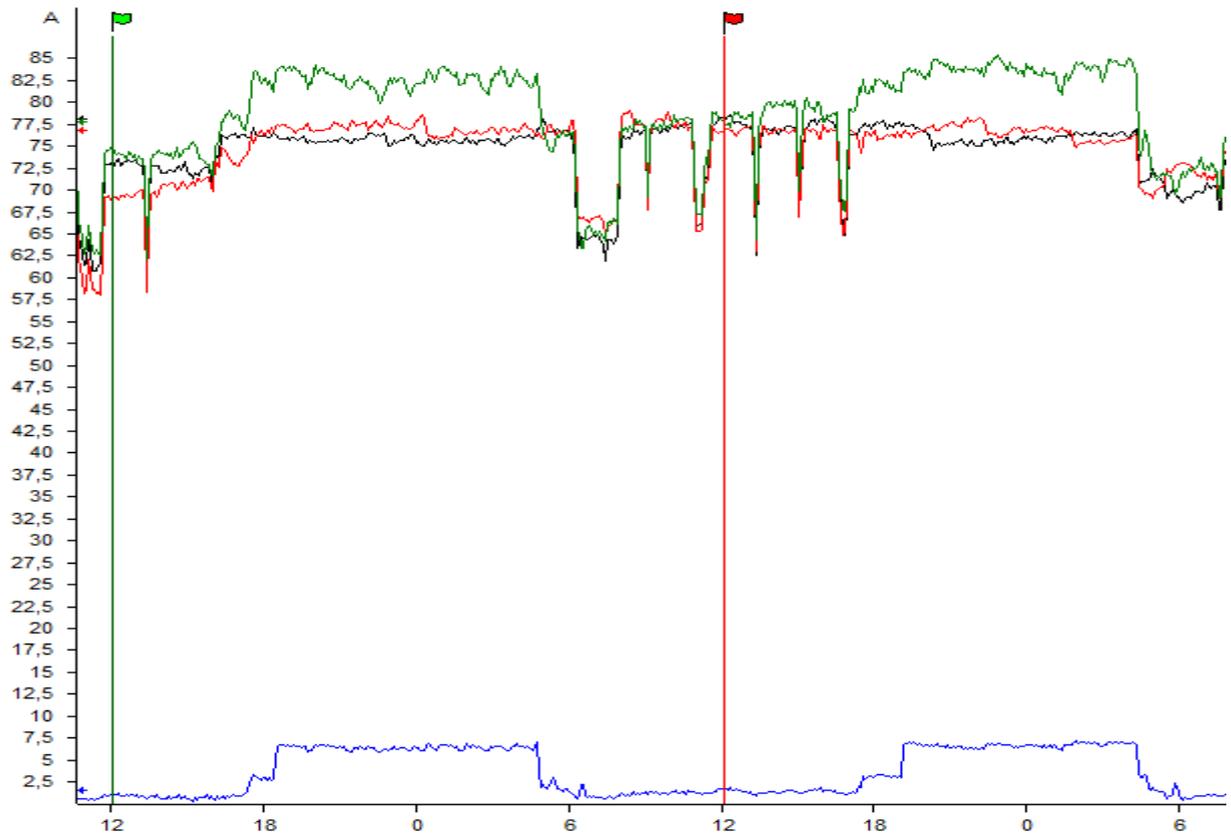
Assim como dito no tópico 3, é possível observar através dos gráficos e das tabelas que as tensões encontram-se equilibradas, porém com valores superiores ao indicado pela norma, indicando uma sobretensão.

A seguir serão apresentados os gráfico e tabelas referentes as correntes da unidade consumidora. Têm-se as correntes do segundo dia de análises.

Tabela A.6: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no segundo dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	74,69	68,95	73,01	1,074
2	74,32	70,51	72,02	0,637
4	72,02	70,52	71,45	0,823
6	82,57	76,39	76,21	2,993
8	83,55	76,58	75,55	6,616
10	82,09	77,76	76,01	6,297
12	82,18	78,03	75,41	6,363
14	82,19	76,28	75,65	6,325
16	83,04	76,91	75,88	6,599
18	76,65	76,7	76,83	1,403
20	66,62	66,5	64,25	0,672
22	77,22	78,85	76,68	1,032

Fonte: O autor (2022)

Figura A.11: Gráfico das correntes do segundo dia

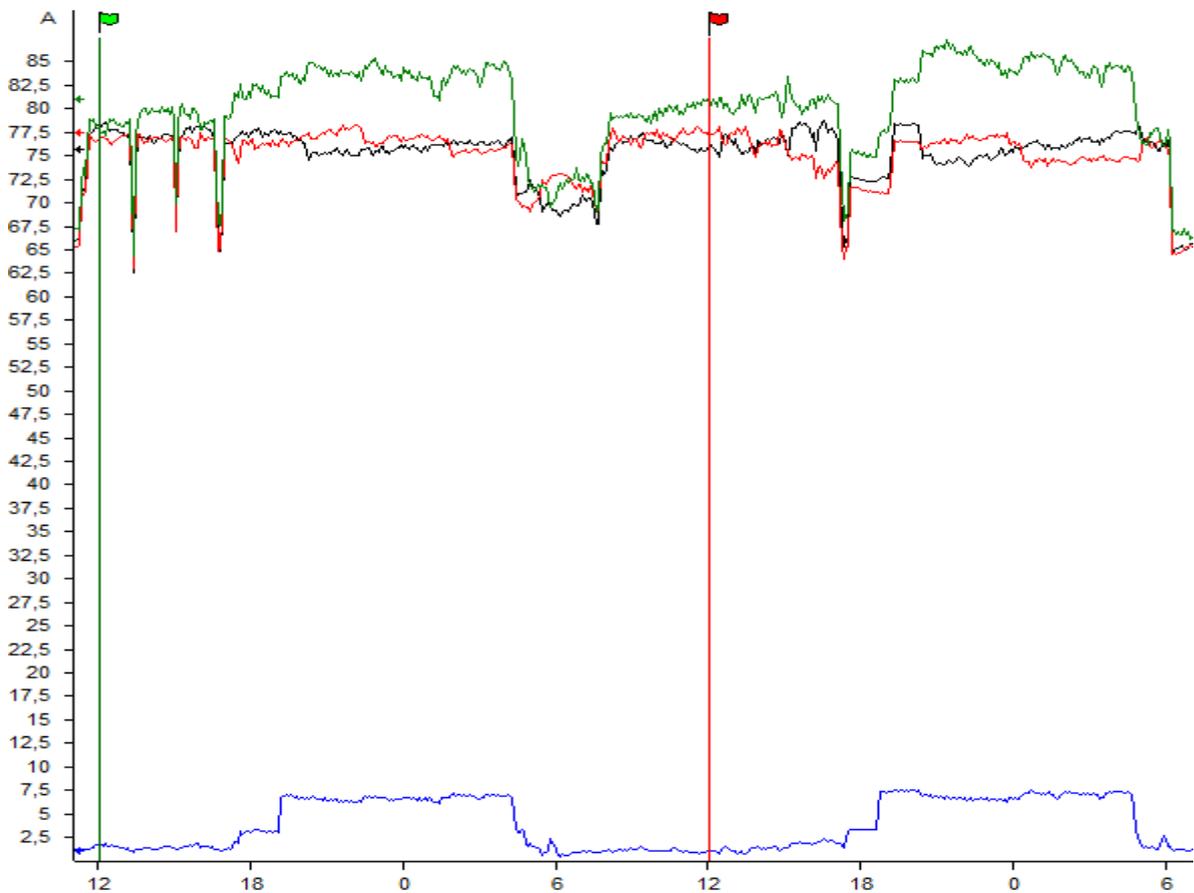
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as correntes da unidade consumidora durante o terceiro dia.

Tabela A.7: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no terceiro dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	78,19	76,58	78,09	1,692
2	79,45	76,53	76,85	1,407
4	79,39	75,83	78,19	1,808
6	81,91	76,24	77,03	3,137
8	82,67	76,86	76,88	6,756
10	83,84	77,94	75,63	6,464
12	82,97	76,54	76,23	6,638
14	83,88	74,95	76,61	7,242
16	84,47	75,8	76,23	6,927
18	70,7	72,87	69,24	1,156
20	76,37	74,25	73,17	1,095
22	79,8	77,21	76,31	1,034

Fonte: O autor (2022)

Figura A.12: Gráfico das correntes do terceiro dia

Fonte: O autor (2022)

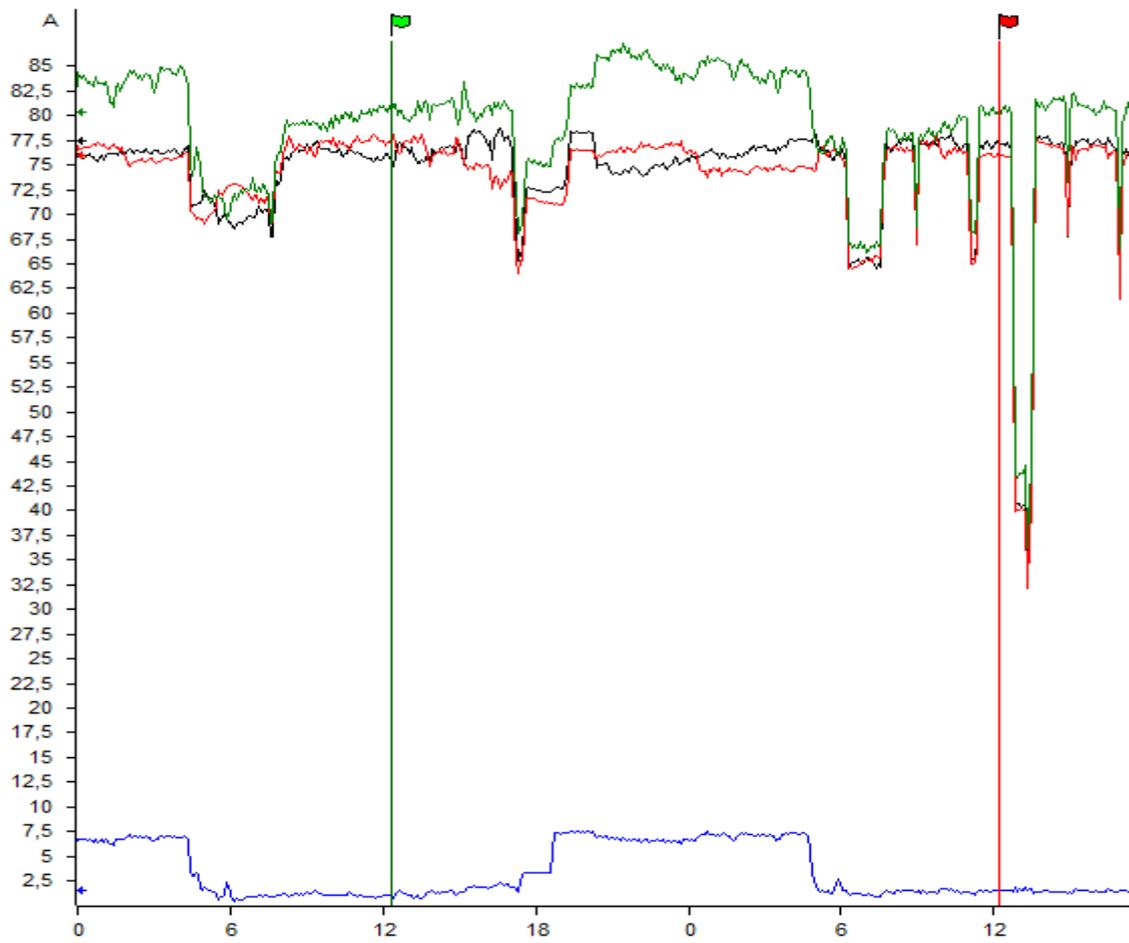
A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as correntes da unidade consumidora durante o quarto dia.

Tabela A.8: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no quarto dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	81,05	77,43	75,74	0,987
2	81,21	76,15	76,46	1,416
4	80,66	74,87	77,98	1,864
6	75,15	71,43	72,47	3,334
8	82,82	76,48	78,29	7,449
10	86,11	76,41	74,76	6,761
12	83,99	76,43	75,43	6,564
14	84,78	74,38	76,15	7,065
16	84,62	74,38	77,58	7,437
18	76,36	76	76,2	2,374
20	78,45	76,72	76,34	1,331
22	79,33	75,87	77,88	1,651

Fonte: O autor (2022)

Figura A.13: Gráfico das correntes do quarto dia



Fonte: O autor (2022)

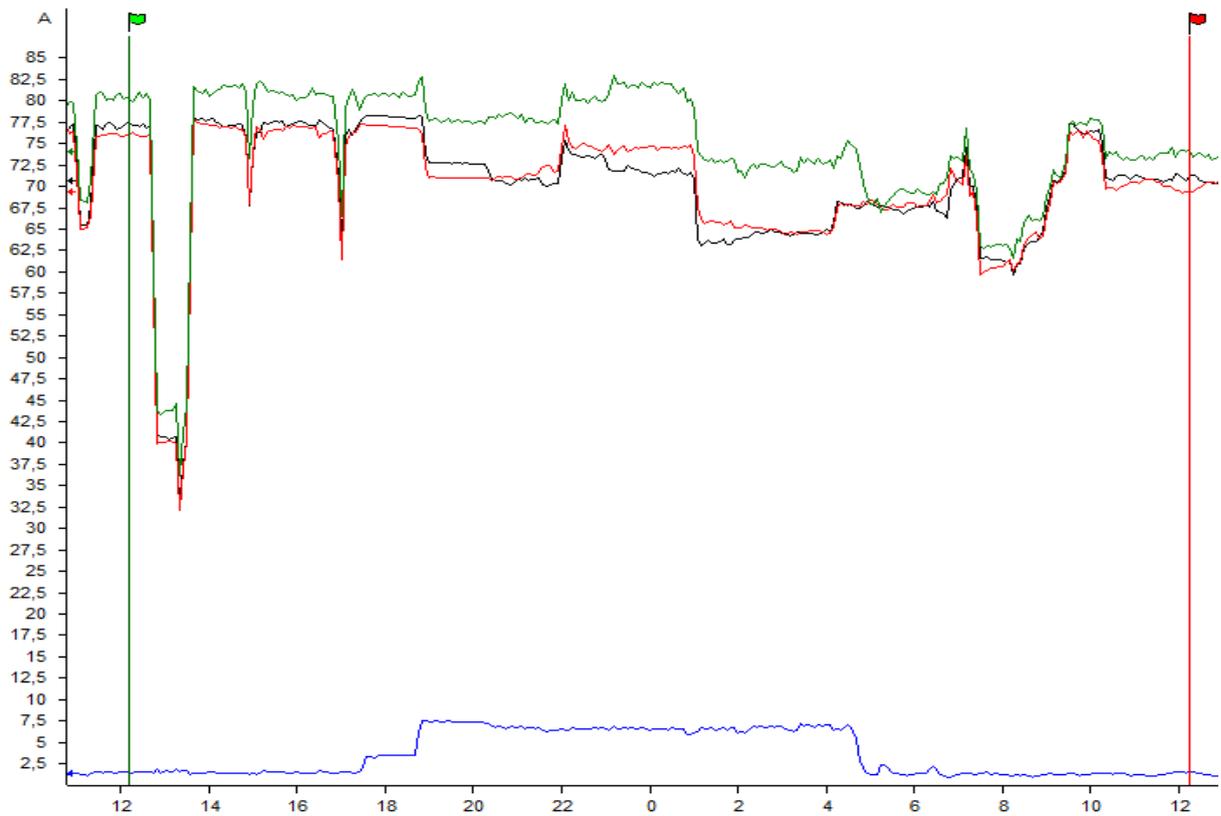
A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as correntes da unidade consumidora durante o quinto dia.

Tabela A.9: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no quinto dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	80,66	76,12	76,61	1,382
2	80,62	77,14	77,85	1,506
4	80,66	77,2	77,3	1,349
6	80,95	77,1	78,23	3,487
8	77,34	70,92	72,63	7,307
10	77,39	71,74	70,27	6,362
12	81,77	74,51	71,59	6,493
14	71,58	65,24	63,83	6,157
16	72,59	64,73	64,7	6,827
18	69,15	68,04	67,39	1,238
20	63,07	60,61	61,28	1,243
22	77,19	76,51	76,25	1,201

Fonte: O autor (2022)

Figura A.14: Gráfico das correntes do quinto dia



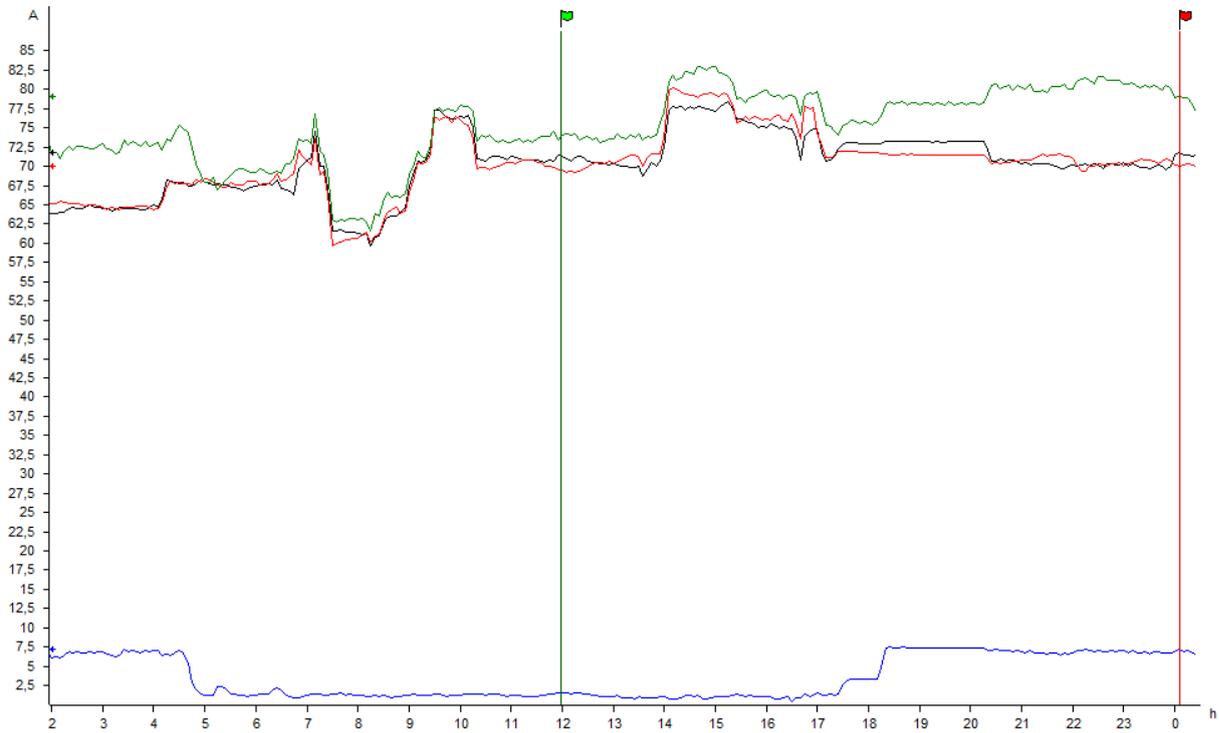
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as correntes da unidade consumidora durante o sexto dia.

Tabela A.10: Medição das correntes realizadas a cada 2 horas no sexto dia

Hora (h)	Fase A (A)	Fase B (A)	Fase C (A)	Neutro (A)
0	74,08	69,46	71,37	1,545
2	76,92	73,71	72,5	0,994
4	79,96	76,19	75,08	1,134
6	75,93	71,84	72,96	3,398
8	77,92	71,45	73,2	7,301
10	79,99	71	70,16	6,683
12	78,96	70,13	71,55	6,97

Fonte: O autor (2022)

Figura A.15: Gráfico das correntes do sexto dia

Fonte: O autor (2022)

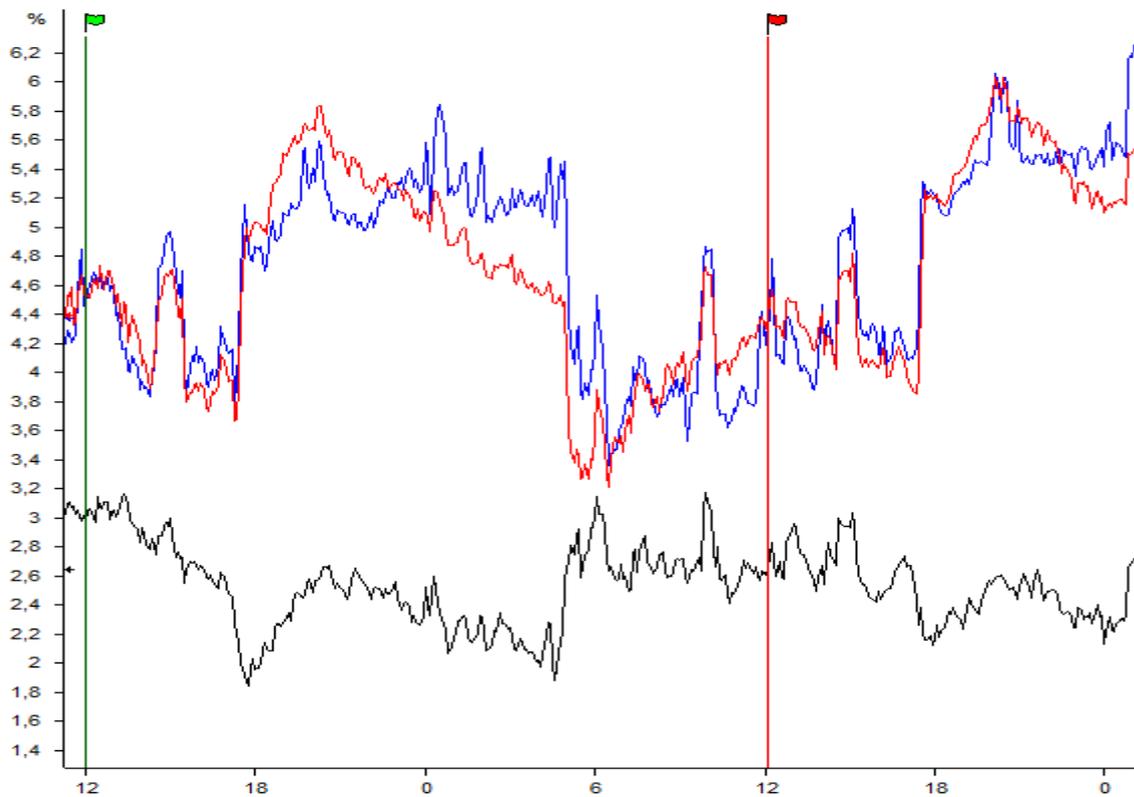
Assim como dito no tópico 3, é possível observar através dos gráficos e das tabelas que as correntes encontram-se equilibradas.

A seguir serão apresentados os gráficos e tabelas referentes as grandezas de Distorção Harmônica por fase da unidade consumidora. Têm-se as distorções harmônicas de tensão do segundo dia de análises.

Tabela A.11: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no segundo dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,552	2,975	4,447
2	4,216	2,833	3,886
4	3,871	2,644	4,07
6	5,034	1,957	4,864
8	5,671	2,579	5,269
10	5,285	2,489	5,041
12	5,107	2,322	5,307
14	4,807	2,33	5,493
16	4,591	2,012	5,201
18	3,568	3,01	4,162
20	3,797	2,661	3,884
22	4,726	3,175	4,873

Fonte: O autor (2022)

Figura A.16: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do segundo dia

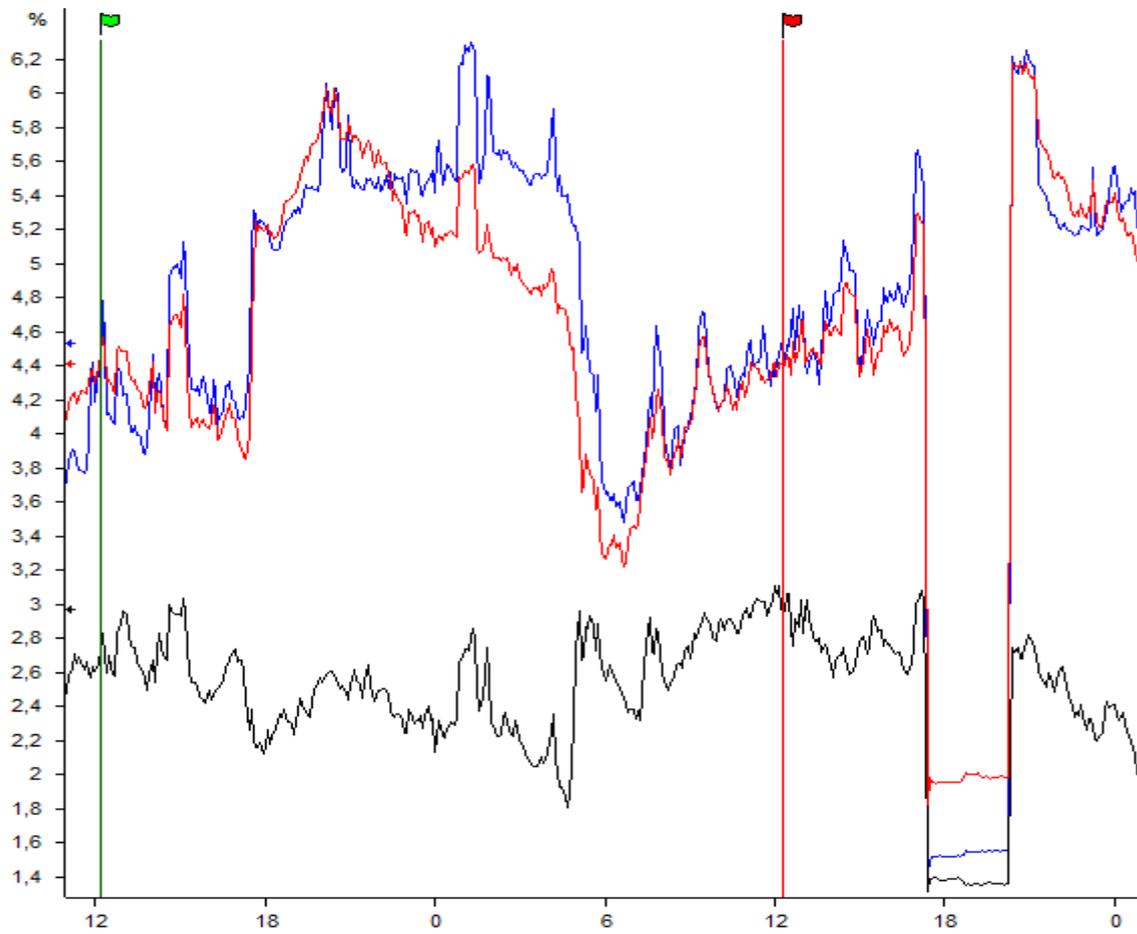
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as distorções harmônicas de tensão por fase da unidade consumidora durante o terceiro dia

Tabela A.12: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no terceiro dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,381	2,631	4,424
2	4,424	2,673	4,472
4	4,049	2,425	4,276
6	5,193	2,128	5,238
8	5,864	2,543	5,732
10	5,666	2,494	5,506
12	5,102	2,131	5,413
14	5,1	2,297	5,853
16	4,865	2,136	5,549
18	3,298	2,632	3,73
20	4,102	2,61	4,359
22	4,184	2,789	4,155

Fonte: O autor (2022)

Figura A.17: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do terceiro dia

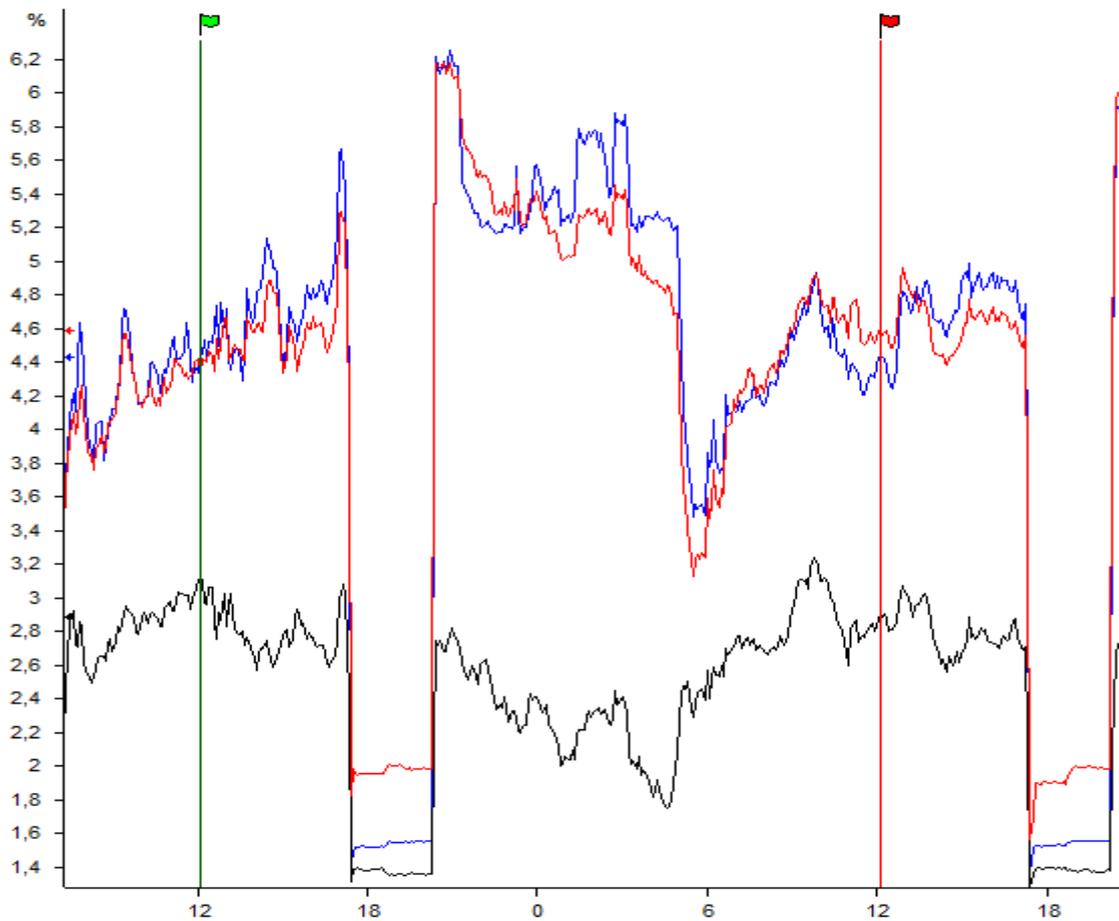
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as distorções harmônicas de tensão por fase da unidade consumidora durante o quarto dia

Tabela A.13: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no quarto dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,422	3,11	4,335
2	4,579	2,671	4,635
4	4,603	2,763	4,776
6	1,959	1,381	1,521
8	1,985	1,359	1,553
10	5,5	2,485	5,292
12	5,421	2,411	5,573
14	5,278	2,287	5,741
16	4,9	1,942	5,269
18	3,245	2,393	3,49
20	4,222	2,687	4,141
22	4,875	3,196	4,865

Fonte: O autor (2022)

Figura A.18: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do quarto dia

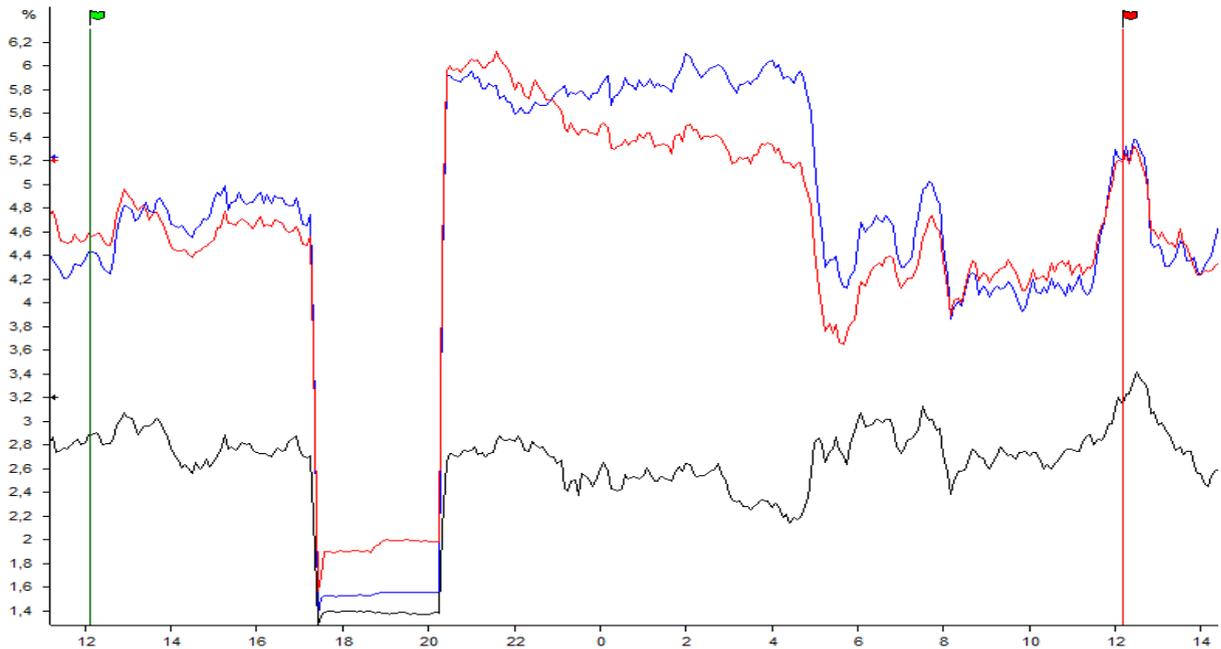
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as distorções harmônicas de tensão por fase da unidade consumidora durante o quinto dia.

Tabela A. 14: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no quinto dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,538	2,819	4,379
2	4,564	2,87	4,783
4	4,674	2,74	4,897
6	1,905	1,402	1,532
8	1,993	1,372	1,558
10	5,925	2,845	5,693
12	5,414	2,522	5,77
14	5,359	2,576	6,007
16	5,334	2,273	6,05
18	3,85	2,918	4,27
20	4,367	2,72	4,491
22	4,191	2,713	4,105

Fonte: O autor (2022)

Figura A.19: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do quinto dia

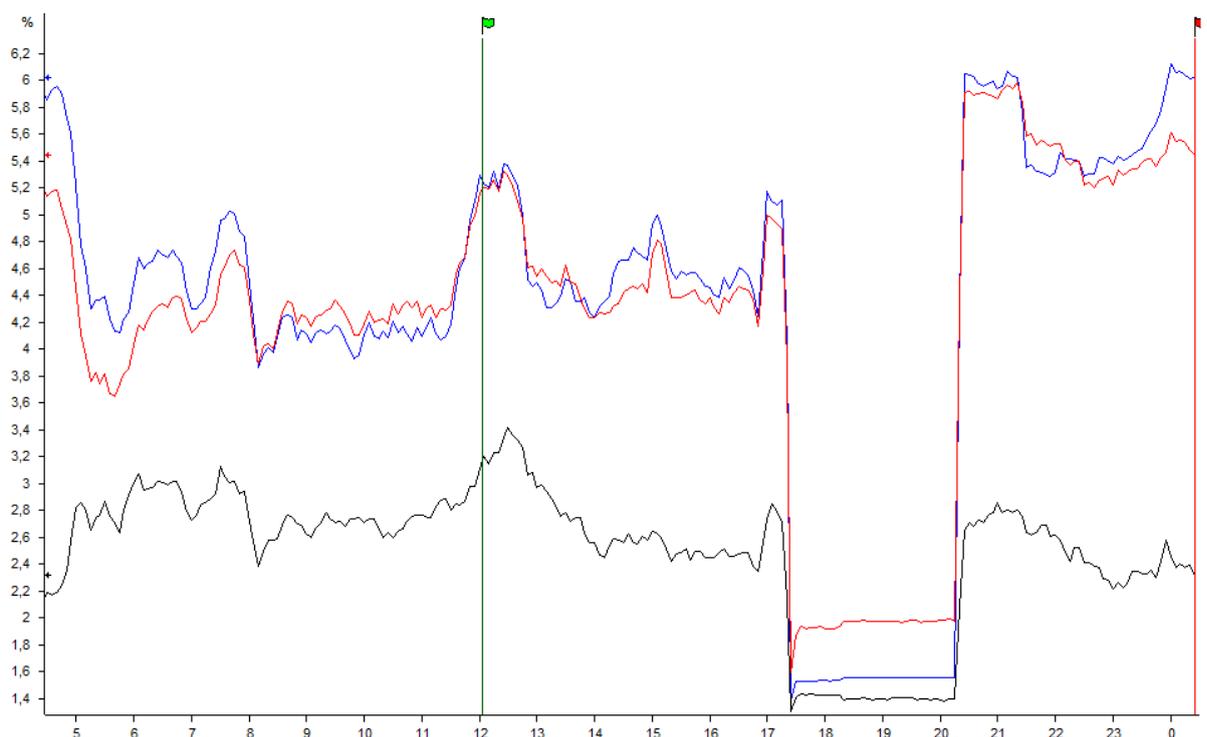
Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados o gráfico e a tabela referentes as distorções harmônicas de tensão por fase da unidade consumidora durante o sexto dia.

Tabela A.15: Medição das distorções harmônicas de tensão realizadas a cada 2 horas no sexto dia

Hora (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
0	4,993	2,981	5,1
2	4,239	2,563	4,272
4	4,341	2,45	4,467
6	1,92	1,424	1,534
8	1,974	1,4	1,558
10	5,515	2,607	5,288
12	5,549	2,376	6,063

Fonte: O autor (2022)

Figura A.20: Gráfico das distorções harmônicas de tensão do sexto dia

Fonte: O autor (2022)

Assim como dito no tópico 3, é possível observar através dos gráficos e das tabelas que as distorções harmônicas de tensão encontram-se dentro da margem referida pela ANEEL.

A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e o fator de potência da unidade consumidora durante o segundo dia de atuação do analisador de energia.

Tabela A.16: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no segundo dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP
0	50,55	40,78	29,8	80,7
2	50,14	40,65	29,26	81,17
4	48,98	39,5	28,03	81,55
6	53,12	43,77	30,04	82,38
8	54,51	44,63	30,93	81,87
10	54,29	44,56	30,93	82,08
12	54,52	44,59	31,34	81,76
14	54,35	44,32	31,12	81,91
16	53,87	44,42	30,3	82,55
18	53,99	43,12	32,39	79,95
20	46,04	37,28	30,8	80,53
22	54,35	43,66	32,52	80,34

Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e o fator de potência da unidade consumidora durante o terceiro dia de atuação do analisador de energia.

Tabela A.17: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no terceiro dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP
0	54,17	43,62	32,1	80,53
2	53,66	43,5	31,69	80,82
4	53,07	43,33	30,46	81,79
6	53,03	43,74	29,95	82,64
8	54,66	44,7	31,15	81,79
10	54,68	44,77	31,26	81,98
12	54,6	44,64	31,38	82,29
14	54,68	44,7	31,63	81,74
16	54,2	44,62	30,7	82,47
18	49,51	39,94	29,06	80,83
20	52,31	42,01	30,58	80,84
22	53,54	43,52	31,23	81,24

Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e o fator de potência da unidade consumidora durante o quarto dia de atuação do analisador de energia.

Tabela A.18: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no quarto dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP
0	53,49	43,62	31,01	81,48
2	53,53	43,49	31,33	81,25
4	53,19	43,28	30,89	81,39
6	49,52	41,21	27,72	82,98
8	53,7	44,8	29,65	83,33
10	54,23	44,65	30,67	82,34
12	54,69	44,62	31,33	81,7
14	54,67	44,69	31,5	81,64
16	54,24	44,61	30,66	82,35
18	53,16	42,88	31,82	80,31
20	53,88	43,29	31,87	80,63
22	54,47	43,66	32,65	80,15

Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e

o fator de potência da unidade consumidora durante o quinto dia de atuação do analisador de energia.

Tabela A.19: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no quinto dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP
0	53,96	43,62	31,74	80,78
2	53,91	44,1	31,19	81,54
4	53,26	43,6	30,55	81,89
6	53,42	44,15	30,04	82,67
8	49,93	41,86	27,3	83,67
10	50,61	44,26	29,94	82,07
12	52,64	42,7	30,68	81,11
14	47,06	38,22	27,37	81,21
16	46,56	38,13	26,66	81,9
18	47,93	38,11	29,06	79,49
20	43,04	34,39	26,49	79,89
22	53,19	43,39	31	81,43

Fonte: O autor (2022)

A seguir serão apresentados os dados referentes as potências aparente, ativa e reativa e o fator de potência da unidade consumidora durante o sexto dia de atuação do analisador de energia.

Tabela A.20: Medição trifásica das potências aparente, ativa, reativa e do FP realizadas a cada 2 horas no sexto dia

Hora (h)	Potência aparente (kVA)	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	FP
0	50,02	40,96	28,69	82,06
2	50,75	41,19	27,81	82,82
4	52,38	43,19	29,43	82,57
6	49,83	41,41	27,7	83,07
8	50,31	42,16	27,48	83,79
10	51,17	42,09	28,61	82,27
12	51,24	42,09	29,24	81,87

Fonte: O autor (2022)