

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CARLOS EDUARDO VIEIRA DA SILVA

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS PRESENTES NA REDE ELÉTRICA RESIDENCIAL

Jataí - GO
Julho/2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Carlos Eduardo Vieira da Silva

Matrícula: 20161020040242

Título do Trabalho: Análise dos distúrbios presentes na rede elétrica residencial.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jatari, 14 / 08 / 22
Local Data

Carlos Eduardo V. da Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

CARLOS EDUARDO VIEIRA DA SILVA

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS PRESENTES NA REDE ELÉTRICA RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Jataí para
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientadora: Prof.^a Ma. Patrícia Gomes de
Souza Freitas

Jataí - GO

Julho/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Carlos Eduardo Vieira da.

Análise dos distúrbios presentes na rede elétrica residencial [manuscrito] / Carlos Eduardo Vieira da Silva. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2022.

73 f.; il.

Orientadora: Profa. Ma. Patrícia Gomes de Souza Freitas.
Bibliografias.

1. Qualidade de energia elétrica. 2. Distúrbios elétricos. 3. Controle Volt/Var. 4. Tensão residencial. I. Freitas, Patrícia Gomes de Souza. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Rosy Cristina O. Barbosa – CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F049/2022-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

CARLOS EDUARDO VIEIRA DA SILVA

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS PRESENTES NA REDE ELÉTRICA RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 06 de julho de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Patrícia G. de Souza Freitas
Presidente da banca / Orientadora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Fernando Silva Pereira
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Marcelo Semensato
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Luciano de Souza da Costa e Silva
(Membro)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - Câmpus Três Lagoas

Documento assinado eletronicamente por:

- **Fernando Silva Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/08/2022 19:32:11.
- **Marcelo Semensato, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/08/2022 17:02:15.
- **Luciano de Souza da Costa e Silva, Luciano de Souza da Costa e Silva - 203215 - Engenheiro pesquisador (engenharia elétrica e eletrônica) - Ifms - Três Lagoas (10673078000805)**, em 16/08/2022 16:04:12.
- **Patricia Gomes de Souza Freitas, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/08/2022 16:02:03.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/06/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 298001

Código de Autenticação: 2b1455b06b



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0843 (ramal: 843)

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais, que sempre me incentivaram nos estudos. Ao meu pai, Mauricio, que devido à sua profissão de eletricista me apresentou a área da eletricidade, que sempre me causou muita curiosidade. À minha mãe, Lindamar, que me deu apoio e suporte incondicional durante toda essa jornada, sempre me incentivando a continuar em frente e não desistir.

À minha avó, Neuza, que participou da minha criação e sempre me motivou a dar o meu melhor em qualquer área que eu escolhesse atuar, gostaria que estivesse aqui para me ver iniciar uma nova fase de minha vida.

À minha namorada, Paola, que me acompanhou na parte final da minha trajetória da graduação, pela cumplicidade, carinho e também pela compreensão durante as fases difíceis.

Sou grato aos familiares, amigos e colegas da graduação e que adicionaram momentos especiais e agradáveis a essa árdua caminhada.

Também agradeço à minha orientadora Prof.^a Ma. Patrícia Gomes de Souza Freitas, pelas ideias, discussões, orientação e por me auxiliar na elaboração desse trabalho.

E por fim, agradeço ao Instituto Federal de Goiás, ao curso de graduação em Engenharia Elétrica, ao seu corpo docente por terem me auxiliado no decorrer do curso e aos demais colaboradores da instituição por oferecerem uma excelente educação pública, gratuita e de qualidade.

*“Science is about knowing;
engineering is about doing”.*

Henry Petroski

RESUMO

Este projeto realiza um estudo sobre o sistema elétrico de distribuição, apresentando um breve resumo das normas relacionadas à qualidade de energia elétrica definidas pela ANEEL, apresentando técnicas utilizadas para manter o padrão de qualidade dos perfis de tensão e descrevendo distúrbios presentes na rede. Além disso, foi feita uma pesquisa de campo que consiste em realizar medições na rede e analisar as características dos distúrbios presentes no sinal de tensão que chega ao consumidor, e também foram feitas entrevistas com profissionais da área de manutenção de equipamentos elétricos de diversos tipos acerca dos defeitos causados pela má qualidade da energia elétrica, levantando as possíveis relações entre os distúrbios observados com a natureza dos danos causados aos consumidores.

Palavras-chaves: Qualidade de energia elétrica, distúrbios elétricos, controle Volt/Var, tensão residencial.

ABSTRACT

This project conducts a study about the electrical distribution system, presenting a brief overview about the standards related to power quality set by ANEEL, presenting techniques used to maintain the voltage profile quality standard and describing some disturbances present in the grid. In addition, a field research was done which consists in taking measurements on the network and analyzing the characteristics of the disturbances present in the voltage signal that reaches the consumer, and also interviews were made with professionals in the area of maintenance of electrical equipment of various types about the defects caused by the poor quality of electrical energy, raising the possible relationships observed between observed disturbances with the feature of harm caused to consumers.

Keywords: Quality of electrical energy, electrical disturbances, Volt-Var control, residential voltage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Faixas de tensão em relação à de referência.	20
Figura 3.1 – Exemplo de rede de distribuição radial.	26
Figura 3.2 – Topologia da rede de 21 barramentos.	27
Figura 3.3 – Topologia da rede de 36 barramentos.	31
Figura 4.1 – Exemplo de sinal com presença de distorções harmônicas.....	37
Figura 4.2 – Exemplo de sinal com presença de afundamento de tensão.	38
Figura 4.3 – Forma de onda típica de sobretensão temporária.	39
Figura 4.4 – Forma de onda típica de sobretensão de manobra.	40
Figura 4.5 – Forma de onda típica de sobretensão atmosférica.	41
Figura 4.6 – Flutuação de tensão do tipo A.	42
Figura 4.7 – Flutuação de tensão do tipo B.	42
Figura 4.8 – Flutuação de tensão do tipo C.	43
Figura 4.9 – Flutuação de tensão do tipo D.	43
Figura 5.1 – Mapa dos pontos de medição na cidade de Santa Helena de Goiás.	45
Figura 5.2 – Primeira medição registrada no Local 1.	45
Figura 5.3 – Primeira medição registrada no Local 2.	46
Figura 5.4 – Primeira medição registrada no Local 3.	46
Figura 5.5 – Primeira medição registrada no Local 4.	47
Figura 5.6 – Segunda medição registrada no Local 4.	47
Figura 5.7 – Segunda medição registrada no Local 1.	48
Figura 5.8 – Terceira medição registrada no Local 1.	48
Figura 5.9 – Tensão lida pelo multímetro digital no Local 1.	49
Figura 5.10 – Segunda medição registrada no Local 2.	49
Figura 5.11 – Tensão lida pelo multímetro digital no Local 2.	50
Figura 5.12 – Segunda medição registrada no Local 3.	50
Figura 5.13 – Tensão lida pelo multímetro digital no Local 3.	50
Figura 5.14 – Terceira medição registrada no Local 4.	51
Figura 5.15 – Tensão lida pelo multímetro digital no Local 4.	51
Figura 5.16 – Exemplo de corrente parcialmente assimétrica	52
Figura 5.17 – Distribuição da corrente de Curto-Circuito.....	53
Figura 5.18 – Medição realizada entre neutro e terra.	53
Figura 5.19 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.	53

Figura 5.20 – Imagem de um MOSFET danificado.	57
--	----

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 2.1 – Perfis de tensão em tensão nominal 380/220.....	21
Tabela 2.2 – Indicadores de Distorções Harmônicas.	23
Tabela 2.3 – Limite das distorções harmônicas totais em % da tensão fundamental.....	23
Quadro 3.1 – Potência consumida em cada nó da rede de 21 barramentos.	28
Quadro 3.2 – Características das linhas que interligam a rede de 21 barramentos.	29
Quadro 3.3 – Resultado das tensões simuladas com e sem o RT na rede de 21 barramentos.	30
Quadro 3.4 – Potência consumida em cada nó da rede de 36 barramentos.	32
Quadro 3.5 – Características das linhas que interligam a rede de 36 barramentos.	33
Quadro 3.6 – Resultado das tensões simuladas com e sem o VVC na rede de 36 nós.	34
Tabela 4.1 – Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos do sistema de potência	36

LISTA DE SIGLAS

VVC – *Volt/Var Control*.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

QEE – Qualidade de Energia Elétrica.

TL – Tensão de leitura.

MOSFET – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*, ou Transistor de efeito de campo metal – óxido – semicondutor.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
2	QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	20
3	TÉCNICAS DE CORREÇÃO DO PERFIL DE TENSÃO.....	25
3.1	Equipamentos utilizados.....	25
3.1.1	Banco de Capacitores (BC).....	25
3.1.2	Regulador de Tensão (RT).....	26
3.1.3	Chave seccionadora	26
3.2	Simulação VVC	27
4	DISTÚRBIOS RELACIONADOS À ENERGIA ELÉTRICA	36
4.1	Distorções harmônicas de tensão	37
4.2	Afundamento de tensão	38
4.3	Elevação de tensão.....	39
4.4	Flutuações de tensão.....	41
5	ESTUDO DE CAMPO – RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	Medições de tensão	44
5.2	Entrevistas realizadas	55
6	CONCLUSÃO	59
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
8	APÊNDICE I	64
9	APÊNDICE II.....	67
10	APÊNDICE III	71
11	APÊNDICE IV.....	72

1 INTRODUÇÃO

Em nossa sociedade atual, o uso de eletrodomésticos se tornou algo tão comum que, chega até mesmo ser indispensável a utilização de refrigeradores, ventiladores e televisores, computadores, entre outros. Tais aparelhos, embora nos tragam um grande benefício aparente, também trazem um grande problema devido à natureza de suas cargas não lineares ou reativas.

Quando se há um alto consumo de reativos, consequentemente o fator de potência da rede irá diminuir e, em decorrência disso haverá diversos problemas tais como: variações de tensão, que podem acarretar em perdas de outros aparelhos eletrodomésticos; condutores aquecidos e perdas de energia (COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO, 2022).

Além de problemas relacionados à característica da carga do consumidor, também há um grande enfoque nos distúrbios originados nas linhas de distribuição, tais como as variações de tensão e as harmônicas, além das próprias interrupções de fornecimento. Um fator que contribui muito para a deterioração dos níveis de tensão é o fato de muitas concessionárias não terem o devido controle do limite de potência que os transformadores abaixadores da rede pública suportam, esse e outros fatores reforçam o efeito de queda de tensão da rede (SANTOS, 2017).

É de suma importância lembrar que os componentes dos equipamentos atuais os tornam mais sensíveis à qualidade do fornecimento da energia elétrica, do que aqueles utilizados no passado. Muitos destes novos equipamentos baseados em circuitos eletrônicos analógico-digitais são suscetíveis a diversos tipos de distúrbios (MAIA, 2011). Assim, os eletrodomésticos acabam por ficar cada vez mais sensíveis às variações de tensão, ou seja, quando se há um sinal instável e poluído chegando à unidade consumidora, o risco de se haver aparelhos danificados por conta de problemas elétricos é alto.

Para corrigir tais problemas, existem metodologias capazes de controlar os níveis de tensão e potência reativa, denominadas Controle Volt/Var (*Volt/Var control* – VVC), em redes de distribuição, com foco de reduzir as violações de tensão e manter o nível da mesma em patamares adequados (OLIVEIRA, 2021). Tal ação traz benefícios como: diminuição da variação de tensão, aumento da vida útil dos equipamentos elétricos e redução de perdas de energia (COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO, 2022).

Foi realizado um estudo sobre o que se têm na literatura acerca do tema da qualidade de energia voltada para consumidores residenciais. Indo desde a revisão das normas impostas pela ANEEL, segundo o módulo 8 do PRODIST, apresentando algumas técnicas de correção que podem ser aplicadas na rede de distribuição de energia elétrica para melhorar os perfis de tensão que chegam ao consumidor e descrevendo alguns distúrbios presentes na rede elétrica, além da realização de simulações via *software* para ilustrar o impacto das mesmas na correção dos níveis de tensão em uma rede de distribuição fictícia.

Com o objetivo de estudar o perfil de tensão na cidade de Santa Helena de Goiás, bem como verificar a presença de distúrbios na rede elétrica e como tais problemas podem impactar financeiramente o consumidor ao danificar eletrodomésticos fora realizado um estudo de campo, onde são analisadas as características dos sinais de tensão que chegam até o consumidor final, com o auxílio de um aparelho osciloscópio. Além de realizar algumas entrevistas com profissionais da área de manutenção de equipamentos elétricos e eletrônicos, alinhando assim o conhecimento teórico acerca dos efeitos dos distúrbios presente na literatura com o conhecimento prático a fim de obter uma conclusão geral sobre a qualidade de energia elétrica na prática e entender como os distúrbios e técnicas para correção pesquisados impactam o cotidiano.

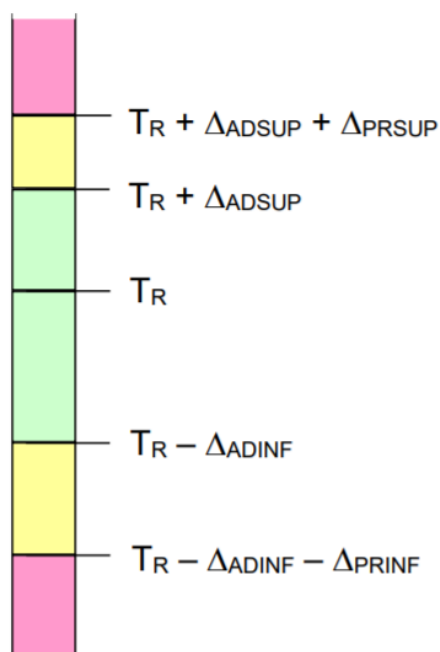
2 QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável por regularizar e fiscalizar as concessionárias de energia elétrica, impondo normas que devem ser seguidas, com a finalidade de manter o padrão de QEE que chega ao consumidor final. Tais normas estão presentes no PRODIST, sendo o módulo 8 focado diretamente nos níveis de tensão e distúrbios presentes na linha elétrica. Neste capítulo é feita uma rápida abordagem acerca de alguns parâmetros relacionados aos níveis de tensão.

Assim, definem-se as faixas adequada, precária e crítica de tensão em regime permanente cuja mesma deve ser acompanhada em todo o sistema de distribuição, desde a subestação de entrada, rede de distribuição primária, rede de distribuição secundária até chegar na unidade consumidora.

Com relação à regulação da tensão contratada, têm-se que, em pontos com tensão nominal superior a 1kV, a tensão deve situar-se entre 93% e 105% da tensão nominal de operação. Além disso, a tensão de atendimento que chega à unidade consumidora pode ser classificada de acordo com a faixa a seguir:

Figura 2.1: Faixas de tensão em relação à de Referência.



Fonte: PRODIST, Módulo 8 (ANEEL).

Onde:

T_R = Tensão de referência;

Δ_{ADSUP} = Variação adequada superior;

Δ_{PRSUP} = Variação precária superior;

Δ_{ADINF} = Variação adequada inferior;

Δ_{PRINF} = Variação precária inferior.

Assim, as faixas de tensão se dão nos seguintes intervalos:

Faixa adequada: $T_R + \Delta_{ADSUP}$, $T_R - \Delta_{ADINF}$;

Faixa precária: $T_R + \Delta_{ADSUP}$, $T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ ou $T_R - \Delta_{ADINF}$, $T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$;

Faixa crítica: $> T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ ou $< T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$.

Na rede elétrica que onde serão realizadas as medições e análises dos perfis de tensões, temos que a tensão de linha é 380V e a tensão de fase é 220V, logo temos as seguintes faixas definidas pela ANEEL:

Tensão de Atendimento	Faixa de variação da tensão de leitura (V)
Adequada	$(348 \leq TL \leq 396) / (201 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(327 \leq TL < 348 \text{ ou } 396 < TL \leq 403) /$ $(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(348 < TL \text{ ou } TL < 403) / (189 < TL \text{ ou } TL < 233)$

Tabela 2.1: Perfis de tensão em tensão nominal de 380/220V (ANEEL,2021).

Associadas a essas faixas de tensão, existem dois indicadores individuais de tensão em regime permanente, sendo a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP) e a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC), os quais devem estar associados a um mês civil. Para o cálculo dos indicadores individuais deve-se considerar o registro de 1008 leituras obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada, equivalente a 168 horas. Após a leitura, têm-se as equações:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100 [\%] \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100 [\%] \quad (2)$$

Onde:

nlp = número de leituras situadas na faixa precária; e

nlc = número de leituras situadas na faixa crítica.

A ANEEL regulamenta que para os indicadores individuais de tensão em regime permanente têm-se os seguintes limites:

- a) $DRP_{Limite} = 3\%$; e
- b) $DRC_{Limite} = 0,5\%$.

Também vale ressaltar que a ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 414, regulamenta que o fator de potência da energia elétrica no ponto de conexão para consumidores ou distribuidoras com tensão abaixo de 230 kV deve estar entre 1 e 0,92 (capacitivo ou indutivo), o cálculo do fator de potência (fp) pode ser feito utilizando os valores registrados da potência ativa (P) e da potência reativa (Q) da seguinte maneira:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3)$$

Existe a cobrança de uma taxa caso o consumidor esteja consumindo energia reativa ao ponto que o fator de potência da sua unidade consumidora fique abaixo de 0,92. Atualmente essa taxa não é cobrada de consumidores do tipo residencial segundo a mesma resolução normativa citada anteriormente.

Na rede elétrica de distribuição há também distorções associadas a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental, tais deformações são chamadas de distorções harmônicas. O parâmetro utilizado para calcular a distorção harmônica em determinada rede é o DHT (Distorção Harmônica Total), e o mesmo é calculado pela seguinte equação genérica:

$$DHT_h = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Y_h^2}}{Y_1} \quad (4)$$

Onde:

Y_1 = Magnitude (tensão ou corrente) fundamental;

Y_h = Magnitude n-ésima harmônica;

DHT_Y = Distorção harmônica total de Y (tensão ou corrente).

Existem indicadores relacionados ao DHT definidos pela ANEEL, apresentados na Tabela 2.2 a seguir:

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	$DTT_{3,95\%}$

Tabela 2.2: Indicadores de Distorções Harmônicas (ANEEL, 2021).

Baseando-se na equação genérica de DHT, têm-se os cálculos para os parâmetros:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 [\%] \quad (5)$$

Sendo:

V_h = tensão harmônica de ordem h;

h = ordem da harmônica individual; e

V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{máx}} V_h^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (6)$$

Sendo:

h = todas as ordens harmônicas de 2 até $h_{máx}$

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

V_h = tensão harmônica de ordem h ; e

V_1 = tensão fundamental medida.

Para o cálculo de $DTT_p\%$ adota-se na equação de $DTT\%$ apenas harmônicas de ordem par não múltiplas de 3 (2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, ...). No cálculo de $DTT_i\%$ utiliza-se na equação de $DTT\%$ apenas harmônicas de ordem ímpar não múltiplas de 3 ($h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, \dots$). Para $DTT_3\%$ considera-se apenas as harmônicas de ordem múltiplas de 3 ($h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, \dots$).

Os limites para os indicadores de distorções harmônicas totais constam na Tabela 2.3 a seguir:

Indicador	Tensão nominal (V_n)		
	$V_n \leq 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
$DTT_{95\%}$	10,0%	8,0%	5,0%
$DTT_{p95\%}$	2,5%	2,0%	1,0%
$DTT_{i95\%}$	7,5%	6,0%	4,0%
$DTT_{395\%}$	6,5%	5,0%	3,0%

Tabela 2.3: Limite das distorções harmônicas totais em % da tensão fundamental (ANEEL, 2021).

Tais limites correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição. No caso de medições realizadas utilizando-se Transformador de Potencial – TP com conexão do tipo V ou delta aberto, os limites permitidos para o indicador $DTT_{395\%}$ devem corresponder a 50% dos respectivos valores indicados na Tabela 2.3.

3 TÉCNICAS DE CORREÇÃO DO PERFIL DE TENSÃO

O mercado de consumo possui interesse em obter uma melhor qualidade da energia elétrica, cuja qual é deteriorada por diferentes fatores como: transitórios, variações de tensão, desequilíbrio de tensão, distorções na forma de onda entre outros. Portanto a energia fornecida aos usuários deve manter uma qualidade determinada, caso contrário a vida útil e o desempenho dos equipamentos é afetado (DOMINGUEZ, 2015). Para corrigir esse problema, existem metodologias capazes de controlar a tensão e a potência reativa (*Volt/Var control – VVC*) em redes de distribuição, com foco de reduzir as violações de tensão e manter o nível da mesma em patamares adequados (OLIVEIRA, 2021).

Nas redes de transmissão e distribuição ocorrem perdas de potencial elétrico devido à natureza dos equipamentos utilizados para a condução da energia elétrica e das elevadas cargas conectadas à mesma. Devido à essas perdas, um sistema de distribuição que possui diversas cargas conectadas ao mesmo sem a correção do VVC está predisposto a apresentar perfis de tensão indesejados, visto que tais perdas serão refletidas para a distribuição secundária pela relação de espiras do transformador.

3.1 Equipamentos utilizados

Para realizar a correção do nível de tensão são empregados na rede de distribuição, em sua maioria, equipamentos como transformadores comutadores de tap sobre carga, compensadores de reativos ou bancos de capacitores (BC) e reguladores de tensão (RT), que com ajuste apropriado destes dispositivos as perdas operacionais podem ser minimizadas e o perfil de tensão melhorado (DOMINGUEZ, 2015).

3.1.1 Banco de Capacitores (BC)

Os bancos de capacitores são componentes passivos do sistema elétrico, oferecendo benefícios quando se trata da redução de perda de energia elétrica. Devido às suas características, os capacitores liberam parte da capacidade da rede ao diminuir o fluxo de potência reativa que é consumido por motores e outras cargas de baixo fator de potência, sendo a elevação do perfil de tensão a sua característica mais importante (DOMINGUEZ, 2015).

Esses dispositivos conectados em paralelo ao sistema elétrico compensam as correntes reativas, visto que, por característica construtiva, a potência reativa do capacitor se subtrai com a potência reativa de característica indutiva presente na rede. Uma redução na corrente total é

diretamente uma redução nas perdas de potência ativa, fazendo com que a subestação possa atender mais cargas (PADILHA, 2010).

3.1.2 Regulador de Tensão (RT)

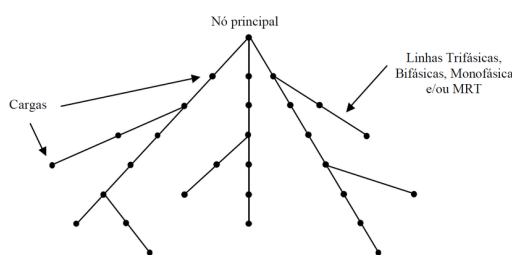
O regulador de tensão é, basicamente, um autotransformador com ajuste automático de *tap* (DOMINGUEZ, 2015). Este dispositivo tem como objetivo realizar a manutenção dos níveis de tensão da rede, assim regulando-a para manter o sinal dentro de uma faixa pré-determinada. O consumo de energia elétrica não é feito de forma constante pelos consumidores, havendo horários de baixo consumo e horários de pico, durante esse período devem existir posições disponíveis para regular a tensão a fim de mantê-la dentro da faixa adequada de operação, no entanto quando a demanda do sistema é leve a regulação de tensão deve diminuir através do número de *taps*, para assim evitar sobretensão (PEREIRA, 2009).

O acionamento dos *taps* é controlado automaticamente por um relé de tensão, que monitora a saída do RT e no momento que ocorre uma violação dos limites estabelecidos para a tensão, um sinal de ação é enviado e assim a posição do *tap* é ajustada novamente (PADILHA, 2010).

3.1.3 Chave seccionadora

Os sistemas de distribuição não possuem topologia linear, e sim uma característica radial, como exemplificada na Figura 4.1, que possibilita manobras de conexões entre os nós do sistema.

Figura 3.1: Exemplo de rede de distribuição radial.



Fonte: RICHTER (2017).

Para realizar tais manobras de conexão são utilizadas chaves seccionadoras, que estão dispostas em pontos estratégicos a fim de manobrar as ligações entre as cargas do sistema elétrico. Segundo Dominguez (2015), os principais benefícios obtidos na alteração da topologia radial do sistema elétrico são:

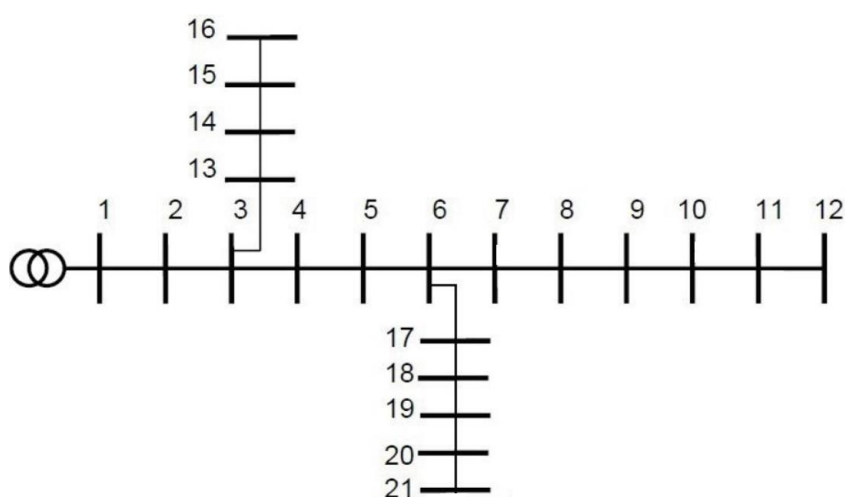
- Reduzir as perdas ativas nos alimentadores mediante a busca de configurações relevantes.
- Transferir a carga entre alimentadores que estejam mais carregados com outros poucos carregados.
- Melhorar o perfil de tensão, aumentar os níveis de confiabilidade.
- Isolar faltas e restaurar o fornecimento de energia elétrica.

3.2 Simulação VVC

Para ilustrar o impacto causado pelo VVC no sistema elétrico, são utilizadas duas redes fictícias adaptadas com base na rede de 34 nós apresentada por Prado (2013) que possuem cargas lineares de potência constante, sendo uma rede de 21 nós (ou barramentos) e outra de 36 nós, ambas de média tensão com nominal de 11 kV, cuja simulação foi assistida pelo *software* OpenDSS. O *software* OpenDSS é um simulador de sistema de distribuição de energia elétrica (*Distribution System Simulator – DSS*) utilizado para apoiar a integração de recursos distribuídos e os esforços de modernização da rede elétrica.

Primeiramente, a Figura 3.2 ilustra a topologia da rede de 21 nós, que será usada como referência para localizar as linhas de conexão.

Figura 3.2: Topologia da rede de 21 barramentos.



Fonte: Próprio autor, adaptada de Prado (2013).

Então, adaptando os valores da rede apresentada por Prado (2013) a fim de ter-se uma rede com cargas conectadas em todos seus barramentos, têm-se os valores das cargas instaladas

em cada barramento, onde é apresentada a informação da energia ativa e reativa consumida no respectivo barramento de forma constante, apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Potência consumida em cada nó da rede de 21 barramentos.

Dados dos nós - 11 kV		
Nó	Potência Ativa [kW]	Potência Reativa [kVar]
1	0	0
2	230	142,5
3	137	84
4	230	142,5
5	230	142,5
6	137	84
7	137	84
8	230	142,5
9	230	142,5
10	230	142,5
11	230	142,5
12	137	84
13	72	45
14	72	45
15	72	45
16	13,5	7,5
17	230	142,5
18	230	142,5
19	230	142,5
20	230	142,5
21	230	142,5

Fonte: Próprio autor, adaptada de Prado (2013).

Tendo a topologia da rede e os dados dos nós ainda são necessárias as características das linhas, tais como suas impedâncias, comprimento e os nós que são conectados por elas para serem realizadas as simulações via *software*. Tais informações são apresentadas pelo Quadro 3.2 a seguir:

Quadro 3.2: Características das linhas que interligam a rede de 21 barramentos.

Dados das linhas					
Linha	Nó Origem	Nó Destino	R [Ω /km]	X [Ω /km]	Comprimento [km]
1	1	2	0,1950	0,0800	0,60
2	2	3	0,1950	0,0800	0,55
3	3	4	0,2990	0,0830	0,55
4	4	5	0,2990	0,0830	0,50
5	5	6	0,2990	0,0830	0,50
6	6	7	0,5240	0,0900	0,60
7	7	8	0,5240	0,0900	0,40
8	8	9	0,5240	0,0900	0,60
9	9	10	0,5240	0,0900	0,40
10	10	11	0,5240	0,0900	0,25
11	11	12	0,5240	0,0900	0,20
12	3	13	0,5240	0,0900	0,30
13	13	14	0,5240	0,0900	0,40
14	14	15	0,5240	0,0900	0,20
15	15	16	0,5240	0,0900	0,10
16	6	17	0,2990	0,0830	0,60
17	17	18	0,2990	0,0830	0,55
18	18	19	0,3780	0,0860	0,55
19	19	20	0,3780	0,0860	0,50
20	20	21	0,3780	0,0860	0,50

Fonte: Próprio autor, adaptada de Prado (2013).

Com essas informações, são realizadas duas simulações no *software* OpenDSS com o código fonte da simulação encontrando-se presente no Apêndice I. Sendo uma com apenas os dados da rede inseridos e outra com a presença de um regulador de tensão (RT) de 6 MVA operando localmente, com a tensão nominal da rede de 11 kV e programado com a impedância interna de 0,5 pu, sua localização foi determinada por tentativa e erro, onde entre as barras 3 e 4 se obteve um bom resultado tendo as tensões acima de 0,9756 pu, fora obtido assim os seguintes níveis de tensão por barramento:

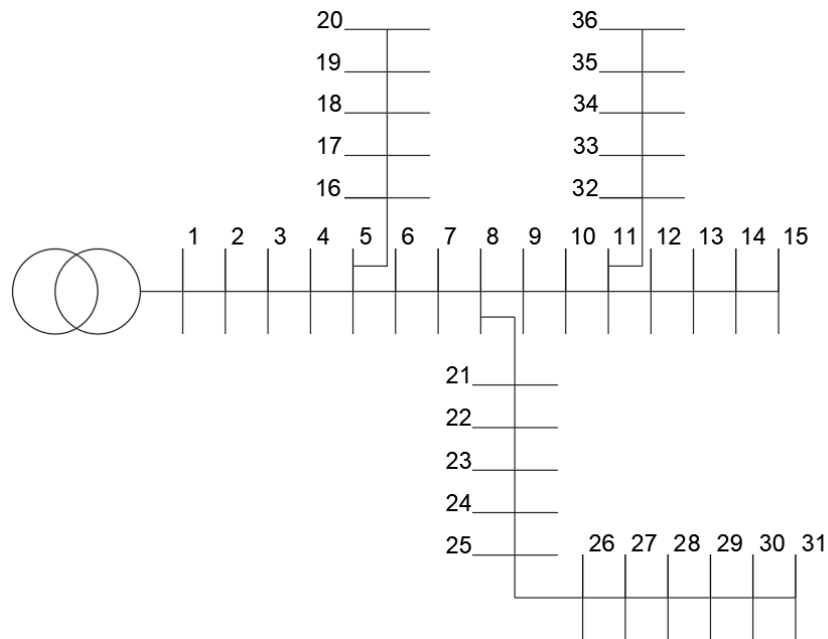
Quadro 3.3: Resultado das tensões simuladas com e sem o RT na rede de 21 barramentos.

Tensão nos barramentos		
Barramento	Tensão sem RT [pu]	Tensão com RT [pu]
1	1	1
2	0,9956	0,9921
3	0,9868	0,9756
4	0,982	1,019
5	0,9779	1,015
6	0,9742	1,011
7	0,9707	1,008
8	0,9686	1,006
9	0,9661	1,004
10	0,9656	1,003
11	0,9655	1,003
12	0,9654	1,003
13	0,9867	0,9754
14	0,9866	0,9753
15	0,9865	0,9753
16	0,9865	0,9753
17	0,9733	1,011
18	0,9727	1,01
19	0,9721	1,009
20	0,9718	1,009
21	0,9716	1,009

Fonte: Próprio autor (2022).

Para um sistema pequeno, de apenas 21 barramentos, já é perceptível uma melhora nos perfis de tensão simulados, visto que sem o RT a menor tensão simulada é de 0,9654 pu, enquanto com RT a menor tensão é de 0,9753 pu. Para se ter uma melhor ilustração do impacto causado por um sistema VVC na rede de distribuição, agora será utilizada uma rede para 36 barramentos cujo o barramento 24 terá maior carga em comparação aos demais, a fim de simbolizar um ponto de comércio, como ilustrada na Figura 3.3.

Figura 3.3: Topologia da rede de 36 barramentos.



Fonte: Próprio autor, adaptado de Prado (2013).

Para realizar essa nova simulação ilustrativa, também fora adaptada a rede de 34 barramentos de Prado (2013), porém realizando alterações na sua topologia e novamente atribuindo cargas a todos os barramentos, além de atribuir uma carga maior que as demais ao barramento de número 24, assim apresentam-se os dados da potência consumida por cada barramento no Quadro 3.4.

Quadro 3.4: Potência consumida em cada nó da rede de 36 barramentos.

Dados dos nós - 11 kV		
Nó	Potência Ativa [kW]	Potência Reativa [kVar]
1	0	0
2	230	142,5
3	137	84
4	230	142,5
5	230	142,5
6	137	84
7	137	84
8	230	142,5
9	230	142,5
10	230	142,5
11	230	142,5
12	137	84
13	72	45
14	72	45
15	72	45
16	13,5	7,5
17	230	142,5
18	230	142,5
19	230	142,5
20	230	142,5
21	230	142,5
22	137	84
23	137	84
24	500	294
25	230	142,5
26	230	142,5
27	230	142,5
28	230	142,5
29	72	45
30	72	45
31	230	142,5
32	137	84
33	137	84
34	137	84
35	230	142,5
36	230	142,5

Fonte: Próprio autor, adaptado de Prado (2013).

Seguindo os passos da simulação anterior, temos os dados das linhas que interligam a rede de 36 barramentos a seguir, no Quadro 3.5:

Quadro 3.5: Características das linhas que interligam a rede de 36 barramentos.

Dados das linhas					
Linha	Nó Origem	Nó Destino	R [Ω /km]	X [Ω /km]	Comprimento [km]
1	1	2	0,1950	0,0800	0,60
2	2	3	0,1950	0,0800	0,55
3	3	4	0,2990	0,0830	0,55
4	4	5	0,2990	0,0830	0,50
5	5	6	0,2990	0,0830	0,50
6	6	7	0,5240	0,0900	0,60
7	7	8	0,5240	0,0900	0,40
8	8	9	0,5240	0,0900	0,60
9	9	10	0,5240	0,0900	0,40
10	10	11	0,5240	0,0900	0,25
11	11	12	0,5240	0,0900	0,20
12	12	13	0,5240	0,0900	0,30
13	13	14	0,5240	0,0900	0,40
14	14	15	0,5240	0,0900	0,20
15	5	16	0,5240	0,0900	0,10
16	16	17	0,2990	0,0830	0,60
17	17	18	0,2990	0,0830	0,55
18	18	19	0,3780	0,0860	0,55
19	19	20	0,3780	0,0860	0,50
20	8	21	0,3780	0,0860	0,50
21	21	22	0,5240	0,0900	0,50
22	22	23	0,1950	0,0800	0,60
23	23	24	0,1950	0,0800	0,60
24	24	25	0,1950	0,0800	0,40
25	25	26	0,2990	0,0830	0,20
26	26	27	0,2990	0,0830	0,55
27	27	28	0,3780	0,0860	0,50
28	28	29	0,3780	0,0860	0,50
29	29	30	0,3780	0,0860	0,60
30	30	31	0,3780	0,0860	0,55
31	11	32	0,5240	0,0900	0,50
32	32	33	0,5240	0,0900	0,40
33	33	34	0,1950	0,0800	0,40
34	34	35	0,2990	0,0830	0,55
35	35	36	0,2990	0,0830	0,50

Fonte: Próprio autor, adaptado de Prado (2013).

Fazendo adição de um sistema VVC composto por um regulador de tensão de 6 MVA e programados para operar na nominal da linha, de 11 kV, novamente foi utilizado o método de tentativa e erro para determinar a localização dos componentes onde se tem uma alteração satisfatória, sendo definida a localização dos RT entre os barramentos 3 e 4, além de três bancos de capacitores de 900 kVA localizados nos barramentos 3, 8 e 11 e também um BC de 300 kVA

localizado no barramento 23, têm-se os seguintes perfis de tensão com e sem a aplicação do VVC, conforme o Quadro 3.6 mostrado a seguir, com o código fonte da simulação encontrando-se presente no Apêndice II.

Quadro 3.6: Resultado das tensões simuladas com e sem o VVC na rede de 36 barramentos.

Tensão nos barramentos		
Barramento	Tensão sem VVC [pu]	Tensão com VVC [pu]
1	1	1
2	0,9920	0,9891
3	0,9755	0,9719
4	0,9655	1,016
5	0,9568	1,008
6	0,9498	1,001
7	0,9364	0,9888
8	0,9278	0,9807
9	0,9222	0,9754
10	0,9209	0,9744
11	0,9202	0,9738
12	0,9200	0,9737
13	0,9199	0,9736
14	0,9198	0,9734
15	0,9198	0,9734
16	0,9566	1,007
17	0,9559	1,007
18	0,9554	1,006
19	0,9550	1,006
20	0,9548	1,006
21	0,9261	0,9791
22	0,9241	0,9772
23	0,9230	0,9762
24	0,9220	0,9751
25	0,9215	0,9746
26	0,9212	0,9743
27	0,9207	0,9738
28	0,9202	0,9733
29	0,9199	0,9730
30	0,9197	0,9727
31	0,9195	0,9725
32	0,9193	0,9730
33	0,9188	0,9724
34	0,9186	0,9722
35	0,9182	0,9718
36	0,9181	0,9717

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os resultados apresentados, pode-se observar que a menor tensão apresentada na simulação sem VVC é de 0,9181 pu, enquanto a menor tensão na simulação com a presença de VVC é de 0,9717 pu. Além disso, por meio da aplicação dos BC, houve uma redução da perda de potência ativa na rede, que consistia de 34,41%, passando para 34,25%. Desta vez, já é possível observar um impacto bem mais significativo nos níveis de tensão dos barramentos presentes na rede, sendo causados pela presença de ambos os reguladores de tensão e bancos de capacitores. Com a realização de um estudo da rede elétrica por parte da concessionária responsável e dimensionamento correto do VVC ao longo de todo o sistema elétrico de distribuição, torna-se possível manter os níveis de tensão que chegam ao consumidor dentro da faixa de qualidade definida pela ANEEL no módulo 8 do PRODIST.

4 DISTÚRBIOS RELACIONADOS À ENERGIA ELÉTRICA

Quando a tensão entregue ao consumidor não satisfaz os limites impostos pela ANEEL, existirão problemas que causam prejuízo financeiro, tais como mal funcionamento e até queima de aparelhos elétricos. Uma boa definição para o problema de qualidade de energia é: “Qualquer problema de energia manifestada na tensão, corrente ou nas variações de frequência que resulte em falha ou má operação de equipamentos de consumidores” (JRP ENERGY, 2021).

Atualmente, esses problemas estão cada vez mais comuns e vêm se agravando em todo mundo, ainda que existam medidas para corrigi-los, das diversas causas podemos citar as mais comuns que são a instalação de cargas cada vez menos lineares e de aparelhos que são mais sensíveis aos distúrbios da qualidade de energia. Dos distúrbios, temos uma tabela do IEEE que os classifica de acordo com suas características presente no documento IEEE Std. 1159, adaptado para o português no quadro a seguir:

Tabela 4.1: Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos do sistema de potência.

Categoria	Característica espectral comum	Duração comum	Magnitude de tensão comum
1.0 Transitório			
1.1 Impulsivo			
1.1.1 Nanossegundos	5 ns de elevação	< 50 ns	
1.1.2 Microssegundos	1 µs de elevação	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milissegundos	0,1 ms de elevação	> 1ms	
1.2 Oscilatório			
1.2.1 Baixa frequência	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Média frequência	5-500 kHz	20 ms	0 - 8 pu
1.2.3 Alta frequência	0,5-5 MHz	5 ms	0 - 4 pu
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantâneo		0,5 - 30 ciclos	0,1 - 0,9 pu
2.1.1 Afundamento		0,5 - 30 ciclos	1,1 - 1,8 pu
2.1.2 Elevação			
2.2 Momentâneo		0,5 ciclos - 3 s	< 0,1 pu
2.2.1 Interrupção		30 ciclos - 3 s	0,1 - 0,9 pu
2.2.2 Afundamento		30 ciclos - 3 s	1,1 - 1,4 pu
2.2.3 Elevação			
2.3 Temporário			
2.3.1 Interrupção		3 s - 1 min	< 0,1 pu
2.3.2 Afundamento		3 s - 1 min	0,1 - 0,9 pu
2.3.3 Elevação		3 s - 1 min	1,1 - 1,2 pu
3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção		> 1 min	0,0 pu
3.2 Subtensão		> 1min	0,8 - 0,9 pu
3.3 Sobreensão		> 1min	1,1 - 1,2 pu
4.0 Desequilíbrio de tensão		Condição fixa	0,5 - 2%
5.0 Distorção na forma de onda			
5.1 Deslocamento CC		Condição fixa	0 - 0,1%
5.2 Harmônicas	0 - 100 ^a H	Condição fixa	0 - 20%
5.3 Interharmônicas	0 - 6 kHz	Condição fixa	0 - 2%
5.4 Negação		Condição fixa	
5.5 Ruído	Banda-larga	Condição fixa	0 - 1%
6.0 Flutuação de tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 - 7%
7.0 Variações de frequência		< 10 s	

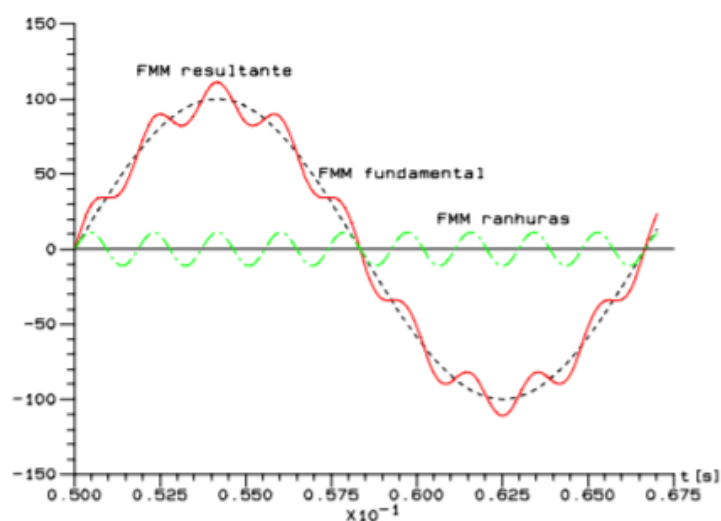
Fonte: Adaptado de IEEE Std. 1159 (2019).

Entre os fenômenos associados ao sistema de potência, serão abordados a seguir a distorção harmônica, as variações de tensão e as flutuações de tensão por se tratar de problemas mais recorrentes na rede elétrica em geral.

4.1 Distorções harmônicas de tensão

Em teoria, os sinais alternados de tensão e de corrente deveriam ser senoides perfeitos, porém, devido à instalação de cargas não lineares na rede, começam a ser observadas alterações no padrão senoidal, caracterizadas por frequências múltiplas da frequência fundamental do sinal original (JRP ENERGY, 2021). Dentre essas cargas não lineares podemos citar retificadores, inversores de frequência e reatores eletrônicos, isso somado com o fato de que quase todos os equipamentos eletrônicos de alimentação monofásica ou trifásica incorporam um circuito retificador à sua entrada, seguido de um conversor comutado do tipo cc-cc ou cc-ca (AFONSO, J L; MARTINS, J S, 2003), como por exemplo carregadores de celular, aparelhos eletrônicos, entre outros.

Figura 4.1: Exemplo de sinal com presença de distorções harmônicas.



Fonte: INEP (2008).

Em decorrência dessas componentes extras de corrente, o transformador passa a operar com sobrecarga, trabalhando acima da potência nominal e, conseqüentemente, havendo sobreaquecimento do aparelho que leva à diminuição da vida útil do mesmo, além do sobreaquecimento dos próprios cabos que conectam o sistema, assim requerendo que seja feito um dimensionamento considerando que haverá correntes parasitas incluindo também as componentes de sequência zero que derivam principalmente da terceira harmônica e suas múltiplas.

Aparelhos eletrônicos possuem, por muitas vezes, a operação baseada na passagem do sinal de tensão por zero ou na forma de tensão de entrada (INEP, 2008). Com a distorção harmônica, haverá diversas passagens do sinal de entrada por zero ou deslocamentos relativos aos instantes de cruzamento das tensões de linha, no caso de sistemas trifásicos (INEP, 2008).

Além disso, computadores e aparelhos semelhantes requerem que o índice de Distorção Harmônica Total (DHT) ou em inglês, *Total Harmonic Distortion* (THD), seja menor que 5% para que haja um funcionamento adequado do mesmo, caso contrário o mal funcionamento e a incidência de interferências no processamento poderão ser frequentes. O DHT é calculado conforme as equações apresentadas no Capítulo 2.

Equipamentos de instrumentação também podem apresentar erros na leitura com falsos resultados devido à presença de componentes harmônicas na rede, no caso de instrumentos médicos isso é um problema crítico.

4.2 Afundamento de tensão

Como visto na Tabela 4.1, quando um sinal de tensão cujo valor varia de 90% até 10% do valor original temos o denominado afundamento de tensão. Estes distúrbios equivalem à cerca de 87% de todos os problemas relacionados à energia elétrica (JRP ENERGY, 2021) e podem durar de 3 ciclos até 1 minuto, acima disso têm-se a chamada subtensão, embora algumas literaturas utilizem o termo de subtensão para referenciar-se ao afundamento de tensão.

Figura 4.2: Exemplo de sinal com afundamento de tensão.



Fonte: ELIPA (2022).

O afundamento de tensão possui diversas causas, tais quais a partida de grandes equipamentos, curto-circuitos na rede e também falhas nos equipamentos ou manobras da concessionária (JRP ENERGY, 2021). Quando se há um mal dimensionamento dos

equipamentos da concessionária na rede de distribuição primária, têm-se que o problema deixa de ser caracterizado como transitório e a tensão da rede passa a ter um perfil precário ou crítico, dependendo da faixa de tensão em que se encontra.

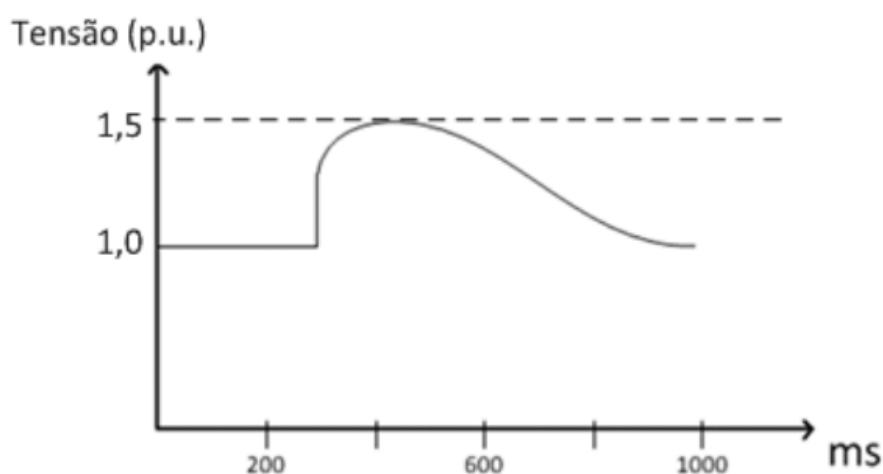
Operar equipamentos na presença de um *sag* ou em uma rede de tensão precária / crítica possui diversos efeitos negativos, tais como a perdas de dados e erros no processamento, desligamento de equipamentos além de oscilações em motores e perda de vida útil do mesmo (JRP ENERGY, 2021).

4.3 Elevação de tensão

As elevações de tensão na rede, são fenômenos transitórios caracterizados pela elevação do nível de tensão nominal na rede, geralmente sendo de 10% a 20%, embora elevação de tensão e sobretensão sejam essencialmente distúrbios diferenciados por sua duração, algumas literaturas não fazem distinção de ambas, inclusive a que fora utilizada para essa sessão. A sobretensão pode ser causada por diversas maneiras, dentre elas as mais comuns são defeitos na linha, manobras da concessionária e interferências atmosféricas (SANT'ANA, 2011).

Quando ocorrem por defeitos na linha, também chamadas de sobretensão temporária, em geral tendo como origem curtos-circuitos trifásicos, ressonâncias, Efeito Ferranti e rejeição de cargas, o tempo de duração é relativamente longo, superior a dezenas de milissegundos com amplitude inferior a 1,5 pu e levemente amortecidas ou não amortecidas (SANT'ANA, 2011). A Figura 4.3 a seguir exemplifica uma forma de onda típica da sobretensão temporária.

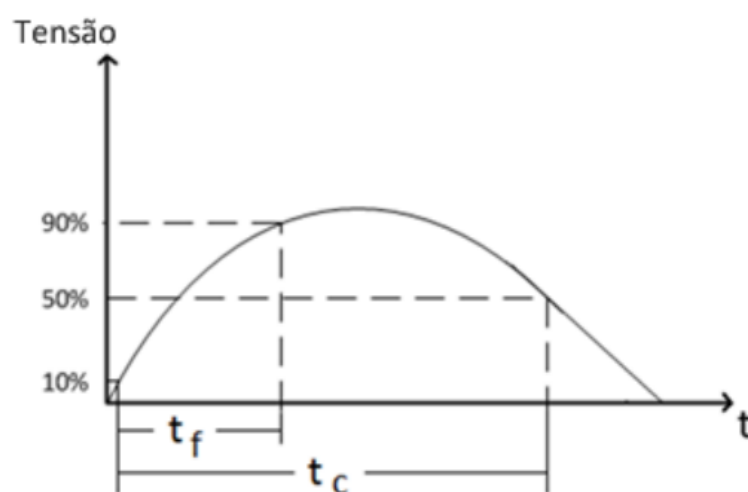
Figura 4.3: Forma de onda típica de sobretensão temporária



Fonte: SANT'ANA (2011)

Para realizar alterações na topologia da rede, seja para manutenção preventiva da linha ou devido a ocorrência de curto-circuitos, a concessionária de energia utiliza manobras, que consistem no desligamento de cargas. Como consequências dessas manobras, podem ocorrer elevações da tensão em regime permanente como também fenômenos transitórios em frequências mais altas (SANT'ANA, 2011). Na figura 4.4 vemos que o tempo de frente (t_f) representa o intervalo em que a tensão atinge valores entre 10% e 90% do valor de pico, enquanto o tempo de cauda (t_c) é o intervalo em que a onda se reduz até atingir 50% do valor máximo

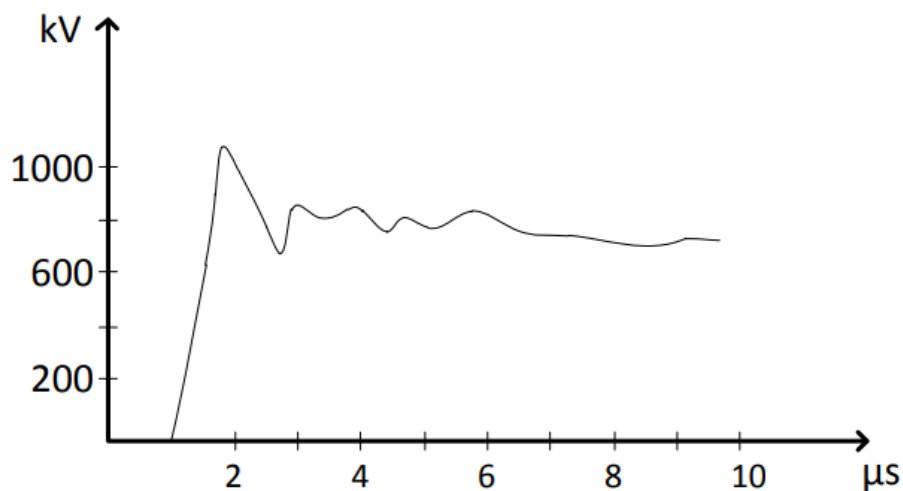
Figura 4.4: Forma de onda típica de sobretensão de manobra.



Fonte: SANT'ANA (2011).

Com a incidência de descargas atmosféricas na rede de transmissão ou distribuição, ocorrem sobretensões atmosféricas que causam elevações repentinas de tensão. A forma de onda das sobretensões atmosféricas, como mostra a Figura 4.5, pode ser aproximada por uma onda com um crescimento linear rápido, após atingir um valor máximo a onda decai mais lentamente. Como essas sobretensões dependem de descargas atmosféricas, a duração e o valor máximo são grandezas que não se podem ser determinadas de forma precisa (SANT'ANA, 2011).

Figura 4.5: Forma de onda típica de sobretensão atmosférica.



Fonte: SANT'ANA (2011).

Devido à tendência de tais descargas serem extremamente violentas, podem provocar rompimento de cabos e danificar outros equipamentos, tais como transformadores e isoladores, provocando a descontinuidade do fornecimento de energia elétrica às unidades consumidoras.

4.4 Flutuações de tensão

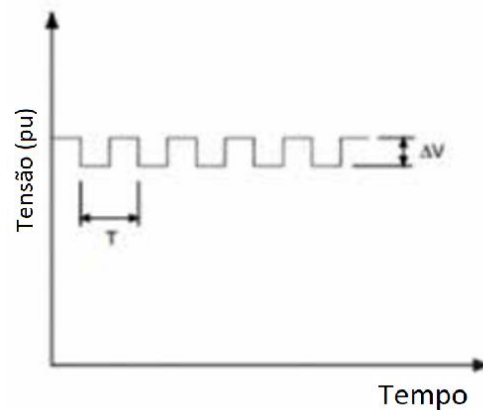
As flutuações de tensão são variações sistemáticas dos valores eficazes de tensão, ou uma série de mudanças aleatórias, cujas magnitudes normalmente não excedem faixas de valores preestabelecidas (PAULILLO, G; TEIXEIRA, M; 2013). Geralmente, flutuações de tensão são causadas por arcos voltaicos (tais como o acendimento das chamas de um fogão) e a partida de motores, além de problemas na própria linha de distribuição.

A norma IEC 60555-3 define quatro tipos distintos de flutuação de tensão, facilitando a análise e os ensaios de conformidade em equipamentos elétricos.

- Tipo A:

Representa uma série repetitiva de variações retangulares em torno de um nível de tensão de referência, essa flutuação apresenta um padrão bem definido, tendo variações importantes a amplitude e a frequência, conforme mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6: Flutuações de tensão do tipo A.

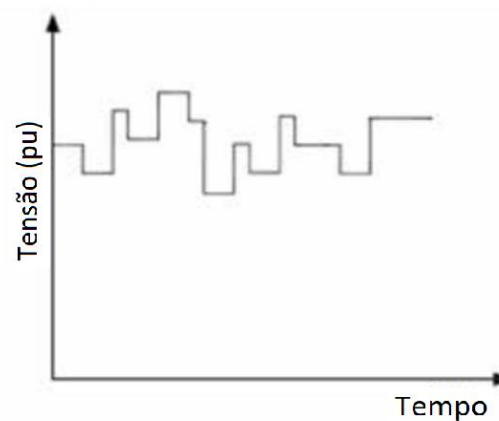


Fonte: PAULILLO, G; TEIXEIRA, M (2013).

- Tipo B:

Resultado da composição de uma série irregular de variações bruscas, não apresentando um período ou ciclo definido. Esse tipo pode representar sucessivos degraus de tensão, crescentes ou decrescentes, é caracterizado pela entrada ou saída de cargas operando em etapas, como elevadores, laminadores, etc, ilustrado na Figura 4.7.

Figura 4.7: Flutuações de tensão do tipo B.

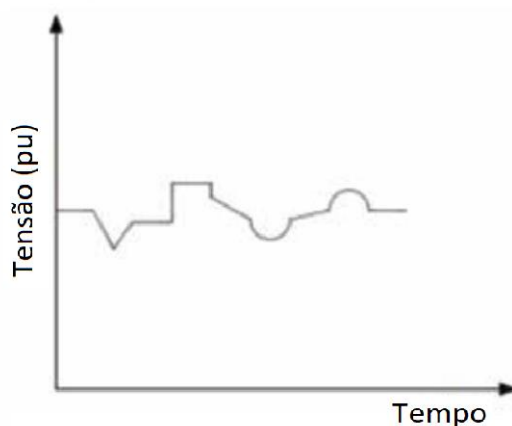


Fonte: PAULILLO, G; TEIXEIRA, M (2013).

- Tipo C:

Resultado da composição de uma série irregular de formas diversas, as quais podem ser por degraus, rampa ou oscilatórias, conforme a Figura 4.8. É resultante da combinação de diversos tipos de cargas, tais como motores, prensas, etc.

Figura 4.8: Flutuações de tensão do tipo C

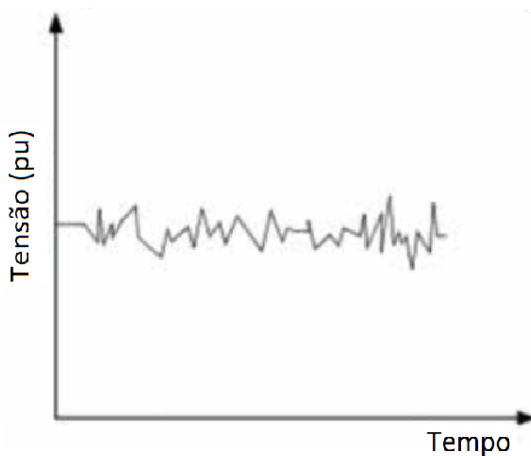


Fonte: PAULILLO, G; TEIXEIRA, M (2013).

- Tipo D:

Composto por variações contínuas e aleatórias, em geral provocado por cargas com operação intermitente, como visto na Figura 4.9. Em função da potência das cargas, esta pode se propagar pelo sistema de transmissão e distribuição.

Figura 4.9: Flutuações de tensão do tipo D.



Fonte: PAULILLO, G; TEIXEIRA, M (2013).

Os feitos mais comuns das flutuações de tensão basicamente consistem de oscilações de potência e torque de motores elétricos (podendo ser observado em ventiladores), interferência em aparelhos residenciais, como vídeos e TV, além do desconforto visual provocado pela cintilação luminosa das lâmpadas, principalmente das incandescentes (PAULILLO, G; TEIXEIRA, M; 2013).

5 ESTUDO DE CAMPO – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de identificar distúrbios recorrentes no sistema de energia elétrica e também verificar os níveis de tensão que chegam ao consumidor, foram realizadas medições em quatro pontos distintos no município de Santa Helena de Goiás, com o auxílio de um osciloscópio digital MUSTOOL MDS120M.

Além das medições, foram entrevistados alguns profissionais da área de manutenção em aparelhos eletrodomésticos, sendo dois estabelecimentos especializados em televisões e aparelhos de som, dois especializados em eletrodomésticos que possuem motores (tais como geladeiras e máquinas de lavar), uma loja de assistência em eletrônicos e informática além de um profissional autônomo especializado em refrigeradores e ar condicionados, a fim de estabelecer a relação entre as distorções encontradas durante as medições e as principais ocorrências de danos em dispositivos elétricos.

5.1 Medições de tensão

As medições ocorreram em quatro pontos da cidade e em horários diversos no dia 15 de fevereiro de 2022, sendo três pontos localizados em setores residenciais e um ponto localizado em setor comercial, assim traçando um melhor perfil de rede, agregando mais dados à pesquisa. Na Figura 5.1 é possível observar os locais onde foram realizadas as medições, sendo os locais 2 e 3 residências vizinhas ligadas a barramentos diferentes.

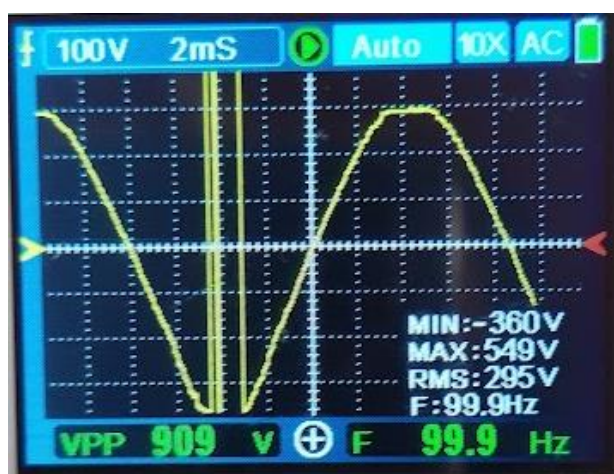
Figura 5.1: Mapa dos pontos de medição na cidade de Santa Helena de Goiás.



Fonte: Google Maps, locais marcados pelo autor (2022).

Primeiramente, fora realizada medição no Local 1, localizado em um setor que possui uma grande concentração de comércio, medição feita em horário comercial por cerca de 10 minutos a fim de averiguar a estabilidade do sinal medido, apresenta-se um distúrbio presente no semiciclo negativo da rede e uma frequência instável para o osciloscópio.

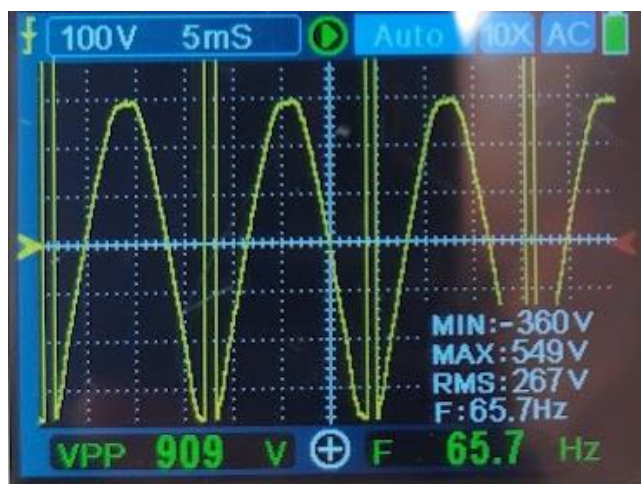
Figura 5.2: Primeira medição registrada no Local 1.



Fonte: Próprio autor (2022).

Medição realizada no Local 2 também em horário comercial, novamente pode-se observar o distúrbio no semiciclo negativo, porém dessa vez menos acentuada, a frequência apresentada no visor do aparelho mostra-se instável devido ao distúrbio, porém ao fazer a análise do período das oscilações é possível constatar uma frequência de 60 Hz.

Figura 5.3: Primeira medição registrada no Local 2.



Fonte: Próprio autor (2022).

Medição no Local 3 feita no início do horário de pico (entre 18h e 23h) por cerca de 15 minutos, observa-se que o distúrbio no semiciclo negativo encontra-se mais agravado, alternando várias vezes em um curto período de tempo entre positivo e negativo, antes que a onda volte à sua forma original.

Figura 5.4: Primeira medição registrada no Local 3.



Fonte: Próprio autor (2022).

Medição realizada no Local 4 após o horário de pico (após as 00h) com duração de 10 minutos, feita em um filtro de linha comum, observa-se a ausência do distúrbio do semiciclo negativo.

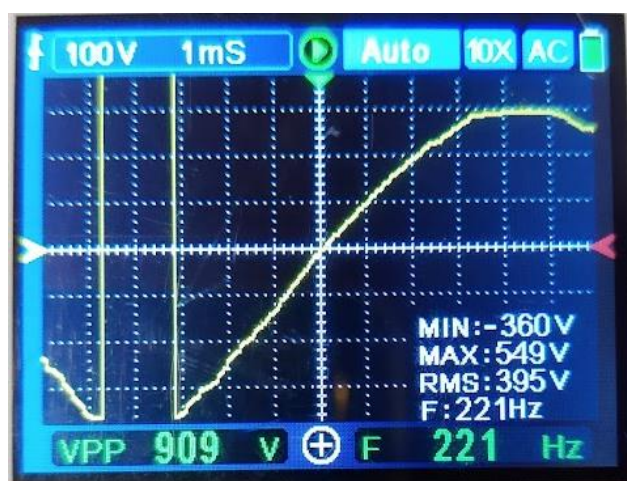
Figura 5.5: Primeira medição registrada no Local 4.



Fonte: Próprio autor (2022).

Medição realizada no Local 4 por aproximadamente 10 minutos, durante período de pico, às 21h. Nota-se que o distúrbio se encontra sem oscilar entre negativo e positivo, com duração de 2ms por ciclo.

Figura 5.6: Segunda medição registrada no Local 4.



Fonte: Próprio autor (2022).

No dia 12 de julho de 2022 foram realizadas novas medições nos quatro locais no horário matutino utilizando-se de um multímetro digital ET-1002 minipa junto ao osciloscópio, a fim de analisar melhor os sinais de tensão fora do horário de pico. Primeiramente, têm-se a segunda medição do Local 1, feita às 9:20 (am) com duração de 15 minutos.

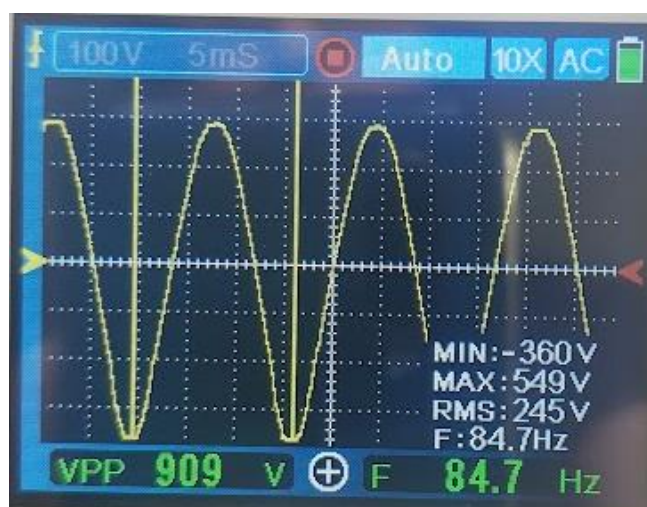
Figura 5.7: Segunda medição registrada no Local 1.



Fonte: Próprio autor (2022).

Porém, durante a medição, foram observadas algumas ocorrências aleatórias do distúrbio desconhecido, como mostra a Figura 5.8.

Figura 5.8: Terceira medição registrada no Local 1.



Fonte: Próprio autor (2022).

Ao medir a tensão com o multímetro, nota-se que o valor de tensão RMS (também chamada de tensão eficaz, do inglês *Root Mean Square* que significa valor quadrático médio) se difere do mostrado no osciloscópio, tal discrepância pode ser explicada com o fato de que a onda senoidal apresentada pelo osciloscópio está deformada, visto que o semiciclo negativo possui uma área menor que o semiciclo positivo, podendo interferir na tensão eficaz lida pelo osciloscópio, na Figura 5.9 é possível ver a tensão eficaz medida pelo multímetro digital.

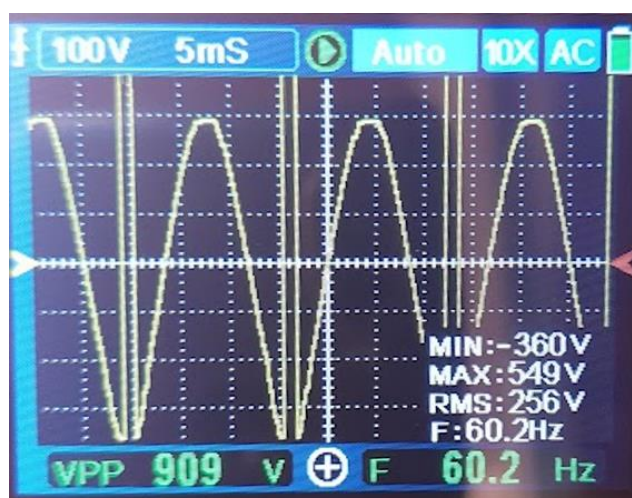
Figura 5.9: Tensão lida pelo multímetro digital no Local 1.



Fonte: Próprio autor (2022).

Refazendo a medição no Local 2 às 9:50 por cerca de 12 minutos, contata-se a presença do distúrbio em regime permanente ao longo de toda a duração da medição.

Figura 5.10: Segunda medição registrada no Local 2.



Fonte: Próprio autor (2022).

Ao utilizar o multímetro digital, observa-se que a tensão eficaz da rede é próxima à lida no Local 1, nota-se que a tensão está dentro da faixa de tensão adequada, estabelecida pela ANEEL.

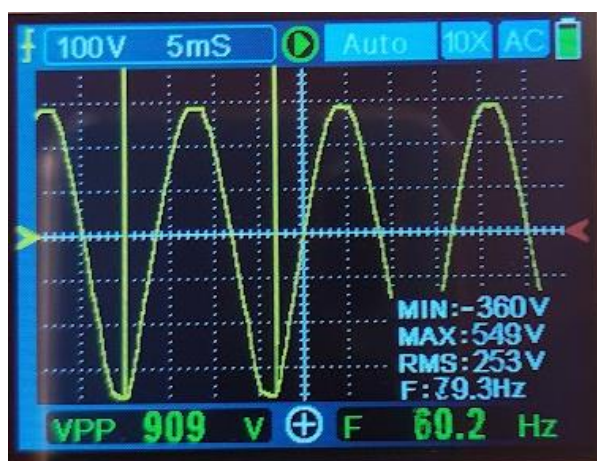
Figura 5.11: Tensão lida pelo multímetro digital no Local 2.



Fonte: Próprio autor (2022).

No Local 3 foram realizadas as medições às 10:30 com duração de 15 minutos, o distúrbio apresentou-se de forma aleatória durante todo o tempo de medição.

Figura 5.12: Segunda medição registrada no Local 3.



Fonte: Próprio autor (2022).

A tensão lida pelo multímetro no Local 3 apresentou-se um pouco menor que a do Local 2 embora estejam próximos, porém encontra-se na faixa de tensão adequada.

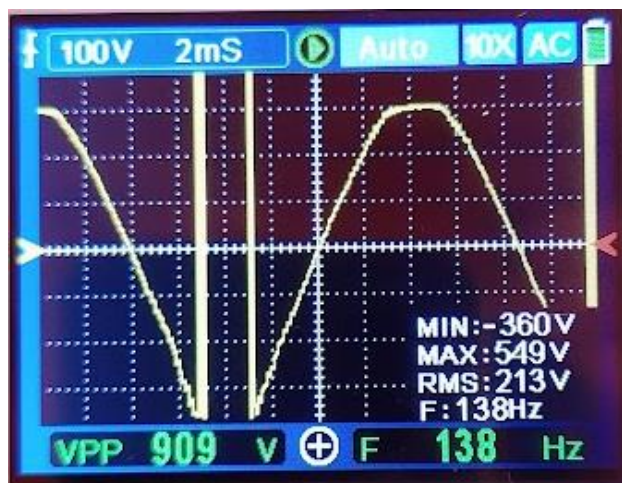
Figura 5.13: Tensão lida pelo multímetro digital no Local 3.



Fonte: Próprio autor (2022).

A quarta medição registrada no Local 4 fora realizada às 11:00 a.m. com duração de 15 minutos, o distúrbio desconhecido ocorreu em regime permanente durante todo o período de medição.

Figura 5.14: Quarta medição registrada no Local 4.



Fonte: Próprio autor (2022).

Ao medir a tensão no Local 4 com o multímetro digital, nota-se uma tensão de 224 V havendo uma diferença no perfil de tensão em comparação aos outros locais que estavam entre 210 V e 214 V.

Figura 5.15: Tensão lida pelo multímetro digital no Local 4.



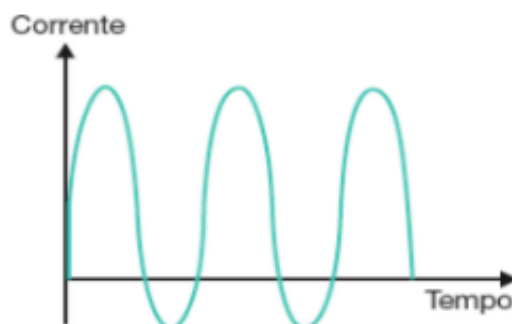
Fonte: Próprio autor (2022).

Após realizada uma comparação de funcionalidade entre o aparelho osciloscópio utilizado com aparelhos presentes no laboratório do Instituto Federal de Goiás Câmpus Jataí (presente no Apêndice III deste trabalho), constata-se que o distúrbio desconhecido, que possui pico de 549 V e duração de 2 ms pode ser uma falha na leitura do aparelho ou um sinal que seja interpretado de maneiras diferentes pelo filtro de leitura dos aparelhos, não foram encontrados estudos sobre distorções similares a essa componente na literatura consultada, no Apêndice IV

encontra-se capturas focadas no distúrbio encontrado para caso essa componente surja em futuros estudos com aparelhos que não apresentem erros de medição. Além dessa componente, o sinal observado não possui harmônicas de baixa ordem, porém a frequência lida pelo osciloscópio é instável provavelmente devido à presença do erro de leitura proveniente desta componente desconhecida, visto que na leitura realizada onde nota-se a ausência da mesma é lido uma frequência de 60 Hz estável.

Também é observável uma assimetria quanto ao sinal da onda, onde têm-se que a tensão de pico do semiciclo positivo está em torno de 288 V enquanto o pico do semiciclo negativo está em -360 V. Para uma rede de tensão eficaz de 220 V, o ideal seria um sinal simétrico em que ambos os picos estivessem em $\pm 311,12$ V. Possivelmente, tal distorção é proveniente de uma componente de corrente contínua (CC) com sinal negativo em regime permanente. Na literatura, encontra-se estudos acerca de componentes de corrente contínua presentes em redes de distribuição sendo originadas por curtos-circuitos no alimentador, gerando assim uma assimetria na forma de onda da energia elétrica.

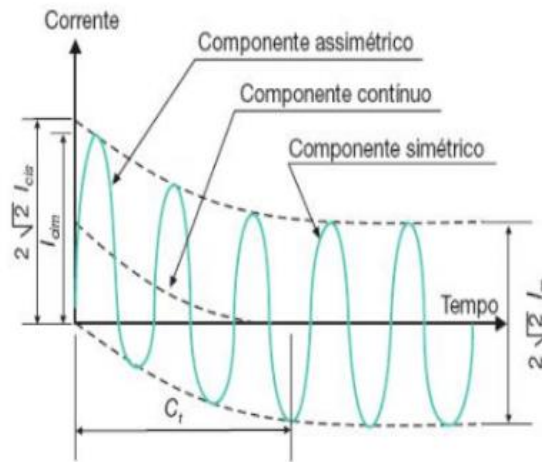
Figura 5.16: Exemplo de corrente parcialmente assimétrica.



Fonte: JESUS, J; SANTOS, G (2018).

As correntes de curto-circuito, ao longo de todo o período de permanência da falta, assumem formas diversas quanto à sua posição em relação ao eixo do tempo. O componente contínuo é formado em virtude da propriedade característica do fluxo magnético que não pode variar bruscamente, fazendo com que as correntes de curto-circuito nas três fases se iniciem a partir do valor zero (JESUS, J; SANTOS, G, 2018). A Figura 5.17 exemplifica o comportamento da componente de corrente contínua durante um curto-circuito transitório, no qual a mesma é transitória.

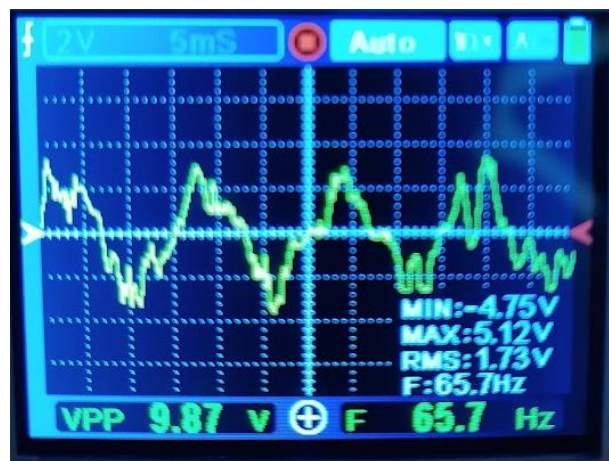
Figura 5.17: Distribuição da Corrente de Curto Circuito.



Fonte: JESUS, J; SANTOS, G, (2018).

Também fora realizada uma medição entre o neutro e o terra no Local 4, onde constata-se a presença de um notável sinal harmônico de tensão gerado pela passagem da corrente, com o sinal já deformado devido às componentes harmônicas geradas pela utilização de eletrodomésticos, no material condutor, que possui certa resistência devido à propriedade do cobre, como mostra a Figura 5.18.

Figura 5.18: Medição realizada entre neutro e terra.



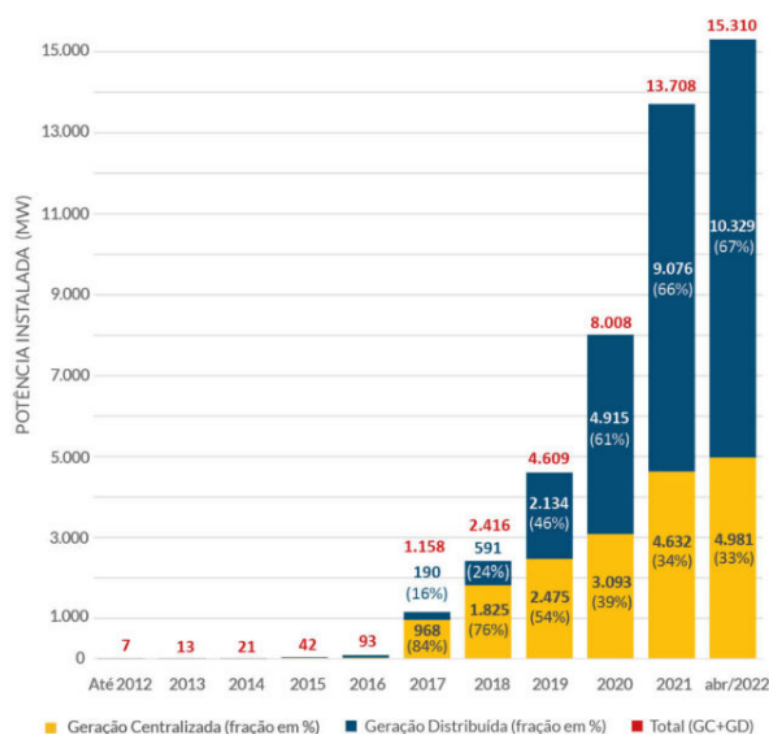
Fonte: Próprio autor (2022).

O desequilíbrio de tensão pode ser citado como algum dos causadores dos distúrbios de tensão observados. Segundo Lopez (2001), teoricamente, se cargas iguais forem colocadas entre cada uma das fases e o neutro, não haverá fluxo de corrente neste último. Na prática não é isto que acontece. Qualquer desbalanceamento de carga nas fases provoca fluxo de corrente

no neutro, tanto maior quanto for a magnitude do desbalanceamento e, uma vez que a impedância do neutro não seja zero, haverá uma tensão entre o neutro e o terra. As cargas distribuídas pelas fases mudam dinamicamente fazendo com que essa tensão não seja estável, certamente contendo harmônicas e podendo, inclusive, possuir componente em corrente contínua.

Além disso, o desequilíbrio de tensão impacta também na vida útil de equipamentos elétricos. Recentemente houve uma grande tendência pela instalação de sistemas de geração de energia fotovoltaica em consumidores residenciais (ver Figura 5.19), também chamados de Geração Distribuída (GD) sendo conectados à rede de distribuição por meio dos chamados *Smart Grids* (Redes Inteligentes), assim ampliam a dificuldade da concessionária de lidar com o desequilíbrio de tensão, visto que além de apenas consumidores também há clientes que hora são fornecedores e hora são consumidores.

Figura 5.19: Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022).

O sistema com *Smart grids* tem a capacidade de comunicação em dois sentidos possibilitando não apenas produzir energia e transmitir para um usuário, mas também receber

informações de volta entre todos os pontos de conexão da rede, notando uma comunicação em dois sentidos (ALONSO, 2014).

5.2 Entrevistas realizadas

Com Eliezer Rodrigues, da empresa Eletronic Systems, foi observado que em televisores existe uma grande frequência de danos nos componentes da placa de alimentação do aparelho, tais como o fusível, capacitor e transistor. Em aparelhos *nobreak* existe grande incidência de danos relacionados ao transistor e aos relés do inversor. Para aparelhos de som, a incidência de problemas com o capacitor da fonte e na saída externa. Os aparelhos eletrodomésticos são projetados para operar satisfatoriamente mesmo quando a tensão varia 10% para mais ou para menos, no entanto existem casos que as variações podem ultrapassar esse limite (BRAGA, 1999). Os componentes eletrônicos, em sua maioria, são sensíveis às variações, principalmente os circuitos de retificação e chaveamento presentes nas fontes dos eletrodomésticos.

Acidentes podem ocorrer quando há interrupção, seja por manobra da concessionária ou por problemas na linha de distribuição, e quando é estabelecido o fornecimento de energia podem ocorrer picos capazes de danificar aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos, por isso recomenda-se que em caso de desligamento, todos os aparelhos que estavam ligados à rede devam ser desconectados (BRAGA, 1999).

Para Jorge Celso Gonçalves, da empresa TV SOM, as principais ocorrências estão relacionadas à fonte principal dos televisores, onde se há grande incidência de danos no retificador, diodo de frequência e o mesmo fez um adendo de que os novos aparelhos estão vindo cada vez mais sensíveis a variações de tensão, embora possuam filtros para limpar os sinais harmônicos presentes na rede. Em aparelhos microondas existe uma acentuada ocorrência de danos no autotransformador, que acaba sendo refletido para os capacitores e para o *magnetron*, este por sua vez, é o dispositivo utilizado para gerar microondas que são posteriormente usadas para aquecimento.

A construção do *magnetron* se dá similar a um diodo, o ânodo é colocado em um bloco de forma cilíndrica que é feito de cobre. Existem filamentos com filamento de chumbo e o cátodo no centro do tubo, o cátodo é feito de material de alta emissão e é aquecido para a operação. O tubo tem de 8 a 20 cavidades ressonantes que são orifícios cilíndricos ao redor de sua circunferência, tendo sua estrutura interna dividida em várias partes por estreitas ranhuras que conectam as cavidades ao centro. Cada cavidade funciona como um circuito ressonante

paralelo onde a parede oposta do bloco de cobre do ânodo funciona como um indutor enquanto a região da ponta da palheta é considerada o capacitor, assim, a frequência ressonante do circuito depende das dimensões físicas do circuito ressonador (ROY, 2022). Assim, quando alimentado com um sinal poluído pela variação de tensão presente na rede cujo foi refletido e amplificado pelo autotransformador, e devido à sua característica funcional esse componente está sujeito a ser danificado facilmente.

Entrevistando João Natalino Parreira, da empresa Aqui Tem Eletrodomésticos, temos que maior parte dos danos relacionados à energia elétrica em máquinas de lavar está em queimas das placas eletrônicas presentes na parte de controle do aparelho, porém também existem casos de motores comprometidos devido a danos nos enrolamentos.

Ao entrevistar Eduardo Carvalho Paulo, que trabalha como técnico de manutenção na empresa Interativa Informática, foi constatado que os problemas relacionados a eletrônicos também são, em sua maioria, causados pelas variações dos níveis de tensão. No caso dos computadores, são problemas parecidos com os relatados em televisores por outros profissionais entrevistados, concentrando-se na fonte, em específico na ponte retificadora e nos capacitores de entrada. O profissional reforça a importância de utilizar aparelhos de proteção, sendo estabilizadores ou nobreaks, para casos em que a fonte do computador não seja reforçada ou de qualidade superior, a tal chamada “linha *gamer*”, sem descartar o uso de um protetor eletrônico para caso seja de tal linha, também é salientado a preferência por conectar os dispositivos em uma tomada que tenha circuito de aterramento, a fim de evitar sobrecargas da rede, principalmente a atmosférica. Também é citado a grande demanda por reparos em *nobreaks* e estabilizadores, por possuir um circuito de chaveamento acoplado a um transformador, os estabilizadores raramente escapam da perda total, já os *nobreaks* em geral têm seus infortúnios concentrados nos transistores MOSFET, como pode ser observado na Figura 5.20 o estado de um MOSFET IRFB3306 que estava em um *nobreak* de modelo não identificado, embora esse problema não se reflita para o circuito PWN do mesmo, assim facilita os reparos no aparelho.

compressor. Pode ocorrer uma queima geral e uniforme dos enrolamentos do motor, ou uma queima localizada, geralmente resultante de um sistema sujo ou de outros danos (MADALENA, 2022). Entre as falhas elétricas mais comuns nestes aparelhos, vale ressaltar a sobrecarga do motor e o rompimento do enrolamento.

A sobrecarga no motor pode resultar na queima completa do motor elétrico, e na maioria das vezes ocorre quando o compressor está no estágio de dissolução para ser energizado. No momento em que o motor é energizado, a corrente demandada é mais alta que a nominal do motor, visto que é necessário realizar um esforço maior para romper a inércia do mesmo, tal corrente é chamada de corrente de partida. Se nessa ocasião, a tensão estiver abaixo, fará com que o motor consuma ainda mais corrente, resultando assim em avarias se os componentes de proteção não forem acionados a tempo ou estiverem descalibrados. Tal problema tem como principais causas as variações de tensão e em caso de aparelhos trifásicos pode ocorrer a falta de uma das fases, fazendo com que as fases restantes trabalhem com carga excessiva para compensar uma corrente de fase faltante e, se os relés de sobrecarga não desligarem o motor rapidamente, estas fases se queimarão (MADALENA, 2022).

6 CONCLUSÃO

Nesse trabalho, fora apresentado parte das normas referentes à qualidade elétrica, além de um resumo de alguns distúrbios da rede elétrica e uma breve apresentação sobre as técnicas utilizadas para manter o padrão de qualidade estabelecido pela ANEEL. Além de apresentar sobre as técnicas de controle Volt/ Var, também ilustramos o impacto na rede elétrica causado por estas com duas simulações de redes distintas.

Após ter todos os conceitos revisados, fizemos um estudo de campo que consistiu de duas etapas: realizar medições de tensão em alguns pontos da cidade de Santa Helena de Goiás a fim de observar como é o sinal de tensão que chega até a tomada dos consumidores, e também a realização de entrevistas com profissionais da área de manutenção em eletrodomésticos.

Com o auxílio de um osciloscópio, foram realizadas medições em pontos distintos da cidade e com isso, foi observado que o sinal de tensão que chega ao consumidor final possui poluições harmônicas e uma dissimilaridade entre a forma do sinal durante o semiciclo positivo e durante o semiciclo negativo, sendo a possível causa de diversos problemas relacionados a avarias de aparelhos eletrônicos além de frequentes variações de tensão, além de uma medição entre neutro-terra onde fora observado um sinal de aproximadamente 10 V de pico-a-pico, com forte presença de harmônicas.

Realizando entrevistas, com profissionais de manutenção de aparelhos eletrônicos que trabalham na área há bastante tempo, assim alinhando esse conhecimento prático com o conhecimento teórico presente na literatura, foi feita uma melhor análise acerca dos distúrbios observados com o impacto que problemas relacionados à energia elétrica podem gerar nos eletrodomésticos conectados à rede, desde o princípio básico de funcionamento dos mesmos até quais tipos de distúrbios podem causar as avarias relatadas.

Assim, com diversos relatos colhidos durante as entrevistas fora constatado que maioria dos problemas relacionados à energia elétrica estão ligados diretamente com as variações dos níveis de tensão e às distorções quanto à forma dos semiciclos da onda de tensão, podendo assim apontar essas como possíveis causas da grande incidência de defeitos em eletrodomésticos, além das interrupções constantes de fornecimento acompanhadas de níveis elevados de tensão que ocorrem na cidade.

Mediante a inconstância dos sinais medidos e da grande incidência de danos em aparelhos elétricos na cidade, acredita-se que a principal causa seja o mal dimensionamento da rede elétrica, com equipamentos e acessórios antigos, visto que houve expansão de diversos bairros na cidade recentemente e a rede elétrica não sofreu ajustes preventivos necessários.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, João L.; MARTINS, Júlio S. **A Qualidade da Energia Eléctrica**. Editora EUVEO, páginas 1-35. 2003.

ALONSO, Augusto Matheus dos Santos. **SMART GRIDS: TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO E SUA REALIDADE NO BRASIL**. Dissertação (Graduação) apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Ouro Preto, 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. **PRODIST Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica**, v. Revisão 12, 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução sobre cobrança de reativos é aprovada pela ANEEL**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/REN_Alteracoes-FP_Minuta2.pdf>. Acesso realizado em 03 de agosto de 2021.

BRAGA, Newton. **Instalações Elétricas Sem Mistérios** – Editora Saber, 1ª Edição, 1998. Companhia Energética de Pernambuco - CELPE. **Energia Reativa**. Disponível em: <<https://servicos.celpe.com.br/residencial-rural/Pages/energia-reativa.aspx>>. Acesso realizado em: 15 de julho de 2021.

DOMINGUEZ, Ozy Daniel Mengal. **Modelo matemático para o controle ótimo de Volt/VAR em sistemas de distribuição de energia elétrico trifásicos**. Dissertação (Mestrado) apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica do Campus de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira, 2015.

Elipa. **Como economizar energia da sua empresa**. Disponível em: <<https://elipa.com.br/economizar-energia-empresa.html>>. Acesso realizado em 08 de julho de 2022.

ENEL SpA. **NORMA TÉCNICA CELG D – NTC 04**. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC04.pdf>>. Acesso realizado em 03 de agosto de 2021.

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 1159™, **IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**. New York, USA. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019.

INEP – Instituto de Eletrônica de Potência. **Harmônicas em sistemas industriais de baixa tensão**. Departamento de Engenharia Elétrica, Centro tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2008.

JESUS, José Adilson Silva de; SANTOS, Graziella Ferreira dos. **Curto-circuito em redes de distribuição de 13,8 kV**. Revista científica Semana Acadêmica, 2018.

JRP Energy. **Qualidade de Energia – Causas, efeitos e soluções**. Disponível em: <<https://jrpenenergy.com.br/blog/83-qualidade-de-energia-causas,-efeitos-e-solu%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso realizado em 15 de novembro de 2021.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **QUALIDADE NA ENERGIA ELÉTRICA – Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções**. Artliber Editora Ltda, 2001.

MADALENA, Fernando C.. **Problemas de campo em compressores**. Ambiente Gelado. Disponível em <<http://www.ambientegegado.com.br/artigos-tecnicos/circuito-da-refrigeracao/compressores/1030-problemas-de-campo-em-compressores-parte-2-7>>. Acesso realizado em 25 de março de 2022.

MAIA, Reinaldo Moreira. **Caracterização das Variações de Tensão de Curta Duração e seus Impactos em uma Planta da Indústria Alimentícia** – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2011.

OLIVEIRA, Mateus de. **Uma estratégia de controle Volt/Var em redes de distribuição**. Dissertação (Graduação) submetida ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2020.

PADILHA, Lucas Nery. **Análise comparativa de estratégias para regulação de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica na presença de geradores distribuídos**. Dissertação (Mestrado) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2010.

PAULILO, Gilson; TEIXEIRA, Mateus. **Ebook Fascículos Qualidade de Energia**. Revista O Setor Elétrico. Edição 90. Setembro de 2013.

PEREIRA, Paulo Ricardo da Silva. **Métodos para otimização dos ajustes dos reguladores de tensão e zonas de tap em sistemas de distribuição** — Dissertação (Mestrado) apresentada ao Centro de estudos em Energia e Meio Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Rio grande do Sul – UFSM RS. Santa Maria, 2009.

PRADO, Igor Ferreira do. **Alocação de geração distribuída utilizando o algoritmo genético de Chu-Beasley e índices de sensibilidade**. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do ABC – UFABC. Santo André, 2013.

RICHTER, Jorge. **Algoritmo para Cálculo do Fluxo de Potência Trifásico a Quatro Condutores em Redes de Distribuição Primária**. Dissertação (Graduação) apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, 2015.

ROY, Sudipta. **Magnetron Microondas**. Lambda Geeks. Disponível em < <https://pt.lambdageeks.com/magnetron-microwaves/> >. Acesso realizado em 22 de março de 2022.

SANT'ANA, Edilson da Silva. **Sobretensões de Energização de Linha de Transmissão** – Dissertação (Graduação) apresentada à Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, Leandro Amatti. **Principais Distúrbios que afetam a Rede Elétrica e o funcionamento de Equipamentos Eletro Eletrônicos**. LinkedIn. 2017. Disponível em: <

<https://www.linkedin.com/pulse/principais-distúrbios-que-afetam-rede-elétrica-e-o-de/>>.

Acesso realizado em Fevereiro de 2022.

8 APÊNDICE I

Código-fonte para simulação da rede de 21 barramentos no *software* OpenDSS, para simular sem o RT retire a sessão “VVC”.

Clear

New circuit.SimulacaoVVC basekv=11 pu=1 phases=3 bus1=b1 Angle=0 baseMva=1 MVASC3=200000000 MVASC1=21000000

//-----Declaracao das Linhas-----

New line.Linha1 phases=3 bus1=B1 bus2=B2 length=0.6 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 0 0.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha2 phases=3 bus1=B2 bus2=B3 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 0 0.1950]

~ xmatrix=[0.6051 | 0 0.6051 | 0 0 0.6051]

New line.Linha3 phases=3 bus1=B3 bus2=B4 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha4 phases=3 bus1=B4 bus2=B5 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha5 phases=3 bus1=B5 bus2=B6 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha6 phases=3 bus1=B6 bus2=B7 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha7 phases=3 bus1=B7 bus2=B8 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha8 phases=3 bus1=B8 bus2=B9 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha9 phases=3 bus1=B9 bus2=B10 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha10 phases=3 bus1=B10 bus2=B11 length=0.25 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha11 phases=3 bus1=B11 bus2=B12 length=0.20 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha12 phases=3 bus1=B3 bus2=B13 length=0.30 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha13 phases=3 bus1=B13 bus2=B14 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha14 phases=3 bus1=B14 bus2=B15 length=0.20 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha15 phases=3 bus1=B15 bus2=B16 length=0.10 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

```
~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]
```

```
New line.Linha16 phases=3 bus1=B6 bus2=B17 length=0.60 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0.2990]
~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]
```

```
New line.Linha17 phases=3 bus1=B17 bus2=B18 length=0.55 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0.2990]
~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]
```

```
New line.Linha18 phases=3 bus1=B18 bus2=B19 length=0.55 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 0.3780]
~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]
```

```
New line.Linha19 phases=3 bus1=B19 bus2=B20 length=0.50 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 0.3780]
~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]
```

```
New line.Linha20 phases=3 bus1=B20 bus2=B21 length=0.50 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 0.3780]
~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]
```

```
//-----Declaracao das Barras-----
```

```
New load.CargaB2 phases=3 model=1 bus1=B2 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB3 phases=3 model=1 bus1=B3 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84
```

```
New load.CargaB4 phases=3 model=1 bus1=B4 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB5 phases=3 model=1 bus1=B5 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB6 phases=3 model=1 bus1=B6 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84
```

```
New load.CargaB7 phases=3 model=1 bus1=B7 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84
```

```
New load.CargaB8 phases=3 model=1 bus1=B8 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB9 phases=3 model=1 bus1=B9 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB10 phases=3 model=1 bus1=B10 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB11 phases=3 model=1 bus1=B11 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB12 phases=3 model=1 bus1=B12 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84
```

```
New load.CargaB13 phases=3 model=1 bus1=B13 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45
```

```
New load.CargaB14 phases=3 model=1 bus1=B14 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45
```

```
New load.CargaB15 phases=3 model=1 bus1=B15 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45
```

```
New load.CargaB16 phases=3 model=1 bus1=B16 conn=wye
~ kv=11 kw=13.5 kvar=7.5
```

```
New load.CargaB17 phases=3 model=1 bus1=B17 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB18 phases=3 model=1 bus1=B18 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB19 phases=3 model=1 bus1=B19 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB20 phases=3 model=1 bus1=B20 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
New load.CargaB21 phases=3 model=1 bus1=B21 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5
```

```
//-----VVC-----
```

```
//-----Regulador de Tensao-----
```

```
New transformer.reg1 phases=3 xhl=0.5 %loadloss=0.5 %noloadloss=0.5
~ wdg=1 bus=B3 kV=11 kva=6000 conn=wye
~ wdg=2 bus=B4 kV=11 kva=6000 conn=wye
```

```
New Regcontrol.RT1 transformer=reg1 winding=2 vreg=220 band=3 ptratio=60
```

```
//-----
```

```
Set VoltageBases=[11]
CalcVoltageBases
Solve
```

```
Show Voltages
Show Currents
export losses
```

```
//set mode=faultstudy
//solve
//show fault
```

9 APÊNDICE II

Código-fonte para simulação da rede de 36 barramentos no *software* OpenDSS, para simular a rede sem VVC retire a sessão “VVC”.

Clear

New circuit.SimulacaoVVC basekv=11 pu=1 phases=3 bus1=b1 Angle=0 baseMva=1 MVASC3=200000000 MVASC1=21000000

//-----Declaracao das Linhas-----

New line.Linha1 phases=3 bus1=B1 bus2=B2 length=0.6 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 0 0.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha2 phases=3 bus1=B2 bus2=B3 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 0 0.1950]

~ xmatrix=[0.6051 | 0 0.6051 | 0 0 0.6051]

New line.Linha3 phases=3 bus1=B3 bus2=B4 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha4 phases=3 bus1=B4 bus2=B5 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha5 phases=3 bus1=B5 bus2=B6 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha6 phases=3 bus1=B6 bus2=B7 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha7 phases=3 bus1=B7 bus2=B8 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha8 phases=3 bus1=B8 bus2=B9 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha9 phases=3 bus1=B9 bus2=B10 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha10 phases=3 bus1=B10 bus2=B11 length=0.25 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha11 phases=3 bus1=B11 bus2=B12 length=0.20 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha12 phases=3 bus1=B12 bus2=B13 length=0.30 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha13 phases=3 bus1=B13 bus2=B14 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha14 phases=3 bus1=B14 bus2=B15 length=0.20 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha15 phases=3 bus1=B5 bus2=B16 length=0.10 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 0 0.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha16 phases=3 bus1=B16 bus2=B17 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 00.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha17 phases=3 bus1=B17 bus2=B18 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 00.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha18 phases=3 bus1=B18 bus2=B19 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha19 phases=3 bus1=B19 bus2=B20 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha20 phases=3 bus1=B8 bus2=B21 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha21 phases=3 bus1=B21 bus2=B22 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 00.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha22 phases=3 bus1=B22 bus2=B23 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 00.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha23 phases=3 bus1=B23 bus2=B24 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 00.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha24 phases=3 bus1=B24 bus2=B25 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 00.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha25 phases=3 bus1=B25 bus2=B26 length=0.20 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 00.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha26 phases=3 bus1=B26 bus2=B27 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 00.2990]

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha27 phases=3 bus1=B27 bus2=B28 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha28 phases=3 bus1=B28 bus2=B29 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha29 phases=3 bus1=B29 bus2=B30 length=0.60 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha30 phases=3 bus1=B30 bus2=B31 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.3780 | 0 0.3780 | 0 00.3780]

~ xmatrix=[0.0860 | 0 0.0860 | 0 0 0.0860]

New line.Linha31 phases=3 bus1=B11 bus2=B32 length=0.50 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 00.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha32 phases=3 bus1=B32 bus2=B33 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.5240 | 0 0.5240 | 0 00.5240]

~ xmatrix=[0.0900 | 0 0.0900 | 0 0 0.0900]

New line.Linha33 phases=3 bus1=B33 bus2=B34 length=0.40 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.1950 | 0 0.1950 | 0 00.1950]

~ xmatrix=[0.0800 | 0 0.0800 | 0 0 0.0800]

New line.Linha34 phases=3 bus1=B34 bus2=B35 length=0.55 units=km BaseFreq=60

~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 00.2990]

```

~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

New line.Linha35 phases=3 bus1=B35 bus2=B36 length=0.50 units=km BaseFreq=60
~ rmatrix=[0.2990 | 0 0.2990 | 0 0 0.2990]
~ xmatrix=[0.0830 | 0 0.0830 | 0 0 0.0830]

//-----Declaracao das Barras-----

New load.CargaB2 phases=3 model=1 bus1=B2 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB3 phases=3 model=1 bus1=B3 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB4 phases=3 model=1 bus1=B4 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB5 phases=3 model=1 bus1=B5 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB6 phases=3 model=1 bus1=B6 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB7 phases=3 model=1 bus1=B7 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB8 phases=3 model=1 bus1=B8 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB9 phases=3 model=1 bus1=B9 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB10 phases=3 model=1 bus1=B10 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB11 phases=3 model=1 bus1=B11 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB12 phases=3 model=1 bus1=B12 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB13 phases=3 model=1 bus1=B13 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45

New load.CargaB14 phases=3 model=1 bus1=B14 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45

New load.CargaB15 phases=3 model=1 bus1=B15 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45

New load.CargaB16 phases=3 model=1 bus1=B16 conn=wye
~ kv=11 kw=13.5 kvar=7.5

New load.CargaB17 phases=3 model=1 bus1=B17 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB18 phases=3 model=1 bus1=B18 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB19 phases=3 model=1 bus1=B19 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB20 phases=3 model=1 bus1=B20 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB21 phases=3 model=1 bus1=B21 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB22 phases=3 model=1 bus1=B22 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB23 phases=3 model=1 bus1=B23 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB24 phases=3 model=1 bus1=B24 conn=wye

```

```

~ kv=11 kw=500 kvar=294

New load.CargaB25 phases=3 model=1 bus1=B25 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB26 phases=3 model=1 bus1=B26 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB27 phases=3 model=1 bus1=B27 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB28 phases=3 model=1 bus1=B28 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB29 phases=3 model=1 bus1=B29 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45

New load.CargaB30 phases=3 model=1 bus1=B30 conn=wye
~ kv=11 kw=72 kvar=45

New load.CargaB31 phases=3 model=1 bus1=B31 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB32 phases=3 model=1 bus1=B32 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB33 phases=3 model=1 bus1=B33 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB34 phases=3 model=1 bus1=B34 conn=wye
~ kv=11 kw=137 kvar=84

New load.CargaB35 phases=3 model=1 bus1=B35 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

New load.CargaB36 phases=3 model=1 bus1=B36 conn=wye
~ kv=11 kw=230 kvar=142.5

//-----VVC-----

//-----Regulador de Tensao-----

New transformer.reg1 phases=3 xhl=0.5 %loadloss=0.5 %noloadloss=0.5
~ wdg=1 bus=B3 kV=11 kva=6000 conn=wye
~ wdg=2 bus=B4 kV=11 kva=6000 conn=wye

New Regcontrol.RT1 transformer=reg1 winding=2 vreg=220 band=3 ptratio=60

//-----Bancos de Capacitor-----

New Capacitor.C1 bus1=B3 phases=3 kvar=900 kv=11 conn=wye

New Capacitor.C2 bus1=B8 phases=3 kvar=900 kv=11 conn=wye

New Capacitor.C3 bus1=B11 phases=3 kvar=900 kv=11 conn=wye

New Capacitor.C4 bus1=B23 phases=3 kvar=300 kv=11 conn=wye

//-----

Set VoltageBases=[11]
CalcVoltageBases
Solve

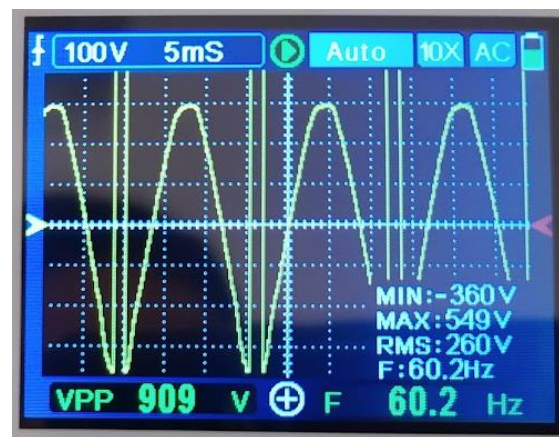
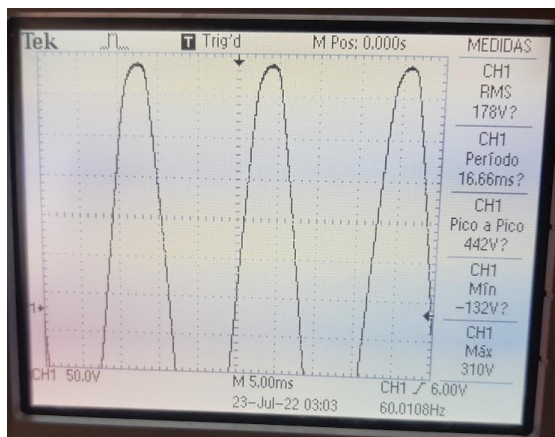
Show Voltages
Show Currents
export losses

//set mode=faultstudy
//solve
//show fault

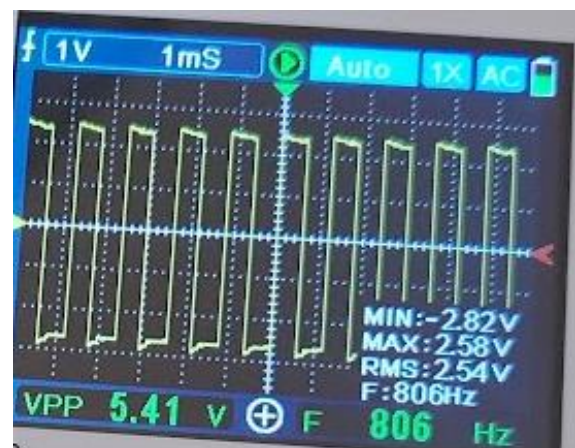
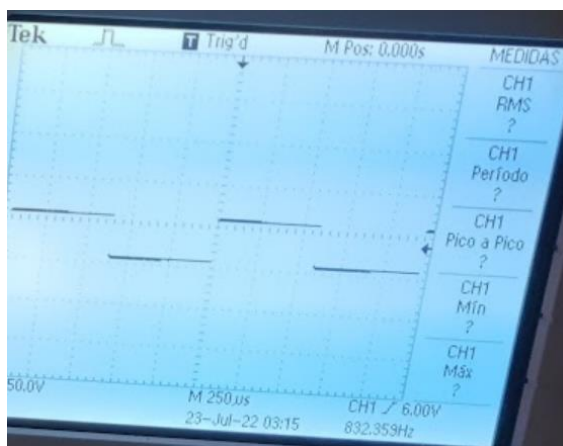
```

10 APÊNDICE III

Calibração do aparelho utilizado para as medições presentes na sessão 5.1, feitas em comparação com um aparelho presente no laboratório do Instituto Federal de Goiás Campus Jataí, primeiro foram realizadas medições na tensão do próprio laboratório, onde a distorção não apareceu presente na leitura do aparelho da instituição.



Então, fora utilizado um gerador de sinal pulsante para verificar a funcionalidade do aparelho em identificar os pulsos, tendo assim um resultado satisfatório.



11 APÊNDICE IV

Imagens capturadas durante as medições que mostram o distúrbio desconhecido com mais nitidez.

