



**REDE DE ENSINO DOCTUM**  
**FACULDADE DOCTUM DE CARATINGA**

**CÉLIO NONATO DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO  
EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL MONOFÁSICA**

**CARATINGA**

**2018**

**CÉLIO NONATO DE OLIVEIRA JÚNIOR**

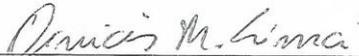
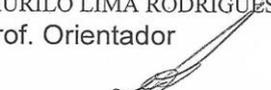
**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DO NÍVEL DE  
TENSÃO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL MONOFÁSICA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade doctum de Caratinga, como requisito para aprovação na disciplina TCC II, orientado pelo Prof. Vinícius Murilo Lima Rodrigues.

**CARATINGA**

**2018**

## CÉLIO NONATO DE OLIVEIRA JÚNIOR

	FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA	FORMULÁRIO 9
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
TERMO DE APROVAÇÃO		
TERMO DE APROVAÇÃO		
<p>O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL MONOFÁSICA, elaborado pelo(s) aluno(s) CÉLIO NONATO DE OLIVEIRA JÚNIOR foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de</p>		
<p><b>BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.</b></p>		
<p>Caratinga 11/12/2018</p>		
<p> VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES Prof. Orientador</p>		
<p> JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR Prof. Avaliador 1</p>		
<p> ELIAS DE SOUZA GONÇALVES Prof. Examinador 2</p>		

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Alzina e Célio Nonato, por todo apoio, dedicação e amor em mim depositado. A Todos meus amigos e companheiros de trabalho (Empreender e CEMIG), que de forma direta ou indireta participaram do desenvolvimento desse estudo. Agradeço aos professores do curso de Engenharia Elétrica, por todos os ensinamentos e conselhos, em especial meu orientador Prof. Vinicius Murilo Lima Rodrigues por todo apoio e dedicação. Sou grato a cada um que participou do meu crescimento ate aqui.

OLIVEIRA JÚNIOR, Célio Nonato **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL MONOFÁSICA**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, Caratinga, 2018.

## **RESUMO**

O atual trabalho explora a viabilidade técnica da reparação do nível de tensão em uma rede de distribuição rural monofásica por meio da implantação de um regulador de tensão na rede em estudo. O objetivo é adequar os níveis de tensão onde foi comprovado estar abaixo dos índices exigidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica. O estudo de caso foi baseado na rede monofásica, por não existir regulamentação própria para a aplicação de reguladores de tensão nesse formato de rede. Portanto, serão expostos nesse trabalho informações e tópicos que constatarem a efetividade do que está sendo relatado.

**Palavras-chave:** Regulador, Nível de tensão, Rede Monofásica.

OLIVEIRA JÚNIOR, Célio Nonato **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL MONOFÁSICA**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, Caratinga, 2018.

### **ABSTRACT**

The current work explores the technical feasibility of repairing the voltage level in a single-phase rural distribution network through the implementation of a voltage regulator in the network under study. The objective is to adjust the voltage levels where it has been proven to be below the levels required by the National Electric Energy Agency. The case study was based on the single-phase network, because there is no proper regulation for the application of voltage regulators in this network format. Therefore, it will be exposed in this work information and topics that verify the effectiveness of what is being reported.

**Key words:** Regulator, Voltage level, Single-phase network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variações da Qualidade de Energia.....	19
Figura 2 – Flutuação da Tensão da Corrente Elétrica .....	22
Figura 3 - Autotransformador e enrolamento série com tap's. ....	27
Figura 4 - Detalhes do funcionamento do comutador de tap's.....	28
Figura 5 - Detalhes do comutador de tap .....	28
Figura 6 - Circuito e componentes do regulador de tensão .....	29
Figura 07 – Alimentador ENC 012.....	31
Figura 08: Derivação monofásica que leva até o distrito de Santa Rita.....	32
Figura 09 – Localização .....	33
Figura 10 – Localização do Campo de Estudo.....	35
Figura 11 - Chave 31180 .....	36
Figura 12 – Aparelho Monofásico.....	37
Figura 13 – Regulador de Tensão Instalado .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais Utilizados .....	38
Tabela 2 – Medições feitas antes da instalação do equipamento .....	42
Tabela 3 – Medições feitas depois da instalação do equipamento .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
FP	Fator de Potência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
ONS	Operador Nacional do Sistema
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RDR	Rede de Distribuição Rural
RT	Regulador de Tensão
TMAE	Tempo médio de atendimento a emergências
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração;

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Objetivos .....	12
1.2 Hipótese .....	12
1.3 Justificativa .....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 Histórico de aplicação de reguladores.....	14
2.2 Concessão de Serviço Público de Distribuição de Energia .....	16
2.3 Qualidade de energia elétrica .....	16
2.4 Tensão em Regime Permanente .....	20
2.5 Desequilíbrio de Tensão.....	21
2.6 Flutuação de Tensão .....	22
2.7 Variação de Tensão de Curta Duração.....	22
2.8 Variação de Frequência.....	24
2.9 Fator Potência.....	24
2.10 Principais falhas .....	26
2.11 Elementos de proteção.....	26
2.12 Reguladores de tensão.....	27
<b>3. ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>30</b>
3.1 Metodologia.....	30
3.2 Campo de Estudo .....	30
3.4.1 Derivação Monofásica.....	33
3.4.2 Problema de Estudo.....	33
3.4.3 Procedimento a ser realizado .....	34
3.5 <b>Proteção do sistema</b> .....	36
3.6.1 Material Utilizado.....	38
3.6.2 Procedimento Realizado .....	39
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>42</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento do país é consequência do eficaz aumento de distribuição elétrica pelo território nacional. A distribuição é mais eficaz em áreas urbanas, e um pouco defasada em áreas rurais. Segundo o Censo Demográfico publicado pelo IBGE no ano de 2010, 97,8% da população brasileira tem acesso a energia elétrica, sendo que 99,1% em áreas urbanas e 89,7% em áreas rurais.

Alguns fatores responsáveis pelo déficit de distribuição na zona rural é a distância entre a fonte de energia do cliente e a falta de densidade populacional, resultando em uma maior rede de distribuição. Do ponto de vista estritamente econômico a construção e manutenção das redes de distribuição rurais monofásicas são desvantajosas para as concessionárias, o que as torna elemento menos prioritário no sistema elétrico de potência (CEMIG, 1991).

Com o passar do tempo e o recente aumento da demanda de energia em zonas rurais, surgiu um segundo problema: o desarme excessivo de um equipamento em relação aos outros, o religador. O equipamento possui módulos de proteção e quando um relé de sobrecorrente atinge a corrente mínima de atuação, o equipamento interrompe o fornecimento de energia. Com isso, a queda de energia nas zonas rurais se tornou constantes e um empecilho para a população rural, fato ainda mais marcante na época de safra do café.

Para atender as normas de qualidade da ANEEL, reduzir as perdas na distribuição, melhoramento da qualidade da energia e aumento do faturamento das concessionárias de energia elétrica surge a conversão de linha de distribuição monofásica para trifásica, mas por ser um procedimento de investimento muito alto, se torna um processo lento e muitas vezes inviável economicamente para a concessionária, sendo assim a solução foi instalar um equipamento que melhore os níveis de tensão na rede.

Pensando em criar uma solução com uma viabilidade financeira, se propõe a instalação de um regulador de tensão. Os reguladores fornecem aos pontos de consumo uma regulação de tensão adequada e confere qualidade ao fornecimento de energia. (MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA REGULADORES DE TENSÃO MONOFÁSICOS, 2015)

O presente trabalho será um estudo de caso da implantação de um sistema regularizador de tensão na zona rural São Vicente do Rio doce, da cidade de Tarumirim-MG. Constatado que lá existe a necessidade da implantação de reguladores, a empresa CEMIG irá realizar o empreendimento a partir do mês de julho de 2018 e apresentaremos aqui a maior gama de dados possíveis relativos ao regularizador e suas extensões.

### **1.1 Objetivos**

Como objetivo geral está a realização de um estudo de caso de implantação de um regulador de tensão em uma Rede de distribuição rural monofásica onde foi detectado que a qualidade de tensão da mesma não está nos parâmetros necessários. Será comprovada a viabilidade da correção da queda de tensão em redes de distribuição rural monofásica, sendo feitas medições antes e após a implantação do equipamento em estudo.

### **1.2 Hipótese**

Perante o exposto problema de pesquisa “ Por que existe um desligamento excessivo do fornecimento de energia nas zonas rurais?”, é concebível demonstrar soluções encontradas para desenvolver o problema em questão. Que nesse caso, será a obra de implantação do sistema regularizador.

Os reguladores de tensão são aplicados em regiões mais distantes dos centros geradores para melhorar o nível de tensão das redes de distribuição e, conseqüentemente, melhoram a qualidade do fornecimento de energia elétrica (MANUAL DE INSTRUÇÕES REGULADOR DE TENSÃO MONOFASICO, 2012).

Os prós e contras, caso haja, da aplicação do empreendimento e a consumação de fato se foi à melhor das escolhas para resolver o presente problema serão abordados neste trabalho.

### **1.3 Justificativa**

Quedas constantes de energia sendo um problema comum em zonas rurais, a zona rural de Tarumirim-MG também passa por esse tipo de atenuante. Em vista dos problemas gerados à população, a concessionária responsável pela área em plenitude de seus deveres criou o projeto para implementação de um regulador de tensão a fim de resolver os problemas e cumprir seus deveres contratuais.

Partindo dessa afirmação, e com o apoio possível da empresa terceirizada para confecção de tamanho projeto, o presente trabalho visa acompanhar e analisar toda a extensão do empreendimento. Feito isso, comparar os resultados obtidos, e se aproximar de uma conclusão, dizendo se o empreendimento como um todo foi válido, economicamente viável, se cumpriu as normas regulamentadas pela NBR e se realmente irá resolver o problema da população naquela área.

Caso conclua-se que os resultados não foram satisfatórios, iremos apontar o que podia ter sido melhor e apresentar as soluções para a concessionária responsável.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Histórico de aplicação de reguladores

Os primeiros casos de aplicação de reguladores foram constados nos países mais desenvolvidos em meados dos anos 1940, especialmente nos Estados Unidos em vista de seu exacerbado território com inúmeros centros de consumos espalhados não equidistantes dos pontos de geração. Além da grande extensão territorial, começaram a aparecer novos aparelhos eletrônicos sensíveis a oscilações elétricas causando descontento da população que começou a exigir uma solução.

De acordo com Reis (2013):

O controle de tensão pode ser dividido em dois grupos de problemas distintos: aqueles que tratam da variação na amplitude da tensão em longa duração e as variações de tensão de curta duração. Esses fenômenos causam a queima dos eletrodomésticos e a parada de máquinas e de processos industriais, o que traz prejuízos econômicos consideráveis. Dentro da classe de equipamentos que possibilitam o controle de tensão serão estudados os Reguladores de Tensão (RT), por serem largamente utilizados na rede elétrica de distribuição. Esse dispositivo, usualmente, é constituído por um autotransformador e um comutador de taps.

Em termos de espaço territorial, o Brasil pode em suma se comparar com os Estados Unidos, tornando assim viável a instalação dos reguladores de tensão em nosso território. Vale ressaltar que, por razões econômicas, facilidade e versatilidade eles adquiriram uma grande aceitação por parte das concessionárias. Antigamente, reguladores ou partes tinham de ser importadas para o Brasil, mas atualmente existem reguladores 100% confeccionados em território brasileiro eliminando problemas de custos e manutenção, que eram verificados até o final dos anos 1990.

A energia elétrica passa por diversos tipos de transformação para chegar ao consumidor final. Estes processos modificam os níveis de tensão a fim de diminuir as perdas que ocorrem no processo de transmissão. (APPEL, 2012).

As redes que fazem a interligação dos sistemas de transmissão até as unidades consumidoras são chamadas de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE). (LIRA, 2011).

A energia elétrica percorre um longo caminho até chegar ao consumidor e este poder utilizá-la. A produção ou geração é a primeira etapa desse caminho,

cujas tensões variam entre 220/380 até 1.000V, que após ser gerada a energia entra em subestações elevadoras, onde as tensões são elevadas a níveis de maiores tensões que são chamados de níveis de transmissão. As tensões variam de 69 kV a 512Kv neste nível, sendo que as mais usadas são 69kV, 138kV, 256kV e 512kV. Essas altas tensões são utilizadas com o propósito de reduzir a corrente elétrica, reduzir perdas, pois quando há uma corrente muito alta ocorrem perdas por efeito joule (perda de energia em forma de calor), e também para minimizar a queda de tensão ao longo dos cabos, já que nestas redes são muito extensas ultrapassando centenas de quilômetros, e por isso ocorrendo quedas consideráveis nos níveis de tensão, essas são chamadas Redes de Transmissão. (KAGAN, 2015)

Após o percurso pelas redes de transmissão a energia chega às cidades, onde sofre uma redução do nível de tensão, chegando ao ponto de distribuição, que são tensões inferiores a 68kV. Nessa etapa a energia sai de uma central que realiza a redução progressiva da tensão, é chamada de subestação rebaixadora, e percorre toda a cidade através das redes de distribuição urbanas que conta com os transformadores de distribuição (normalmente instalados em postes) que rebaixa novamente a tensão de 13.800V, por exemplo, para tensões de 380/220/127V, que são as chamadas tensões de consumo indo até os medidores instalados em todos os consumidores. Estes que, por sua vez, são o elemento principal de nossa pesquisa. E a partir de então essa etapa passa a se chamar consumo.

Segundo Appel (2012) para um melhor entendimento há nomenclaturas de acordo com as tensões nas redes tanto de transmissão quanto de distribuição: o termo alta tensão é utilizado pelas concessionárias para definir as tensões acima de 69kV que fazem parte das redes de transmissão; a média tensão é utilizado para tensões abaixo de 69kV até 1kV; e baixa tensão define as redes com tensões inferiores a 1kv. Estas duas últimas fazem parte das redes de distribuição.

Porém a NR 10 (Norma Regulamentadora 10 para segurança em instalações e serviços em eletricidade) estabelece que alta tensão é tensão superior a 1.000V em corrente alternada em fase, ou em fase e terra, existindo assim as divergências quanto a esses termos e não existindo o termo média tensão, já outra norma conhecida como NBR 14039 tem como título “Instalações elétricas de média tensão de 1kV a 36,2kV”. Deixando em aberto o termo correto.

De acordo com a área atendida as redes de distribuição são separadas entre rede de distribuição rural e rede de distribuição urbana.

Segundo Oliveira, (2012) as redes elétricas seguem o mesmo modelo por décadas, porém há um novo ramo de desenvolvimento tecnológico que tem a finalidade de tornar estas redes convencionais em redes mais modernas, seguras e eficientes, facilitando o trabalho dos profissionais envolvidos nessa área, o controle por parte das empresas que geram esses serviços e maior transparência, segurança e comodidade para os consumidores. Pode-se citar como exemplo o método adotado nos países Europeus, onde o sistema de medição é totalmente online, e muito mais eficiente do que o modelo adotado na maior parte do Brasil.

## **2.2 Concessão de Serviço Público de Distribuição de Energia**

Se tratando de um empreendimento da concessionária local da região, é importante entender sobre direitos e deveres da mesma. Contratos são feitos por grandes períodos de tempo, girando em torno de 25 anos, e depois de vencido o mesmo, geralmente são renovados em forma de aditivo, tendo em mente a difícil mobilização de ativos de uma concessionária, (ANEEL, 2015)

Os aditivos contratuais têm o intuito de melhorar alguns pontos que foram considerados frágeis na última gestão, e também para acrescentar novas obrigações para saciar as necessidades que foram surgindo ao passar dos anos.

Na região do presente trabalho, a concessionária CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) juntamente com o Ministério de Minas e Energia, que é resguardado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) conseguiu pela quinta vez consecutiva um aditivo de concessão que com duração 30 anos e tendo início em janeiro de 2016. Como dito, aditivos tem como função acrescentar cláusulas que supram novas necessidades, e nesse quinto aditivo algumas cláusulas enfatizam a melhoria da qualidade da energia elétrica.

## **2.3 Qualidade de energia elétrica**

Qualidade de energia elétrica (QEE) é o termo nascido da necessidade de melhorar a qualidade de energia em escala mundial. Criar e cumprir parâmetros

regulamentados por normas que visam garantir o funcionamento de processos de transmissão e distribuição de energia. A continuidade do processo é o principal objetivo resultando em um tratamento sistemático e pontual de vários aspectos técnicos.

Paulilo (2013) define de forma clara e objetiva o que é qualidade de energia elétrica, dizendo:

O termo “qualidade da energia” inclui uma gama de fenômenos, abrangendo áreas de interesse de sistemas da energia elétrica até problemas relacionados com a comunicação em redes de transmissão de dados. Dessa forma, devem ser divulgados e reconhecidos por todos os setores envolvidos com o consumo, transmissão e geração de energia elétrica. A interpretação destes fenômenos, principalmente as distorções de tensões e correntes, localizadas tanto nos PACs (ponto de acoplamento comum) como também dentro das instalações dos próprios consumidores de energia, está associada diretamente à correção do fator de potência, racionalização da energia e aumento da produtividade. A ocorrência destes problemas determina a necessidade de uma busca mútua de soluções, entre ambas as partes, para a realização de medidas práticas e econômicas.

Ao se observar a realidade vivida pela sociedade atual, tanto nas instalações residenciais quanto comerciais, percebe-se uma necessidade crescente pelo uso da energia elétrica, e por energia de mais qualidade. Assim sendo, é preciso a realização de investimentos que visem a melhoria da qualidade de energia elétrica, para que haja redução de perdas desnecessárias.

Podem ocorrer diversos prejuízos econômicos resultantes da má qualidade da energia. Destaca-se que no caso das indústrias esses prejuízos podem ser maiores, já que são muitos os equipamentos utilizados no processo de produção que necessitam de um fornecimento de energia de qualidade. De acordo com estudos realizados em alguns países da Europa em meados do ano de 2000 onde foi detectado que grande parte das empresas não possuem instalações elétricas que deem suporte aos problemas causados pela energia de má qualidade. Foi verificado também que diversos profissionais responsáveis pela instalação e manutenção das instalações elétricas não reconhecem que tais problemas sejam causados pela qualidade de energia deficiente.

Empresas que não se encontram preparadas para resolver esse tipo de problema pode encontrar outras questões igualmente complexas para resolver: aumento de custos de energia por haver perdas nas instalações, ainda precisa lidar

com perdas no processo produtivo devido à interrupção do fornecimento de energia, bem como as possíveis avarias nos equipamentos da empresa.

Rocha (2016) destaca que:

Quando se afirma que uma instalação elétrica tem qualidade de energia pobre, significa que a onda da tensão e/ou a onda da corrente elétrica têm suficientes desvios das normas a ponto de prejudicar o funcionamento ou levar à falha de equipamentos. Quando uma instalação elétrica tem boa qualidade de energia, significa que o nível dos desvios das normas é baixo e, portanto, os equipamentos funcionam sem problemas. Uma vez que a sensibilidade varia de um tipo de equipamento para outro, o que pode ser considerado qualidade de energia baixa para um equipamento pode ser aceitável para outro equipamento. Ainda assim, a confiabilidade do sistema de produção é afetada se os desvios em relação aos indicadores das regulamentações não são seguidos.

No Brasil, existem dois agentes regularizadores da qualidade de energia elétrica. São eles: Operador Nacional de Sistema (ONS), que regula a transmissão de energia, e a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que regula o processo de distribuição de energia no país. Para um melhor entendimento sobre qualidade de energia, é importante entender algumas formas e transgressões que as componentes elétricas podem sofrer, para se tornar possível identificar toda e qualquer anomalia que surja durante o estudo de caso.

O procedimento de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional, PRODIST é o marco nacional relacionado à distribuição de energia. Se trata de um documento redigido para criar parâmetros que estabelecem e normatizam a qualidade do produto e serviços que serão prestados aos consumidores. Baseado em valores de referência, coleta de dados, medições, caracterização de fenômenos e análise de continuidade, foram criados indicadores para serem apurados, podendo assim qualificar os serviços prestados pelas concessionárias (ANEEL,2016).

Reis (2013) afirma que:

A variação de tensão de suprimento dos consumidores dependerá do estado operacional do sistema de distribuição, bem como da localização geográfica do consumidor dentro do sistema. Dessa forma, o controle de tensão visa a garantir que os consumidores disponham de tensão dentro dos níveis estabelecidos pela resolução 676, de 19 de dezembro de 2003 da Aneel, a qual objetiva assegurar a todos os clientes, ao longo da rede elétrica, o fornecimento de tensão dentro de limites adequados. Nessa resolução são estabelecidos os níveis considerados aceitáveis, precários ou críticos para a tensão fornecida (Tensão de Atendimento, TA). Também são

estabelecidos os 3 indicadores e limites para os tempos em que a tensão permanece fora dos níveis

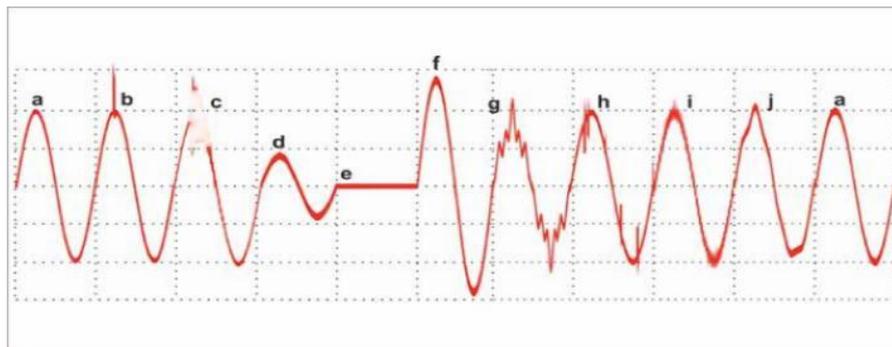
Alguns aspectos considerados pela ANEEL como fundamentais para uma boa qualidade de produto são:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Verificação de frequência;
- c) Flutuação de tensão;
- d) Variações de tensão de curta duração;
- e) Desequilíbrio de tensão;
- f) Harmônicos;
- g) Fator de potência

Outro indicador de qualidade é denominado TMAE (Tempo médio de Atendimento a Emergências) que é a composição de ações de localização, preparação, deslocamento, execução e correção de uma suposta causa de interrompimento de energia.

Paulilo (2013) apresenta as variações de qualidade de energia:

Figura 1: Variações da Qualidade de Energia



Fonte: Paulilo (2013)

Onde:

- a - tensão senoidal;
- b - transitório impulsivo;
- c - transitório oscilatório;
- d - afundamento de tensão;
- e – interrupção;

- f - salto de tensão;
- g – harmônico;
- h - corte de tensão;
- i – ruídos;
- j – inter-harmônicos;

Com base nas informações fornecidas pela ANEEL (2016 p.42): “por meio do controle das interrupções, do cálculo e da divulgação dos indicadores de continuidade de serviço, as distribuidoras, os consumidores e a ANEEL podem avaliar a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico” .

Para uma melhor apuração de dados, todas as ocorrências devem ser apresentadas pelas concessionárias mensalmente, inclusive ocorrências do Dia Crítico, que é um indicador de situações extraordinárias onde interrupções acontecem em grande número de forma imprevisível e desordenada, como uma catástrofe por exemplo.

## **2.4 Tensão em Regime Permanente**

Em harmonia com ANEEL (2016), o módulo 8 do PRODIST estabelece parâmetros para medir a qualidade da tensão fornecida. São descritos procedimentos de medição, bem como equipamentos padronizados para coletas dos dados, indicadores coletivos e individuais de conformidade de tensão, limites adequados, critérios de medição e procedimentos de tratamento e compensação ao consumidor, em caso de tensão fora dos padrões.

São estabelecidos os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente, os indicadores individuais e coletivos de conformidade de tensão elétrica, os critérios de medição, de registro e dos prazos para compensação ao consumidor, caso as medições de tensão excedamos limites dos indicadores (ANEEL, 2016 p. 5).

A coleta de dados para análise da tensão pode ocorrer de duas formas, através de auditoria regular ANEEL, por meio de amostragem ou por reclamação dos consumidores.

Os consumidores ficam divididos entre os que são atendidos em tensão ininterrupta e os que não são atendidos em tensão ininterrupta. Sendo assim, pode-

se criar analogia entre os clientes prioritários, como os industriais e os menos prioritários, como os consumidores do subgrupo B.

Os valores de tensão coletados por medição são comparados a tensão nominal ou a contratada, de acordo com a classe consumidora. Para o critério de comparação avaliativa, os níveis de tensão se caracterizam em três categorias, sendo elas adequadas, precárias ou críticas, de acordo com o distanciamento entre os valores coletados e os valores de referência.

A coleta dos dados deve ser efetuada por equipamentos que operam através de amostragem digital, com no mínimo três requisitos: taxa amostral de 16 amostras por ciclos, conversor analógico digital de sinal de tensão com 12 bits e precisão de até 1% da leitura. Os valores coletados devem ser apurados permitindo análise dos indicadores individuais, tabela de medição e histograma de tensão.

Os dados coletados devem ser armazenados em mídia digital por período mínimo de 5 anos, estando disponíveis para auditorias da ANNEL e também caso solicitado, para consulta dos consumidores.

## **2.5 Desequilíbrio de Tensão**

O desequilíbrio de tensão logicamente é abordado para os sistemas trifásicos, calculado a partir da equação 1:

$$FD\% = (V - / V+) \times 100$$

Onde:

FD = Magnitude da tensão de sequência negativa (RMS);

V- = Magnitude da tensão de sequência positiva (RMS);

V+ = Magnitude de tensões trifásicas de linha (RMS).

As medições das grandezas devem ser realizadas por sistemas capazes de efetuar o processamento dos dados de forma computacional. Para que as tensões de sequência zero sejam eliminadas, as tensões devem ser medidas entre duas fases.

Com exceção dos circuitos de baixa tensão, os valores de referências dos

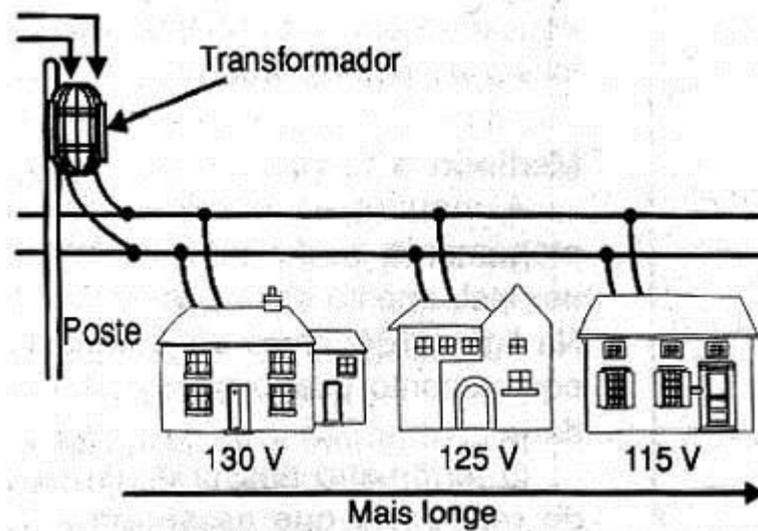
sistemas de distribuição, com relação ao desequilíbrio de tensão, deve ser igual ou inferior a 2%.

## 2.6 Flutuação de Tensão

Em termos de qualidade de nível de tensão, a flutuação se refere diretamente ao efeito de cintilação luminosa, que nada mais é do que a variação de luminosidade das lâmpadas. De acordo com a ANEEL "a flutuação de tensão é uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão" (p. 26)

De acordo com (Buratti 2016), pode-se ver a flutuação da tensão da corrente elétrica na figura 2:

Figura 2 – Flutuação da Tensão da Corrente Elétrica



Fonte: Buratti (2016)

A terminologia para a caracterização da flutuação de tensão está na identificação dos índices Pst (Severidade de curta duração) e Plt (Severidade de longa duração). Essas grandezas são derivadas de medições e descritas em níveis de sensação de cintilação luminosa.

## 2.7 Variação de Tensão de Curta Duração

A terminologia para variação de tensão de curta duração se dá conforme as siglas abaixo caracterizando-se de acordo com o tempo de variação: "variações de

tensão de curta duração são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo” (ANEEL 2016, p. 29).

VTCD - Variação de Tensão de Curta Duração;

IMT - Interrupção Momentânea de Tensão;

AMT - Afundamento Momentâneo de Tensão;

EMT - Elevação Momentânea de Tensão;

ITT - Interrupção Temporária de Tensão;

AIT- Afundamento Temporário de Tensão;

ETT- Elevação Temporária de Tensão

Nos dizeres de Maia (2011), pode-se encontrar as características da VTCD:

VTCD é um evento aleatório de tensão caracterizado por desvio significativo, por um período de um ciclo a um minuto, do valor eficaz da tensão. Calcula-se o valor eficaz da tensão a partir da média quadrática dos valores instantâneos da tensão, em período mínimo de meio ciclo e máximo de um ciclo. A amplitude da VTCD é definida pelo valor extremo do valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado, enquanto perdurar o evento. A duração da VTCD é definida pelo intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado ultrapassa determinado limite e o instante em que essa variável volta a cruzar esse limite.

Neste caso, o nível de qualificação do fenômeno se baseia de acordo com sua duração e frequência. "O afundamento ou a elevação de tensão que representa o intervalo de três minutos é o de menor ou de maior amplitude da tensão, respectivamente."(ANEEL, 2016 p. 30)

A ANEEL não atribui metas ou padrões de desempenho para a Variação de Tensão, e destaca que o afundamento e elevação de tensão devem ser tratados de forma Curta Duração distinta.

## 2.8 Variação de Frequência

O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência entre 59,9 Hz e 60,1 Hz."(ANEEL 2016, p. 31).

Os parâmetros de avaliação da Variação de Frequência são simples e diretos. O descompasso da grandeza pode levar o Sistema Interligado Nacional (SIN) a um colapso. Neste caso, a supervisão de alterações é integral e em situações extraordinárias permitem em um prazo máximo de trinta segundos, apenas variações entre 59,5 Hz e 60,5 Hz.

Nos casos em que os valores de frequência estiverem fora dos limites supracitados sistemas como o Esquema Regional de Alívio de Carga (ERAC), podem atuar. Tais sistemas trabalham com princípios de relés de sub e sobre frequência, eliminando cargas menos prioritárias conectadas ao sistema, fazendo com que, a frequência retorne aos valores limites.

## 2.9 Fator Potência

Para um melhor entendimento do trabalho apresentado, é fundamental entender alguns conceitos paralelos ao fator potência (fp). Para uma boa harmonia no sistema elétrico, entender e controlar o fator potencial e seus principais aspectos é crucial.

Para Mamede (2012), ao analisar grandezas elementares da potência elétrica em circuitos de corrente alternada (CA), potência ativas (P), potência aparente (S) e potência reativa (Q), surgem algumas relações comportamentais. Pode se classificar cargas elétricas em lineares ou não lineares.

Cargas lineares obedecem às Leis de Ohm, sendo então cargas resistivas. Dispositivos inteiramente dotados de cargas resistivas possuem linearidade senoidal. Alguns exemplos comuns são chuveiros e lâmpadas incandescentes por possuírem ondas e tensão e corrente em fase. Resumidamente, a polaridade se altera instantaneamente a cada ciclo senoidal. Ainda segundo Mamede, esse tipo de carga, com exceção das perdas de transporte, tem toda energia transportada transformada em trabalho, nesse caso, potência ativa (P).

No caso de cargas não lineares, atribuímos o termo impedância, pelo fato do sistema se relacionar com a frequência, expressada em Hertz (Hz). São divididas em dois tipos, o primeiro chamado de reativa indutiva é geralmente encontrada em equipamentos como transformadores e capacitiva que constituem equipamentos como capacitores. O exagero de qualquer um dos dois tipos de potência em um circuito, irá caracterizá-lo como ineficiente por ter um baixo fator de potência.

Tratando o baixo fator de potência como um atenuante que se deve evitar, entender algumas das suas causas pode ser crucial. Para Mamede (2012), existem fatores predominantes quando o assunto é a ocorrência de baixo fator de potência. Mesmo que exista uma falta de equilíbrio natural na composição das cargas, há alterações que podem ser feitas para maximizar o efeito como da mesma forma existem algumas que devem ser evitadas. Alguns procedimentos que podem resultar em um baixo fator de potência são:

- a) Transformadores operando com cargas leves;
- b) Muito motor com baixa potência trabalhando ao mesmo tempo ao longo de um grande período;
- c) Motores superdimensionados;
- d) Motores de indução trabalhando o vazio por muito tempo;
- e) Reatores para suprimento de lâmpadas de descarga;
- f) Fornos a arco de indução eletromagnética;
- g) Máquinas de solda a transformador;
- h) Equipamentos eletrônicos;

Segundo ANEEL (2012), fator potência com valores muito abaixo da média ocasiona um aumento de energia reativa, que por sua vez implica em um aumento de corrente total circulando pelas redes de distribuição, na própria concessionária e nas unidades consumidoras, causando uma sobrecarga geral no sistema. Alguns dos efeitos que podem ser observados são:

- a) Aumento da conta de consumo de energia;
- b) Limitação na capacidade dos condutores e equipamentos da rede;
- c) Aumento das perdas na rede elétrica;
- d) Quedas e flutuações de tensão nas redes de distribuição;

## **2.10 Principais falhas**

Existem 2 tipos de falhas que acontecem com maior evidência em circuitos elétricos, são os curtos-circuitos que geralmente se originam de falhas na isolação de algum ponto ou até mesmo fatores externos que atuam sobre o sistema. Curtos-circuitos podem ser entre todas ou qualquer fase, inclusive terra para circuitos solidamente aterrados. Quando ocorre um curto-circuito, em pequenos períodos de tempo existe a passagem de uma corrente elétrica com valor muito acima do normal e pode causar danos irreversíveis para o sistema. (MAMEDE, 2014). A segunda falha é a sobrecarga derivada da utilização inapropriada do sistema, onde existe uma passagem de carga acima da projetada, exigindo uma superdimensionamento dos sistemas de proteção, que nem sempre existe.

## **2.11 Elementos de proteção**

Existem basicamente 2 tipos de linha para proteção, as que utilizam fusíveis e as que operam os princípios de relés, sendo a tipo 2 a de maior foco no presente trabalho. Para MAMEDE (2014), os principais elementos de proteção em ordem são os disjuntores, religadores, e chaves fusíveis que por sua vez serão explicados mais adiante.

Os relés proporcionam uma boa proteção aos circuitos elétricos. Inventados por volta de 1900, suas primeiras versões eram eletromecânicas, e ao longo do tempo evoluíram bastante se tornando relés eletrônicos digitais (MAMEDE Filho; MAMEDE 2014).

Ainda segundo MAMEDE(2014), os religadores são dispositivos com interrupção automática, sendo que quando se faz necessário, abrem e fecham seus contatos inúmeras vezes caso exista uma falha. Um exemplo de quando se faz necessário religadores seria quando galhos de vegetação tocam as redes causando curtos-circuitos, o equipamento atua rompendo o galho através de corrente elétrica e mantendo o fornecimento de energia.

## 2.12 Reguladores de tensão

Na atualidade as concessionárias de energia elétrica sempre enfrentam empecilhos, um dos maiores deles seria atender com níveis de tensão adequados os consumidores. Uma importante solução que se torna fundamental para garantir o fornecimento adequado de níveis de tensão exigido pela PRODIST é instalação de Reguladores de tensão.

Em regiões que ficam localizadas a maiores distâncias da subestação e tem uma demanda de densidade de carga média os alimentadores necessitam de instalações de RT's.

O RT é um autotransformador, geralmente com 32 posições de tap, operando em ambas configurações, tanto como elevação de tensão como na diminuição dela.

É composto praticamente por um enrolamento de excitação, com ligação em paralelo com a linha induzindo uma tensão que pode ser adicionada ou subtraída à fonte. A figura 3 mostra como a tensão pode ser somada ou subtraída através da alteração de tap's.

Geralmente, nos equipamentos a disposição no mercado opera em uma faixa de 10 % sendo ele de acréscimo ou de perda, com o tap de 32 degraus. No entanto o valor de cada degrau seria de 0,625 na tensão do lado secundário.

O funcionamento para ganho ou perda de tensão será determinado pela polaridade da bobina. Por isso para determinar a operação existe uma chave inversora no regulador que tem a função de aumentar ou abaixar a tensão. Com o auxílio de um reator é realizada a comutação de tap sob carga, esse reator tem a função de evitar interrupção do circuito no momento do processo de comutação.

Figura 3 - Autotransformador e enrolamento série com tap's

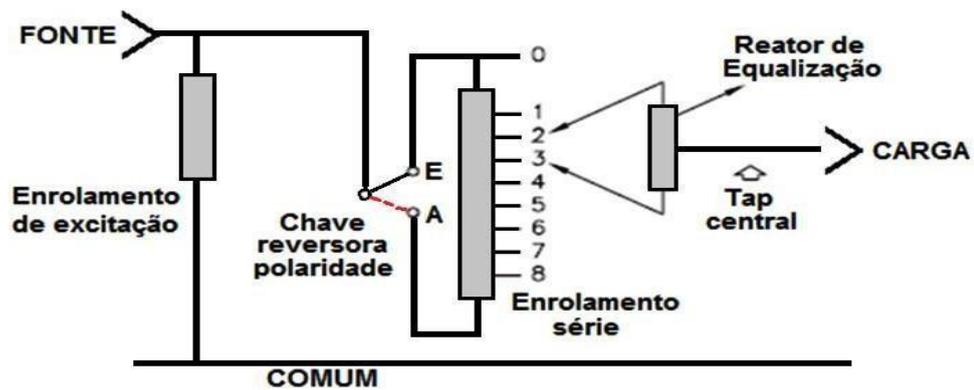


1) Neutro    2) Tensão Mínima    3) Tensão Máxima

Fonte: Buratti (2016)

A vida útil dos contatos é garantida graças a este mecanismo, impedindo o aquecimento excessivo devido à formação de arcos elétricos limitando a corrente durante a comutação. São mostrados os detalhes e os componentes que compõem o comutado de tap na figura 4.

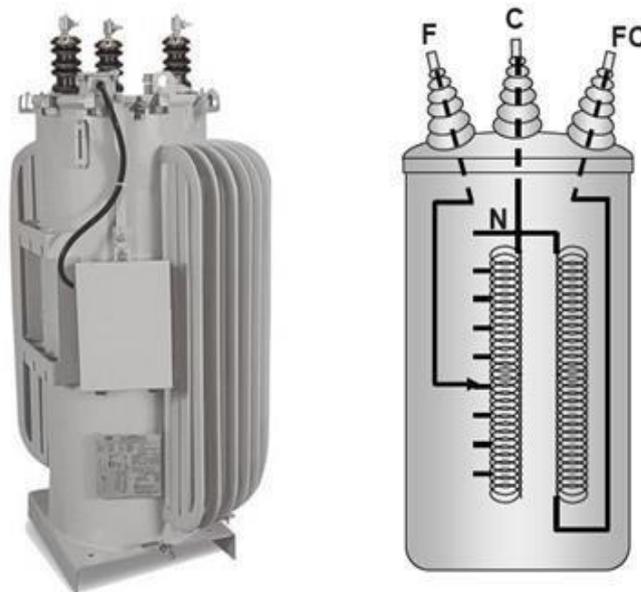
Figura 4 - Detalhes do funcionamento do comutador de tap's



Fonte: Buratti (2016)

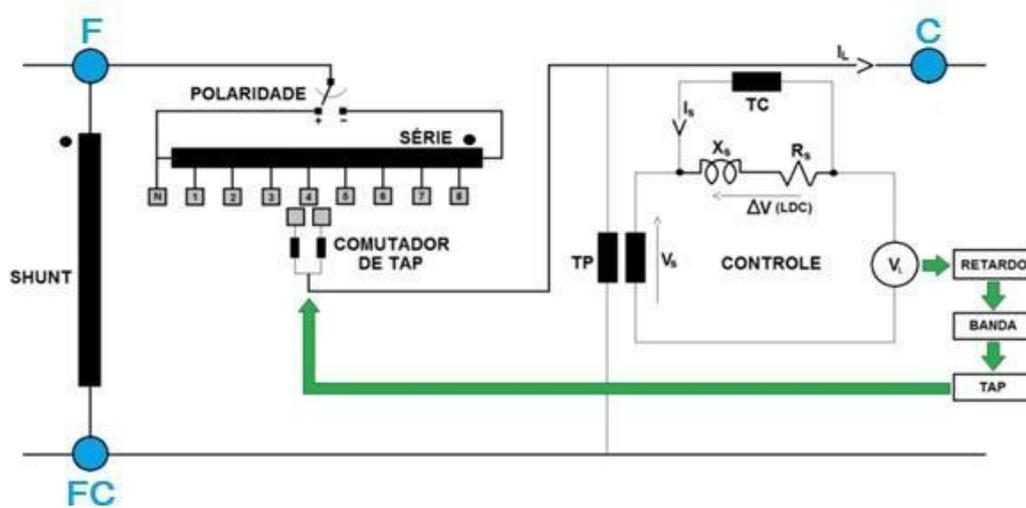
As figuras 5 e 6 mostram um RT convencional e seus aspectos físicos, em seqüência o modelo de circuito de controle dos painéis de um RT.

Figura 5 - Detalhes do comutador de tap



Fonte: Buratti (2016)

Figura 6 - Circuito e componentes do regulador de tensão



Fonte: Buratti (2016)

### **3. ESTUDO DE CASO**

A pesquisa aqui descrita é relativa à um estudo de caso realizado na zona rural do município de Tarumirim – MG, com análise de implantação de um sistema regulador de tensão no referido campo de estudo, com início em julho de 2018, conforme descrito na pesquisa.

#### **3.1 Metodologia**

Sobre a pesquisa qualitativa, encontram-se os dizeres de Gerhardt e Silveira (2009):

A pesquisa qualitativa preocupa-se, portanto, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais. Trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

Segundo Gil (2007), são características da pesquisa qualitativa: objetivação dos fatos, ações hierarquizadas, compreensão, explicação e precisão do global e local, respeito à interação dos objetivos propostos, orientação de fundo teórico, coleta de dados empíricos, busca por informações fidedignas.

Por sua vez, Minayo (2001) acredita que a pesquisa qualitativa utiliza um universo de valores e atitudes embasado nas relações dos processos e fenômenos do campo da pesquisa.

#### **3.2 Campo de Estudo**

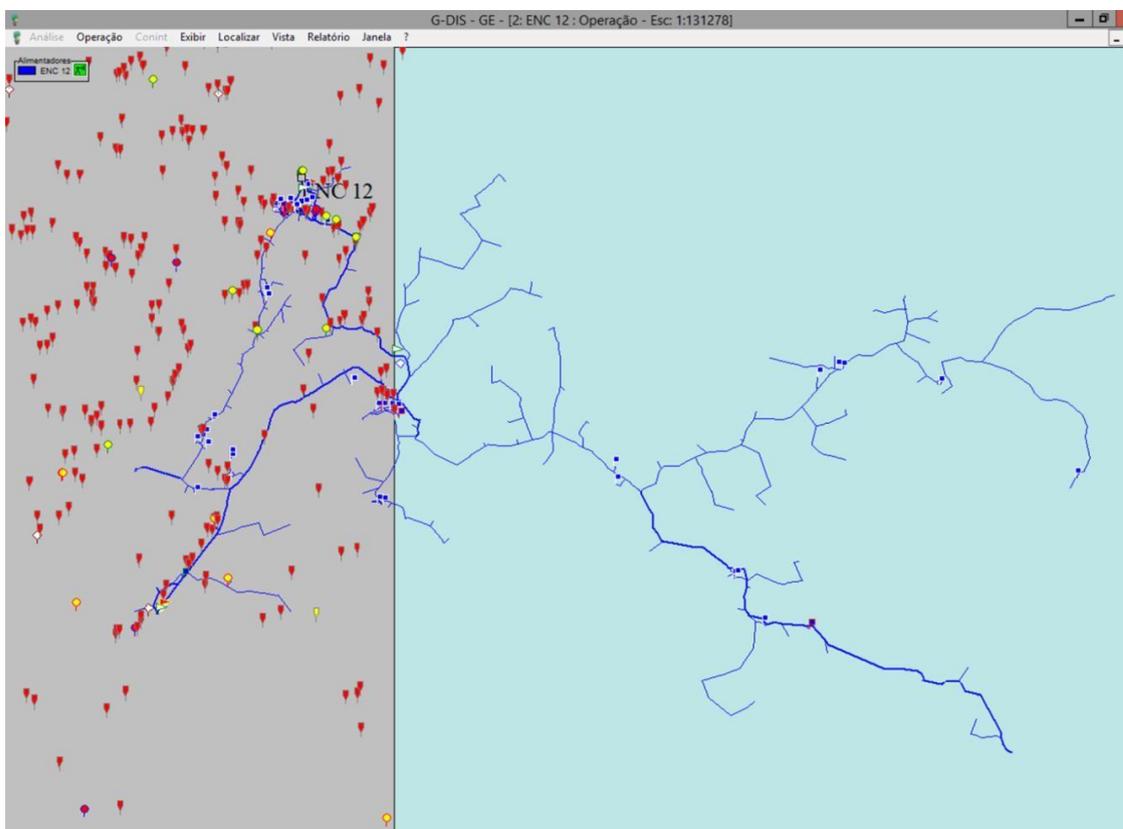
No presente trabalho a etapa principal é o estudo de caso, pois será confirmado através dele a viabilidade da correção da queda de tensão na rede de distribuição rural monofásica em estudo.

O presente trabalho é um estudo de caso de correção do nível de tensão em uma rede rural monofásica na zona rural São Vicente do Rio Doce com foco em regularizar a tensão no distrito de Santa Rita, da cidade de Tarumirim-MG.

Constatado que lá existe a necessidade de correção no nível de tensão para poder fornecer a eletricidade com qualidade exigida pela ANEEL, a concessionária CEMIG realizou o empreendimento na data de 3 de agosto de 2018 e apresentaremos aqui a maior gama de dados possíveis relativos ao regularizador e suas extensões.

A realização do estudo se deu na análise da derivação do alimentador da Subestação sediada no município de Engenheiro Caldas, da CEMIG. O alimentador em análise foi o ENC 012. A figura 7 mostra seu diagrama:

Figura 7 – Alimentador ENC 012.



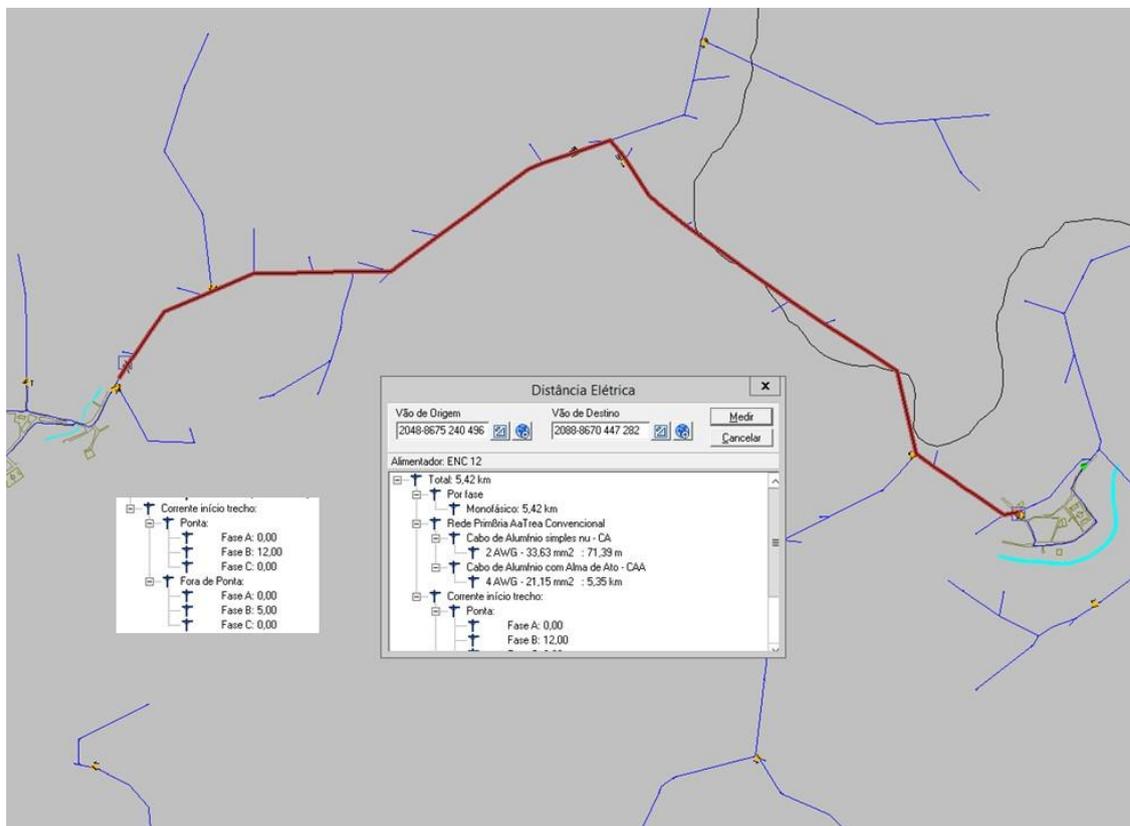
Fonte: Gemini (2018)

- Comprimento total da rede: 780,66 quilômetros.
- Extensão de rede urbana: Convencional 34,42 Km, protegida: 9,35 Km.
- Extensão de rede rural: Convencional: 734,64 Km, protegida 2,24 Km.
- Tensão nominal: 13,8 kV
- Demanda total: 4884 kVA
- Carga instalada total: 27822 kVA
- Número de transformadores: 1843 unidades.
- Numero de consumidores totais: 10133 clientes.

Foi realizada uma análise dos dados apresentados pelo regulador de tensão em uma rede em que foi constatada a qualidade da energia fora dos padrões exigidos pela ANEEL, principalmente por queda de tensão. Foram utilizados softwares computacionais para confirmação dos resultados.

Pelos constantes interrupmentos no religador 30235 e 30215, foi definido o local de instalação para que pudesse melhor possível atender os clientes com níveis ideais de qualidade de energia. A figura 8 mostra a distância da derivação monofásica principal a ser beneficiada e os tipos de cabos condutores que conduz a eletricidade até o local proposto a ser beneficiada com a implantação do equipamento.

Figura 08: Derivação monofásica que leva ate o distrito de Santa Rita.



Fonte: Gemini (2018)

### 3.4.1 Derivação Monofásica

A realização do estudo se deu em derivação monofásica a partir do equipamento 31180 que trata-se do fornecimento de energia para a zona rural do São Vicente do Rio Doce e do distrito a ser beneficiado que é o de Santa Rita, no município de Tarumirim/MG. A figura 9 mostra a localização da rede em estudo por meio do software utilizado pela concessionária CEMIG:

Figura 9 - Localização



Fonte: Gemini

### 3.4.2 Problema de Estudo

Esta pesquisa objetivou analisar a correção do nível de tensão, mas durante o desenvolvimento do estudo, foram identificados problemas adjacentes. Foi preciso, portanto, descrever o diagnóstico completo da rede, haja vista que tais fatores podem realizar influência na atuação do regulador de maneira direta.

Em um primeiro momento foi identificado um baixo nível de tensão. O valor foi de 92,5% no ponto primário a ser corrigido e em percurso esse mesmo numero caía para 88% no distrito a ser beneficiado, que é considerado como abaixo dos limites estabelecidos pela ANEEL.

Foi observado também um desequilíbrio de cargas, já que o alimentador em questão é extenso e possui derivações monofásicas em excesso. A concessionária busca realizar constantemente um trabalho a fim de deixar as cargas equilibradas, contudo, uma derivação do porte que foi analisada que está conectada apenas na fase B do alimentador gera dificuldades na obtenção de um circuito equilibrado, pois uma variedade de cargas e regimes não será facilmente identificada em outra derivação. Devem ser realizadas alternâncias nas fases em que as derivações são alimentadas, com medições seguidas, e mesmo assim nem sempre é alcançado um equilíbrio.

### 3.4.3 Procedimento a ser realizado

A área de estudo é referente à zona rural do município de Tarumirim/MG, no Córrego São Vicente do Rio Doce, sendo o principal foco de a manutenção melhorar o nível de tensão na área urbana do distrito de Santa Rita. Diante dos problemas encontrados foi encontrado um déficit na distribuição de energia devido ao excesso de cargas e a elevada distância da subestação. Por se tratar de uma área em que a densidade demográfica é pequena e economicamente falando, não traz muito retorno financeiro a concessionária energética, devido a esses aspectos não seria vantajoso um investimento de custo muito alto e muito demorado.

Para que os consumidores ficassem satisfeitos e melhorasse a distribuição de energia conforme normas da ANEEL, foi adotada a seguinte proposta:

- Realizar a instalação de um equipamento que melhore os níveis de tensão da rede, sendo este equipamento o regulador de tensão, utilizado neste estudo de caso. Esse equipamento realiza a regulação de tensão para o padrão adequado e melhora a qualidade do fornecimento de energia.

A qualidade do serviço prestado deve seguir a regulamentação da ANEEL PRODIST módulo 8.

A variação da tensão de energia se dá devido a vários fatores como: eventos transitórios, como descargas atmosféricas, contatos de outros equipamentos com a rede elétrica, sobrecarga de demanda na rede, entre outros.

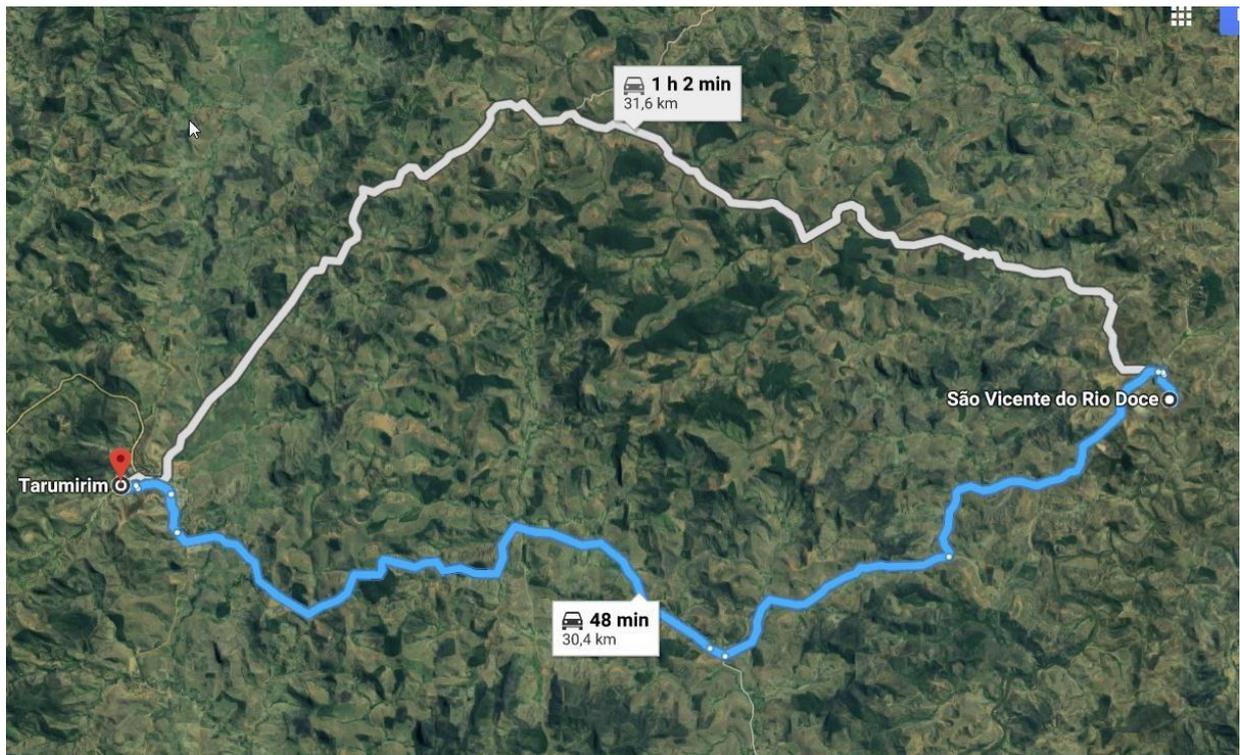
O procedimento de instalação seguiu os seguintes passos:

- Instalação do poste com MT;
- Aterramento (haste adicional) – malha com sete hastes;
- Instalação do regulador de tensão;
- Aterramento (uma haste).

A realização do procedimento se deu no dia 03/08/2018, com a instalação do regulador em frente à Fazenda da Sra. Inês do Carmo, a figura 10 mostra o local e rotas para as coordenadas:

- Latitude: -19,26020
- Longitude: -41,80582

Figura 10 – Localização do Campo de Estudo



Fonte: Google Earth (2018)

### 3.5 Proteção do sistema

A proteção do equipamento a ser instalado será realizada pela chave faca unipolar 31180 que se encontra na retaguarda, no ponto de instalação do RT também existem outras chaves como essa na entrada e saída de carga do equipamento. A figura 11 mostra a chave e abaixo podemos ver suas características:

- Classe de tensão: 15 kV;
- Corrente nominal: 400 A;
- Clientes atendidos: 370;

Figura 11 - Chave 31180



Fonte: Acervo do autor (2018)

### 3.6 Instalação do Regulador

A instalação do regulador de tensão foi feita na derivação 31180 com intuito de dimensionar a tensão em níveis padronizados pela ANEEL no modulo 8 da PRODIST, o equipamento foi definido pelos padrões da concessionária CEMIG, os dados e a imagem do regulador de tensão estão descritos na figura 12:

Figura 12 – Aparelho Monofásico



Fonte: Acervo do autor (2018)

São dados do equipamento:

- Fabricante: TOSHIBA;
- Regulador de tensão monofásico do tipo B com detector de fluxo inverso.

- Potência nominal: 76,2 kVA.
- Tensão nominal: 7,62 kV.
- Corrente nominal: 100 A.
- Fabricação: julho de 2003.
- Regulação com  $\pm 10\%$ , dividido em 32 degraus de 0,625 %.
- Frequência: 60 Hz .
- Tipo de óleo: Naftênico.
- Volume do óleo isolante : 295 Litros.
- Massa do óleo isolante: 266 Kg.
- Massa total: 770 Kg.
- Tipo de instalação: Poste ou Plataforma.

### 3.6.1 Materiais Utilizados

Para a instalação do equipamento a fim de melhorar a qualidade de tensão, foi necessária a utilização dos materiais, descritos na tabela 1:

Tabela 1 – Materiais Utilizados (continua na página a seguir)

<b>Total de materiais da NSPR (Nota de Serviço Programada)</b>	
<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>
02	alças de estribo fechada 1/0 AWG;
02	alças preformada CA/CAA 21mm <sup>2</sup> (4AWG);
02	alças preformada olhal CA/CAA 21mm <sup>2</sup> (4 AWG);
20	cabos AL 1x 50mm <sup>2</sup> 15kV protegido;
08	Cabos de aço MR 1/4P (6,4mm) 7 fios;
03	chaves faca unipolar 15kV 630 A;
04	cintas de aço 190mm;
04	cintas de aço 200mm;
04	cintas de aço 220mm;
02	cintas de aço 250mm;
19	conectores formato H item 1 CAA 13-34mm <sup>2</sup> 13-34 mm <sup>2</sup>
04	conectores para aterramento de ferragens de IP;
08	conectores terminal comp CA/CAA 34mm <sup>2</sup> /50 mm <sup>2</sup>
02	conectores terminal compressão 1F 50mm <sup>2</sup>
11	conectores terminal compressão 1F aço 6,4mm/21mm <sup>2</sup>
01	conector terminal cabo CA 50mm <sup>2</sup> , DN 8,2mm reto comp.;

02	grampos linha viva;
07	hastes aterramento 2,4m;
02	isoladores de ancoragem polimérico 15kV;
03	olhal para parafuso 50kn;
02	para-raios 12kV 10ka ZNO;
15	parafusos cabeça abaulada M16x45mm;
24	parafusos cabeça abaulada M16x70mm;
04	parafusos cabeça abaulada M16x150mm;
01	poste de concreto circular 12m 600DAN;
01	sapatilha;
02	suporte 285mm transformador poste CC;
02	suporte L topo poste;
03	suporte TL para chave topo poste.

Fonte: Próprio autor (2018)

Com a utilização desse material foi realizada a instalação do regulador de tensão na região analisada, com as medições antes e depois da instalação para comprovação do resultado do equipamento instalado.

### 3.6.2 Procedimento Realizado

A área de estudo é referente à zona rural do município de Tarumirim/MG, no Córrego São Vicente do Rio Doce, sendo o principal foco de a manutenção melhorar o nível de tensão na área urbana do distrito de Santa Rita. Diante dos problemas encontrados foi encontrado um déficit na distribuição de energia devido ao excesso de cargas e a demasiada distância da subestação. Economicamente falando, isso é desvantajoso para a concessionária energética, ocorrendo pouco investimentos nessas áreas.

Para que os consumidores ficassem satisfeitos e melhorasse a distribuição de energia conforme normas da ANEEL, é necessário que alguns pontos sejam considerados:

- Realizar a instalação de um equipamento que melhore os níveis de tensão da rede, sendo este equipamento o regulador de tensão, utilizado neste estudo de caso. Esse equipamento realiza a regulação de tensão para o padrão adequado e melhora a qualidade do fornecimento de energia.

A figura 13 mostra o RT Instalado numa rede de média tensão, a ligação foi feita em série e foi colocado 3 chaves facas unipolares sendo uma ligada na parte superior do poste ficando normalmente aberta deixando o equipamento em operação, esse chave fica responsável por fazer o fechamento do circuito para que não haja interrupção de energia aos clientes caso haja necessidade de fazer alguma manutenção no local. As outras chaves ficam localizadas na entrada e saída de carga do equipamento, no qual vai entrar a energia que não esta nos parâmetros adequados de qualidade, os resultados alcançados com a implementação no circuito vão ser comparados em sequência.

Figura 13 – Regulador de Tensão Instalado



Fonte: Acervo do autor

### 3.7 Resultado

Antes da instalação do equipamento, foram realizadas medições da tensão. Posteriormente ao funcionamento do equipamento também foram realizadas medições para saber se havia mudanças na tensão e adequação aos valores exigidos pela ANEEL. No modulo 8 da PRODIST relata que a transgressão em linhas de distribuição pode ser de até 5%. Na rede em questão o valor ideal da tensão seria de 7967 Volts, foram demonstrados os valores reais e a porcentagem em que se encontram, as medições foram realizado pelo software Gemini nos horários de ponta e fora de ponta, as 18:00 e 07:00 horas, respectivamente. A tabela 2 apresenta os dados relativos à medição:

Tabela 2 – Medições feitas antes da instalação do equipamento

Local de	Horário	Tensão(% e V)	Dem (kVA)	Corr (A)
instalação do RT	18	91 ou 7249,97 V	103	12
	7	97 ou 7727,99 V	45	5
Religador 30235	18	92,5 ou 7369,47 V	100	11,3
	7	97,9 ou 7769,69 V	43,6	6,1
Religador 30215	18	90,4 ou 7202,16 V	94	13,6
	7	96,5 ou 7688,15 V	42,5	7,2

Fonte: Gemini 30/07/2018

Na tabela 3 podemos ver os resultados do nível de tensão após a instalação do regulador de tensão, como se pode observar houve uma melhoria significativa no nível de tensão, alcançando o objetivo do atual estudo, houve também uma melhoria no nível de corrente por esta grandeza ser diretamente proporcional a tensão.

Tabela 3: Medições feitas depois da instalação do equipamento

Local de instalação do RT	Horário	Tensão(% e V)	Dem (kVA)	Corr (A)
instalação do RT	18	101 ou 8046,7 V	99	12
	7	103 ou 8206,01 V	43	5
Religador 30235	18	100 ou 7967 V	97	12
	7	102 ou 8126,34 V	42	5
Religador 30215	18	100 ou 7967 V	69	8
	7	102 ou 8126,34 V	30	3

Fonte: Gemini 30/07/2018

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio das informações expostas, conclui-se que a possibilidade de correção do nível de tensão em uma rede rural monofásica, por meio da instalação de um Regulador de Tensão é verdadeira. Isso porque, os resultados obtidos mostraram que além de corrigir a variação de tensão na rede, o equipamento trouxe outros benefícios para a linha de distribuição analisada.

Tendo em vista que a manutenção realizada não era atribuída, aplicada e reconhecida em redes monofásicas, não existiam conhecimentos quanto ao seu desempenho e quanto a sua eficiência. Portanto foi demonstrado que o resultado foi além do esperado, pois houve a correção do nível de tensão e o consumo de cargas foi melhorado, beneficiando assim o fornecimento de energia e tendo uma melhoria no equipamento de proteção diminuindo as interrupções por sobre corrente.

Dado o propósito do trabalho, foi comprovado que o nível de tensão da rede que estava fora dos padrões de qualidade exigidos, atingiram valores bem satisfatórios chegando a aos adequados pela ANEEL.

Além do problema específico, outra dificuldade encontrada foi a do deslocamento até o local, por se tratar de uma área rural bem afastada e pela rede estar localizada no meio de terreno pecuarista. Sendo assim, foi necessário fazer a remoção de uma cerca e a limpeza do lugar onde seria o caminho percorrido pelo caminhão, fazendo com que gerasse certo atraso na execução do projeto de implantação do equipamento.

Portanto, foi possível comprovar o êxito do estudo em questão. É plausível compreender que as condições de Qualidade de Energia Elétrica foram atingidos. Sendo necessariamente citar que essas condições são essenciais aos contratos das concessionárias, mais acima disso é que eles asseguram o fornecimento de energia elétrica aos clientes. É importante destacar que o presente trabalho, poderá ser utilizado como base para novas instalações desse tipo de equipamento assim como o próprio manual de reguladores de tensão visando a melhoria de uma possível rede monofásica.

Fica uma base de futuros possíveis trabalhos a implantação de um banco de capacitores, onde poderia ser corrigido também o fator de potência da rede em questão.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015. **Quinto Termo Aditivo aos Contratos de Concessão de Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica N°002/1997.**

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica.** Brasília, 2013, 12 p. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)> Acesso em: 27 Junho 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Módulo 8-Qualidade da Energia Elétrica- PRODIST Brasília, 2016.76 p. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 28 Julho 2018

APPEL, James Dessuy. **Construção, manutenção e ampliação de instalações elétrica: Riscos existentes e medidas de proteção,** Ijuí: UNIJUÍ, 2012. 71 p. Trabalho de conclusão de pós graduação.

BURATTI, Rafael Pereira. **Reguladores de tensão em rede elétrica com alta penetração de cargas não lineares,** Ilha solteira: UNESP, 2016. 139 p. Dissertação de mestrado.

CEMIG, C. E. **Compensação Reativa na Média Tensão-Configuração do Banco de Capacitores e Instalação Básica do Banco Fixo.** Belo Horizonte: Editora CEMIG, 2012.

CEMIG, C. E. **Compensação Reativa na Média Tensão - Configuração do Banco de Capacitores e Instalação Básica do Banco Automático.** Belo Horizonte: Editora CEMIG, 2015.

CEMIG, C. E. **Instalações Básicas de Redes de Distribuição Aéreas Rurais**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <[https://www.cemig.com.br/atendimento/Documents/ND\\_2.2\\_setembro\\_2012.pdf](https://www.cemig.com.br/atendimento/Documents/ND_2.2_setembro_2012.pdf)>. Acesso em: 26 Junho de 2018.

CONDIS; GEMINI. **Sistema de controle de distribuição**. Disponível em : <[www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br)> Acesso em: 25/11/2018.

DE LIMA, D. de O. **Modelação de redes de distribuição de energia elétrica com carregamento não linear, incluindo elementos de regulação e compensação**. 2014. 187 f. Tese (Doutorado)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2014

GERHADT; SILVEIRA. **Métodos de pesquisa**, Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120p.

EARTH, Google. **Tarumirim**. Disponível em:< <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>> Acesso em: 25/11/2018.

LIRA, Guilherme Nascimento de. **Algoritmo de reconfiguração ótima de sistemas de distribuição de energia elétrica visando a minimização de perdas**, Curitiba: UFP, 2011. 48 p. Monografia.

KAGAN, N.; OLIVEIRA C.; ROBBA, E. J..; **Introdução aos sistemas de distribuição elétrica**. 1º Ed. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2015

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE. **Proteção do sistema elétrico de potência**, Rio de Janeiro: LTC, 2014

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8ªed. Rio de Janeiro: LTC,2012. 666 p.

PAULILO, Gilson. **Conceitos gerais sobre qualidade de energia**, São Paulo: Revista o Setor Elétrico, 2013. 84p.

PROCOBRE - INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE. **Harmônicas nas instalações elétricas: causas, efeitos e soluções**. São Paulo: [s.n], 2001. 66 f. Disponível em <[http://www3.fsa.br/energia/QEE%20E%20TECNOLOGIAS%20DE%20USO%20FINAL/ARQ\\_34.pdf](http://www3.fsa.br/energia/QEE%20E%20TECNOLOGIAS%20DE%20USO%20FINAL/ARQ_34.pdf)>. Acessado em: 26 Julho 2018.

REIS, Simone. **Passos para projeto de pesquisa**. Londrina: Revista X, Volume 1, 2013. p. 81 - 95, Manual de projeto de pesquisa.

RESENER, M. **Alocação e ajuste ótimo de reguladores de tensão em sistemas de distribuição**. 2008. 83 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)– Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2008.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade da energia elétrica**, Curitiba: UFPR, 2016. 37p. Apostila.

TOSHIBA – LEADINH INNOVATION. **Controle para regulador de tensão monofásico TB-R1000**. Contagem: Toshiba do Brasil, 2011. 69 p. Disponível em:<<http://www.toshiba-bhz.com.br/ticbhz/downloads/EP55166%20rev%201%20TB-R1000.pdf>>. Acessado em: 26 julho 2018.

TOSHIBA – LEADINH INNOVATION, **Manual de instruções para reguladores de tensão**. Contagem: Toshiba do Brasil, 2012. 57 p.

TOSHIBA – LEADINH INNOVATION, **Manual de instruções para reguladores de tensão**. Contagem: Toshiba do Brasil, 2015. 72 p.

