

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**THIAGO COELLI IVANOV**

**CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO  
SETOR RURAL DO ESTADO DO PARANÁ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2017**

THIAGO COELLI IVANOV

**CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO  
SETOR RURAL DO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. José Paulo de Barros Neto

PATO BRANCO

2017

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RURAL DO ESTADO DO PARANÁ**”, do(s) aluno(s) “**Thiago Coelli Ivanov**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **132** de 2017.

Fizeram parte da banca os professores:

**José Paulo de Barros Neto**

**César Augusto Portolann**

**Alexandre Batista de Jesus Soares.**

**A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha Avó Angelina, pessoa mais pura, alegre, gentil que iluminou todos que tiveram o prazer de conhece-la durante sua missão aqui na Terra, com toda certeza ela está no Céu iluminando todos aqui em baixo e cuidando das suas plantas agora em seu novo Jardim.

.

## **AGRADECIMENTOS**

Uma longa caminhada foi realizada até eu chegar neste momento e durante todo o trajeto fui abençoado com a presença de algumas pessoas especiais que me auxiliaram, me seguraram quando caí e me reergueram para seguir firme e forte na luta, e aqui vai minha tentativa de agradecer a todos.

Em primeiro lugar meu muito obrigado vai aos meus pais: Valmir e Maria que me incentivaram e se esforçaram para me dar a melhor educação e estiveram sempre presentes em minhas decisões mesmo eu morando em outra cidade para estudar, muito obrigado Pai e Mãe pelo amor e esforço dedicado a mim.

Ao meu irmão que me serviu de exemplo durante todo o trajeto acadêmico, que me mostrou que sem dedicação não conseguimos chegar a lugar algum e que me auxiliou quando cheguei em Pato Branco, muito obrigado.

A toda minha família que me apoiou e sempre esteve de braços abertos para toda e qualquer necessidade, especialmente minha Dinda que sempre se preocupou comigo, muito obrigado.

A minha namorada Josmary que além de me servir como exemplo de garra, me ensinou que a resiliência é uma qualidade de poucos, que embora uma prova seja difícil, com dedicação tudo dá certo e aquele emprego sonhado, não é apenas um sonho ele realmente pode ser alcançado.

Aos meus amigos de Cascavel: Tainá, Ana, Yasmin, Gabe, Bruna, Wilson, Fellipe, Gustavo e Luna, todos tiveram extrema importância nos momentos o qual eu precisava dar uma descontraída ou ter uma conversa séria, muito obrigado.

Aos amigos de Toledo da famosa Turma da Bergamota, muito obrigado por todas risadas e por me abraçarem na turma de vocês, preciso destacar desta turma meus maiores parceiros: Éric, Teixeira, Milani e Tiagueira, os senhores estavam sempre presentes e merecem todo o sucesso do mundo, muito obrigado.

Aos amigos de Pato Branco, Bruno, Chan, Cassiano, Coltri, Lin, João, Caique, Gabriel, Dioto e Edeval, muito obrigado por me receberem tão bem na turma de vocês.

E por fim, aos professores que auxiliaram em toda a minha caminhada durante a graduação, muito obrigado..

## EPÍGRAFE

*Have a big dream, because having big dreams demand the same effort of small dreams (LEMANN, Jorge Paulo).*

Sonhe grande, pois ter sonhos grandes dão o mesmo trabalho dos sonhos pequenos. (LEMANN, Jorge Paulo).

## RESUMO

IVANOV, Thiago C. Análise da qualidade de energia elétrica de oito consumidores residentes no setor rural do estado do paraná. 2017. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso– Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Esta pesquisa apresenta uma abordagem teórico-conceitual a respeito da qualidade de energia elétrica de oito consumidores residentes no setor rural do estado do Paraná bem como estratégias para solucionar os problemas oriundos de surtos de tensão. Para isso, faz-se necessário utilização de métodos estatísticos e simulações comparativas de queda de tensão para cada tipo de cabo. Além de informar ao leitor quanto aos impactos das partidas de motores na rede elétrica e formas de suavizar estes impactos.

**Palavras-chave:** Qualidade de energia elétrica. Setor rural. Surtos de tensão. Métodos estatísticos. Motores.

## **ABSTRACT**

IVANOV, Thiago C. Analysis of energy quality of eight consumers residents in rural sector of Parana State. 2017. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

This research explores a theoretical-conceptual approach about energy quality of eight consumers in rural sector of Paraná State, as well as presents strategies to solve the problems arising from voltage surges. Therefore, we used statistical methods and comparative simulations of voltage drop for each type of cable. In addition, we inform the reader about the impacts of motor starters on the power grid and ways to smooth these impacts.

Keywords: Electric power quality. Rural sector. Voltage surges. Statistical methods. Motors starting.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemático da rede de distribuição radial simples.....	14
Figura 2 – Esquemático da rede radial com recurso. ....	15
Figura 3 – Esquemático da rede de distribuição secundária radial .....	16
Figura 4 – Composição cabos CA.....	17
Figura 5 - Composição cabo CAA.....	18
Figura 6 - Tarifas médias por tensão de fornecimento (R\$/MWh).....	19
Figura 7 - Desequilíbrio de tensão de curta duração do tipo sub-tensão .....	27
Figura 8 - Desequilíbrio de tensão de longa duração do tipo sub-tensão .....	28
Figura 9 - Efeito de sobretensão de curta duração. ....	29
Figura 10 - Efeito de sobretensão de longa duração.....	29
Figura 11 - Histograma de tensão referente ao consumidor 1. ....	36
Figura 12 - Histograma de tensão referente ao consumidor 2. ....	37
Figura 13 - Histograma de tensão referente ao consumidor 3. ....	38
Figura 14 - Histograma de tensão referente ao consumidor 4. ....	39
Figura 15 - Histograma de tensão referente ao consumidor 5. ....	40
Figura 16 – Histograma de tensão referente ao consumidor 6.....	41
Figura 17 - Histograma de tensão referente ao consumidor 7. ....	42
Figura 18 - Histograma de tensão referente ao consumidor 8. ....	43
Figura 19 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase A.....	46
Figura 20 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase B.....	47
Figura 21 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase C. ....	47
Figura 22 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase A. ....	48
Figura 23 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase B. ....	49
Figura 24 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase C.....	50
Figura 25 - Circuito para simulação de queda de tensão em rede de baixa tensão rural.....	55
Figura 26 - Circuito novo com locação de transformador no trecho E-F. ....	57
Figura 27 - Comportamento da partida de motor monofásico. ....	58
Figura 28 - Curva de controle de torque com a utilização do inversor de frequência. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações cabos CA comumente utilizados. ....	18
Tabela 2 - Consumo e consumidores da região urbana do Brasil entre 2014 e 2015. .....	20
Tabela 3 - Consumo e consumidores residentes na região rural do Brasil entre 2014 e 2015. ....	20
Tabela 4 - Quantidade reclamações nas Distribuidoras do estado do Paraná.....	32
Tabela 5 - Indicadores e quantidade de respostas da Distribuidora A, quanto a solicitação de consumidores rurais. ....	33
Tabela 6 - Índices de análise referente ao consumidor 1.....	36
Tabela 7 - Índices de análise referente ao consumidor 2.....	37
Tabela 8 - Índices de análise referente ao consumidor 3.....	38
Tabela 9 - Índices de análise referente ao consumidor 4.....	39
Tabela 10 - Índices de análise referente ao consumidor 5.....	40
Tabela 11 - Índices de análise referente ao consumidor 6.....	41
Tabela 12 - Índices de análise referente ao consumidor 7.....	42
Tabela 13 - Índices de análise referente ao consumidor 8.....	43
Tabela 14 - Média e desvio padrão dos números de leituras precárias e críticas dos consumidores avaliados. ....	45
Tabela 15 - Intervalo de confiança e limites para as leituras precárias e críticas.....	45
Tabela 16 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 10 kVA com carregamento máximo. ....	52
Tabela 17 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 15 kVA com carregamento máximo. ....	52
Tabela 18 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 25 kVA com carregamento máximo. ....	53
Tabela 19 - Faixa de demanda para consumidores rurais. ....	54
Tabela 20 - Coeficiente de queda de tensão para redes monofásicas com Deq 200 mm. ....	54
Tabela 21 - Queda de tensão para circuito utilizando cabo 02.....	55
Tabela 22 - Queda de tensão em circuito com a utilização de cabos 4/0. ....	56
Tabela 23 - Queda de tensão em novo circuito E-F com a utilização de cabos 02...57	
Tabela 24 - Demanda por tipo de motor monofásico. ....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Comparação entre consumo e consumidores urbanos X rurais do Brasil.	20
Quadro 2 - Faixas de qualidade conforme tensão de leitura. ....	24
Quadro 3 - Caracterização dos consumidores residentes da região rural por Fase..	50

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Cabo de Alumínio
CAA	Cabo de Alumínio com Alma de Aço
CF	Chave Fusível
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Estação Transformadora
IC	Intervalo de Confiança
SE	Subestação
XLPE	Composto Extrudado de Polietileno

## LISTA DE SIMBOLOS

$nlp$	Número de leituras de tensão precária.
$nlc$	Número de leituras de tensão crítica.
$N_c$	Total de unidades consumidoras com DRC, não nulo.
$N_L$	Quantidade de unidades consumidoras medidas.
$DRP_i$	Duração relativa de transgressão precária individual da unidade consumidora (i)
$DRC_i$	Duração relativa da transgressão crítica individual da unidade consumidora (i)
$DRPe$	Duração relativa de transgressão de tensão precária equivalente
$DRCe$	Duração relativa de transgressão de tensão crítica equivalente
$k_1$	Coefficiente de multiplicação em comparativo de índices DRP e DRC
$k_2$	Coefficiente de multiplicação em comparativo de índices DRP e DRC
$DRP_M$	Duração relativa de transgressão de tensão precária Máxima.
$DRC_M$	Duração relativa de transgressão de tensão crítica Máxima.
$EUSD$	Índice de encargo de uso do sistema de distribuição.
$\bar{x}$	Média da amostra.
$\sigma$	Desvio padrão da amostra.
$n$	Tamanho da amostra.
$coef$	Coefficiente de queda de tensão secundária
$S$	Carga concentrada do ponto da rede de distribuição em análise, também definida como carga a jusante ao ponto de análise.
$l$	Distância entre os pontos de análise em hectômetro (hm)
$\Delta V(\%)$	Queda de tensão percentual

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivo Geral .....	12
1.2	Objetivos Específicos .....	12
2	SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	13
2.1	Introdução .....	13
2.2	Sistema de distribuição primário .....	13
2.3	Rede de distribuição secundária .....	15
2.4	Cabos.....	17
2.5	Consumidores .....	19
2.6	Cargas.....	21
3	NORMATIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
3.1	Introdução .....	23
3.2	Definições e Exigências da ANEEL.....	23
3.3	Sub-tensão em redes de distribuição .....	27
3.4	Sobretensão em redes de distribuição .....	28
4	PROBLEMAS ORIUNDOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA PRECÁRIA.....	31
4.1	Introdução .....	31
4.2	Impacto das variações de tensão .....	31
4.3	Histórico de solução de problemas de qualidade de energia entre consumidor e distribuidora.....	32
5	ANÁLISE DOS NÍVEIS DE TENSÃO DOS CONSUMIDORES RURAIS DO ESTADO DO PARANÁ .....	35
5.1	Introdução .....	35
5.2	Dados de relatórios de qualidade de Energia.....	35
5.3	Caracterização da qualidade de energia elétrica dos consumidores rurais do estado do paraná .....	44

6	ESTRATÉGIAS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE OSCILAÇÃO DE TENSÃO NAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMIDORES RURAIS .....	51
6.1	Introdução .....	51
6.2	Troca de Cabos e verificação de distâncias máximas.....	51
6.2.1	Verificação de distância máxima suportável para cabos da rede Primária.....	52
6.2.2	Comparação de queda de tensão para cabos em uma rede secundária .....	53
6.3	Locação de novo transformador .....	57
6.4	Auxílio de equipamentos para suavizar efeito de partida de motor monofásico..	58
6.5	Readequação de equipamentos de proteção.....	61
7	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64
	ANEXO A – RESULTADO DE PROCESSOS JUDICIAIS ENTRE CONSUMIDOR E DISTRIBUIDORA .....	67

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos de potência foram inicialmente formados por geração e transmissão, porém na última metade do século 20 começou a surgir uma série de dificuldades para planejar e praticar engenharia nesses sistemas devido ao elevado tamanho das plantas. Com isso foi criado o sistema de distribuição para simplificar e planejar a conexão entre as linhas de transmissão e os consumidores (KERSTING, 2002).

Neste trabalho será abordado apenas aspectos relacionados ao sistema de distribuição primário, secundário e os consumidores conectados a estes. O sistema de distribuição primário, ou também definido como média tensão, são as redes interligadas diretamente da subestação de distribuição para os consumidores ou para os centros de cargas, a tensão entregue geralmente é de 13,8 kV. O secundário surge da derivação da rede primária e a tensão pode ser 220/127 V, 380/220V, entre outras faixas de tensão, a rede de distribuição atende os consumidores dos centros urbanos, rurais e as cargas destes, sejam estas cargas, motores ou equipamentos elétricos (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

Os consumidores e o consumo de energia elétrica não são iguais para todas as regiões do Brasil e cada tipo de consumidor é distinto do outro, seja consumidor residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviços públicos ou consumidor próprio. O foco deste trabalho será nos consumidores do setor rural, para isto deve-se analisar o quanto cada tipo de consumidor representa no setor elétrico nacional e quanto o consumidor rural de cada região do país representa para a região e para o setor de distribuição nacional.

O Consumo energético nacional vem aumentando a cada ano em todos os setores, principalmente no setor rural, o qual, no ano de 2015 consumiu 25,900 GWh e obteve uma participação de 5,6% no consumo total, ficando atrás apenas dos consumidores residenciais, industriais com respectivamente, 131,295 GWh, 168,95 GWh e 90,89 GWh, portanto nota-se que os consumidores rurais possuem dados expressivos de consumo e necessitam de qualidade energia tão boa quanto qualquer outro grupo de consumidores. (EPE, 2016).

A análise da qualidade de energia elétrica é definida a partir de alguns requisitos de qualidade do produto e um dos requisitos é o atendimento dos



consumidores dentro de faixas de tensão definidos pela ANEEL no PRODIST módulo 8, estas faixas de tensão são definidas como, adequada, precária e crítica para todos os níveis de tensão nominal.

Os outros requisitos de qualidade de energia se referem aos distúrbios ocasionados na rede e conseqüentemente afetando os consumidores, tais problemas são níveis de sobretensão seja devido às descargas atmosféricas ou oriundo de oscilação de tensão na rede e subtensão devido alta queda de tensão na linha de distribuição (THOMAZELLA, *et al.*, 2004). Estes problemas se agravam principalmente aos consumidores rurais, os quais, são atendidos por linhas de distribuição com grande distância, residem em locais de baixa densidade de consumidores por quilômetro e escassez de recursos (SILVA; MUNHOZ; CORREIA, 2002).

As avaliações dos níveis de tensão dos consumidores no setor rural podem ser realizadas perante exigência do consumidor junto a concessionária, por determinação da fiscalização da ANEEL, ou por avaliação amostral que é realizado trimestralmente pela ANEEL, que consta de sorteio dos consumidores que serão avaliados a qualidade de energia (LAMIN, 2015)

Os procedimentos para medição dos níveis de tensão são realizados pela concessionária em um período de 168 horas e utiliza equipamento eletrônico para realizar as medições, os equipamentos devem apurar e apresentar os valores calculados dos indicadores individuais Duração Relativa de Transgressão de Tensão Crítica (DRC) e Duração Relativa de Transgressão de Tensão Precária (DRP), tabela de medição e histograma de tensão (ANEEL, 2016).

As concessionárias de energia são responsáveis pela instalação dos equipamentos de medição, elaboração do relatório de qualidade de energia, envio do relatório para ANEEL e para o consumidor, bem como aplicar algum método de solução caso os níveis de tensão estejam fora dos patamares aceitáveis (ANEEL, 2016).

A relação entre concessionária e consumidor é avaliada perante quantidade de reclamação dos consumidores para as ouvidorias das concessionárias, ou até mesmo ouvidoria da ANEEL, esta relação de insatisfação tem aumentado, com conseqüências em instâncias públicas e provadas da vida nacional (JUCÁ, 2003).

Devido aos problemas ocasionados aos consumidores rurais e objetivando uma melhor relação consumidor e concessionária, este trabalho visa analisar a

qualidade de energia elétrica de oito consumidores do setor rural do estado do Paraná e propor alguns métodos para melhorar a qualidade de energia fornecida aos consumidores residentes da região rural, evitando assim tanto a queima de motores monofásicos oriundos da sobretensão, quanto a impossibilidade de partida dos motores ou equipamentos devido a subtensão.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho visa analisar a qualidade de energia elétrica fornecida pelas concessionárias e entregue aos consumidores residentes da região rural do estado do Paraná, bem como propor algumas possíveis soluções a partir do problema de má qualidade de energia elétrica.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar problemas oriundos da qualidade de energia elétrica entregue aos consumidores residentes da região rural.
- Analisar relatórios de qualidade de energia elétrica fornecidos pela Distribuidora.
- Averiguar conflitos entre consumidor e distribuidora oriundos da má qualidade de energia elétrica.
- Verificar efeitos da partida de motor monofásico na rede elétrica do setor rural.
- Propor soluções de enquadramento de qualidade de energia de acordo com as exigências da ANEEL.

## 2 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão tratados conceitos fundamentais a respeito do sistema de distribuição, como ele é composto, os tipos de consumidores conectados a rede de distribuição e componentes que causam maior impacto sobre a qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor.

As redes de distribuição têm como seu ponto inicial as subestações (SE), até chegar ao consumidor que é o ponto final, neste trajeto são utilizadas redes primárias e secundárias que serão descritas nas sessões abaixo, cada uma possui uma topologia predominante de modo a garantir melhor atendimento as cargas conectadas ao sistema (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

O fornecimento de energia elétrica conduzido pela rede de distribuição deve estar de acordo com as exigências da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de modo a garantir uma boa qualidade de energia elétrica aos consumidores, principalmente aos residentes da região rural, pois são os maiores afetados por oscilações na tensão entregue (ANEEL, 2015).

Devido a alta quantidade de cargas conectadas a rede elétrica rural e a grande distância entre vãos, há uma elevada relação  $R/X$  e como consequências destes fatores são grandes perdas e elevadas quedas de tensão, com isso os consumidores residentes desta região são atendidos na maioria das vezes com uma tensão abaixo da definida pela ANEEL (DA SILVA, 2015).

### 2.2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIO

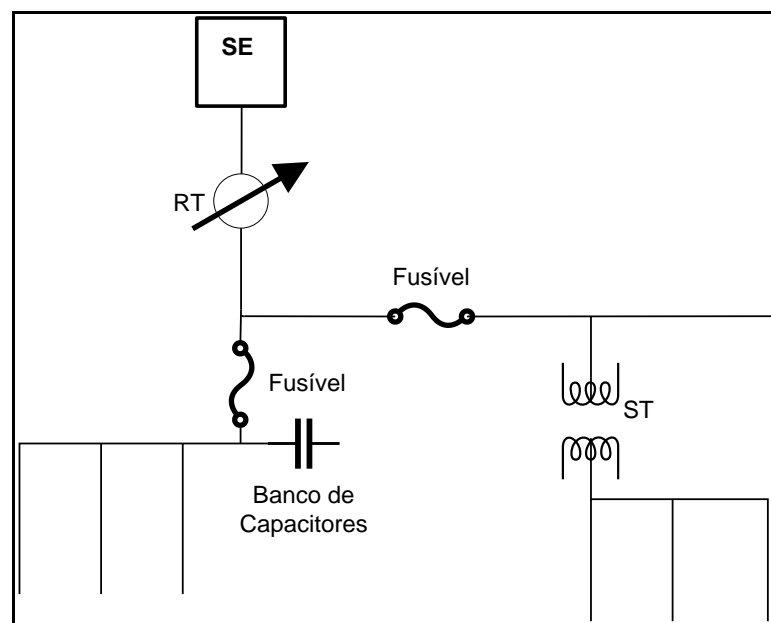
As redes de distribuição primária surgem como o primeiro elemento de conexão entre as subestações e os consumidores ou cargas, para modelagem deste sistema algumas premissas são utilizadas, seja a melhor topologia de rede utilizada, tipo de cabeamento, faixa de tensão, cargas e consumidores a serem atendidos.

As redes de distribuição a serem utilizadas podem ser tanto aéreas quanto subterrâneas, para a segunda destaca-se a utilização em grandes centros urbanos principalmente devido ao grande congestionamento de equipamentos aéreos, também evita o toque das redes com árvores, o que ocasionaria falhas transitórias ou desligamentos acidentais (VELASCO, 2003).

As redes de distribuição primária aérea são mais utilizadas, principalmente pelo custo inferior a rede subterrânea e pela facilidade de manutenção dos equipamentos, pois são basicamente compostas por postes, cruzetas, isoladores, para-raios, braço de iluminação pública, condutores e chaves fusíveis (VELASCO, 2003).

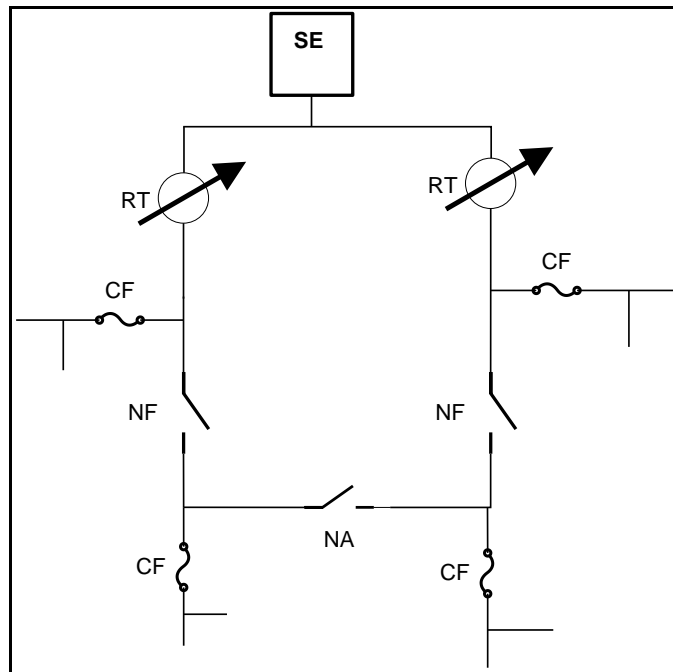
O modelo da rede de distribuição é um ponto de grande importância, pois define o modo que ela será caracterizada, quantidade de fios e caminho do fluxo de potência, o tipo mais utilizado tanto no Brasil, quanto no mundo para as redes primárias de distribuição são as redes radiais, que possuem apenas um caminho de fluxo de potência da fonte ou subestação (SE) até cada consumidor (KERSTING, 2002).

Este sistema radial pode ser simples, onde há uma única linha de rede sendo derivada para os diversos consumidores ou diversas cargas, conforme a Figura 1 , o problema desta rede é quando ocorre contingência em alguma parte do circuito, interrompendo assim a distribuição de energia para todas as cargas a jusante (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).



**Figura 1 – Esquemático da rede de distribuição radial simples.**  
Fonte: Adaptado de (KERSTING, 2002).

Outra opção de rede radial é a com recurso que fornece como diferencial a possibilidade de transferir blocos de cargas entre circuitos para as condições de contingências e em situações de manutenção corretiva ou preventiva da rede apenas fechando a chave normalmente aberta, conforme mostra a Figura 2 .



**Figura 2 – Esquemático da rede radial com recurso.**  
**Fonte: adaptado de (COPEL, 1999) e (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005)**

As tensões fornecidas nos troncos alimentadores da subestação e conduzidos pela rede primária padronizadas pelas ANEEL, são 13,8 kV e 34,5 kV até chegar nas estações transformadoras (ETs) que alimentam a rede secundária, ou essa rede primária pode alimentar consumidores que possuem demanda maior, como exemplo indústrias sem ter a necessidade de rebaixar a tensão (COPEL, 1999).

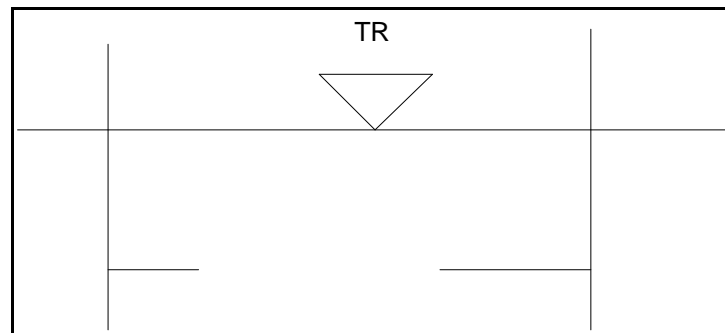
### 2.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA

A rede de distribuição secundária ou rede de baixa tensão tem seu início a partir do transformador abaixador da rede primária e conduz energia até as cargas de baixa demanda, consumidores residenciais, comércios e até pequenas indústrias. De

mesmo modo que a rede primária, esta também possui algumas topologias que podem ser utilizadas.

A ANEEL estabelece faixas de tensão abaixo de 1 kV para atender o sistema secundário, estas faixas são, 220/127 V, 380/220 V, 254/127 V, 440/220 V, 208/120 V, 208/120 V, 230/115 V, 240/120 V e 220/110 V (ANEEL, 2016).

A primeira topologia da rede de distribuição secundária, assim como a da primária, é a radial, para este caso a rede tem seu início no transformador, o qual é localizado no centro das cargas e dele deriva radialmente para os consumidores conforme apresentado na Figura 3 .



**Figura 3 – Esquemático da rede de distribuição secundária radial**  
Fonte: Adaptado de (COPEL, 1999)

A rede radial secundária é utilizada tanto no meio urbano quanto no rural, devido a facilidade de construção e manutenção da rede, como ponto negativo ela não possui opção de transferir bloco de carga, portanto, quando ocorre uma contingência ou manutenção é necessário desligar a energia para todo o circuito a jusante.

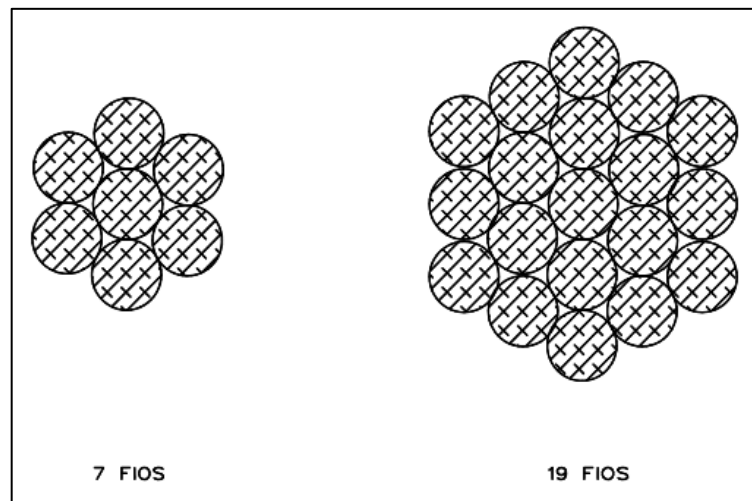
O maior desafio para o sistema de baixa tensão é a localização a ser implantado o transformador, pois todos os postes podem ser candidatos a implantação do transformador, porém deve ser realizada uma análise minuciosa de modo a minimizar os problemas de queda de tensão, confiabilidade, balanço entre cargas de fase e levar em consideração um tempo de 5 anos de crescimento das cargas. (GARCIA, *et al.*, 2003).

## 2.4 CABOS

Este elemento da rede de distribuição pode ser considerado o de maior importância, pois é por ele que toda a energia é conduzida até o consumidor ou carga, por isso deve ser bem projetado qual tipo de cabo utilizar, evitando assim qualquer tipo de problema, seja por perdas, queda de tensão, altas temperaturas e falhas devido ao toque do condutor com outros meios.

Os cabos utilizados no sistema de distribuição podem ser compostos de alumínio ou cobre, cada um possui sua melhor aplicação, aos de alumínio, é recomendado o uso em redes urbanas ou rurais, devido ao baixo custo e a facilidade na instalação. Já para os cabos de cobre sua utilização é mais aplicável para ambientes denominados agressivos, como praias ou ambientes que proporcionem situações de risco ao cabo caso fosse de alumínio, essas áreas agressivas são denominadas assim, principalmente pelo fato de poder corroer, enferrujar ou ocasionar outros danos (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

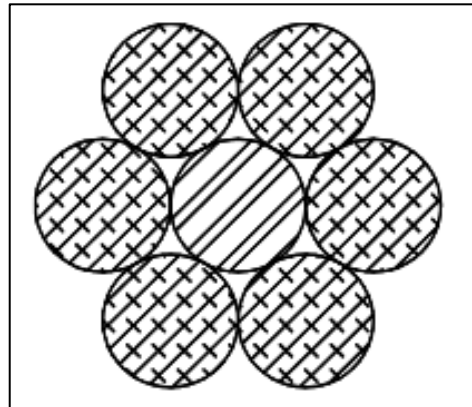
Além dos materiais que compõem os cabos, existem os tipos de cabos, seja ele protegido (cabos nus) ou isolados, aos cabos protegidos dois subgrupos surgem, os cabos de alumínio (CA) que não possuem reforço mecânico nenhum, conforme mostra a Figura 4 (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).



**Figura 4 – Composição cabos CA**  
Fonte: Retirado de (COPEL, 2013).

E os cabos protegidos cabo de alumínio com alma de aço (CAA), os quais possuem uma alma de aço no interior do cabo, fornecendo assim um reforço mecânico

ao cabo conforme apresenta a Figura 5, tornando este mais apropriado para vãos com longa distância (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).



**Figura 5 - Composição cabo CAA**  
 Fonte: Retirado de (COPEL, 2013).

Outro tipo de cabo utilizado, são os cabos isolados que possuem uma camada isolante no exterior do cabo, confinando assim o campo elétrico no dielétrico da isolação, o restante das características deste cabo é igual ao dos protegidos.

Para finalizar os tipos de cabeamento tem-se a rede compacta protegida que é composta por cabos de alumínio coberto com composto extrudado de polietileno termofixo (XLPE), este tipo de cabo não tem as características de cabo isolado, portanto não confina o campo elétrico no dielétrico da isolação, a composição deste cabo é semelhante aos cabos protegidos (COPEL, 2013).

Na Tabela 1 consta as especificações dos cabos CA mais utilizados na elaboração das redes de distribuição.

**Tabela 1 - Especificações cabos CA comumente utilizados.**

Bitola AWG/MCM	Seção Nominal [mm <sup>2</sup> ]	Resistência Elétrica (R) ( $\Omega$ /km) 50°C	Reatância indutiva (X) [ $\Omega$ /km] para Deq=1090	Relação R/X	Capacidade de condução de corrente [A]
04	21,15	1,521	0,470	3,236	114
02	33,54	0,956	0,453	2,110	152
1/0	53,51	0,601	0,453	1,382	203
2/0	67,35	0,486	0,426	1,140	235
4/0	107,41	0,300	0,409	0,733	314
336,4	170,50	0,190	0,380	0,500	419

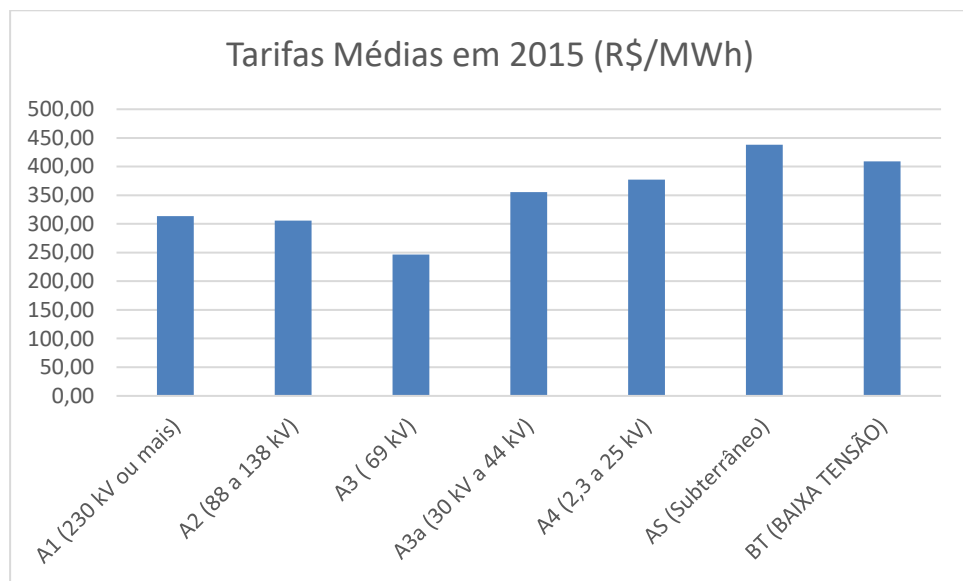
Fonte: Adaptado de (DA SILVA, 2015) e (COPEL, 2013).



## 2.5 CONSUMIDORES

Os tipos de consumidores são definidos a partir da localização geográfica, densidade demográfica, demanda e faixa de tensão, os subgrupos a partir das faixas de tensão são, A1 (230 kV ou mais), A2 (88 a 138 kV), A3 (69 kV), A3a (30 kV a 44 kV), A4 (2,3 a 25 kV), AS (subterrâneo) e BT (Baixa Tensão), estes grupos por faixa de tensão podem ser inseridos aos grupos de localização geográfica, separando assim em consumidores urbanos e rurais (EPE, 2016).

Cada grupo de tensão possui uma tarifa diferenciada e um grau de importância para o sistema nacional de energia elétrica. De modo a evidenciar a diferença entre tarifas médias pagas no ano de 2015 a Figura 6 apresenta a importância de cada grupo no cenário energético e no econômico do país.



**Figura 6 - Tarifas médias por tensão de fornecimento (R\$/MWh)**

Fonte: (EPE, 2016).

A partir da importância dos grupos de tensão, tem-se os mais importantes que são os dois que envolvem tanto por faixas de tensão e por localização geográfica, que são os urbanos e rurais.

Aos consumidores urbanos tem-se os residenciais, industriais, comerciais, poder público e consumo próprio, todos estes representam uma grande parte tanto do consumo nacional quanto dos consumidores e esta participação pode ser verificada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Consumo e consumidores da região urbana do Brasil entre 2014 e 2015.**

	Consumo (GWh)		Consumidores (mil)	
	2014	2015	2014	2015
Residencial	132.302	131.295	66.007	67.746
Industrial	179.106	168.854	574	549
Comercial	89.840	90.893	5.566	5.545
Poder Público	15.354	25.900	4.279	4.303
<b>Total</b>	<b>416.602</b>	<b>406.228</b>	<b>72.707</b>	<b>74.394</b>

Fonte: Adaptado de (EPE, 2016).

Nota-se que apesar do acréscimo de consumidores na região urbana, devido as altas tarifas de energia elétrica os consumidores economizaram sua energia, provocando assim um decréscimo do consumo entre o ano de 2014 e 2015.

Aos consumidores residentes da região rural, os quais estão localizados distante dos centros urbanos e da grande densidade demográfica de cargas, os dados de consumo e consumidores constam na Tabela 3

**Tabela 3 - Consumo e consumidores residentes na região rural do Brasil entre 2014 e 2015.**

	Consumo (GWh)		Consumidores (mil)	
	2014	2015	2014	2015
Rural	25.671	25.900	5.566	5.545
<b>Total</b>	<b>25.671</b>	<b>25.900</b>	<b>5.566</b>	<b>5.545</b>

Fonte: (EPE, 2016).

Nota-se que apesar da redução de consumidores da região rural, devido a mudança dos consumidores rurais para a região urbana, o consumo teve um certo acréscimo, este fato é oriundo da modernização dos equipamentos utilizados aos consumidores desta região, ou seja, estes consumidores estão utilizando mais máquinas para seus trabalhos produtivos e com isso resulta em um acréscimo do consumo.

De modo comparativo o Quadro 1 apresenta os totais tanto dos consumidores urbanos quanto dos rurais, para assim tornar perceptível a relevância destes dois grupos de consumidores e suas atuações.

**Quadro 1-Comparação entre consumo e consumidores urbanos X rurais do Brasil.**

	Consumo (GWh)		Consumidores (mil)	
	2014	2015	2014	2015
Urbano	416.602	406.228	72.707	74.394
Rural	25.671	25.900	5.566	5.545

Fonte: Adaptado de (EPE, 2016).

É notável a inferioridade no quesito numérico tanto do consumo quanto dos consumidores rurais, com respeito ao consumo, nota-se que a região urbana consome cerca de 15 vezes mais que a região rural, e quando se trata de consumidores, há cerca de 13 vezes mais na região urbana do que na rural, tais fatores tornam os urbanos mais rentáveis as concessionárias do que os rurais, porém deve ser tratado com igualdade de qualidade de serviço e de produto os dois grupos.

## 2.6 CARGAS

Os tipos de cargas são classificados a partir do grupo de consumidor que a utiliza, podendo ser carga residencial, comercial, industrial, rural, entre outros. Porém devido a diversidade de cargas encontradas em alguns consumidores, elas podem ser classificadas individualmente por componente ou equipamento (KERSTING, 2002).

Cada carga possui suas peculiaridades inerentes a máquina e devem ser analisadas quando forem instaladas, seja por faixa de tensão de funcionamento, demanda da máquina, fator de potência, entre outros. Para o equacionamento destas é necessário utilizar de estratégias de modelagem, as mais utilizadas são, por modelos estáticos e dinâmico (DA SILVA, 2015) (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

“Aos modelos estáticos as potências ativas e reativas são expressas como funções algébricas da magnitude de tensão e da frequência em qualquer instante de tempo.” (DA SILVA, 2015).

Os três modelos típicos de carga estática utilizadas para modelagem são, potência constante, corrente constante e impedância constante, cada uma parte do princípio que uma característica da carga se manterá constante enquanto as outras sofrerão variação.

A modelagem por carga de potência constante permite que a potência aparente da carga ( $S_c$ ), seja expressa pela soma das potências ativa ( $P_c$ ) e reativa ( $Q_c$ ) conforme apresenta a equação (1), como o próprio nome deste equacionamento apresenta, a potência será constante independentemente do valor da tensão, outro

detalhe é com respeito a corrente de carga ( $I_c$ ), a qual sofrerá alteração conforme a tensão na carga ( $V_c$ ) varie, como mostra a equação (2) (DA SILVA, 2015).

$$S_c = P_c + jQ_c \quad (1)$$

$$I_c = \frac{S_c^*}{V_c} \quad (2)$$

Para a modelagem de corrente constante, a partir das variações de tensão, apenas a potência sofrerá alteração, ou seja, a corrente se manterá sempre constante conforme pode ser verificado na equação (3) e o balanço de variação ocorrerá apenas entre tensão e potência conforme a equação (4).

$$I_c = I_c \angle \theta \quad (3)$$

$$S_c = V_c \cdot I_c^* \quad (4)$$

Por último tem-se pelo modelo de carga de impedância constante, neste modo a carga ( $Z_c$ ) se manterá constante conforme a equação (5), enquanto o balanço será realizado pela tensão e potência como mostra a equação (6).

$$Z_c = R_c + jX_c \quad (5)$$

$$S_c = \frac{V_c^2}{Z_c^*} \quad (6)$$

As principais cargas utilizadas pelos consumidores rurais são, motores monofásicos, eletrodomésticos, bomba de vácuo, *no breaks*, medidores de vazão, pulsadores eletrônicos e painéis eletrônicos de ordenhadeiras.

### **3 NORMATIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Esta sessão é composta pelas exigências da agência regulamentadora a respeito da qualidade do produto entregue aos consumidores atendidos em baixa tensão, além de introduzir os principais distúrbios que ocorrem nas linhas de distribuição dos consumidores rurais.

Toda regulamentação é necessária para garantir que todas as empresas atuantes na área de distribuição de energia elétrica, forneçam um produto de qualidade aos consumidores, tanto aos urbanos quanto os rurais e assim evitar maiores transtornos.

Devido aos grandes vãos de rede de distribuição dos consumidores rurais estes, estão mais sujeitos aos problemas de sobretensão e subtensão que serão tratados a seguir, portanto devem receber uma atenção especial das concessionárias para haver um controle dos níveis de tensão com estratégias adequadas.

#### **3.2 DEFINIÇÕES E EXIGÊNCIAS DA ANEEL**

A agência regulamentadora fornece a toda a comunidade de forma livre suas exigências quanto aos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), este relatório possui dez módulos, sejam estes, Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição, Acesso ao Sistema de Distribuição, Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição, Sistema de Medição, Informações Requeridas e Obrigações, Cálculo de Perdas na Distribuição, Qualidade de Energia Elétrica, Ressarcimento de Danos Elétricos e Sistema de Informação Geográfica Regulatório (ANEEL, 2016).

Para tratar sobre os níveis de tensão aceitáveis e não aceitáveis a serem fornecidos aos consumidores, utiliza-se do PRODIST Módulo 8, que se refere a Qualidade da Energia Elétrica. De modo que anualmente este relatório é revisado e acrescentado maiores informações (ANEEL, 2017).

Para os níveis de tensão da rede de distribuição à uma definição de acordo com o valor destes, podendo ser considerados, adequados, precários ou até crítico, conforme a Quadro 2 , com isso surge o termo “conformidade de tensão elétrica” que é a comparação de valores medidos no ponto de conexão da rede com os valores especificados para cada intervalo da tensão (ANEEL - PRODIST, 2017).

**Quadro 2 - Faixas de qualidade conforme tensão de leitura.**

Faixas de tensão (V)	Tensão de Leitura(TL)				
	Crítica	Precária	Adequada	Precária	Crítica
254 127	TL<221 TL<110	221<TL<234 110<TL<117	234<TL<267 117<TL<133	267<TL<269 133<TL<135	TL>269 TL>135
220 127	TL<191 TL<110	191<TL<202 110<TL<117	202<TL<231 117<TL<133	231<TL<233 133<TL<135	TL>233 TL>135
220 110	TL<191 TL<96	191<TL<202 96<TL<101	202<TL<231 101<TL<116	231<TL<233 116<TL<117	TL>233 TL>117
208 120	TL<181 TL<104	181<TL<191 104<TL<110	191<TL<2018 110<TL<126	218<TL<220 126<TL<127	TL>220 TL>127
230 115	TL<200 TL<100	200<TL<212 100<TL<106	212<TL<242 106<TL<121	242<TL<244 121<TL<122	TL>244 TL>122

Fonte: Retirado de (ANEEL - PRODIST, 2017).

De modo a avaliar a tensão em regime permanente, utiliza-se de medições apropriadas, tanto para avaliações individuais quanto para coletivas, nas seguintes metodologias, eventual, ou seja, quando o consumidor relata a reclamação para a concessionária ou por determinação da ANEEL e amostral, que são medições determinadas pela ANEEL, de acordo com sorteio trimestral (ANEEL - PRODIST, 2017).

Estas leituras devem ser realizadas mediante equipamentos que operem com amostragem digital, atendendo os seguintes requisitos, taxa amostral de 16 amostras por ciclo, conversor analógico/digital (A/D) de sinal de tensão de 12 bits, precisão de até 1% da leitura e este equipamento deve apurar as informações de valores calculados dos indicadores individuais, tabela de medição e histograma de tensão (ANEEL - PRODIST, 2017).

Quanto aos indicadores individuais e coletivos, algumas exigências são solicitadas, para os indicadores individuais, são necessárias 1008 leituras válidas com intervalo de 10 minutos entre as leituras, após a obtenção do conjunto de leituras, utiliza-se as equações (7) e (8) para cálculo dos índices de duração relativa de transgressão para tensão precária (DRP) e o para tensão crítica (DRC) (ANEEL - PRODIST, 2017).

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \cdot 100[\%] \quad (7)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \cdot 100[\%] \quad (8)$$

Onde:

*DRP* - Duração relativa de transgressão precária.

*DRC* - Duração relativa de transgressão crítica.

*nlp* - Número de leituras de tensão precária.

*nlc* - Número de leituras de tensão crítica.

Para os indicadores coletivos, utiliza-se das medições amostrais para calcular o Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica (ICC) a partir da equação (9), este é calculado pela ANEEL a partir do envio dos indicadores individuais pela distribuidora (ANEEL - PRODIST, 2017).

$$ICC = \frac{N_c}{N_L} \cdot 100[\%] \quad (9)$$

Onde:

ICC - Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica

$N_c$  - Total de unidades consumidoras com DRC, não nulo.

$N_L$  - Quantidade de unidades consumidoras medidas.

A partir das medições coletivas, é necessário determinar os Índices Equivalentes por consumidor, ou seja, calcular o índice de duração relativa de transgressão para tensão precária equivalente (DRPe) e o índice de duração relativa de transgressão para tensão crítica equivalente (DRCe), para isto, são utilizadas as equações (10) e (11) (ANEEL - PRODIST, 2017).

$$DRPe = \sum \frac{DRP_i}{N_L} [\%] \quad (10)$$

$$DRCe = \sum \frac{DRC_i}{N_L} [\%] \quad (11)$$

Onde:

$DRP_i$  - Duração relativa de transgressão precária individual da unidade consumidora (i)

$DRC_i$  - Duração relativa da transgressão crítica individual da unidade consumidora (i)

$DRPe$  - Duração relativa de transgressão de tensão precária equivalente

$DRCe$  - Duração relativa de transgressão de tensão crítica equivalente

$N_L$  - Total de unidades consumidoras objeto de medição

Caso o consumidor esteja sendo atendido com níveis de tensão em  $DRP$  ou  $DRC$ , a distribuidora deve compensar os titulares respeitando a equação (12), esta compensação deve ser realizada na próxima fatura do cliente.

$$Valor = \left[ \left( \frac{DRP - DRP_M}{100} \right) \cdot k_1 + \left( \frac{DRC - DRC_M}{100} \right) \cdot k_2 \right] \cdot EUSD \quad (12)$$

Onde:

$k_1 = 0$ , se  $DRP \leq DRP_M$

$k_1 = 3$ , se  $DRP > DRP_M$

$k_2 = 0$ , se  $DRC \leq DRC_M$

$k_2 = 7$ , para unidades consumidoras atendidas em Baixa Tensão,  $DRC > DRC_M$

$k_2 = 5$ , para unidades consumidoras atendidas em Média Tensão,  $DRC > DRC_M$

$k_2 = 3$ , para unidades consumidoras atendidas em Alta Tensão,  $DRC > DRC_M$

$DRP$  = Valor do  $DRP$  expresso em %, apurado na última medição

$DRP_M = 3\%$

$DRC$  = Valor do  $DRC$  expresso em %, apurado na última medição

$DRC_M = 0,5\%$

$EUSD$  = Valor do encargo de uso do sistema de distribuição correspondente ao mês de referência da última medição.



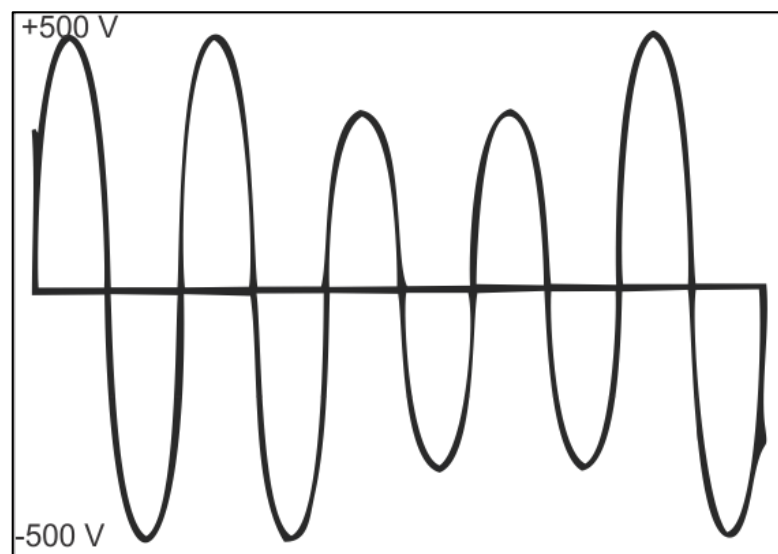
### 3.3 SUB-TENSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Este fenômeno de sub-tensão recebe diferentes nomes conforme as bibliografias utilizadas, como, afundamento de tensão, “*sag*”, “*dip*” e em inglês o termo “*undervoltage*” (sub-tensão), porém a uma diferenciação quanto a utilização de cada termo conforme a duração do evento.

Conforme o próprio nome já apresenta, este fenômeno é caracterizado pelo afundamento de tensão, porém o tempo de atuação do evento ocasiona em uma diferenciação tanto da consequência do efeito, quanto da resposta dos equipamentos conectados na rede (BOLLEN, 2000, p. 18).

As duas características de tempo que separam as denominações deste efeito de afundamento de tensão são definidos como curta duração, ou seja, o efeito dura entre 10 ms e 1 minuto e longa duração, que o efeito dura mais que 1 minuto (MEHL, 2000).

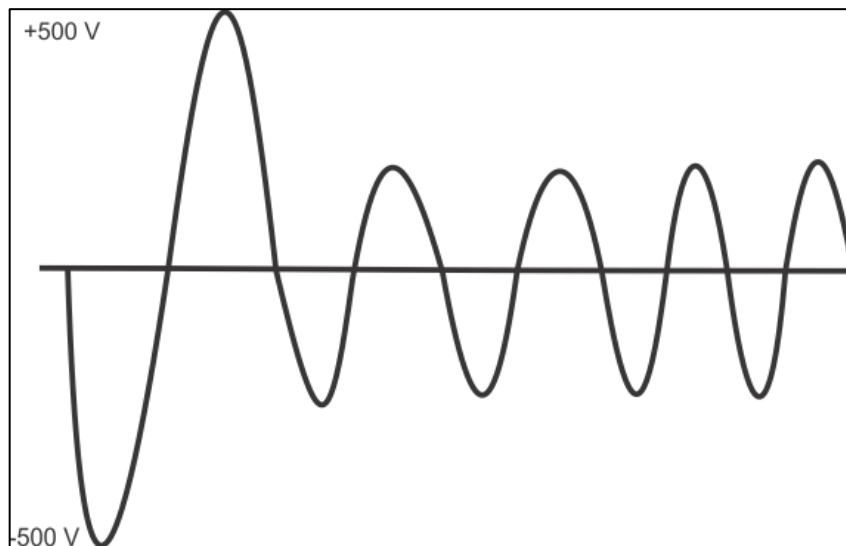
Para os efeitos de curta duração tem-se dois eventos, o primeiro é denominado *dip*, é a redução de tensão entre 90% e 1% da tensão nominal, seguindo de uma recuperação entre 10 ms e 1 minuto depois, o segundo é denominado “*sag*”, é a redução entre 10% e 90% da tensão nominal conforme apresentado na Figura 7 . O segundo costuma ocorrer em faltas curtas no circuito ou devido a partida de motores (BOLLEN, 2000, p. 18).



**Figura 7 - Desequilíbrio de tensão de curta duração do tipo sub-tensão**

Fonte: Adaptado de (MEHL, 2000)

Já para os efeitos de longa duração, tem-se o evento da sub-tensão, que é a redução de tensão entre 10% e 90% da tensão nominal durante intervalo de tempo maior que 1 minuto como apresenta a Figura 8, podendo até a tensão não retornar ao seu nível nominal (MEHL, 2000).



**Figura 8- Desequilíbrio de tensão de longa duração do tipo sub-tensão**

**Fonte: Autorial Própria.**

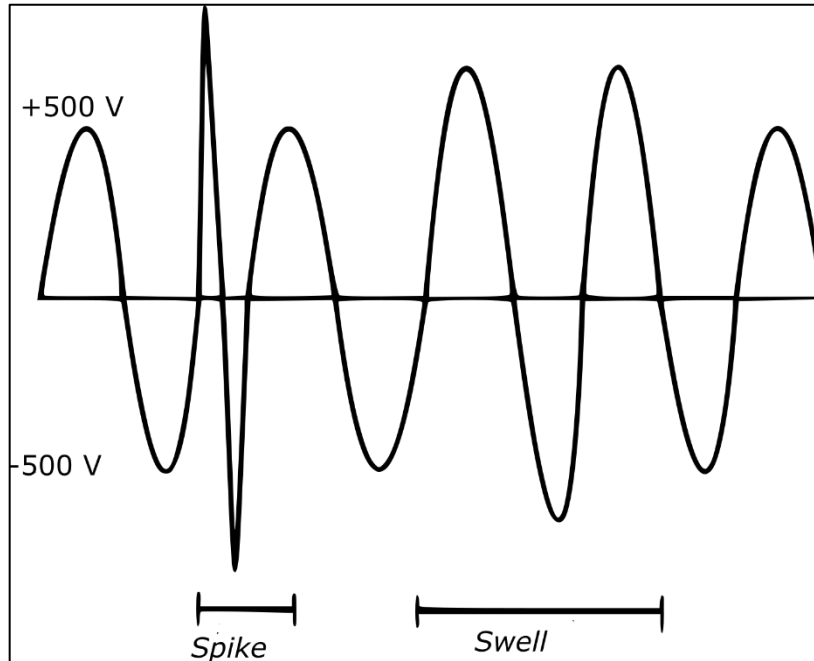
Este efeito pode ocorrer devido a partida de várias cargas em uma mesma linha de distribuição, e assim o consumidor do fim da linha receberá sua tensão em nível insuficiente para partir seus aparelhos e equipamentos.

### 3.4 SOBRETENSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Este efeito é antagônico ao de sub-tensão, enquanto o anterior remetia a redução de tensão, este é decorrente da elevação da tensão acima da nominal, este também recebe diferentes denominações do evento conforme a duração, como, “*spikes*”, “*swell*” e sobretensão (MEHL, 2000).

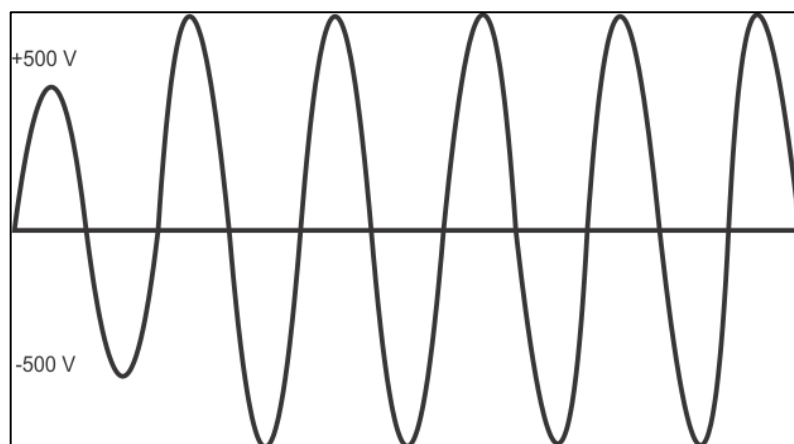
Para os efeitos de curta duração no caso da elevação de tensão tem-se os “*spikes*” e “*swell*”, o primeiro também é conhecido como transiente de sobretensão e ocorre de forma rápida na ordem de milissegundos a segundos, seu efeito é a

elevação da tensão e retorno para seu valor nominal de forma rápida. Já para o segundo ocorre em um tempo um pouco maior, na ordem de 1 ciclo a 1 minuto, também trata da elevação de tensão e retorno para o valor nominal, os eventos de curta duração podem ser verificados na Figura 9 .



**Figura 9 - Efeito de sobretensão de curta duração.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Quando o efeito de sobretensão ocorre em um período superior a 1 minuto, ou seja, incapaz de retornar ao valor nominal, denomina-se esta ocorrência como sobretensão ou “*overvoltage*”, conforme pode ser verificado na Figura 10 , este efeito é o mais grave para o sistema de distribuição, pois todos consumidores e cargas conectadas a esta rede podem ser afetados e ter seus equipamentos danificados.



**Figura 10 -Efeito de sobretensão de longa duração.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Este último evento de sobretensão é o mais grave justamente pelo fato de que os dispositivos de proteção terão que atuar, caso estes dispositivos não sejam suficientes para suprir a elevação de tensão, os equipamentos conectados à rede serão danificados.

Os principais motivos que levam a ocorrência de sobretensão são, ocorrências de descargas atmosféricas na rede ou próxima a ela, ocasionando em uma condução desta descarga pela rede até os consumidores caso o dispositivo de proteção não seja capaz de atuar, desligamento de grandes cargas conectadas a rede ao mesmo tempo e por último a ocorrência de curto-circuito (BOLLEN, 2000).

## **4 PROBLEMAS ORIUNDOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA PRECÁRIA**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

A qualidade de energia elétrica precária é definida como produto entregue nas faixas de tensão crítica ou precária, provocando assim problemas aos equipamentos do consumidor, principalmente aos residentes da região rural, que estão mais susceptíveis a desequilíbrios de tensão na rede.

Esta seção trata a respeito dos problemas mais recorrentes quando ocorre esta variação na tensão e consequências destes problemas tanto para o consumidor rural quanto para a distribuidora, quem deve pagar para solucionar o problema e para quem a justiça costuma dar ganho de causa na decorrência deste tipo de problema.

### **4.2 IMPACTO DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO**

Quando se trata dos impactos consequentes da variação de tensão nas redes de distribuição, compreende-se tanto impacto por sub-tensão, quanto por sobretensão, ocasionando assim diversos problemas aos consumidores, seja por queima de equipamento, até a impossibilidade de o equipamento ligar.

De modo a solucionar os problemas, os consumidores recorrem a ouvidoria tanto das distribuidoras, quanto da ANEEL. A primeira instância de reclamação que os consumidores recorrem é o primeiro nível da distribuidora, caso não seja solucionado este recorre a ouvidoria da mesma, e por último para ouvidoria da ANEEL (ONS, 2016).

A Tabela 4 apresenta a quantidade de reclamações em cada instância por tipo de problema no estado do Paraná.

**Tabela 4 - Quantidade reclamações nas Distribuidoras do estado do Paraná**

	<b>Reclamações</b>	<b>Reclamações 1º nível</b>	<b>Reclamações ouvidoria da Distribuidora</b>
Distribuidora A	Danos Elétricos	24.314	713
	Tensão de Fornecimento	4.253	38
Distribuidora B	Danos Elétricos	0	0
	Tensão de Fornecimento	20	10
Distribuidora C	Danos Elétricos	480	13
	Tensão de Fornecimento	98	2
Distribuidora D	Danos Elétricos	242	40
	Tensão de Fornecimento	109	0
Total		29.516	816

**Fonte: Adaptado de (ONS, 2016, p. 120 - 155)**

Nota-se que a quantidade de consumidores lesados pelo problema de qualidade de energia é uma quantia alta, da ordem de aproximadamente 30 mil consumidores, este tipo de problema possui um grande impacto, principalmente aos consumidores da região rural, devido à falta de equipamento de proteção e outros equipamentos de regulação de tensão.

Dentre os problemas típicos de danos elétricos aos consumidores rurais, tem-se, a queima de equipamentos devido ao superaquecimento oriundo da sobre tensão, os equipamentos comumente danificados são principalmente eletroeletrônicos, motores monofásicos e outros citados ao final da sessão 2.6 (FITZGERALD; JUNIOR; UMANS, 2006).

#### 4.3 HISTÓRICO DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA ENTRE CONSUMIDOR E DISTRIBUIDORA

Conforme apresenta a seção 4.2, há uma quantia expressiva de reclamações devido a qualidade de energia elétrica junto a ouvidoria da distribuidora e da ANEEL, portanto o consumidor sempre deve saber quais são seus direitos quando ocorre este tipo de problema, bem como é necessário avaliar como a justiça responde na ocorrência de processos entre consumidor e distribuidora.

Na ocorrência de danos elétricos oriundos de oscilações de tensão, a ANEEL estabelece as regras para ressarcimento da distribuidora para o consumidor,

de modo a garantir a responsabilidade da qualidade do produto a distribuidora. Para ocorrer o ressarcimento ou análise dele, o consumidor deve realizar a solicitação e após isto será realizada análise do problema, emissão da resposta e por fim o ressarcimento (ANEEL, 2012).

A etapa da análise possui extrema importância para a distribuidora, pois verifica o problema e conclui se ocorrerá o ressarcimento, além de verificar se a solicitação foi realizada dentro do período de 90 dias após o distúrbio. Finalizado o período de análise dentro de um período de 15 dias a distribuidora emite a carta de deferimento ou indeferimento justificada, caso seja deferido a solicitação dentro do prazo de 20 dias deve ser realizado o ressarcimento (ANEEL, 2012).

A Tabela 5 apresenta os dados de quantidade e indicadores de cumprimento de prazos da Distribuidora A, de modo a apresentar um histórico do ano de 2016 entre janeiro e setembro referente a como as distribuidoras cumprem cada etapa e se respeitam os prazos determinados pela ANEEL quando realizada solicitação pelo consumidor rural.

**Tabela 5 - Indicadores e quantidade de respostas da Distribuidora A, quanto a solicitação de consumidores rurais.**

Indicador	Quantidade por mês									Total
	Jan	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	
DRC no prazo	7	8	4	3	8	12	4	8	6	60
DRC fora do prazo	1	1	2	1	3	2	2	5	1	18
DRP no prazo	14	3	6	5	8	3	5	7	4	55
DRP fora do prazo	1	1	6	7	7	3	2	0	2	29
Respostas no prazo	293	334	367	109	130	118	360	257	261	2229
Respostas fora do prazo	1	5	6	1	2	3	2	3	1	24
Comunicação reg. No prazo	24	17	16	14	15	26	17	12	12	153
Comunicação reg. Fora do prazo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Fonte: Dados divulgados pela Distribuidora A.**

Diante dos dados fornecidos pela distribuidora é possível verificar que a maioria das solicitações cumprem com os prazos estipulados pela ANEEL, porém há casos que estes prazos não são respeitados gerando assim multa para a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica, além de gerar motivos para o consumidor mover ação judicial.

Entre 2015 e 2017 o portal jurisprudência divulgou cerca de 12 processos entre consumidor rural e a distribuidora A do estado do Paraná, dentre estes, 8 foram oriundos de sobretensão incluindo consumidor de MT e BT, dentre os motivos dos processos tem-se, danos em equipamentos, danos por descarga atmosférica, danos seguidos de incêndio e até incêndio ocasionado pela falha do equipamento de proteção da rede, destes 8 processos, 6 tiveram como resultado a favor do consumidor ordenando assim a distribuidora pagar os valores devidos e outros 2 foram a favor da distribuidora comprovando a falta de evidência (JUSBRASIL).

Neste mesmo período também ocorreram 3 processos referentes a problemas relacionados a sub-tensão, dentre os motivos estão, danos em equipamentos e não funcionamento de máquinas elétricas. Já para estes 3 processos, 2 foram a favor dos consumidores e 1 a favor da distribuidora (JUSBRASIL).

Por fim o portal divulga um único caso no ano de 2017 referente a um problema de sub-tensão seguido por sobretensão em um consumidor atendido em BT decorrendo em danos em equipamentos, este julgamento foi favorável ao consumidor. A tabela com a quantia de processos por ano e resultados acima citados podem ser verificados no ANEXO A (JUSBRASIL).

Diante dos processos divulgados e normatizações referentes a ressarcimento de queimas ou danos em equipamentos elétricos, nota-se que no estado do Paraná o problema de maior ocorrência é danos em equipamentos elétricos oriundos de sobretensão, tais problemas podem ser solucionados amigavelmente junto com a distribuidora, porém quando este não é solucionado o consumidor recorre a ouvidoria da ANEEL e em último caso recorre a processo judicial, para que assim seja solucionado, tal método de solucionar através da justiça leva mais tempo que solucionar amigavelmente e gera mais gastos para ambas partes, portanto a solução amigável é a melhor opção (WADA, 2015).



## 5 ANÁLISE DOS NÍVEIS DE TENSÃO DOS CONSUMIDORES RURAIS DO ESTADO DO PARANÁ

### 5.1 INTRODUÇÃO

Esta sessão visa analisar os relatórios de conformidade de tensão dos consumidores localizados na região rural do estado do paraná fornecidos pela Distribuidora A, provendo assim o objeto de estudo de modo que seja possível realizar a caracteriza o da qualidade de energia elétrica no setor rural.

A quantidade de relatórios de tensão a ser fornecidos para análise   determinada pela distribuidora, pois esta   a responsável pela elabora o e confidencialidade das informaçoes do consumidor, portanto a análise deve ser realizada com a quantidade amostral fornecida.

A análise dos relatórios leva em considera o principalmente os valores DRP e DRC medidos, a quantidade de leituras total, o cálculo do *nlp* e *nlc* a partir da utiliza o das equa oes 7 e 8 e o histograma de tensão de cada consumidor.

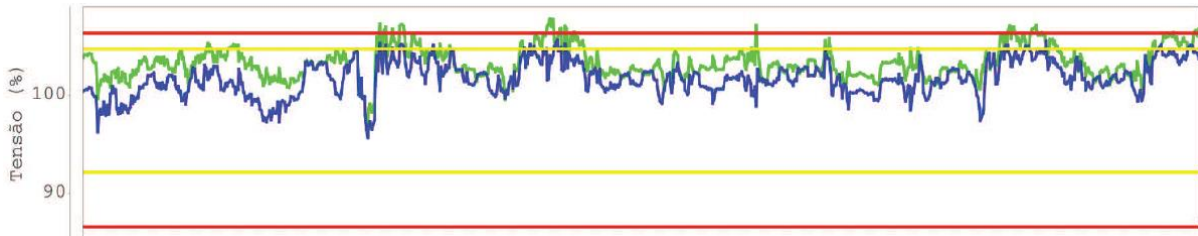
Ao fim desta sessão a caracteriza o   realizada para estes consumidores residentes da região rural do estado do Paraná.

### 5.2 DADOS DE RELATÓRIOS DE QUALIDADE DE ENERGIA

A análise da qualidade de tensão para consumidores rurais se faz diante de oito relatórios de avalia o da qualidade de tensão fornecidos pela Distribuidora A, cada relatório   referente a um único consumidor rural, os quais são analisados inicialmente de forma separada conforme citado na introdu o deste capítulo e posteriormente calcula-se os valores equivalentes para estes consumidores, de modo a possibilitar a caracteriza o.

O primeiro relatório   referente a um consumidor atendido com tensão de alimenta o de 127 V em Fase A e Fase B, o período de medi o deste consumidor teve início em 19/01/2016 as 15:00 e término de medi o dia 26/01/2016 as 14:50, durante este período realizou-se 1008 leituras válidas conforme   solicitado pela

ANEEL no PRODIST módulo 8. Durante o período de medição obteve-se o histograma de tensão apresentado na Figura 11.



**Figura 11 - Histograma de tensão referente ao consumidor 1.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

Para análise do consumidor 1 é necessário especificar o significado de cada curva, as retas em amarelo e vermelho são referentes aos valores máximos de DRP e DRC respectivamente, para a curva em azul são os valores medidos de tensão na fase A e a curva em verde são as medições da fase B.

Na Tabela 6 abaixo pode ser verificado os valores medidos de DRP, DRC, tensão máxima, tensão mínima e tensão média para cada fase, além dos valores calculados de *nlp* e *nlc* com a utilização das equações 7 e 8.

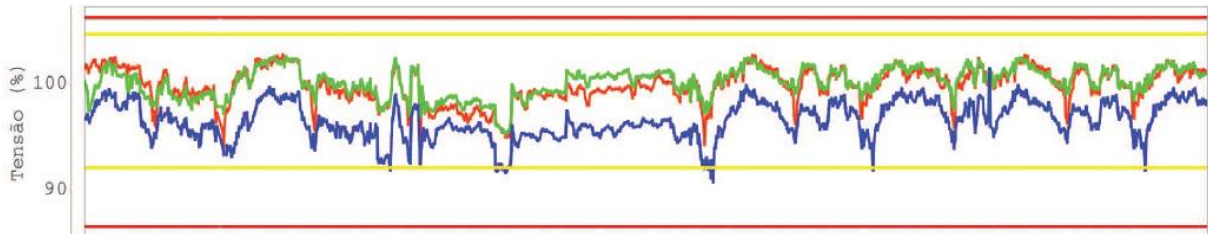
**Tabela 6 - Índices de análise referente ao consumidor 1.**

Índice	Fase A	Fase B
DRP	3,47%	14,88%
DRC	0%	4,26%
Tensão Máxima	134,17 V	136,91 V
Tensão Mínima	121,52 V	122,47 V
Tensão Média	129,2 V	131,21 V
<i>nlp</i>	34,97	149,99
<i>nlc</i>	0	42,94

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

É notável que os valores de DRP deste consumidor excederam máximos de 3% exigidos pelo PRODIST módulo 8, o que ocasionará em multa para a distribuidora, além do índice DRP tem-se que o valor do DRC para a Fase B também excedeu o limite de 0,5%, portanto este consumidor não está com a tensão em conformidade com as exigências da ANEEL, de modo a evidenciar a quantidade que representa as porcentagens de DRP e DRC, os índices *nlp* e *nlc* calculados permitem a verificação da quantidade de leituras fora dos patamares de normalidade dentro do universo de 1008 leituras válidas e por fim é perceptível que este consumidor sofre de sobretensão, pois todos valores fora dos limites foram superiores e nenhum foi inferior.

O segundo relatório é referente a um consumidor atendido na tensão 127 V com tensão em fase A, B e C, a avaliação deste consumidor teve início de medição em 16/03/2016 as 21:20 e término de medição dia 23/03/2016 as 21:50 e durante este período realizou-se o processamento do histograma de tensão conforme a Figura 12.



**Figura 12 - Histograma de tensão referente ao consumidor 2.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

De mesmo modo que para o relatório número 1, as linhas amarelas e vermelhas são respectivamente os limites DRP e DRC, a curva azul corresponde as medições de fase A, verde para medições da fase B e a curva em vermelho são as medições da fase C.

A Tabela 7 abaixo, apresenta os valores dos índices medidos de DRP, DRC, tensão máxima, tensão mínima e tensão média para cada fase, além dos valores calculados de *nlp* e *nlc*.

**Tabela 7 - Índices de análise referente ao consumidor 2.**

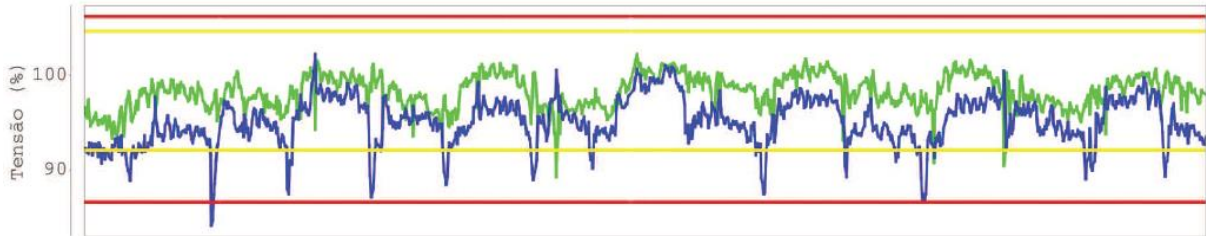
<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
DRP	1,88%	0%	0%
DRC	0%	0%	0%
Tensão Máxima	128,9 V	130,31 V	130,57 V
Tensão Mínima	115,33 V	121,07 V	119,74 V
Tensão Média	122,69 V	127,29 V	126,94 V
<i>nlp</i>	18,95	0	0
<i>nlc</i>	0	0	0

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

Este consumidor 2 apresenta os valores DRP e DRC abaixo do valor máximo exigido pela ANEEL, sendo considerado em conformidade com o PRODIST módulo 8, porém mesmo com a conformidade é possível perceber tanto pela curva de fase A da Figura 12 quanto pela tensão mínima e *nlp* de mesma fase, que em determinados instantes de medição este consumidor foi atendido com sub-tensão.

O terceiro relatório de tensão consta de um consumidor atendido na tensão 127 V em fases A e B, a medição ocorreu no período de 13/01/2016 as 12:30 a

20/01/2016 as 14:00 e durante este período de análise a distribuidora obteve em seu relatório o histograma da Figura 13 abaixo.



**Figura 13 - Histograma de tensão referente ao consumidor 3.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

As linhas de limite em amarelo e vermelho são referentes aos limites DRP e DRC conforme citado nos histogramas anteriores, já para a curva em azul é referente as medições em tensão de fase A e a verde são as medições de tensão em fase B.

A Tabela 8 abaixo, apresenta os valores dos índices medidos de DRP, DRC, tensão máxima, tensão mínima e tensão média para cada fase, além dos valores calculados de *nlp* e *nlc*.

**Tabela 8 - Índices de análise referente ao consumidor 3.**

<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>
DRP	9,22%	0,39%
DRC	0,29%	0%
Tensão Máxima	129,89 V	129,87 V
Tensão Mínima	106,88 V	113,44 V
Tensão Média	120,87 V	124,85 V
<i>nlp</i>	92,93	3,93
<i>nlc</i>	2,92	0

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

Nota-se que o terceiro consumidor possui DRP da tensão de fase A fora dos limites aceitáveis pela ANEEL, resultando em multa para a distribuidora e obrigatoriedade em solucionar o problema, embora as medições de tensão tenham extrapolados os limites de tensão crítica em alguns instantes conforme pode ser visto tanto no histograma da Figura 13 quanto no valor de tensão mínima da fase A da Tabela 8, o limite máximo de DRC não foi ultrapassado portanto este consumidor apenas é considerado em não conformidade com os índices de tensão DRP e está sofrendo do problema de sub-tensão.

O quarto relatório também consta de um consumidor atendido na tensão de 127 V em fase A e B, o período de medição para este consumidor teve seu início em 29/02/2016 as 20:00 e fim dia 07/03/2016 as 19:50 e a partir das medições possibilitou-se a elaboração por parte da distribuidora do histograma de tensão apresentado na Figura 14 abaixo.



**Figura 14 - Histograma de tensão referente ao consumidor 4.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

As linhas de limite em amarelo e vermelho são referentes aos limites DRP e DRC conforme já citado, já para a curva em azul é referente as medições em tensão de fase A e a verde são as medições de tensão em fase B, nota-se que a curva em verde é pouco perceptível, pois os valores medidos de tensão em fase A e B são muito próximos.

A Tabela 9 abaixo, apresenta os valores dos índices medidos de DRP, DRC, tensão máxima, tensão mínima e tensão média para cada fase, além dos valores calculados de *nlp* e *nlc*.

**Tabela 9 - Índices de análise referente ao consumidor 4.**

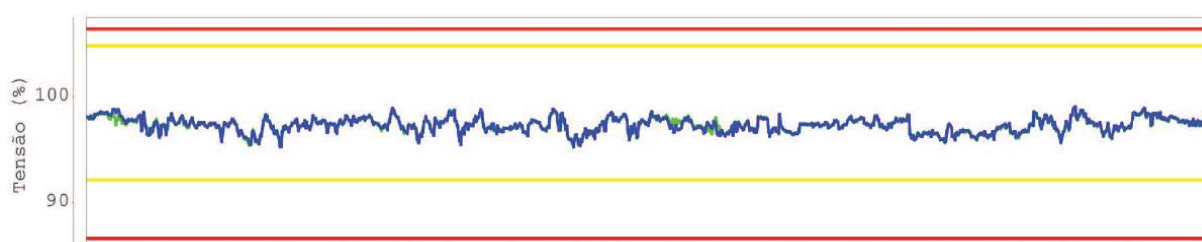
<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>
DRP	1,68%	0,69%
DRC	0,09%	0,09%
Tensão Máxima	128,07 V	128,18 V
Tensão Mínima	87,3 V	87,57 V
Tensão Média	123,17 V	123,49 V
<i>nlp</i>	16,93	6,95
<i>nlc</i>	0,90	0,90

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

É notável a partir dos dados de índices de histograma do consumidor 4 que apesar dos picos de tensão que ultrapassaram o limite de tensão crítica, os índices DRP e DRC constam abaixo do limite exigido no PRODIST módulo 8, portanto a tensão deste consumidor é considerado como em conformidade com o exigido pela ANEEL, outro fato é que os picos de tensão que ultrapassaram o limite foram para a

faixa inferior de tensão crítica e precária, portanto em determinado instante este consumidor foi atendido com sub-tensão.

O quinto relatório é referente a um consumidor atendido em tensão 127 V em fases A e B, o período de medição para este consumidor teve início em 19/04/2016 as 10:50 e término dia 26/04/2016 as 10:40 e a partir deste período de medição possibilitou-se a elaboração do histograma de tensão conforme apresenta a Figura 15.



**Figura 15 - Histograma de tensão referente ao consumidor 5.**  
Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.

De mesmo modo que para os histogramas acima, as linhas vermelhas e amarelas são referentes aos limites de tensão crítica e precária, as curvas azul e verde correspondem as medições de tensão de fase A e B respectivamente, nota-se que na maior parte do tempo as medições são muito próximas, tal fato justifica a dificuldade em visualizar as duas curvas.

A Tabela 10 Tabela 9 abaixo, apresenta os valores dos índices medidos de DRP, DRC, tensão máxima, tensão mínima e tensão média para cada fase, além dos valores calculados de *nlp* e *nlc*.

**Tabela 10 - Índices de análise referente ao consumidor 5.**

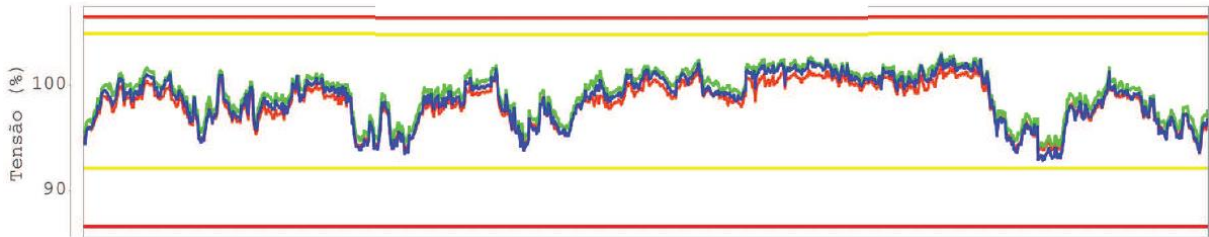
<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>
DRP	0%	0%
DRC	0%	0%
Tensão Máxima	125,79 V	125,72 V
Tensão Mínima	120,96 V	120,93 V
Tensão Média	123,55 V	123,53 V
<i>nlp</i>	0	0
<i>nlc</i>	0	0

Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.

A partir do histograma e dos índices de análise do consumidor 5, é notável que este consumidor está em conformidade com as exigências da ANEEL, seja pelos

valores DRP e DRC quanto pelas medições, as quais não ultrapassaram nenhuma vez os limites de tensão precária e crítica.

O sexto relatório de qualidade de tensão consta dos dados de tensão de um consumidor atendido na tensão 127 V em fases A, B e C, o período de avaliação teve início em 23/02/2016 as 15:24 e fim no dia 01/03/2016 as 15:14, durante este período realizou-se a obtenção do histograma de tensão conforme a Figura 16 .



**Figura 16 – Histograma de tensão referente ao consumidor 6.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

Os limites de tensão crítica e precária são definidos pelas mesmas cores dos histogramas acima, as cores das medições de tensões em fase A, B e C estão representadas pelas cores Azul, Verde e Vermelho respectivamente. Nota-se que apesar da alta taxa de oscilação das medidas, nenhuma medição extrapolou os limites de tensão precária e críticas, tal fato tem consequência nos índices de análise da Tabela 11 abaixo.

**Tabela 11 - Índices de análise referente ao consumidor 6.**

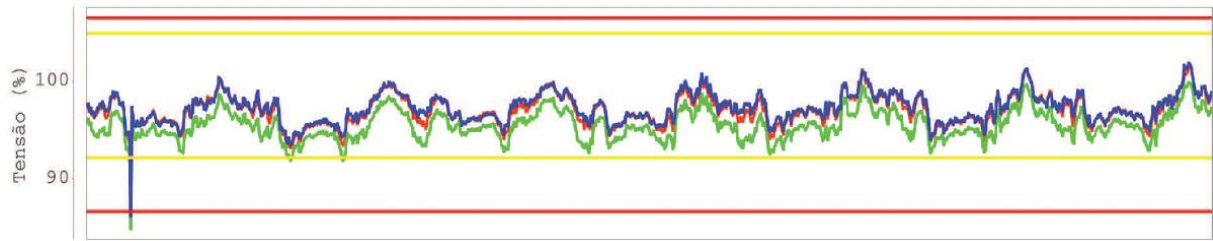
<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
DRP	0%	0%	0%
DRC	0%	0%	0%
Tensão Máxima	130,54 V	130,8 V	129,32 V
Tensão Mínima	117,96 V	119,52 V	118,84 V
Tensão Média	125,24 V	126,03 V	124,79 V
<i>nlp</i>	0	0	0
<i>nlc</i>	0	0	0

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A**

A partir tanto do histograma de tensão quanto da tabela, conforme citado acima as consequências são positivas, pois as medições não extrapolam os limites críticos e precários e a tensão pode ser considerada em conformidade com as exigências da ANEEL.

O sétimo relatório trata de um consumidor atendido em tensão 127 V conectado nas fases A, B e C, o período de medição de tensão para este consumidor

teve início em 25/02/2016 as 16:27 e término em 03/03/2016 as 16:17, durante este período obteve-se o histograma de tensão conforme mostra a Figura 17.



**Figura 17 - Histograma de tensão referente ao consumidor 7.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

Os limites de tensão crítica e precária seguem a mesma coloração dos histogramas acima apresentados, as medições de tensão em fase A, B e C correspondem as cores azul, verde e vermelho respectivamente. A partir das curvas do histograma de tensão deste consumidor nota-se que em um instante de medição as fases A, B e C ultrapassaram os limites críticos juntas e outro fato é que somente a fase B ultrapassou a faixa precária em outros momentos, a avaliação dos índices e quantidade de medições podem ser verificadas na Tabela 12 abaixo.

**Tabela 12 - Índices de análise referente ao consumidor 7.**

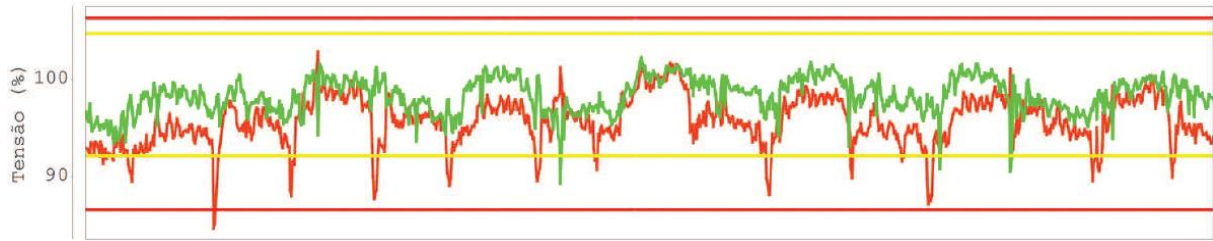
<b>Índice</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
DRP	0%	0,39%	0%
DRC	0,09%	0,09%	0,09%
Tensão Máxima	129,31 V	126,83 V	128,81 V
Tensão Mínima	109,5 V	107,87 V	109,2 V
Tensão Média	123,48 V	121,25 V	123,18 V
<i>n<sub>lp</sub></i>	0	3,93	0
<i>n<sub>lc</sub></i>	0,9	0,9	0,9

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

Embora tenha a ocorrência de medições em tensão precária em crítica deste consumidor, os índices DRP e DRC não ultrapassaram as faixas máximas permitidas pela ANEEL, portanto a partir do PRODIST módulo 8 este consumidor é considerado em conformidade com as exigências da ANEEL.

O oitavo relatório é também o ultimo que trata de um consumidor atendido em tensão 127 V nas fases B e C, o período de medição para este consumidor teve início em 13/01/2016 as 12:30 e fim 20/01/2016 as 14:00, durante esta fase de medição obteve-se o histograma de tensão conforme a Figura 18 abaixo.





**Figura 18 - Histograma de tensão referente ao consumidor 8.**  
**Fonte: Fornecido pela Distribuidora A.**

As faixas de limite seguem a mesma coloração dos histogramas acima citados, sendo amarelas para limite precários e vermelhas para críticos, já para as cores das curvas de medições a verde representa as medições de tensão em fase B e a vermelha é a curva de medição para tensão em fase C, para este caso é perceptível que a fase C teve uma grande quantidade de ultrapassagem do limite crítico inferior, as consequências em valores numéricos destas ultrapassagens podem ser verificadas na Tabela 13 abaixo.

**Tabela 13 - Índices de análise referente ao consumidor 8.**

<b>Índice</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
DRP	0,39%	6,15%
DRC	0%	0,19%
Tensão Máxima	129,87 V	130,68 V
Tensão Mínima	113,44 V	107,55 V
Tensão Média	124,85 V	121,62 V
<i>nlp</i>	3,93	61,99
<i>nlc</i>	0	1,91

**Fonte: Adaptado de relatório fornecido pela Distribuidora A.**

A quantidade de ultrapassagem do limite precário de tensão da fase C extrapolou o limite exigido pela ANEEL, portanto este consumidor não está em conformidade com os limites de tensão precária exigido no PRODIST módulo 8 e a distribuidora deve pagar multa, além de necessitar solucionar o problema de sub-tensão deste consumidor.

A partir dos relatórios fornecidos pelas distribuidoras possibilita-se avaliar os problemas que os consumidores estão sujeitos, na ocorrência de ultrapassagem do valor superior de tensão precária ou crítica o consumidor pode ter seus equipamentos queimados ou danificados devido a sobretensão, na ocorrência de ultrapassagem do valor inferior de tensão precária ou crítica o consumidor pode ter seus equipamentos com dificuldade de funcionamento ou até danificação aos equipamentos elétricos devido a sub-tensão.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DOS OITO CONSUMIDORES RURAIS DO ESTADO DO PARANÁ

O método de caracterização é baseado nos princípios da estatística, mais precisamente através do método de intervalos de confiança (IC), o qual é um intervalo calculado a partir de amostras e este intervalo possui uma probabilidade de que novas amostras desconhecidas estejam contidos em sua região.

Para utilização deste método algumas premissas devem ser adotadas, o primeiro passo é definir qual será o nível de confiança adotado, este valor impactará tanto no tamanho do intervalo, quanto na probabilidade da amostra desconhecida estar dentro ou fora do intervalo, geralmente utiliza-se 95% de nível de confiança, garantindo assim que a amostra de confiança possui grandes chances de estar contido na região (CLARK; DOWNING, 2011).

Para descobrir o IC e elaborar a caracterização do meio é necessário a utilização da equação (13) abaixo, a qual apresenta os valores mínimos e máximos do intervalo levando em consideração o tamanho da amostra, desvio padrão, média e nível de confiança (DEVORE, 2012).

$$IC = \bar{x} \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

Onde:

$\bar{x}$  - É a média da amostra.

1,96 - É obtido a partir da tabela de distribuição normal para um nível de confiança de 95%.

$\sigma$  - Desvio padrão da amostra.

$n$  - Tamanho da amostra.

A partir deste método estatístico juntamente com os dados apresentados na seção 5.2, será possível caracterizar a qualidade de energia elétrica para os consumidores rurais do estado do Paraná, porém deve se atentar para os seguintes fatos, o primeiro é a respeito do quanto maior for o tamanho da amostra outro IC deve ser calculado para assim o cálculo seja confiável, outro ponto é que este método supõem que as novas observações desconhecidas possuam características próximas aos utilizados na amostra (DEVORE, 2012).

A amostra a ser calculado o IC para caracterização dos consumidores rurais do estado do Paraná é composta pelos 8 consumidores analisados na seção 5.2, ou seja, o tamanho da amostra é 8, o desvio padrão e média a ser utilizados são calculados a partir das equações (14) e (15) respectivamente.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x - \bar{x}|^2}{n}} \quad (14)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (15)$$

Na Tabela 14 consta os valores de *nlc* e *nlp* dos consumidores avaliados e o valor de média e desvio padrão para cada fase de cada consumidor, para que assim seja possível calcular o IC e posteriormente a caracterização.

**Tabela 14 - Média e desvio padrão dos números de leituras precárias e críticas dos consumidores avaliados.**

Consumidor	<i>nlp</i>			<i>nlc</i>		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
1	34,9776	149,9904		0	42,9408	
2	18,9504	0	0	0	0	0
3	92,9376	3,9312		2,9232	0	
4	16,9344	6,9552		0,9072	0,9072	
5	0	0		0	0	
6	0	0	0	0	0	0
7	0	3,9312	0	0,9072	0,9072	0,9072
8		3,9312	61,992		0	1,9152
$\bar{x}$	23,40	21,09	15,50	0,68	5,59	0,71
$\sigma$	33,35	52,14	31,00	1,08	15,10	0,91

Fonte: Autoria Própria

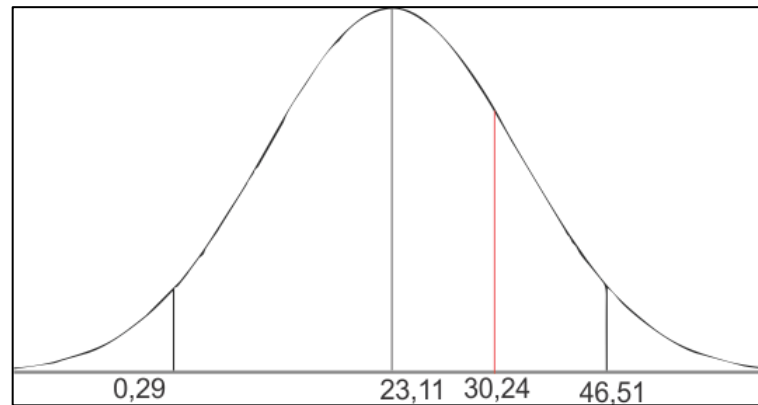
A partir dos dados apresentados acima da média e desvio padrão e da equação (13), é possível calcular o IC para as leituras precárias e críticas conforme apresenta a Tabela 15

**Tabela 15 - Intervalo de confiança e limites para as leituras precárias e críticas.**

	<i>nlp</i>			<i>nlc</i>		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
IC	23,11	36,13	21,48	0,75	10,46	0,63
Limite superior do IC	46,51	57,23	36,98	1,42	16,06	1,34
Limite inferior do IC	0,29	-15,04	-5,98	-0,07	-4,87	0,07

Fonte: Autoria Própria.

Portanto a partir dos valores calculados na tabela acima, é possível traçar a curva de distribuição normal do IC para cada fase e para cada tipo de leitura, seja precária ou crítica. Para as leituras precárias de fase A tem-se a curva de IC apresentada na Figura 19 abaixo e a respectiva caracterização dos consumidores rurais conectados a esta fase.



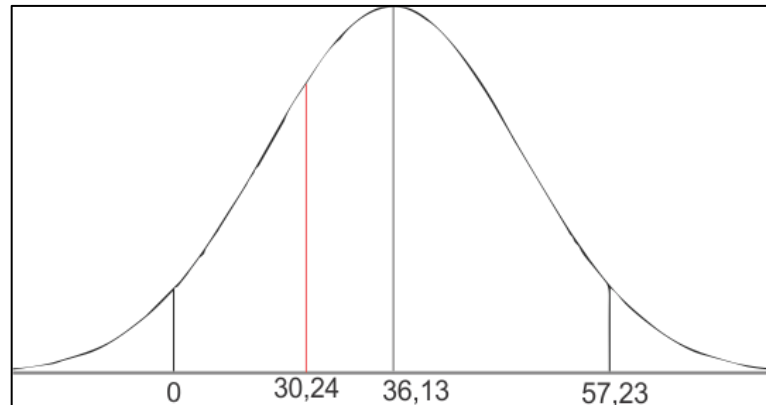
**Figura 19 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase A.**

**Fonte: Autoria Própria.**

A partir da curva normal de intervalo de confiança e da Tabela 15 nota-se que a faixa a qual novas observações desconhecidas tem maior probabilidade de estar contida é entre 0,29 e 46,51, outro fato é com respeito a linha em vermelho dentro da região, esta linha corresponde a quantidade de leituras necessárias para atingir 3% de DRP, a partir deste valor o índice DRP para fase A estará acima do limite permitido pela ANEEL.

Para o caso da fase A em DRP pode-se caracterizar a qualidade de energia elétrica dos consumidores residentes na região rural do estado do Paraná como boa, pois caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em conformidade é maior que a de estarem em não conformidade com as exigências estabelecidas no PRODIST módulo 8.

Para as leituras precárias na fase B conforme apresentado na Tabela 15, a curva do IC está representada na Figura 20 e seguida da devida caracterização.

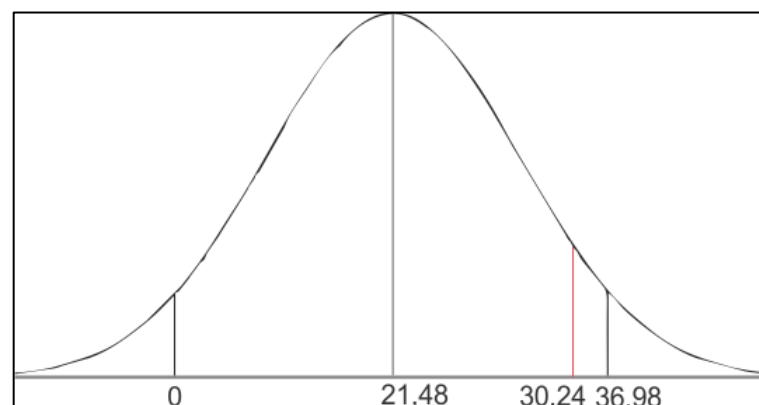


**Figura 20 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase B.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para os oito consumidores rurais conectados na fase B, o IC está contido entre 0 leituras precárias e 57,23, o limite inferior foi limitado em 0 pois não há quantidade negativa de leituras. A linha em vermelho representa a quantidade de leituras para atingir os 3% de DRP máximo estabelecido pela ANEEL.

Para o caso da fase B em DRP pode-se caracterizar a qualidade de energia elétrica dos oito consumidores residentes na região rural do estado do Paraná como ruim, pois caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em não conformidade é maior que a de estarem em conformidade com as exigências estabelecidas no PRODIST módulo 8.

A última caracterização em DRP se faz com os consumidores conectados na fase C, esta caracterização utiliza dos valores informados na Tabela 15 para assim ser traçado o IC conforme consta na Figura 21 abaixo.



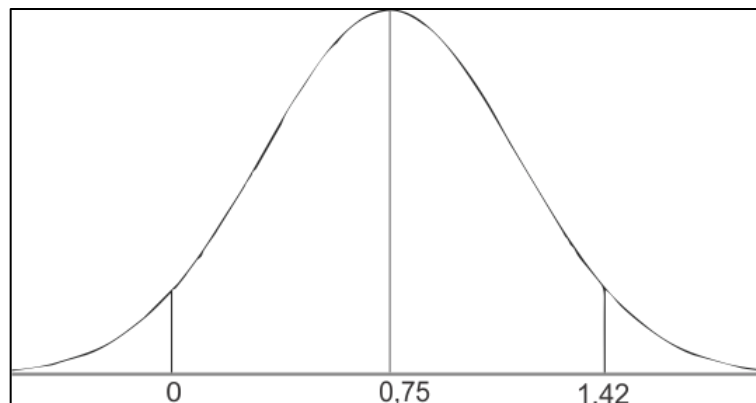
**Figura 21 - Curva normal de IC para leituras precárias de fase C.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para os oito consumidores rurais do estado do Paraná atendidos na fase C o IC está contido entre 0 e 36,98 leituras precárias, de mesmo modo que para o IC dos consumidores atendidos em fase B, o limite mínimo de leituras foi deslocado para 0 pois não há quantidade de leitura negativa. A linha vermelha apresenta a quantidade de leituras necessárias para atingir o valor máximo de DRP conforme exigido pela ANEEL.

Para o caso da fase C em DRP pode-se caracterizar a qualidade de energia elétrica dos oito consumidores residentes na região rural do estado do Paraná como boa, pois caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em conformidade é maior que a de não estarem em conformidade com as exigências estabelecidas no PRODIST módulo 8.

As caracterizações para as leituras críticas também são necessárias, pois a partir dela e das caracterizações pelas leituras precárias será possível caracterizar o conjunto completo dos oito consumidores residentes na região rural do estado do Paraná.

A partir dos dados apresentados na Tabela 15 é possível traçar a curva normal referente ao IC das leituras críticas dos consumidores atendidos na fase A, conforme pode ser verificado na Figura 22.

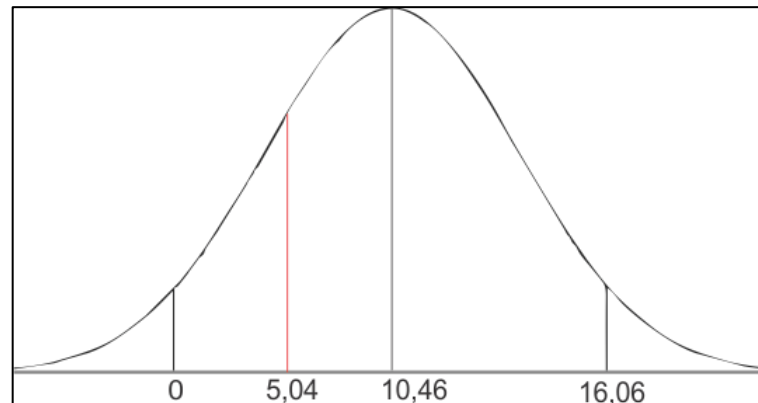


**Figura 22 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase A.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

A partir da curva normal IC e da Tabela 15 nota-se que a faixa a qual novas observações desconhecidas tem maior probabilidade de estar contida é entre 0 e 1,42 e a curva não possui linha em vermelho, ou seja, o IC está contido completamente em uma região abaixo do limite definido pela ANEEL, portanto a caracterização é

considerada como boa e caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em conformidade é próximo a 95%.

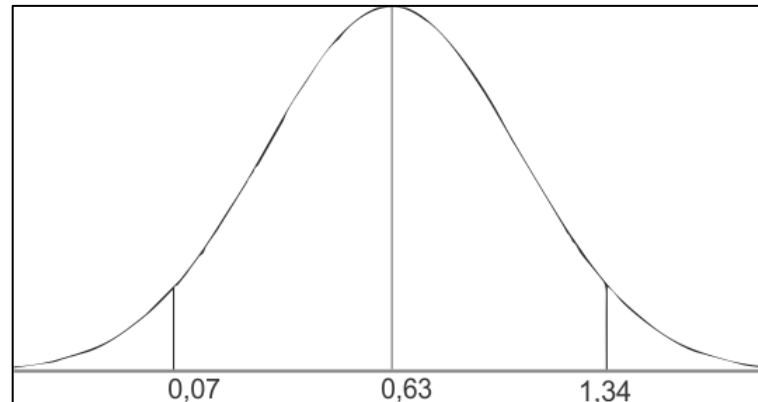
De mesmo modo que para as curvas de IC apresentadas anteriormente é possível traçar a curva normal referente ao IC das leituras críticas dos consumidores atendidos na fase B, conforme pode ser verificado na Figura 23 .



**Figura 23 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase B.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para este caso o IC está contido entre 0 e 16,06 leituras críticas e em vermelho está demarcado o limite máximo referente a 0,5% de DRC exigido pela ANEEL, portanto a para o caso da fase B em DRC pode-se caracterizar a qualidade de energia elétrica dos oito consumidores residentes na região rural do estado do Paraná como ruim, pois caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em não conformidade é maior que a de estarem em conformidade com as exigências estabelecidas no PRODIST módulo 8.

A última curva de IC é referente a quantidade de leituras críticas dos consumidores atendidos na fase C conforme apresenta a Figura 24.



**Figura 24 - Curva normal de IC para leituras críticas de fase C.**

**Fonte: Autoria Própria.**

A partir da curva normal IC para este caso e da Tabela 15 nota-se que a faixa a qual novas observações desconhecidas tem maior probabilidade de estar contida é entre 0,07 e 1,34 e a curva não possui linha em vermelho, ou seja, o IC está contido completamente em uma região abaixo do limite definido pela ANEEL, portanto a caracterização é considerada como boa e caso novos consumidores sejam avaliados a probabilidade de estarem em conformidade é próximo a 95%.

A partir de todas as caracterizações para cada tipo de leitura o Quadro 3 abaixo apresenta o resultado de cada caracterização, para assim ser possível de concluir a respeito dos oito consumidores residentes na região rural como um único conjunto sem distinção de fase.

**Quadro 3 - Caracterização dos consumidores residentes da região rural por Fase.**

Dados analisados	Caracterização por Fase		
	Fase A	Fase B	Fase C
<i>nlp</i>	Boa	Ruim	Boa
<i>nlc</i>	Boa	Ruim	Boa
Total	Boa	Ruim	Boa

**Fonte: Autoria Própria.**

Nota-se que somente para uma das fases a caracterização resultante foi considerada ruim, portanto a partir do método de intervalo de confiança a caracterização da qualidade de energia elétrica para os oito consumidores residentes da região rural do estado do Paraná pode ser considerada como boa com ressalvas, porém algumas estratégias podem ser adotadas para melhorar a qualidade aos consumidores atendidos na Fase B e manter um padrão de qualidade alto para assim evitar conflitos entre distribuidora e consumidor, tais estratégias constam na seção 6.



## 6 ESTRATÉGIAS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE OSCILAÇÃO DE TENSÃO NAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMIDORES RURAIS

### 6.1 INTRODUÇÃO

A partir da caracterização da qualidade de energia elétrica nota-se que apesar de ser considerada boa, alguns problemas existem quanto a surtos de sub-tensão e sobretensão, para isso três estratégias de solução são abordadas neste capítulo, as duas primeiras estratégias possuem maior aplicação para o problema de sub-tensão e a terceira é uma estratégia para proteção contra sobretensão.

### 6.2 TROCA DE CABOS E VERIFICAÇÃO DE DISTÂNCIAS MÁXIMAS

O método da troca de cabeamento é a estratégia mais barata para solucionar o problema de queda de tensão em redes de distribuição, porém quando a queda original possui um valor elevado então está não é capaz de solucionar o problema, apenas reduz a queda de tensão.

Para análise da aplicabilidade deste método é necessário a utilização de cálculos para análise da queda de tensão antes e após a troca dos cabos, este é realizado a partir do método dos coeficientes.

O cálculo da queda de tensão pelo método dos coeficientes é dado através da equação (16) abaixo, este cálculo é utilizado tanto para redes urbanas quanto para redes rurais (COPEL, 1999) (COPEL, 2002).

$$\Delta V(\%) = coef \cdot S \cdot l \quad (16)$$

Onde:

*coef* - Coeficiente de queda de tensão

*S* - Carga concentrada do ponto da rede de distribuição em análise, também definida como carga a jusante ao ponto de análise.

*l* - Distância entre os pontos de análise em hectômetro (hm)

$\Delta V(\%)$  - Queda de tensão percentual

### 6.2.1 Verificação de distância máxima suportável para cabos da rede Primária

A partir do método dos coeficientes é possível verificar qual a distância limite para que a queda de tensão no cabo de rede rural primária atinja os limites de tensão mínima solicitados pela ANEEL, para a tensão de primário no valor de 13,8 kV, a tensão limite mínima solicitada é de 12,21 kV, ou seja a queda limite é de 11,52%.

O cálculo de distância limite para cada cabo faz-se utilizando a equação (16), os transformadores de 15 kV os quais possuem potência de 10, 15 e 25 kVA e os cabos 02 CA e 04 CAA, os quais possuem coeficiente de queda de tensão no valor 0,572 e 1,669 respectivamente (COPEL, 2016).

Para carga limite de 10 kVA os valores de distância limite suportados pelos cabos 02 CA e 04 CAA podem ser verificados na Tabela 16 .

**Tabela 16 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 10 kVA com carregamento máximo.**

Cabos	Carga Concentrada [kVA]	Queda de tensão limite [%]	Coeficiente de queda de tensão [%/(MVA x km)]	Distância limite [m]
02 CA	10	11,5200	0,572	201,39
04 CAA	10	11,5200	1,669	69,02

Fonte: Autoria Própria.

Nota-se que ao utilizar o transformador de 10 kVA, a distância máxima que o cabo 02 CA suportará com a queda de tensão dentro da faixa exigida pela ANEEL é de 201,39 m. Já para o cabo 04 CAA a distância máxima é de 69,02 m, a partir destas distâncias a tensão estará abaixo do limite mínimo, o que acarretará em multas para a distribuidora.

Para carga limite de 15 kVA os valores de distância limite suportados pelos cabos 02 CA e 04 CAA podem ser verificados na Tabela 17 .

**Tabela 17 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 15 kVA com carregamento máximo.**

Cabos	Carga Concentrada [kVA]	Queda de tensão limite	Coeficiente de queda de tensão	Distância limite
02 CA	15	11,5200	0,572	134,26

04 CAA	15	11,5200	1,669	46,015
-----------	----	---------	-------	--------

Fonte: Aatoria Própria.

Ao utilizar o transformador de 15 kVA completamente carregado, a distância máxima que o cabo 02 CA suportará com a queda de tensão dentro da faixa exigida pela ANEEL é de 134,26 m. Já para o cabo 04 CAA a distância máxima é de 46,01 m, a partir destas distâncias a tensão estará abaixo do limite mínimo, o que acarretará em multas para a distribuidora.

Para carga limite de 25 kVA os valores de distância limite suportados pelos cabos 02 CA e 04 CAA podem ser verificados na Tabela 18 .

**Tabela 18 - Limites de distância para cabos 02 CA e 04 CAA com transformador de 25 kVA com carregamento máximo.**

Cabos	Carga Concentrada [kVA]	Queda de tensão limite	Coefficiente de queda de tensão	Distância limite
02 CA	25	11,5200	0,572	80,55
04 CAA	25	11,5200	1,669	27,60

Fonte: Aatoria Própria

Ao utilizar o transformador de 25 kVA completamente carregado, a distância máxima que o cabo 02 CA suportará com a queda de tensão dentro da faixa exigida pela ANEEL é de 80,55 m. Já para o cabo 04 CAA a distância máxima é de 27,60 m, a partir destas distâncias a tensão estará abaixo do limite mínimo, o que acarretará em multas para a distribuidora.

É perceptível que ao aumentar a carga conectada ao circuito, maior será a corrente demandada e conseqüentemente o cabo esquentará, e assim a distância aguentada pelo cabo será menor, portanto deve ser realizado um planejamento correto por parte da distribuidora com respeito ao cabo que será utilizado e as distâncias que serão utilizados para os mesmos e assim evitar problemas de qualidade de energia aos consumidores atendidos.

### 6.2.2 Comparação de queda de tensão para cabos em uma rede secundária

Para verificação da aplicabilidade deste método para uma rede secundária, se faz necessário a simulação de uma rede de distribuição rural secundária

monofásica com dois tipos de cabos diferentes de modo a comparar a queda de tensão com a utilização de cada tipo de cabo e assim verificar se para o caso a ser simulado somente a troca de cabo seria suficiente para solucionar o problema.

De modo a simular a rede mais próxima ao real, é necessário definir a demanda total de todos os consumidores conectados ao transformador simulado, com isso, a Tabela 19 apresenta a demanda de consumidores referente a quantidade de consumidores no circuito.

**Tabela 19 - Faixa de demanda para consumidores rurais.**

<b>Número de consumidores no circuito</b>	<b>Demanda de consumidores (kVA)</b>
01 a 05	1,30
06 a 10	1,15
11 a 15	1,07
16 a 20	1,02
21 a 25	0,9
26 a 30	0,85
31 a 40	0,76
Acima de 40	0,68

Fonte: Retirado de (COPEL, 2002).

Além dos valores de demanda apresentados acima, é necessário a verificação dos cabos a ser utilizado e o coeficiente de queda de tensão para cada cabo, conforme apresenta a Tabela 20 abaixo.

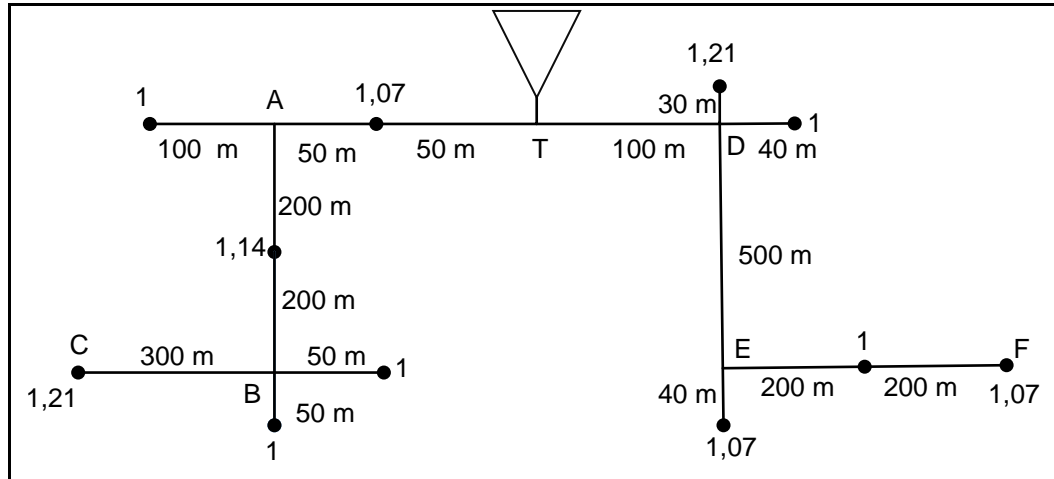
**Tabela 20 - Coeficiente de queda de tensão para redes monofásicas com Deq 200 mm.**

<b>Bitola AWG</b>	<b>Coeficiente de queda de tensão para Deq 200mm</b>
02 CA	1,2196
2/0 CA	0,6983
4/0 CA	0,4996

Fonte: Retirado de (COPEL, 1999).

A partir dos dados de demanda e coeficientes de queda de tensão por tipo de cabo, é possível apresentar o circuito a ser simulado inicialmente com a utilização do cabo 02 CA e posteriormente com o cabo 4/0 CA.

O circuito a ser simulado consta na Figura 25 abaixo.



**Figura 25 - Circuito para simulação de queda de tensão em rede de baixa tensão rural.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Nota-se que cada consumidor é demarcado com um ponto na cor preta bem como consta as distâncias de vãos e demanda para cada consumidor. A partir da quantidade de consumidores conectados no circuito que para este caso são 11 e da Tabela 19 é possível calcular a demanda estimada do transformador através da equação (17).

$$D_{trafo} = n_{consumidores} \cdot D_{consumidores} \quad (17)$$

$$D_{trafo} = 11 \cdot 1,07(kVA)$$

$$D_{trafo} = 11,77[kVA]$$

A partir do circuito com as demandas e distâncias, é possível elaborar o cálculo de queda de tensão para os trechos, inicialmente realiza-se o cálculo para o cabo já utilizado, para este caso utilizou-se inicialmente o cabo 02 AWG o qual resultou nas quedas tensão apresentadas na Tabela 21 abaixo.

**Tabela 21 - Queda de tensão para circuito utilizando cabo 02.**

Trecho	Designação	hm	Carga em kVA			Condutor	kVA x hm	Queda %		
			Distribuída	Concentrada	Total			Unitário	Parcial	Total
T1 – A	1	1,07		5,35	5,88	1x02(02)	5,885	1,2196	6,52	6,52
A – B	4	1,14		3,21	3,78	1x02(02)	15,12	1,2196	15,65	22,18
B – C	3	0	1,21		1,21	1x02(02)	3,63	1,2196	4,42	26,61
T1 - D	1	0		5,35	5,35	1x02(02)	5,35	1,2196	6,52	6,52
D – E	5	0		3,14	3,14	1x02(02)	15,7	1,2196	19,14	25,67
E – F	4	1		1,07	1,57	1x02(02)	6,28	1,2196	5,21	30,89

**Fonte: Autoria Própria.**

Nota-se que para este caso com o cabo 02, o primeiro trecho T1-A apresentou queda de tensão no valor de 6,52% que resulta em 8,28 V a menos do que o nominal no caso da tensão de atendimento de 127 V, para os consumidores conectados no fim de linha tem-se no trecho B-C a queda de 26,61% que representa 33,79 V a menos do que a tensão nominal, ou seja o consumidor do final desta linha será atendido com tensão de 93,21 V, tal tensão está abaixo do limite precário exigido pela ANEEL, para o consumidor do trecho E-F a queda de tensão é maior ainda com valor de 30,89%, o que resulta em uma queda de 39,23 V e assim a tensão que dos consumidos conectados neste trecho será de 87,77 V, valor também inferior ao limite crítico definido pela ANEEL.

O mesmo procedimento de cálculo de queda de tensão foi realizado para este circuito com a aplicação de cabo 4/0, os valores calculados constam na Tabela 22 , abaixo.

**Tabela 22 - Queda de tensão em circuito com a utilização de cabos 4/0.**

Trecho	Designação	hm	Carga em kVA			Condutor	kVA x hm	Queda %		
			Distribuída	Concentrada	Total			Unitário	Parcial	Total
T 1 – A	1	1,07	5,35	5,885	1x4/0(4/0)	5,885	0,4996	2,67	2,67	
A – B	4	1,14	3,21	3,78	1x4/0(4/0)	15,12	0,4996	6,41	9,08	
B – C	3	0	1,21	1,21	1x4/0(4/0)	3,63	0,4996	1,81	10,90	
T1 - D	1	0	5,35	5,35	1x4/0(4/0)	5,35	0,4996	2,67	2,67	
D – E	5	0	3,14	3,14	1x4/0(4/0)	15,7	0,4996	7,84	10,51	
E – F	4	1	1,07	1,57	1x4/0(4/0)	6,28	0,4996	2,13	12,65	

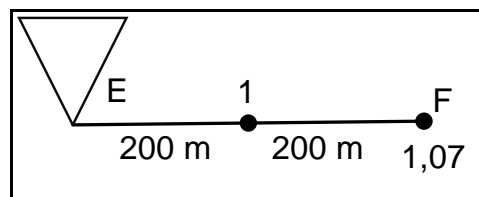
**Fonte: Autoria Própria.**

Nota-se que para este cabo as quedas são bem menores que as quedas para o cabo 02, para o trecho T1-A a queda para este cabo é de 2,67% que representa uma queda de 3,39 V e o trecho de maior queda de tensão foi o trecho E-F que atende os consumidores em fim de linha e possui queda de 12,65% valor que ocasiona em uma queda de 16,06 V e assim os consumidores de fim de linha serão atendidos com a tensão no valor de 116,94 V, valor que está dentro da faixa de tensão precária, porém ao compararmos as quedas de tensão para os dois casos, a troca pelo cabo 04 resultou em uma queda de tensão inferior ao caso com cabo 02 e assim demonstra que é uma estratégia válida e para alguns casos pode até solucionar o problema da queda de tensão e deixa-la em conformidade com o exigido pela ANEEL.

### 6.3 LOCAÇÃO DE NOVO TRANSFORMADOR

O segundo método surge como a estratégia mais cara, porém é a estratégia que solucionará o problema de queda de tensão, ele é baseado na seguinte metodologia, aproximar o transformador o mais próximo possível do consumidor, em determinados casos o consumidor será atendido com um transformador exclusivo, para ser aplicada esta estratégia é necessário reprojeter a rede de média tensão até o consumidor que será atendido pelo novo transformador, assim evitando a queda de tensão (COPEL, 2002).

De modo a ilustrar a redução de queda de tensão para este método, utiliza-se como base os dados e circuito apresentados na Tabela 21 e Figura 25, a aplicação do novo transformador será no ponto que há maior queda de tensão, no caso o trecho E-F, então surgirá um novo circuito conforme apresenta a Figura 26



**Figura 26 - Circuito novo com locação de transformador no trecho E-F.**  
Fonte: Autoria Própria.

Juntamente com um novo circuito, calcula-se o novo valor de queda de tensão conforme pode ser visto na Tabela 23 abaixo.

**Tabela 23 - Queda de tensão em novo circuito E-F com a utilização de cabos 02.**

Trecho	Carga em kVA			Condutor	kVA	Queda %			
	Designação	hm	Distribuida			Concentrada	Total	Unitário	Parcial
E - F	2	1	1,071	1,571	1x02(02)	3,142	1,2196	2,61	2,61

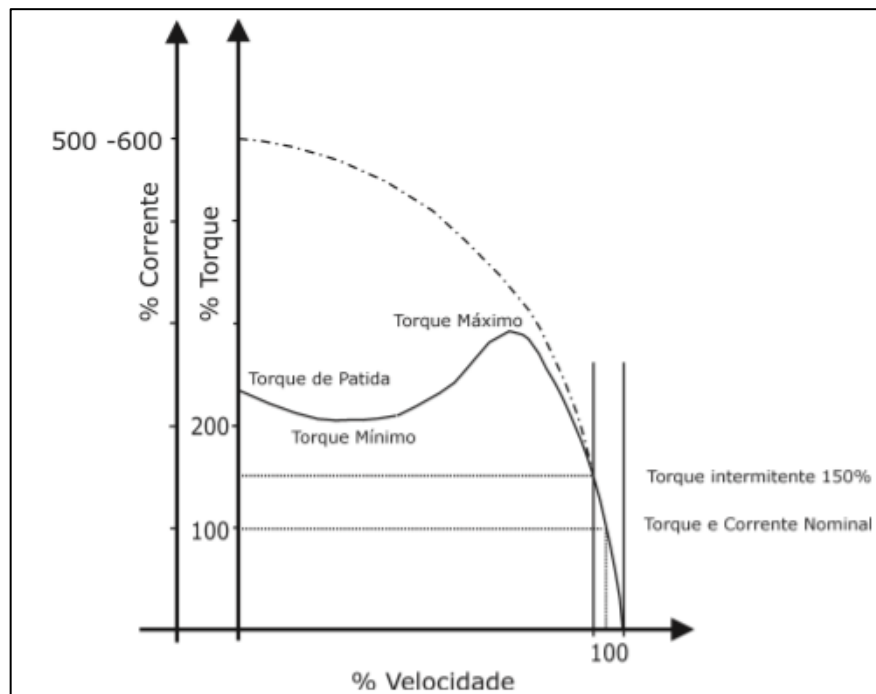
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que para o novo circuito a queda de tensão com a condução da rede de alta tensão e locação de um novo transformador neste trecho a queda que antes era de 30,89% agora é de 2,61%, que ocasionará em uma queda de 3,31 V resultando assim em uma tensão de atendimento aos consumidores no valor de 123,69 V, valor que está em conformidade com as exigências da ANEEL.

## 6.4 AUXÍLIO DE EQUIPAMENTOS PARA SUAVIZAR EFEITO DE PARTIDA DE MOTOR MONOFÁSICO

Conforme citado na sessão 2, uma das cargas de maior impacto na queda de tensão da rede de distribuição secundária, são os motores de indução monofásicos, pois possuem diversas aplicações para os consumidores rurais, seja na utilização em ordenhadeiras, moedores elétricos para elaboração de ração animal e até em cerras elétricas.

A corrente de partida de um motor monofásico é da ordem de até seis vezes a corrente nominal devido ao alto torque no rotor conforme pode ser verificado na Figura 27 , tal corrente ocasiona em uma alta potência demandada da rede e caso o cabeamento não seja suficiente para aguentar a corrente alta, este pode sobreaquecer e até derreter, ocasionando assim no problema mais comum aos consumidores rurais, que não possuem informações a respeito da carga limite que este pode ligar a rede (FITZGERALD; JUNIOR; UMANS, 2006).



**Figura 27 - Comportamento da partida de motor monofásico.**  
**Fonte: Retirado de (WEG, 2010)**

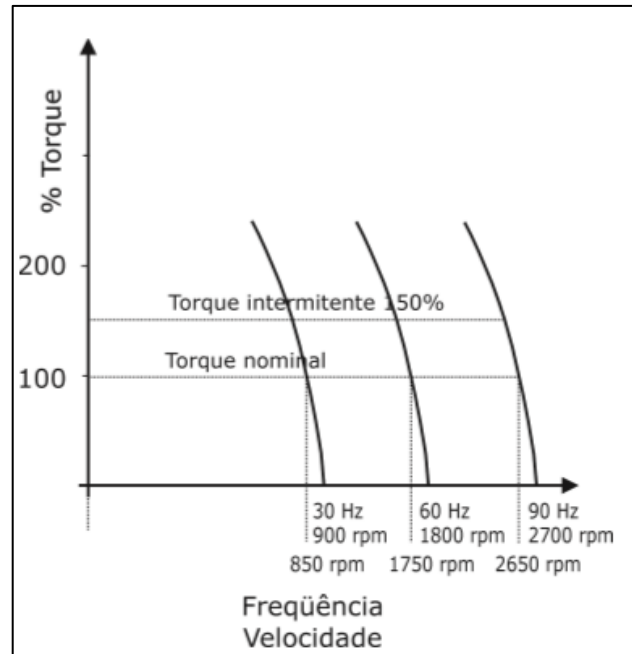
De modo a suavizar os efeitos da partida do motor, deve-se adotar a estratégia correta para partir o motor, principalmente se o transformador o qual o



consumidor está conectado está próximo do carregamento máximo, dentre as estratégias de partida tem-se a partida direta, *soft starter* e a partida que embora seja a mais cara é a mais eficiente quanto a suavização dos efeitos de partida que são as partidas utilizando inversores monofásicos.

A partida direta é a mais usual pelos consumidores rurais, pois possui baixo custo e devido à falta de informação ao consumidor acaba optando por esta opção por ser mais simples de implementar. Já para a partida *Soft Starter*, esta consiste de uma partida com auxílio de instrumento eletrônico programável composto por um conjunto de pares de transistores, este controle ocorre a partir da programação do *Soft Starter* que aplica uma tensão variável no terminal de tensão do motor durante a aceleração e no intervalo de 2 a 30 segundos a tensão atinge seu valor nominal após uma aceleração da máquina suave ou uma rampa ascendente (WEG, 2016).

Já para a partida com a utilização de inversores monofásicos, são as partidas de custo elevado, pois o consumidor deve adquirir o inversor que custa na faixa de R\$ 600,00 a R\$ 1.000,00, porém apesar do elevado custo esta estratégia fornece bons resultados, pois o inversor parte a máquina com uma frequência baixa e vai subindo vagarosamente, até chegar na frequência da rede e na velocidade nominal conforme pode ser verificado na FIG, para este caso a corrente de partida é praticamente da ordem da corrente nominal e ao alimentar o motor a partir de 3 ou 4 Hz é possível obter no rotor um torque de 150% do nominal, sendo assim suficiente acionar qualquer carga acoplada ao motor (WEG, 2010).



**Figura 28 - Curva de controle de torque com a utilização do inversor de frequência.**  
 Fonte: Retirado de (WEG, 2010).

De modo a manter o consumidor informado a respeito dos impactos das partidas de motores e suas devidas demandas conforme podem ser verificadas na Tabela 24 , uma estratégia a ser adotada pelas distribuidoras é informar a porcentagem de carregamento do transformador o qual este utiliza, bem como informar qual a demanda para cada tipo de motor, pois assim o consumidor saberá se pode ligar uma nova carga a sua residência e qual o melhor modo de partir esta carga.

**Tabela 24 - Demanda por tipo de motor monofásico.**

Potência (cv)	Demanda (kVA)
1/3	0,53
1/2	0,75
3/4	1,04
1	1,35
1,5	1,94
2	2,53
3	3,78
5	5,52
7,5	7,66
10	10

Fonte: Retirado de (COPEL, 2002)

## 6.5 READEQUAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

O último método para correção da oscilação de tensão em redes de distribuição secundária tem como objetivo solucionar ou evitar distúrbios referentes a sobretensão nas linhas de distribuição os quais os consumidores rurais estão conectados.

O método mais barato para solucionar este problema é através da readequação dos equipamentos de proteção conectados ao longo do circuito de distribuição rural, dentre os dispositivos de proteção a serem readequados inclui-se os para-raios e chave-fusíveis.

Aos para-raios deve-se realizar um estudo para cada caso de rede e assim seja encontrado a maneira mais vantajosa levando em consideração custo benefício para a distribuidora e verificação se a quantidade de para-raios projetados será suficiente para proteção dos consumidores, uma opção válida é a instalação de para raios a cada 150 m, pois com essa distância ocorre uma redução significativa da tensão induzida por descarga atmosférica e assim protege os consumidores conectados à rede (THOMAZELLA, *et al.*, 2004).

Para as chave-fusíveis, esta deve ser conectadas nas linhas juntamente com o para-raio e ao longo da rede de distribuição, para que assim o filamento seja rompido na ocorrência de algum surto de sobretensão e o circuito abra, protegendo assim os consumidores e as cargas conectadas ao circuito.

Embora o para-raios e chave-fusível possuam grande importância, o elemento de maior importância para suprir os distúrbios de sobretensão, é o aterramento, este deve ser bem projetado e implementado pela distribuidora, para que assim todos os distúrbios sejam conduzidos para o aterramento e não para o consumidor.

## 7 CONCLUSÕES

Ao relacionar os resultados obtidos ao longo do trabalho, verificou-se que a partir do método estatístico de intervalo de confiança juntamente com os dados de índices de qualidade de energia elétrica que a caracterização da qualidade de energia elétrica dos consumidores residentes da região rural do estado do Paraná possibilitou-se considerar como boa, apesar das ocorrências de leituras precárias e críticas.

A presente pesquisa foi realizada mediante oito relatórios de qualidade de energia elétrica, pois foi a quantia que o acadêmico teve acesso. Caso nova amostra desconhecida surja, esta possui estatisticamente grandes chances de estar dentro do IC, no caso de amostras muito maiores que a utilizada, novo cálculo de IC deve ser realizado de modo a continuar garantindo a confiabilidade.

De posse da quantidade de reclamações dos consumidores junto as ouvidorias, notou-se que apesar da pesquisa ser realizada para os oito consumidores do estado do Paraná, o problema da qualidade de energia elétrica pode afetar todos os consumidores residentes da região rural do Brasil, independente do estado, e assim demonstra a importância desta avaliação.

Este trabalho surge com um caráter informativo legal aos consumidores, o qual, fornece informações a respeito de quais passos o consumidor deve tomar para exigir a devida qualidade de energia elétrica nas ocorrências de distúrbios, quais estratégias devem ser tomadas, bem como tem o caráter de informação para as distribuidoras, que assim devem saber quais são os deveres destas e quais punições sofrerão no caso da não solução dos problemas de qualidade de energia.

De modo a informar a distribuidora com respeito a estratégias de solução, descreveu-se algumas possíveis estratégias a ser utilizadas, para os cabos de rede primária apresentou-se as distâncias máximas de cada tipo de cabo o qual deve ser respeitado e assim evita que a tensão de chegada no consumidor não esteja fora dos limites aceitáveis, já para os cabos de rede secundária simulou-se uma rede com dois tipos de cabos que resultou em uma queda de tensão inferior para utilização de cabo 4/0 e quanto mais próximo o transformador estiver do consumidor, menor será a queda de tensão.

Outro fato que se abordou é com respeito ao impacto da partida de motores na rede de distribuição, bem como as estratégias para suavizar esta partida e a

demanda de corrente exigida na partida, evita assim tanto a queda de tensão na rede para os consumidores a jusante quanto evita danos aos condutores do consumidor. Dentre essas alternativas tem-se as partidas *soft starter*, utilização de inversores monofásicos.

Já para a solução dos surtos de sobretensão faz-se necessário a readequação dos equipamentos de proteção e correta implementação das malhas de aterramento a qual evitará os danos e queimas das cargas conectadas a rede.

A partir desta análise, caracterização e inclusão de estratégias, fica como sugestão de novas pesquisas uma caracterização da qualidade de energia elétrica dos consumidores rurais do Brasil inteiro, ou caracterizar os outros estados para que assim todos tenham acesso a informação da situação de qualidade de energia elétrica dos consumidores rurais no País como um todo.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL - PRODIST. **Módulo 8 ( Qualidade da Energia Elétrica) - Revisão 8.** , 2017. 6 - 44 p.
- ANEEL. **PRODISTO Módulo 9 - Ressarcimento de Danos Elétricos.** 2012. 22 p.
- ANEEL. **Ouvidoria Setorial em Números: Aspectos Técnicos e Comerciais.** ANEEL. 2015. 174 p.
- ANEEL. Módulos PRODIST. **Agência Nacional de Energia Elétrica,** 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- ANEEL. **PRODIST - Módulo 8.** ANEEL., 2016. 5-33 p.
- ANEEL. Revisões PRODIST - Módulo 8. **Agência Nacional de Energia Elétrica,** 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- BOLLEN, Math H. J. **Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions.** 2<sup>a</sup>. ed. New York: IEEE Press series on power engineering, v. I, 2000.
- CLARK, Jeffrey; DOWNING, Douglas. **Estatística Aplicada.**
- COPEL. **Projeto de redes de distribuição urbana - NTC 841001.**, 1999. 23 - 50 p.
- COPEL. **Projeto de rede de distribuição rural.** Curitiba, 2002. 76 p.
- COPEL. **NTC 810552/58 - Cabos de Alumínio Tipo CA.** Curitiba, 2013.
- COPEL. **NTC 810572 - Cabos de alumínio com alma de aço.** Curitiba, 2013.
- COPEL. **NTC 841100 - Projetos de redes de distribuição compacta protegida.** Curitiba, 2013.
- COPEL. **Transformadores de distribuição.** Copel. Curitiba, 2016. 7 p.
- DA SILVA, João V. Estudo da estabilidade de tensão em redes de distribuição com geração distribuída, Pato Branco, p. 89, 2015.

DEVORE, Jay L. Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2016.

FITZGERALD, A. E.; JUNIOR, Charles K.; UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas com introdução a eletrônica de potência**. 6. ed. Bookman, 2006.

GARCIA, Vinícius J. et al. Grasp para o problema de planejamento de redes secundárias de distribuição de energia elétrica. **A Pesquisa Operacional E Os Recursos Renováveis**, Campinas - SP, p. 12, Novembro 2003.

JUCÁ, Anderson D. S. **Avaliação do Relacionamento Entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos**: Proposta de Adequação. USP. São Paulo, 2003. 196 p.

JUSBRASIL. Queima de equipamentos eletrônicos rurais. **Jusbrasil**. Disponível em: <jusbrasil.com.br/busca?q=queima+de+equipamento+eletrico+rural>. Acesso em: 01 abr. 2017.

KAGAN, Nelson; ROBBA, Ernesto J.; OLIVEIRA, Carlos César B. D. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 6-18 p.

KERSTING, William H. **Distribution System Modeling and Analysis**. 1. ed. Las Cruces - New Mexico: CRC Press, v. I, 2002. 1-3 p.

LAMIN, Hugo. **Qualidade de Energia Elétrica Fornecida ao Meio Rural Brasileiro**. ANEEL. Brasília-DF, 2015. 38 p.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade de Energia Elétrica**. 2000. 8p. Curitiba, 2000. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>>. Acesso em: 26 Março 2017.

ONS. **Ouvidoria Setorial em Números**. ONS. Brasília - DF, 2016. 176 p.

SILVA, Adriano J.; MUNHOZ, Fernando C.; CORREIA, Paulo B. **Qualidade na Utilização de Energia Elétrica no Setor Rural: Problemas, Legislação e Alternativas**, Campinas, p. 1-5, 2002.

THOMAZELLA, Rogério et al. **Avaliação dos níveis de sobretensão induzidas em linhas de distribuição rurais**, Bauru, 2004.

VELASCO, Giuliana D. N. Arborização Viária X **Sistemas de distribuição de energia elétrica: Avaliação dos custos, estudos das podas e levantamento de problemas fitotécnicos**, Piracicaba - SP, p. 8-20, Maio 2003.

WADA, Ricardo M. **Os conflitos, a regulação e o direito do consumidor**.

WEG. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. 2010. 54 - 61 p.

WEG. **Motores elétricos: Guia de especificação**. 2016. 68 p.



## ANEXO A – RESULTADO DE PROCESSOS JUDICIAIS ENTRE CONSUMIDOR E DISTRIBUIDORA

Tipo de Oscilação	2015		2016		2017		Total Geral
	Consumidor	Distribuidora A	Consumidor	Distribuidora A	Consumidor	Distribuidora A	
☐ Sobretenção	2		2		4		8
☐ Danos em equipamentos	2		2		1		5
Baixa Tensão					1		1
Média Tensão	2		2				4
☐ Danos em equipamentos por descarga atmosférica					1		1
Baixa Tensão					1		1
☐ Danos em equipamentos seguido de incêndio					1		1
Baixa Tensão					1		1
☐ Incêndio causado pela falha do equipamento de proteção					1		1
Baixa Tensão					1		1
☐ Sub-Tensão	1		2		1		3
Danos em equipamentos	1	1	1				1
Média Tensão	1		1				1
☐ Não funcionamento de equipamentos					1		1
Média Tensão		1	1		1		2
☐ Sub-Tensão seguida de Sobretenção							1
Danos em equipamentos					1		1
Baixa Tensão					1		1
<b>Total Geral</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>12</b>