

CENTRO UNIVERSITARIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CARLOS HENRIQUE WEBER

**ESTUDO DE CASO EM COORDENAÇÃO DE PROTEÇÃO E  
SELETIVIDADE DE UMA SUBESTAÇÃO NO SETOR DE MEDIA  
TENSÃO**

LAGES

2019

CARLOS HENRIQUE WEBER

**ESTUDO DE CASO EM COORDENAÇÃO DE PROTEÇÃO E  
SELETIVIDADE DE UMA SUBESTAÇÃO NO SETOR DE MEDIA  
TENSÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Unifacvest, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Dra. Franciéli Lima de Sá.  
Coorientador: MSc Silvio Moraes de Oliveira.

LAGES

2019

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela maior dádiva recebida, a VIDA e por me apoiar e me dar forças nesta caminhada.

Agradeço aos meus pais Aroldo Weber e minha mãe Ivone Aparecida da Cruz Weber, por me encorajarem e me darem suporte para poder estudar. Me sustentando financeiramente em momentos difíceis e sempre me apoiando, quando o ânimo já não era o mesmo. Aos meus irmãos Cassio Henrique Weber e Sara Tairini Weber que me deram apoio e suporte durante esta jornada.

Agradeço também aos meus orientadores a coordenadora do curso de engenharia elétrica, Prof.<sup>a</sup> Dra. Franciéli Lima de Sá e ao Prof.<sup>o</sup> MSc. Silvio Moraes, pela dedicação e disponibilidade de tempo e ensinamentos valiosos para a elaboração deste trabalho

Gostaria de agradecer também a dois professores que foram meus mestres no curso de aprendizagem industrial e no curso técnico, o Prof<sup>o</sup>. Carlos Guisleni e Prof<sup>o</sup>. Sidinei Pelegrin, um grande amigo e profissional, obrigado pelos ensinamentos e orientações para o desenvolvimento também deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante o meu curso, companheiros de sala de aula e agora de profissão também, desejo do fundo do meu coração a todos os envolvidos e as pessoas que me ajudaram de forma direta e indireta na realização deste sonho. Muito obrigado a todos.

## RESUMO

Weber, Carlos Henrique. **Estudo de caso em coordenação de proteção e seletividade de uma subestação no setor de media tensão**. Trabalho de conclusão de curso – Curso Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2018.

Com o constante crescimento populacional e o aumento do poder aquisitivo de boa parte da população, a qualidade de vida tem crescido continuamente devido à grande quantidade de produtos a disposição que auxiliam nesse ponto de forma direta, muito destes produtos derivam de grandes parques fabris. Sendo este o ponto de vista inicial as indústrias que produzem para suprir esta demanda necessitam de pontuais entregas de energia para continuar produzindo e também expandindo seus patamares não só para dar conta da produção como se manterem competitivas no mercado cada vez mais exigente e competitivo. Com tudo essas industrias necessitam de pontuais entregas de energia. Um projeto elétrico deve atender os requisitos básicos de um sistema de proteção sendo eficaz a fim de reduzir os tempos de parada no fornecimento de energia elétrica, e também garantir a integridade de equipamentos do sistema elétrico como transformadores e geradores. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo com a metodologia para o dimensionamento de um sistema de proteção levando em consideração, aspectos de dimensionamento e cálculos específicos de corrente de curto circuito, correntes de sobre carga elaborando um cordenograma com as respectivas curvas de correntes temporizadas e correntes instantâneas determinando os parâmetros de ajustes apara as curvas de proteção exigida para aprovação de um projeto deste porte pela concessionaria de energia vigente no estado de Santa Catarina a CELESC.

**Palavras-chaves:** projeto de proteção e seletividade, energia elétrica, estudo.

## **ABSTRACT**

WEBER, Carlos Henrique. **Case study on network protection and selectivity of substation in the medium voltage sector.** Completion of course work - Electrical Engineering Course, University Center Unifacvest, Lages, 2019.

With the constant population growth and the increase of the purchasing power of a good part of the population, the quality of life has been growing continuously due to the large amount of products available that help directly in this point, many of these products are derived from large industrial parks. This being the initial point of view, the industries that produce to supply this demand need punctual deliveries of energy to continue producing and also expanding their levels not only to account for production but also to remain competitive in the increasingly demanding and competitive market. All in all these industries require timely deliveries of energy. An electrical design must meet the basic requirements of a protection system being effective in order to reduce downtime in the electric power supply, and also ensure the integrity of electrical system equipment such as transformers and generators. The objective of this work is to present a study with the methodology for the design of a protection system taking into consideration, aspects of design and specific calculations of current of short circuit, currents of overload elaborating a cordenogram with the respective curves of timed currents and instantaneous currents determining the parameters of adjustments to the protection curves required for approval of a project of this size by the energy concessionaire in force in the state of Santa Catarina, CELESC.

**Key words:** protection and selectivity design, electric power , design, study.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 - Corrente simétrica de curto-circuito.</i> .....	15
<i>Figura 2 – Corrente totalmente assimétrica.</i> .....	16
<i>Figura 5 – Sistema Elétrico de Forma Ilustrativa.</i> .....	17
<i>Figura 6 – Modelo do Setor Elétrico.</i> .....	18
<i>Figura 7 – Rede de Transmissão.</i> .....	20
<i>Figura 8 – Rede de Distribuição.</i> .....	21
<i>Figura 9 – Sistema de Proteção</i> .....	22
<i>Figura 10 – Diagrama unifilar de um sistema de proteção.</i> .....	24
<i>Figura 11 – Seletividade amperimétrica.</i> .....	26
<i>Figura 12 – Seletividade cronométrica.</i> .....	27
<i>Figura 13 – Esquema simplificado de seletividade lógica.</i> .....	28
<i>Figura 14 – Características de um disjuntor a Óleo.</i> .....	31
<i>Figura 15 – Ampola de um disjuntor a vácuo.</i> .....	32
<i>Figura 16 – Disjuntor acionado por disparo capacitivo com TC de proteção.</i> .....	33
<i>Figura 17 – Elo fusível e Chave fusível.</i> .....	34
<i>Figura 18 – Curva característica de um fusível tipo K.</i> .....	35
<i>Figura 19 – Dimensionamento de Chaves e Elos fusíveis (Para transformadores Trifásicos a óleo).</i> .....	36
<i>Figura 20 – Características das Curvas IEC.</i> .....	44
<i>Figura 21 – Dados do responsável técnico.</i> .....	53
<i>Figura 22 – Dados do cliente.</i> .....	54
<i>Figura 23 – Dados de Calculo</i> .....	55

<i>Figura 24 – Dados da concessionaria.</i> .....	55
<i>Figura 25 – Dados do transformador.</i> .....	56
<i>Figura 26 – Dimensionamento de TC e TP.</i> .....	56
<i>Figura 27 – Dados para parametrização e dimensionamento do gráfico.</i> .....	57
<i>Figura 28 – Subestação de medição e proteção acima de 300kVA.</i> .....	59
<i>Figura 29 – Diagrama Unifilar resumido.</i> .....	60
<i>Figura 30 – Dados do cliente fornecido pela concessionaria.</i> .....	61
<i>Figura 31 – Coordenograma de proteção do disjuntor da Celesc.</i> .....	62
<i>Figura 32 – Coordenograma de proteção.</i> .....	71

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Classificação das Curvas .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 2 – Tempo da Corrente ANSI .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 3 – Características do TC de proteção. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 4 - Dados da Curva Temporiza de Fase.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5 - Curva Temporiza de Fase .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 6 - Dados da Curva Temporiza de Neutro .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 7 - Curva Temporiza de Neutro.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 8 – Legenda do gráfico de coordenação da proteção. ....</i>	<i>72</i>



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI - American National Standards Institute

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

IEC - International Electrotechnical Commission

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers

NBR - Norma Brasileira

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

SIN - Sistema Interligado Nacional

TC - Transformador de Corrente

TP - Transformador de Potencial

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 OBJETIVOS GERAIS .....	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 METODOLOGIA.....	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1. CURTO-CIRCUITO .....	13
2.1.2 ANÁLISE DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO. ....	15
2.3. O SISTEMA ELÉTRICO .....	16
2.3.2 TRANSMISSÃO .....	19
2.3.3. DISTRIBUIÇÃO .....	21
2.4 PROTEÇÃO E SELETIVIDADE.....	22
2.4.1 SELETIVIDADE AMPERIMÉTRICA .....	25
2.4.2 SELETIVIDADE CRONOMÉTRICA .....	26
2.4.3 SELETIVIDADE LÓGICA .....	27
2.5. MECANISMOS DE PROTEÇÃO.....	29
2.5.1 DISJUNTOR.....	29
2.5.1.2 DISJUNTOR A ÓLEO.....	30
2.5.1.3 DISJUNTOR A AR COMPRIMIDO. ....	31
2.5.1.4 DISJUNTOR A VACUO. ....	31
2.5.2 ELO FUSÍVEL.....	33
2.5.3 RELÉS DE PROTEÇÃO .....	36
2.5.4 RELÉ DE SOBRECORRENTE .....	39
2.5.5. CURVA DE ATUAÇÃO .....	43

2.5.6 CORRENTE ANSI E INRUSH .....	45
2.5.7 TRANSFORMADORES DE PROTEÇÃO.....	47
2.6 FERRAMENTA UTILIZADA .....	52
<b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>58</b>
3.1 REQUISITOS PARA PROJETO .....	58
3.2 MEMORIAL DE CALCULO. ....	64
3.2.1 CALCULO DE CORRENTE NOMINAL DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA.....	64
3.2.2 CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO E ANSI DO TRANSFORMADOR. ....	65
3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE.....	66
3.3 ANALISE DOS RESULTADOS .....	72
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO A – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DA SUBESTAÇÃO. ....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO B – DIAGRAMA UNIFILAR.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO C – FUNÇÕES ANSI. ....</b>	<b>81</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população e o aumento do consumo, a cada dia as indústrias vem aumentando a sua produção para suprir essa demanda.

Para que as indústrias aumentem sua produção é necessário o aumento do consumo energético pelas mesmas. Assim para que o sistema elétrico de potência seja capaz de fornecer energia elétrica com qualidade no ponto de entrega com níveis de tensão e frequência equilibradas e a quantidade de energia ideal para o consumo requisitado pela planta, e necessário elaborar um projeto elétrico que atenda a todas essas necessidades respeitando padrões e normas.

Para se ter essa energia disponível no ponto de entrega com níveis de tensão e frequência equilibradas e a quantidade de energia ideal para o consumo requisitado pela planta, e necessário elaborar um projeto elétrico que atenda a todas essas necessidades respeitando padrões e normas e contando com vastos recursos financeiros e de mão de obra.

Para manter esse padrão é preciso ter um projeto muito bem planejado, construído de forma sólida e operado da melhor forma possível obedecendo a normas e critérios técnicos, e também dispor de recursos importantíssimos para a melhor implementação do mesmo.

Um sistema de transmissão de energia elétrica possui um elevado nível de complexidade, é praticamente impossível não ter nenhum tipo de perturbação no sistema elétrico. Essas complicações acontecem acarretando danos nos transformadores, geradores, linhas de transmissão ou distribuição. Com o intuito de evitar danos a esses equipamentos, são aplicados métodos de proteção. Esse sistema de proteção necessita ter um tempo de resposta rápido evitando danos severos e amenizando os efeitos destrutivos no sistema elétrico.

Segundo (Geraldo Kinderman,1997), para um sistema de proteção ser eficiente é necessário a elaboração de um estudo de seletividade. Neste contexto é levantado as necessidades do sistema averiguando a capacidade de isolar um determinado nível de curto-circuito que venha ocorrer, no menor intervalo de tempo possível, impossibilitando possíveis danos ao sistema elétrico.

Quando realizamos o pedido de alimentação em média ou alta tensão para a concessionária de energia, segundo o item 5.10.5.2 da norma técnica N-321.0002 da CELESC é exigido a apresentação de um memorial descritivo contendo os cálculos de seletividade dos equipamentos de proteção. Esse memorial precisa conter um desenho que demonstre a curva de proteção dos disjuntores, elos fusíveis, correntes de magnetização dos transformadores, corrente instantânea, corrente temporizada e especificar os itens a serem instalados. (CELESC,2016)

É bem comum a reprovação desses tipos de projetos elétricos devido ao encaminhamento dos memoriais de cálculo com erro de dimensionamento do projeto e nos desenhos das curvas de seletividade, devido aos métodos utilizados para se realizar esse tipo de projeto onde não se tem uma precisão adequada para a proteção dos sistemas elétricos, e para que eles atuem isolando o problema de forma correta da montante do sistema.

Um projeto elétrico contendo um estudo de seletividade, após ser encaminhado a concessionária de energia a Celesc, tem um prazo de avaliação entre 60 a 90 dias em média. Para a elaboração deste material o engenheiro eletricista responsável, deve realizar os respectivos cálculos levando em consideração as características dos materiais e a carga instalada. Durante o meu estudo de caso utilizarei uma ferramenta desenvolvida em Excel que traz maior comodidade e segurança ao profissional devido ao fato desta ferramenta ter maior precisão na montagem do gráfico logaritimico de proteção.

## 1.1 OBJETIVOS

Estabelecer um projeto elétrico para atender todos os critérios de proteção e seletividade exigidos para um bom funcionamento do sistema elétrico de potência.

### 1.1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do trabalho é realizar um estudo em uma subestação no setor de media tensão, situada no interior do município de Caçador, elaborando o estudo de um sistema de coordenação da proteção adequado para o caso, trazendo seletividade entre disjuntor da concessionária e o disjuntor da subestação do consumidor.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Apresentar um projeto de coordenação de proteção e seletividade.
- Elaborar um memorial de cálculo.
- Montar um cordenograma de proteção utilizado em sistemas elétricos de potência.
- Analisar os resultados obtidos.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

É comum um sistema elétrico estar exposto a falhas, muitas destas falhas acabam gerando transtornos na energia da rede e causam interrupções no fornecimento de energia aos consumidores, e conseqüentemente a redução na qualidade do serviço prestado. Por este motivo que cada vez mais vem se viabilizando projetos de proteção e seletividade do sistema elétrico, com o intuito de diminuir essas falhas, normalizando o fornecimento com mais eficiência em casos de possíveis sinistros na rede.

Segundo (Mamede Filho, 2013) a falha mais comum em um sistema elétrico de potência é sem dúvida o curto-circuito, acarretando altas correntes circulando pelo circuito causando danos, muitas das vezes irreparáveis para componentes interligados a mesma. Desta forma se mostra de extrema importância que o sistema de proteção seja eficaz para impedir que equipamentos do sistema sejam afetados, ocasionando maior confiabilidade ao sistema de proteção que contém diversos equipamentos de precisão como TP's e TC's, que sofrem severos danos a exposição a altos níveis de correntes e o súbito afundamento de tensão.

### 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho foi escrito com base em revisões bibliográficas, com a intenção de realizar um estudo de proteção e seletividade para uma subestação, levando em consideração as normas vigentes da concessionária de energia do estado de Santa Catarina a CELESC, como a norma de código N-321.0002 de título Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição. Que tem como finalidade estabelecer os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para a conexão de consumidores alimentados em tensão primaria de distribuição até 25kV e potência instalada acima de 75kW, na área em que abrange a região de concessão da Celesc Distribuição S.A.

Um projeto de proteção é uma das etapas mais importantes em um projeto elétrico, pois ele deve garantir a integridade do sistema elétrico sendo sensível, seletivo e veloz na tomada de decisão. Perante um defeito o elemento de proteção deve ter a autonomia para definir se a ocorrência é dentro ou fora da zona protegida. Acionando desta forma os elementos responsáveis “disjuntores”, pelas respectivas áreas protegidas o seu desligamento imediato.

O foco do trabalho é realizar um estudo do funcionamento adequado de uma subestação, e seus respectivos equipamentos de proteção, realizando uma revisão bibliográfica adequada ao tema escolhido.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos, contando com o primeiro capítulo sendo de introdução.

**Capítulo 2:** Neste capítulo foi realizado o referencial bibliográfico que fornece o devido embasamento teórico, para o desenvolvimento de um projeto de coordenação da proteção da subestação.

**Capítulo 3:** Este capítulo é referente ao estudo de caso de uma subestação, onde foi realizado um estudo voltado para a elaboração de um diagrama de coordenação de proteção entre disjuntor da concessionária de energia e o disjuntor da subestação de um cliente.

**Capítulo 4:** Contém a conclusão do trabalho

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1. CURTO-CIRCUITO

Segundo Sato e Freitas (2015). O sistema elétrico de potência está sujeito a diversas ocorrências que podem gerar perturbações severas podendo afetar o funcionamento do mesmo alterando os níveis de tensão, corrente, frequência e potência do sistema elétrico. Impactando diretamente nas normas operativas e colocando em risco a integridade dos equipamentos e da infraestrutura elétrica (instalações). São necessárias medidas para evitar que esses tipos de acontecimentos venham a afetar o sistema elétrico de forma mais grave, reduzindo as medidas corretivas para eliminar danos causados por este tipo de situação.

Segundo Sato e Freitas (2015), existem diversos tipos de perturbações em um sistema elétrico, mas a mais severa sem dúvida é o curto-circuito e o que impacta mais na importância desse estudo é a intensidade de corrente com que eles ocorrem pois o curto circuito é o mais comum dessas perturbações. Onde basicamente o curto ocorre no ponto de menor resistência entre um condutor energizado e outro, rompendo o isolamento entre fases ou entre fase e terra. A amplitude de um curto-circuito depende de vários fatores, dentre eles: tipos de curto-circuito, capacidade do sistema de geração, topologia da rede elétrica, tipo de aterramento do neutro dos equipamentos e dentre outros. Dentre os diversos tipos de curto o mais comum é os curtos-circuitos desequilibrados, e a maioria sendo entre fase-terra (curto-monofásico).

Mamede Filho (2013), curtos-circuitos são variações de grande porte da corrente elétrica que flui no sistema elétrico. Se não forem limitados no seu módulo e no tempo, danificam os componentes elétricos por meio dos quais são conduzidos. Enquanto os tempos permitidos nos eventos de sobrecarga podem chegar a vários segundos, entretanto o tempo de rotor travado pode ser tolerado, por exemplo, até aproximadamente 15 segundos, dependendo das características do motor. Os tempos permitidos para a duração dos curtos-circuitos não devem superar o valor de 2 segundos. Normalmente devem ser limitados entre 50 e 1000ms. Para tanto, os dispositivos de proteção devem ser extremamente velozes e os equipamentos de manobra, no caso os disjuntores e religadores, devem ter capacidade adequada para operar em condições extremas de corrente.



Segundo (MAMEDE FILHO,2017), é de grande valor para um projeto de proteção determinar através de um estudo as correntes de curto-circuito no sistema elétrico, sendo essencial para o projeto dos ajustes de proteção e especificação dos equipamentos. Para se ter a corrente de curto-circuito é necessário fazer um levantamento de toda a impedância desde a fonte geradora até o ponto de defeito, onde esses valores são de grande intensidade em pequenas frações de segundos.

Para (MAMEDE FILHO,2017), para se conhecer melhor as condições de um curto circuito, devemos analisar as diversas formas em que ocorrem um curto-circuito em uma rede de transmissão por exemplo. Dentre eles está o Curto-Circuito trifásico, onde esse curto se origina devido a tensão nas três fases se anulam em relação ao ponto que ocasionou o contato. Onde tem a maior intensidade, elas determinam os ajustem de proteção e a capacidade dos componentes a resistir temperaturas elevadas.

O curto-circuito bifásico, se origina pelo contato entre dois condutores de energia, onde circula uma corrente entre essas fases, e também pelo contato de duas fases com o terra, no caso um curto “bifásico terra”.

Curto-circuito Fase-Terra, segundo (MAMEDE FILHO,2017), este é o tipo de falta mais frequente em sistemas de potência, e ele é ocasionado quando há contato franco entre uma fase e a terra. O curto-circuito “franco” ou “metálico”, é quando a resistência ôhmica entre o condutor de fase e o terra é muito próximo a zero.

Dentro do estudo de curto-circuito, segundo (KINDERMANN, 1997) existem duas situações que definem resumidamente as perturbações por curto circuito nos sistemas elétricos de potência. O primeiro e o curto-circuito permanente como o próprio nome já diz, esse tipo de curto são do tipo irreversível espontaneamente, necessitando de conserto na rede para restabelecer o sistema elétrico. Após a abertura do disjuntor, a equipe de manutenção deve se deslocar até o local do defeito, e somente depois de resolver o problema deve comunicar a central de operações para reestabelecer a alimentação do disjuntor, religador ou chave seccionadora.

Outra forma é o curto-circuito temporário, onde são aqueles que se originam de alguma anomalia passageira, como um pássaro se chocando na rede, fortes tempestades ou até mesmo um galho que se desprende de uma árvore atingindo a rede. Em alguns casos o religador automático ira religar a rede sem precisar da ação humana para executar o religamento.

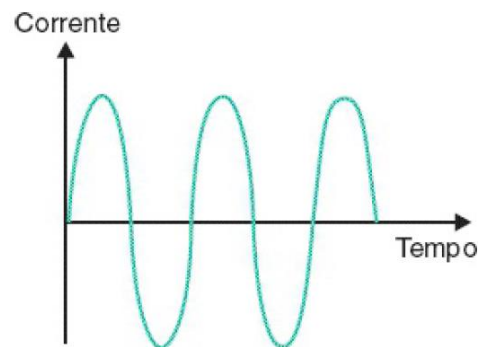
Segundo (KINDERMANN, 1997), apontou em seu material um estudo de caso onde ele aponta um defeito muito comum, que se chama disrupção de arco elétrico (flashover). Isso se origina pois o isolador enfraquecido contaminado por poeira, salinidade, poluição, umidade produz uma corrente de fuga por sua superfície. A sobre tensão gerada induzida na rede provoca disrupção no isolador, ionizando o ar e formando um arco elétrico.

### 2.1.2 ANÁLISE DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO.

O autor MAMEDE FILHO (2017), traz uma análise gráfica das correntes de curto-circuito ao longo de todo o período de permanência da falta assumem formas diversas quanto á sua posição em relação ao eixo de tempo.

A corrente simétrica de curto-circuito, ocorre devido ao longo período em que esta corrente permanece no sistema, ela é utilizada nos cálculos a fim de determinara capacidade que devem possuir os equipamentos para suportar os efeitos térmicos correspondentes. Resumidamente a corrente simétrica de curto-circuito e uma componente senoidal de corrente elétrica, que se forma simetricamente em relação ao eixo de tempo (MAMEDE FILHO (2017)).

Figura 1 - Corrente simétrica de curto-circuito.



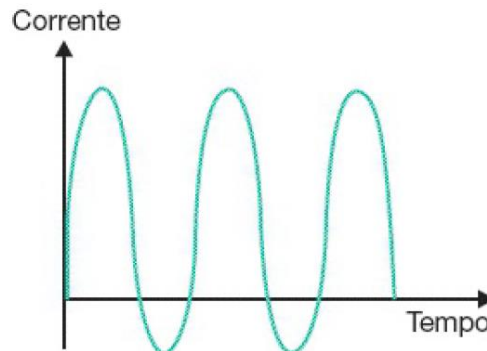
Fonte: MAMEDE FILHO (2017).

A corrente assimétrica de curto-circuito, assim como a corrente simétrica é uma componente senoidal de corrente elétrica que se forma de maneira simétrica em relação ao eixo dos tempos e pode assumir as seguintes características.

- Corrente simétrica como na figura 1.
- Corrente totalmente assimétrica como na figura 2.

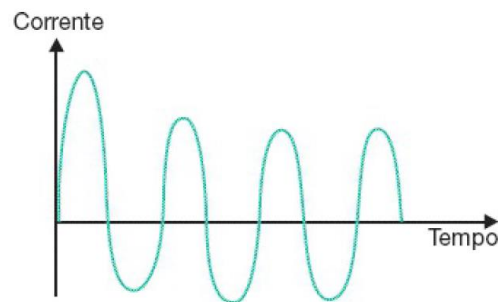
- Corrente assimétrica e simétrica como na figura 3.

Figura 2 – Corrente totalmente assimétrica.



Fonte: MAMEDE FILHO (2017).

Figura 3 - Corrente assimétrica e simétrica.



Fonte: MAMEDE FILHO (2017).

### 2.3. O SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico, conforme a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) (2017), pode ser dividido em quatro fases geração, transmissão, distribuição e consumo. E pode ser representado da seguinte forma como na Figura 6. --

Figura 3 – Sistema Elétrico de Forma Ilustrativa.



Fonte: (ABRADEE,2017).

Ainda segundo a ABRADDEE(2017), a geração é o segmento da indústria da eletricidade responsável por produzir a energia elétrica e injetar nos meios de transporte (transmissão e distribuição). O Brasil segundo ANEEL, possui uma potência instalada de 151.763.368 kW distribuídos em 4.675 empreendimentos geradores em operação.

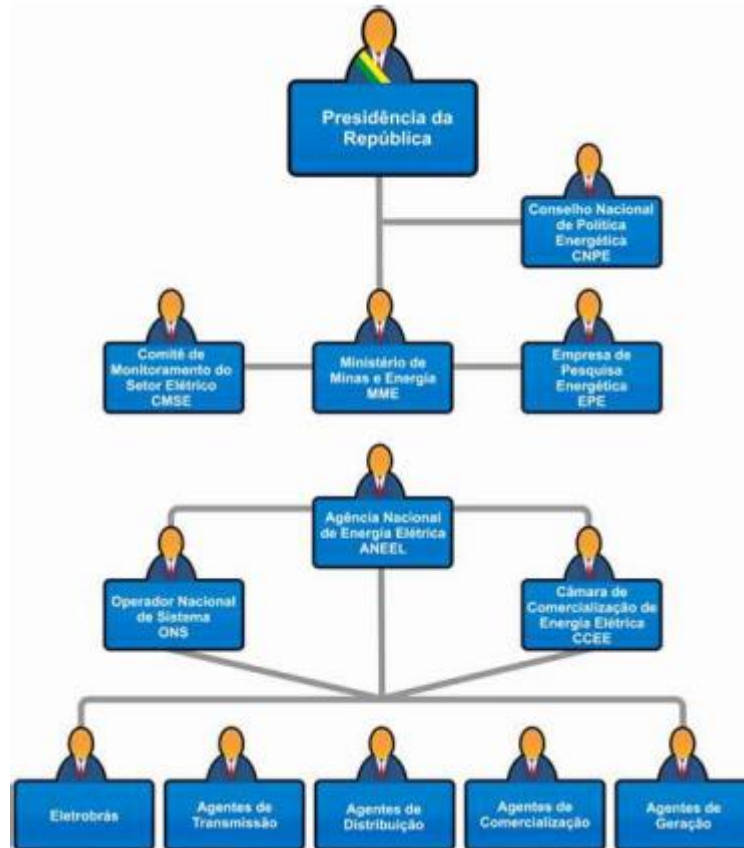
Segundo Pinto (2014, p.64) as linhas de transmissão tem como sua função primaria transportar a energia elétrica, com o mínimo de perda, do lugar aonde é gerada até os centros de cargas, geralmente separados por distâncias elevadas”. Esse transporte é realizado através de linhas de transmissão formadas por torres, cabos, isoladores, para-raios entre outros componentes, operando com tensão igual ou superior a 230kV.

Segundo a ABRADDEE(2017), no ano de 2017, disse que no Brasil existem 77 concessionárias de transmissão de energia elétrica, administrando mais de 100 mil km de linhas. Destes, 55 mil km são administrados pela Eletrobrás.

A energia elétrica chega até os pontos de consumo através das redes de distribuição. Estas operam com tensões abaixo de 230 mil volts, no país segundo a ANEEL (2015) existem 114 agentes públicos, privados e de economia mista, entre elas estão as 63 concessionarias, 38 permissionárias e 13 autorizadas que são responsáveis pela distribuição da energia elétrica.

Entre 2003 e 2004, conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2017), o governo baseado nas leis nº 10.847 de 2004 e no decreto nº 5.163 do mesmo ano, formou um novo modelo de Setor elétrico, que está organizado conforme a figura ilustrativa abaixo.

Figura 4 – Modelo do Setor Elétrico.



Fonte (ABRADEE, 2017).

Este modelo de distribuição visa atingir três objetivos de suma importância. (ONS, 2017, p. 01):

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária;
- Promover a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

Sobre o aspecto técnico segundo ABRADEE (2017, p, 6),” existem agentes de governo responsáveis pela política energética do setor, sua regulamentação, operação centralizada e comércio de energia”. Estes estão ligados a geração, transmissão e distribuição.

As atividades de governo são exercidas pelo CNPE, MME e CMSE. As atividades regulatórias e de fiscalização são exercidas pela ANEEL. As atividades de planejamento, operação e contabilização são exercidas por empresas públicas ou de direito privado sem fins lucrativos, como a EPE, ONS e CCEE. As atividades

permitidas e reguladas são exercidas pelos demais agentes do setor: geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores. (ABRADEE, 2017, p, 6).

Dentro do sistema elétrico existem diversos órgãos de iniciativa privada e pública que regem diversas áreas de atuação do SIN. Sendo assim temos,

Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação de uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE); uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE); e uma instituição para dar continuidade às atividades do Mercado Atacadista de Energia (MAE), relativas à comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (ONS, 2017, p.1).

Ficou evidente que o órgão responsável pela fiscalização de todas as concessionárias de energia elétrica é a ANEEL.

### 2.3.2 TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão é um dos componentes mais importantes do sistema elétrico de potência, pois ele é responsável pela transmissão de níveis elevados de energia elétrica até o ponto de consumo. Por fazer parte de um sistema de grande porte uma linha de transmissão nada mais é do que um conjunto de componentes elétricos responsáveis pelo transporte da energia elétrica, sendo composto na sua maior parte por condutores, torres de transmissão, condutores, para-raios e isoladores. Um efeito muito conhecido destas linhas de transmissão são os campos elétricos gerados ao energizar o circuito, onde estes campos estão presentes desde a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. (PINTO,2014)

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica a ABRADEE (ABRADEE, 2018), o Brasil contém mais de cem mil quilômetros de linhas de transmissão, e 77 concessionárias de energia, que administram essas linhas. Devido à grande demanda e também grandes distancias para se transportar a energia das fontes de geração até o centro de consumo o Brasil tem elevados níveis de tensão na transmissão, boa parte acima de 230mil Volts.

O projeto de dimensionamento de uma linha de transmissão é complexo levando em consideração diversos fatores como dimensionamento de condutores e principalmente o

dimensionamento de estruturas que resistam a ações do tempo como rajadas de vento, umidade, descargas atmosféricas. Os condutores são presos a estrutura da torre de transmissão, exercendo uma força considerável ao ponto de apoio (ZANETA,2015).

O sistema elétrico tem dois tipos de transmissão, sendo elas em corrente alternada e em corrente contínua. Dois sistemas que trabalham de formas diferentes, tendo características diferentes, utilizadas para as mesmas situações só que com resultados diferentes. A transmissão em corrente contínua contém dois polos, negativo e positivo, onde a transmissão feita neste modelo necessita de um conversor que converta de CC para CA, pois praticamente nenhum sistema de potência trabalha com cargas em corrente contínua, salvo algumas exceções estas condições são muito situacionais. Já um ponto positivo é que a rede tem um índice de perda dielétrica menor e não possuem indutâncias e reatâncias (PINTO,2014).

Dados estatísticos confirmam que a transmissão em corrente alternada é a mais utilizada no nosso sistema elétrico, onde se consegue gerar com níveis de tensão elevado, e durante o trajeto o uso de transformadores viabiliza o acoplamento de unidades consumidoras, transformando para níveis de tensão requisitado pelo sistema. Porém o sistema se torna mais complexo devido a fatores complexos como impedâncias, reatâncias que variam conforme a carga instalada ao longo da linha, e outro ponto é o aumento do diâmetro dos condutores devido ao elevado valor de corrente (PINTO, 2014).

Figura 5 – Rede de Transmissão.



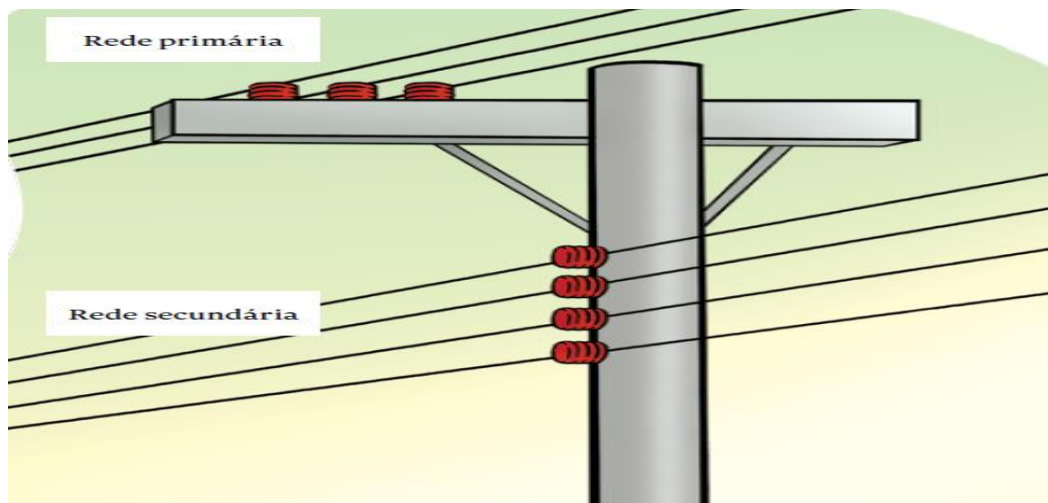
Fonte: (Biomassa BR, 2017)

### 2.3.3. DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição faz parte do sistema elétrico, sendo ela a responsável pela parte de distribuição da energia elétrica para rede primária e secundária da concessionária de energia, interligando o consumidor a rede de energia com os níveis de tensão entre MT a BT.

As subestações de distribuição, ao contrário das de transmissão, estão localizadas nos próprios centros urbanos, já que são elas que distribuem a energia para as redes de distribuição. (ABRADEE, 2018, web).

Figura 6 – Rede de Distribuição.



Fonte: (ABRADEE, 2018, web).

Uma rede de distribuição segundo (ABRADEE,2018, web), é composta por quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica, sendo eles:

- Rede de distribuição aérea convencional, que é a rede elétrica mais utilizada no Brasil.
- Rede de distribuição aérea compacta: Que começou a ser implementada depois da década de 90, tendo como a principal característica ser mais protegida que a rede convencional citada anteriormente, pois ela possui uma camada de isolamento que fornece proteção ao condutor contra exposição climática e curto circuitos entre fases.

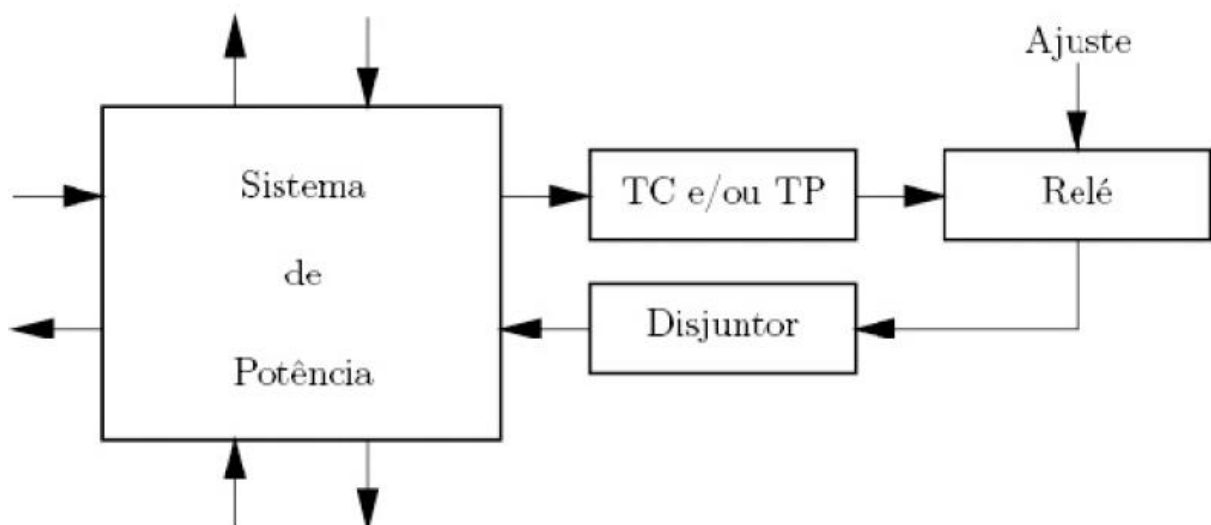


- Rede de distribuição aérea isolada: Este tipo de rede é utilizada em situações especiais, onde necessita de uma compactação e entrelaçamento dos condutores, pois sua isolação é robusta e suporta a tensão mecânica necessária.
- Rede de distribuição subterrânea: Este tipo de rede é a que traz maior retorno estético e um bom nível de confiabilidade, pois os condutores ficam em galerias subterrâneas protegidos de ações climáticas etc. É utilizada em locais onde se tem uma demanda de energia considerável e é preciso manter a afiação longe dos olhos de pessoas, como por exemplo em centros históricos, praças, vias gastronômicas etc.

## 2.4 PROTEÇÃO E SELETIVIDADE.

Para manter uma boa operação e a integridade dos componentes elétricos, o sistema elétrico deve ser protegido contra curtos-circuitos e demais situações que causam avarias no sistema. Quando há ocorrência desses eventos, há a necessidade de isolar a parte submetida a correntes de falta do restante da rede elétrica, trazendo assim comodidade para a operação evitando danos e demais influencias negativas ao sistema. A ideia de um sistema de proteção é atuar de forma rápida e eficaz, e para isso é necessário que aja integridade nas informações repassadas de um sistema de medição para meios analisadores e conseqüentemente para um dispositivo de atuação, (SATO; FREITAS, 2015), como representado na figura abaixo.

Figura 7 – Sistema de Proteção



Fonte: (SATO; FREITAS, 2015).

Um sistema elétrico de potência, trabalha com elevados níveis de tensão e corrente, devido ao seu alto nível de potência. Essa é uma característica intrínseca do próprio sistema, para se ter uma proteção que atue de forma precisa é necessário a utilização de equipamentos que diminuam relativamente esses níveis elevados para padrões menos perigosos para o sistema de leitura. Estas condições são monitoradas constantemente, através de um sistema de transformadores (TC e TP), que diminuem os valores de corrente e tensão, onde o valor de corrente e tensão no seu primário são refletidos no secundário, com valores de escalas. Existem diversos tipos comerciais como por exemplo TC com relação de transformação de 1000:5, 750:5, 250:5, 100:5, 75:5 e assim por diante.

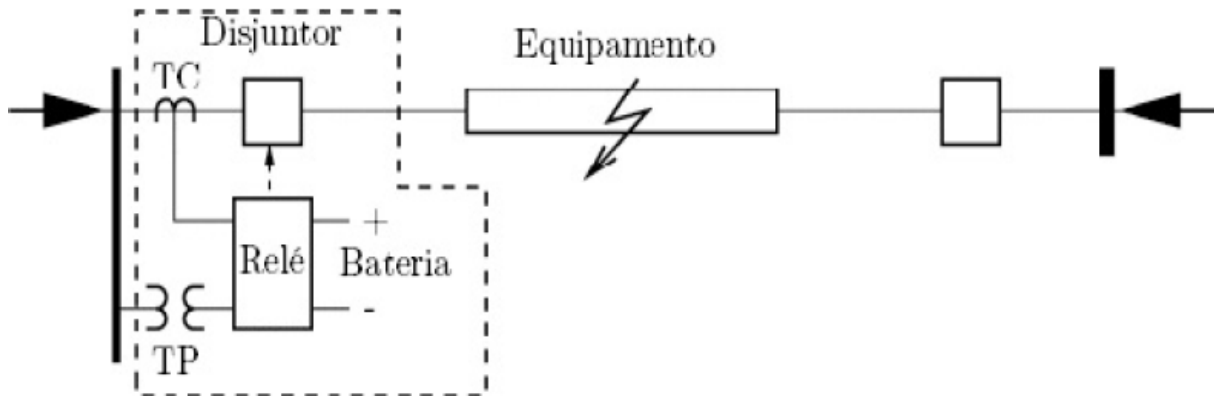
Segundo (SATO; FREITAS, 2015), os principais componentes de um conjunto de proteção são:

- 1) Transformadores de instrumento: são equipamentos capazes de reduzir medidas de correntes(TC) e de tensão (TP), que tem como finalidade isolar os circuitos de alta tensão, e também a padronização de relação de transformação.
- 2) Relé de proteção: O relé de proteção é um componente do sistema de proteção, que é responsável pela tomada de decisão através de análise de valores definidos na sua parametrização, em relação a valores de corrente e tensão fornecido pelos TCs e TPs da subestação.
- 3) Disjuntor de alta tensão: O disjuntor é o equipamento de proteção mais importante do sistema elétrico, pois ele é responsável pelo seccionamento imediato do circuito energizado, submetido a correntes de curto-circuito. Isolando a parte que apresenta anomalia do restante do sistema.

Um sistema de proteção deve estar sempre à disposição, pronto para intervir em uma situação em que represente perigo para o funcionamento do sistema. Uma subestação segundo (SATO; FREITAS, 2015), deve conter uma fonte auxiliar de energia, evitando que em casos do corte no fornecimento de energia ao sistema de proteção, ele atue suprindo a demanda de energia do sistema evitando que o sistema pare, consequentemente garantindo a integridade e segurança da instalação protegida. O autor traz a sugestão de incorporar um sistema de alimentação de corrente contínua através de um banco de bateria controlado por um nobreak. Contendo uma quantidade de Amperes Horas suficiente para manter a subestação energizada

por no mínimo 3 horas após o corte do fornecimento de energia. O diagrama unifilar da figura 10, representa um sistema de proteção com alimentação auxiliar de um banco de baterias.

Figura 8 – Diagrama unifilar de um sistema de proteção.



Fonte: (SATO; FREITAS, 2015).

Para demonstrar o funcionamento de um sistema típico de proteção, que atua monitorando correntes temporizadas e instantâneas de neutro e de fase. O diagrama abaixo da figura 11, demonstra um sistema de proteção na íntegra, com os seus devidos componentes distribuídos da forma mais coesa possível.

A seguir, são listados os passos da atuação deste sistema, após a ocorrência de um curto-circuito.

Estes dados são enviados para o relé que faz as comparações dos sinais recebidos com parâmetros pré-ajustados de forma a garantir a atuação dos componentes responsáveis pelo seccionamento do circuito elétrico. Segundo Kindermann (1999), o principal foco deste relé é comandar um disjuntor, onde diferente dos disjuntores de baixa tensão ele é teleguiado por um mecanismo externo, e não por efeitos termomagnéticos. Para aumentar a segurança do sistema de proteção, o relé é operado através de transformadores de potencial e corrente, que diminuem elevados níveis de tensão e corrente para maior comodidade do mesmo.

Conforme Viana Filho (2010), o sistema de proteção deve possuir as seguintes características:

a) **Confiabilidade:** A confiabilidade, quer dizer que o sistema deve atuar perfeitamente conforme projetado independente de qualquer situação.

b) Coordenação e Seletividade: Cada equipamento deve atuar dentro de sua zona de proteção desligando somente o trecho da rede que está realmente com problema, evitando assim que o sistema seja desligado desnecessariamente.

c) Velocidade: Assim que ocorre o problema o trecho deve ser desligado mais rápido possível, pois quanto menos tempo o sistema ficar sob efeitos do curto-circuito menor serão os danos causados.

d) Sensibilidade: O sistema de proteção deve ter a menor tolerância possível, isso é deve atuar como foi projetado com faixa de tolerância muito pequena.

Conforme aborda Caminha (1977), a proteção por meio dos relés tem duas funções: onde a principal é desconectar o sistema que está tendo um defeito ou operando fora dos limites estabelecidos; A secundária é indicar a localização e especificar o defeito, reduzindo o tempo de recuperação do sistema.

Seletividade é a característica que deve ter um esquema de proteção que, quando submetido a correntes anormais, possibilita a atuação do elemento de proteção mais próximo do defeito, de maneira a desenergizar somente a parte do circuito afetado (MAMEDE FILHO, 2017, pg. 1168).

Segundo Mamede Filho (2013), seletividade é a capacidade de um sistema de proteção deve possuir de isolar as partes submetidas a correntes anormais, fazendo com que atue os dispositivos responsáveis pela interrupção e seccionamento do mesmo. Um projeto de proteção, cada elemento que integra o sistema de proteção deve ter uma área de abrangência, denominada como área de proteção.

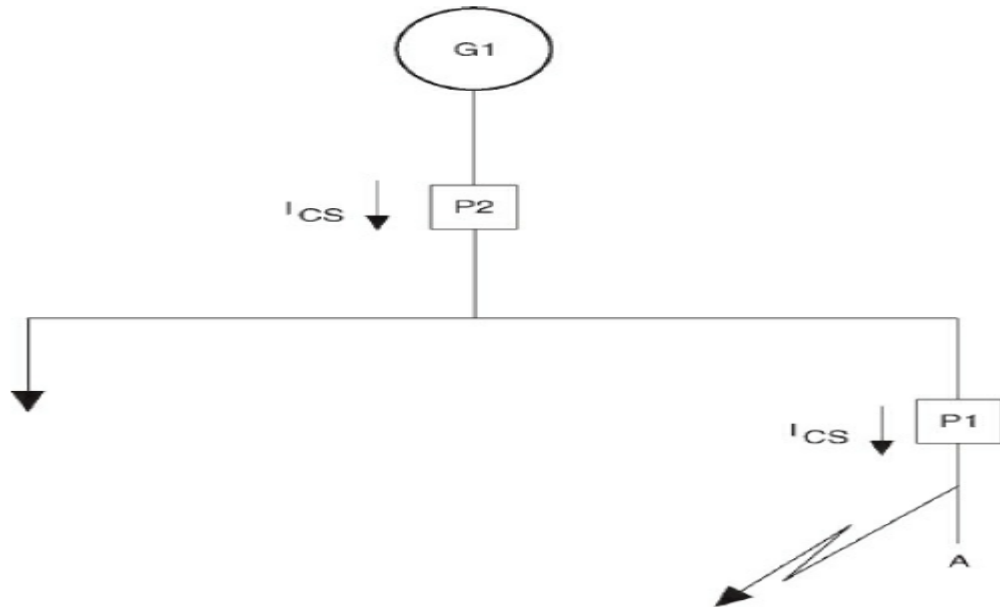
Segundo Mamede Filho (2013), existem três tipos de seletividade:

#### 2.4.1 SELETIVIDADE AMPERIMÉTRICA

E determinada seletividade por corrente, este conceito baseia-se no princípio de que as correntes de curto circuito ficam maiores ao se aproximar das fontes geradoras. Ela é mais

utilizada em sistemas que operam em baixa tensão devido a valores de impedâncias maiores do que em sistemas de média ou alta tensão.

Figura 9 – Seletividade amperimétrica.

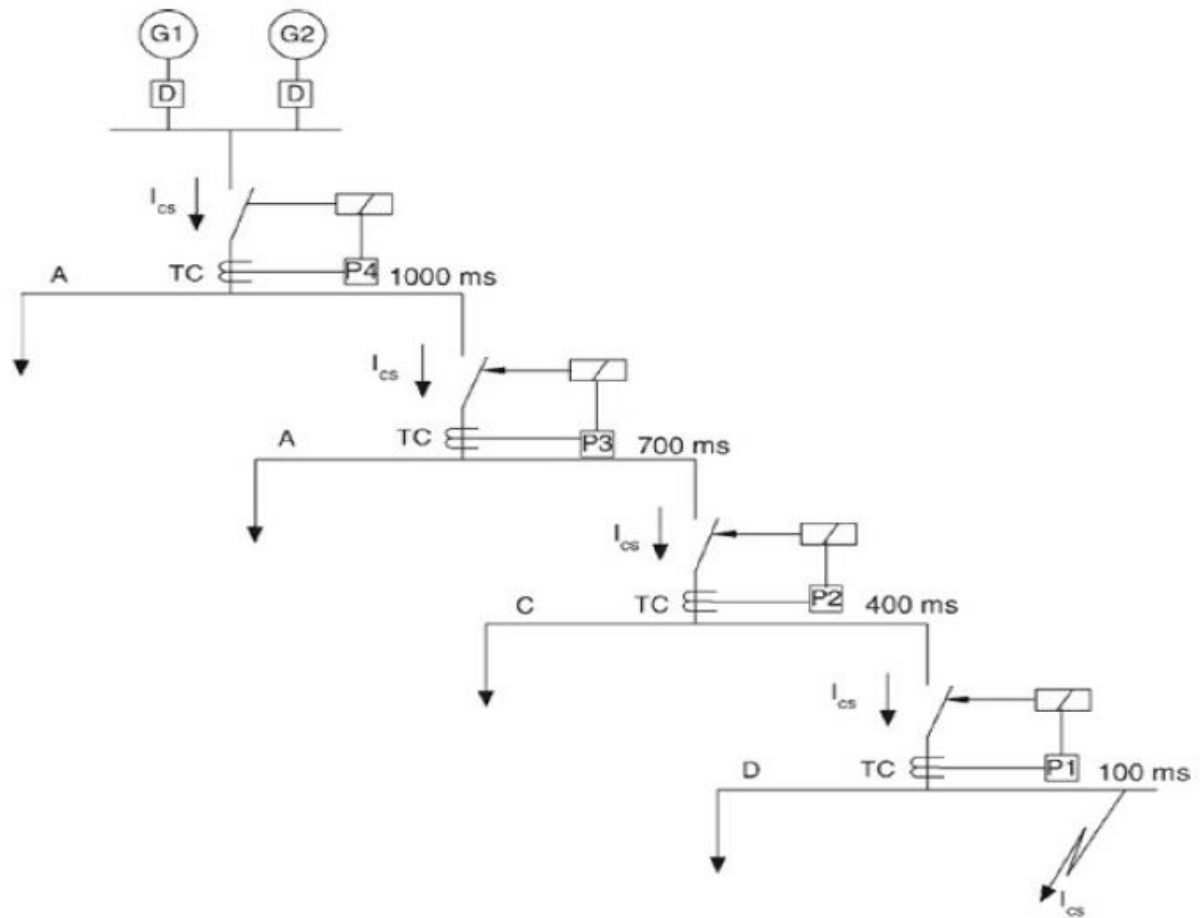


Fonte: (MAMEDE FILHO, 2019).

#### 2.4.2 SELETIVIDADE CRONOMÉTRICA

Este tipo de proteção baseia-se no conceito de que a proteção mais próxima ao ponto de defeito, atue antes das proteções dispostas a montante do defeito, regulando o tempo de atuação onde o que está mais próximo tenha um tempo a exposição de valores de corrente menor que a proteção está a montante dela. Para exemplificar um sistema que atue desta forma, observando a Figura 13 onde é demonstrado um sistema de proteção com mecanismos de proteção dispostos em um circuito conforme a proximidade da área de defeito  $I_{cs}$ , menor é o tempo de atuação trazendo seletividade cronométrica ao sistema de proteção.

Figura 10 – Seletividade cronométrica.

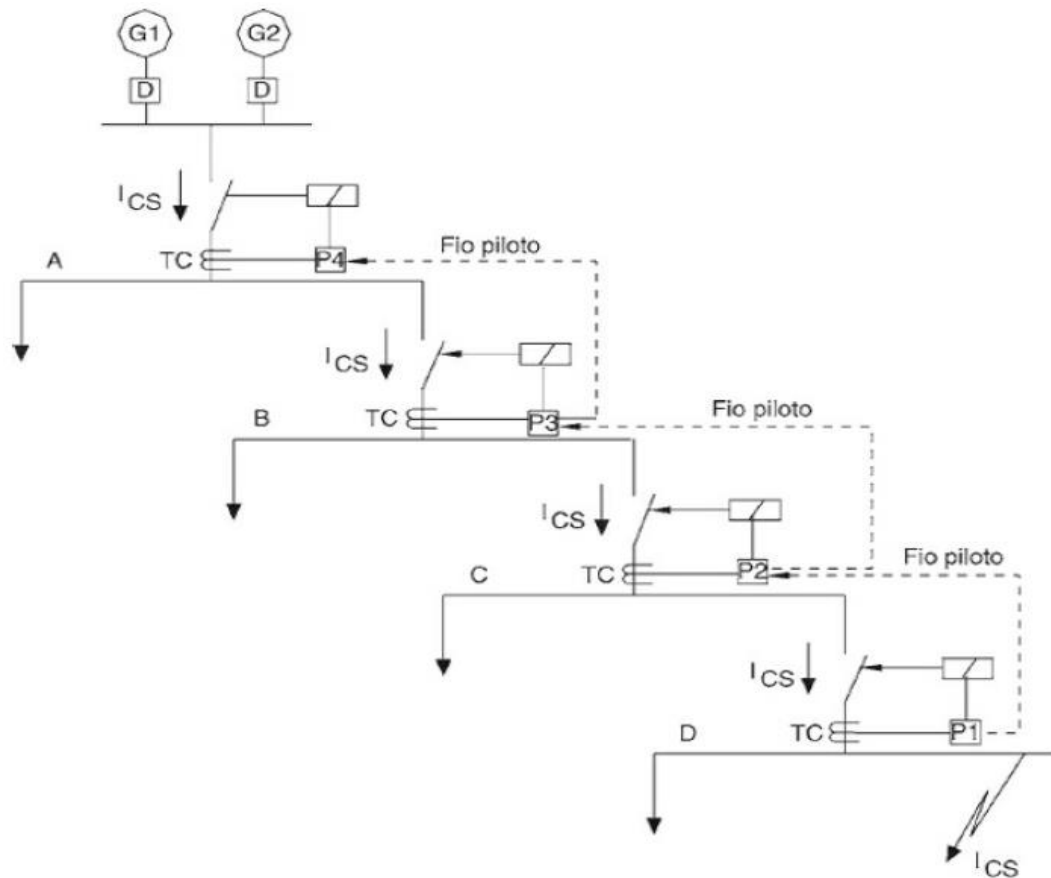


Fonte: (MAMEDE FILHO, 2019).

### 2.4.3 SELETIVIDADE LÓGICA

Seletividade lógica é o conceito mais atual de seletividade que surgiu com os relés digitais onde se permite realizar uma proteção com maior agilidade em um tempo menor mantendo as características da seletividade. Através de uma proteção por sobrecorrente e um sistema de comunicação faz com que se possa realizar uma seletividade; Os relés são conectados pelo cabo de comunicação que transmite o sinal lógico de bloqueio.

Figura 11 – Esquema simplificado de seletividade lógica.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2019).

Um estudo de seletividade é composto por um coordenograma, que facilita a visualização da curva de atuação da proteção. Este coordenograma é baseada em um gráfico com escalas logarítmicas, onde o eixo X é determinado pela corrente e o eixo Y tempo (CEMIG, 2017).

Segundo Mamede Filho (2017), o coordenograma é o principal quesito para um sistema de proteção ter seletividade, pois é ele quem determina os valores de corrente para determinados pontos. A seguir os pontos que devem conter em um coordenograma de proteção.

1. As correntes de curto-circuito;
2. As curvas dos elos fusíveis (inferior e superior);
3. As curvas de proteções da concessionária;
4. O ajuste de proteção sobrecorrente instantânea (ANSI 50);
5. A curva de proteção sobrecorrente temporizada (ANSI 51);

6. O ponto Ansi entre 2 e 5 segundos;
7. O ponto de magnetização também chamado Inrush, tempo de 100 ms.

As funções ANSI são códigos numérico que determinam o tipo de proteção que o relé atende, onde ele pode ser fabricado, para atuar somente a uma função denominado monofunção ou multifunção quando se tem duas proteções ou mais no mesmo relé (MAMEDE FILHO, 2013).

O número correspondente a função foi padronizada pela IEEE C37.2, onde é composto de um número e também de alguns sufixos. Onde a principal intenção é facilitar a interpretação de equipamentos de proteção e diagramas elétricos. Cada função tem nomenclatura (IEEE C37.2, 2008).

## 2.5. MECANISMOS DE PROTEÇÃO

Segundo Mamede Filho (2013), existem dois dispositivos para a proteção de sistemas elétricos sendo eles os fusíveis e os relés. Os fusíveis operam pela fusão de um elemento metálico conforme sua curva de tempo x corrente, quando ultrapassa o valor especificado do fusível ele rompe assim trazendo proteção ao sistema. Os relés têm uma funcionalidade mais ampla, onde podem identificar o defeito, através de medidas analógicas que são recebidos dos transformadores de corrente ou potência e através dessa análise determinam o que é necessário para manter a proteção e a seletividade no sistema elétrico

### 2.5.1 DISJUNTOR

Um disjuntor é o equipamento mais importante de um sistema elétrico, devido a sua alta confiabilidade, onde ele deve realizar a interrupção de correntes elétricas no circuito e também o restabelecimento do mesmo. Disjuntores de alta tensão sempre serão teleguiados por relés de proteção que serão responsáveis por analisar valores de corrente e de tensão com intuito de acionar o disjuntor caso aja alguma anomalia no sistema elétrico. Sem os relés de proteção um disjuntor se torna praticamente apenas uma chave de seccionamento do circuito elétrico. Onde ele não terá a eficiência desejada e a autonomia necessária. (Mamede Filho, 2005).



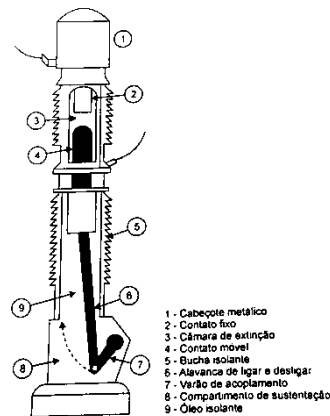
Segundo Barros e Gedra (2009), um disjuntor de alta tensão tem a capacidade de extinguir um arco elétrico na sua origem, ou seja quando ocorre um seccionamento inesperado com um valor elevado de corrente, há a formação de um arco elétrico devido a passagem de corrente elétrica pelo ar. O ar é um meio isolante mas devido a rigidez dielétrica, os valores de campo eletromagnético tem de ser muito elevado para que este ar antes isolante passe a ser um condutor. Este efeito gera elevadas temperaturas, caso o dispositivo de proteção demore para atuar e extinguir este arco elétrico pode acarretar severos danos aos componentes de proteção. Sem dúvida o momento mais crítico do sistema de proteção é a abertura de um disjuntor de alta tensão em uma condição, onde circula correntes de curto circuito por seus contatos, o modelo que define o tipo de disjuntor é justamente a característica de extinção de arco que cada tipo de disjuntor possui. Alguns dos modelos são:

1. Disjuntor a óleo.
2. Disjuntor a ar comprimido.
3. Disjuntor a vácuo.

#### 2.5.1.2 DISJUNTOR A ÓLEO

Segundo Barros e Gedra (2009), são do tipo de disjuntores que utilizam óleo isolante como meio de extinguir o arco elétrico, basicamente existem dois tipos de disjuntores a óleo onde eles são classificados como (GVO) e (PVO). Onde o GVO quer dizer grande volume de óleo e o PVO pequeno volume de óleo, basicamente o que os diferencia é justamente a capacidade de armazenamento de óleo no seu interior.

Figura 12 – Características de um disjuntor a Óleo.



Fonte: (BARROS E GEDRA, 2009).

### 2.5.1.3 DISJUNTOR A AR COMPRIMIDO.

Um disjuntor a ar comprimido trata-se de um dispositivo de proteção que utiliza como meio de extinção do arco elétrico a injeção de fortes rajadas de ar comprimido, com o intuito de aumentar a rigidez dielétrica do ar evitando arco elétrico.

Durante o seu funcionamento acontece o acionamento de um mecanismo compressor de ar, que injeta este ar com a pressão e velocidade necessária para a extinção do arco elétrico. Segundo (SATO; FREITAS, 2015) basicamente esse procedimento é realizado com o enclausuramento de grandes quantidades de ar comprimido em uma câmara de extinção de arco elétrico, injetando nos contatos quando acontece a abertura direcionando um fluxo de ar sobre o arco elétrico.

Segundo (BARROS; SEDRA, 2009), este processo possui como vantagens:

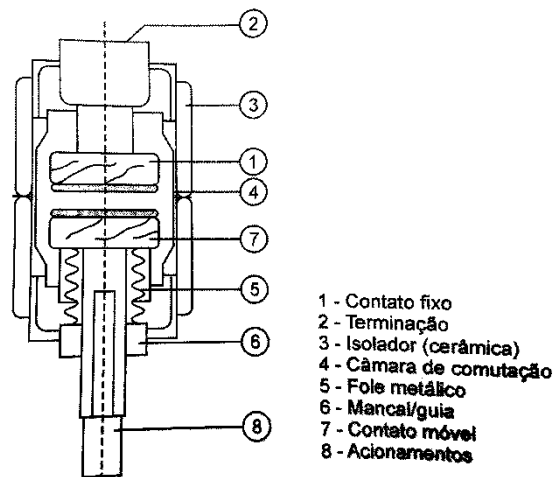
- a) Agilidade na atuação;
- b) Meio de extinção não inflamável e sem contaminação do meio ambiente.
- c) Excelente capacidade de extinção do arco elétrico.
- d) Abundância de recursos de material dielétrico (ar).

### 2.5.1.4 DISJUNTOR A VACUO.

São disjuntores que utilizam do vácuo gerado dentro de uma câmara para a extinção do arco elétrico. Segundo (BARROS; GEDRA, 2009) é um dos mais eficientes para evitar o arco

elétrico na abertura dos contatos do disjuntor, devido ao vácuo n utilizar gases e consequentemente o vácuo n tem deterioração conforme o tempo devido as câmeras serem hermeticamente isoladas e por não possuir gás no seu interior. A câmara de extinção é um recipiente de porcelana ou vidro vitrificado, totalmente vedado do meio externo. Este tipo de disjuntor é amplamente utilizado devido a sua alta eficiência e longa vida útil, atuando em níveis altos de tensão como 13,8kV a 34,5kV. Outra característica importante segundo (BARROS; GEDRA, 2009) este dispositivo utiliza ampolas que podem ser trocadas individualmente caso aconteça alguma falha, devido a deterioração do material, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 13 – Ampola de um disjuntor a vácuo.



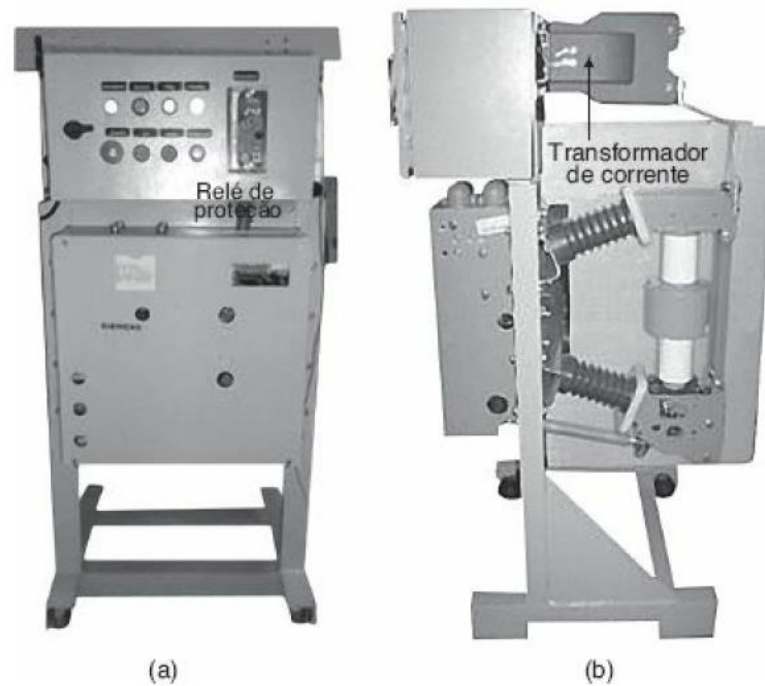
Fonte: (BARROS; GEDRA, 2009).

Segundo (SATO; FREITAS ,2015), o tempo de interrupção de um disjuntor tem de ser o mais rápido possível, este tempo é determinado em ciclos e o máximo de ciclos sem que o disjuntor atue para a proteção correta do próprio dispositivo e da instalação está entre 2 a 5 ciclos, o que pode variar de um modelo de disjuntor para o outro.

Para especificar um disjuntor para certa aplicação segundo Mamede Filho (2013), é necessário levar em consideração algumas características da rede:

- a) Tensão nominal da rede;
- b) Corrente nominal da instalação que passara pelo disjuntor;
- c) Corrente de curto circuito máxima, que a instalação pode atingir;
- d) Compatibilidade do disjuntor com sistemas de monitoramento via relés.

Figura 14 – Disjuntor acionado por disparo capacitivo com TC de proteção.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2019).

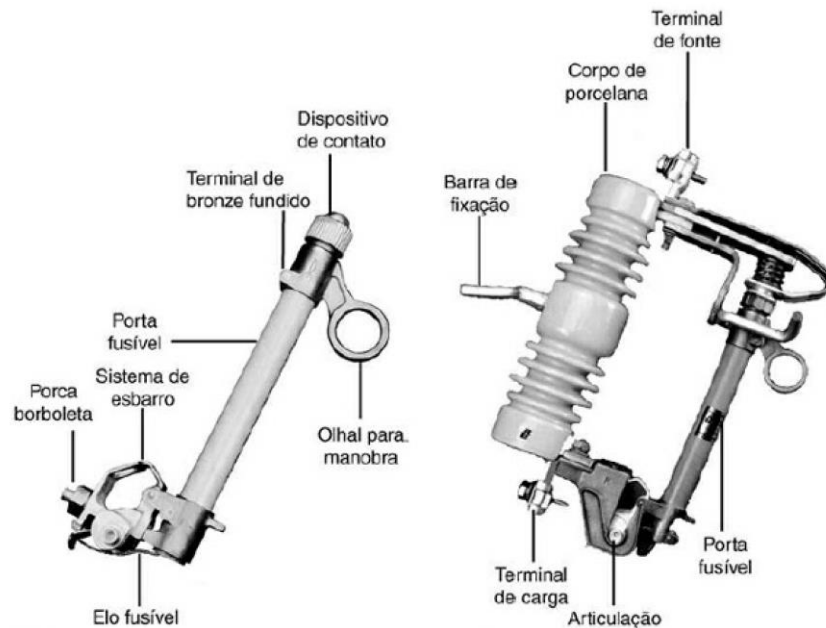
### 2.5.2 ELO FUSÍVEL

Segundo Mamede Filho (2017), é um dispositivo de proteção do sistema elétrico de potência constituído de porcelana, com dimensões específicas para suportar a tensão e corrente a qual foi dimensionado, o qual tem formato de tubo, o elo fusível vai inserido dentro de um tubo que é constituído de fenolite ou fibra de vidro, que serve para isolar o elo do meio externo.

Tanto kindermann (1997) quanto Mamede (2016), concordam que os fusíveis protegem o sistema se fundindo, ou se destruindo, considerando as características tempo e corrente a qual são submetidos no momento de uma sobrecarga, curto circuito, sobre tensão ou subtensão.

Segundo Mamede Filho (2017), o elemento fusível é muito utilizado em redes de distribuição, onde tem o papel de proteção de sobrecorrentes conforme Figura demonstra a composição de uma chave fusível

Figura 15 – Elo fusível e Chave fusível.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2013).

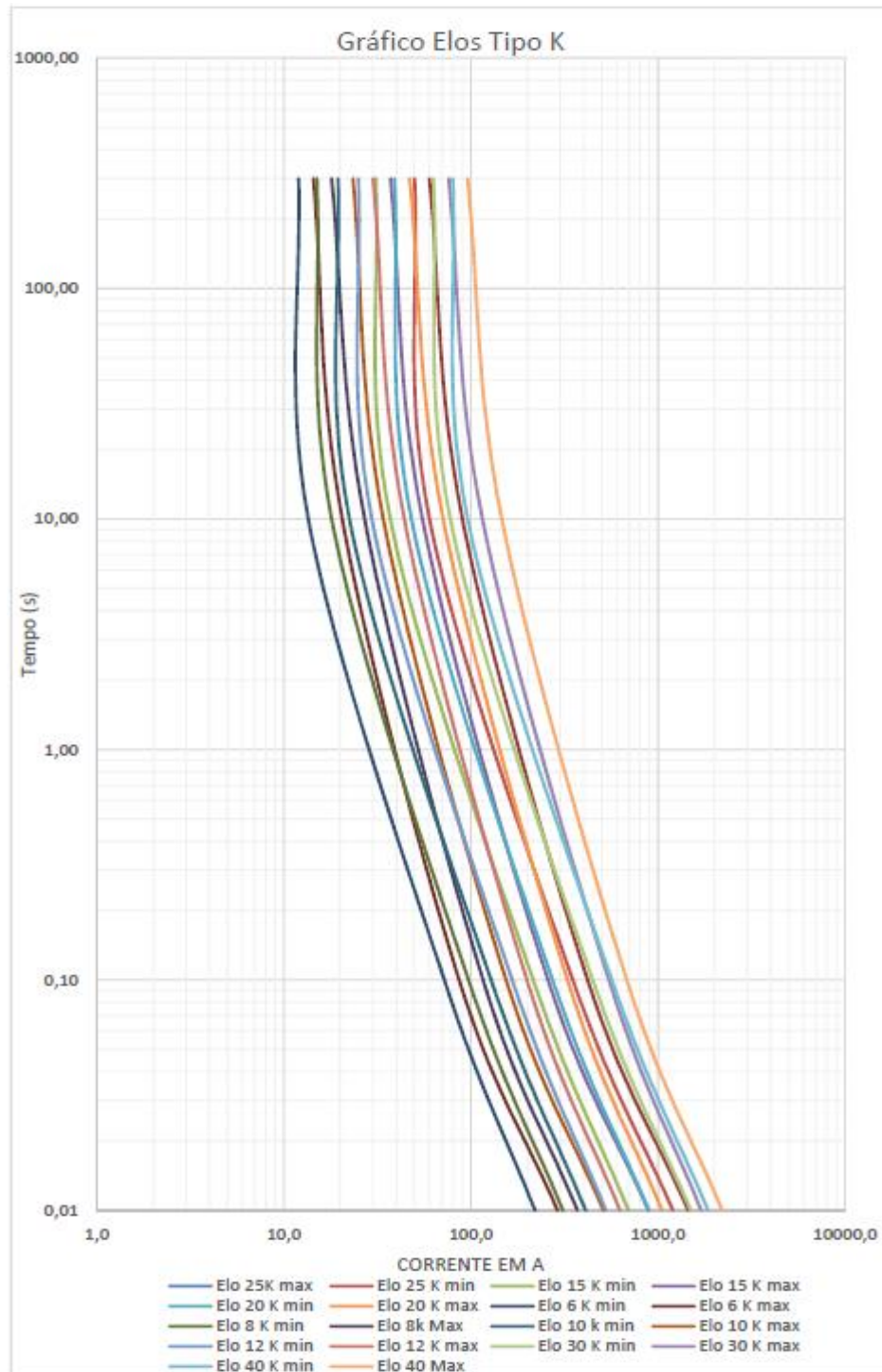
Para se realizar um projeto de dimensionamento de uma chave fusível, é necessário levar em considerações alguns pontos específicos. Segundo Sato e Freitas (2015), fatores como corrente de curto circuito simétrica ou assimétrica necessitam ser inferiores a capacidade de interrupção do porta fusível, outro ponto importante para elos fusíveis que protegem transformadores de potência, é o elo fusível ter a capacidade de suportar o valor de corrente de magnetização do transformador, ou seja, o valor de corrente x tempo tem que ser maior que a corrente de magnetização durante um determinado período de tempo.

Os elos fusíveis são caracterizados e dimensionados pelas curvas de atuação do tempo x corrente e são classificados como tipo H, tipo K e tipo T.

- TIPO H – são elos fusíveis que tem uma atuação mais lenta, onde são empregados na proteção de transformadores fabricados para correntes nominais de até 5A, é determinado como um dispositivo de atuação lenta devido ao fato de que ele não pode atuar durante a corrente de magnetização do transformador.
- TIPO K – são elos fusíveis de atuação rápida, eles são mais utilizados para eventos que necessitam de uma atuação rápida quando os níveis de corrente se elevam. Existem comercialmente elos que variam de 6A até 200A e são utilizados em proteção de ramais de alimentação do sistema de distribuição.

- TIPO T – são elos fusíveis de características similares ao tipo H, mudando apenas a capacidade de condução mais elevada variando de níveis de corrente de 6A até 200A.

Figura 16 – Curva característica de um fusível tipo K.



Fonte: (MAMEDE, 2015).

Figura 17 – Dimensionamento de Chaves e Elos fusíveis (Para transformadores Trifásicos a óleo).

POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO (kVA)	TENSÃO NOMINAL			
	13,8 kV		23,1 kV	
	CHAVE (A)	ELOS (H, K)	CHAVE (A)	ELOS (H, K)
30	100	2H	100	1H
45	100	3H	100	2H
75	100	5H	100	3H
112,5	100	6K	100	5H
150	100	6K	100	5H
225	100	8K	100	6K
300	100	12K	100	8K
400	100	15K	100	10K
500	100	20K	100	12K
600	100	25K	100	15K
750	200	30K	200	20K
1000	200	40K	200	25K
1500	200	65K	200	40K
2000		NOTA 4	200	50K
2300		NOTA 4	200	50K
2500		NOTA 4	200	65K
>2500		NOTA 4		NOTA 4

Fonte: (CELESC, 2016).

### 2.5.3 RELÉS DE PROTEÇÃO

O relé de proteção tem a função de detectar as anomalias no sistema elétrico, iniciam a operação de proteção após identificar as perturbações e devido a essa característica é necessário que o relé possua uma resposta rápida; O tempo de atuação se dá em milissegundos. Possui também a função de manter a integridade do sistema elétrico para ter um tempo menor de restabelecimento (SATO; FREITAS, 2015).

Para se ter um bom desempenho do relé é exigido que ele possua confiabilidade, seja veloz para manter a estabilidade do sistema, ter um consumo interno baixo, ser sensível a

corrente de defeito, ter contatos firmes e seus ajustes não devem ser alterados por efeitos externos (temperaturas elevadas, variação de frequência e vibrações) (CAMINHA, 1977).

Conforme aborda MAMEDE FILHO (2005), existem várias formas de relés onde cada um possui uma característica construtiva:

- a) Relés fluidodinâmicos: utilizam um óleo geralmente de vaselina para ser o elemento temporizador. O relé possui um embolo móvel, que se desloca em um recipiente que armazena o óleo, o movimento do embolo se tem através de um campo eletromagnético originado pela bobina do relé. São construídos para uma ligação direta com a rede elétrica. Geralmente utilizados em subestações de até 1000 kVA porém não é muito utilizado devido a uma estreita seletividade com os elos fusíveis;
- b) Relés eletromagnéticos: são construídos por uma bobina que envolve um núcleo magnético onde o entreferro é uma peça móvel, ela faz atuar o contato elétrico que permite uma continuidade para o acionamento de proteção;
- c) Relés eletrodinâmicos: funcionam pelo conceito de duas bobinas, onde a bobina móvel interage dentro da bobina fixa. A movimentação da bobina móvel acontece pela influência mútua de dois campos magnéticos com polaridades iguais, o que faz com que exista uma rotação, assim atuando os contatos elétricos do relé;
- d) Relés de indução: possui dois conjuntos magnéticos onde são separados por um disco de indução onde se tem um contato móvel e através da rotação ele atua sobre um contato fixo que realiza o fechamento do circuito de proteção; O ajuste é realizado através de um parafuso;
- e) Relés térmicos: são constituídos de elementos térmicos com as mesmas características do equipamento que está sobre a zona de proteção, esse elemento térmico é alimentado pela a corrente de fase do sistema ou pelo TC e desta forma atua a sua proteção, desenergizando o circuito e evitando que exceda a temperatura limite da máquina que está sendo protegida;
- f) Relés eletrônicos: são relés que conseguem realizar todas as necessidades de proteção de um sistema elétrico, onde existe uma grande exatidão nos ajustes definidos e permitem uma modificação nas curvas de operação com grande facilidade;
- g) Relés digitais: através de microprocessadores possuem o mesmo funcionamento dos relés antecessores e permitem várias vantagens como:



- consumo de energia interno reduzido;
- grande confiabilidade pela função de auto supervisão;
- relatório de falhas;
- realiza comunicação com sistema de supervisório;
- ajustes podem ser realizados a distância;
- grande precisão;
- várias faixas de ajustes;
- segurança operacional.

Um relé de proteção precisa ter uma confiabilidade onde se tem a certeza da atuação, apresentando uma fidedignidade que demonstra que ele irá operar de forma correta para todas as falhas a qual foi projetado com a segurança que não vai operar incorretamente. Todo relé precisa atuar dentro da sua zona de proteção que é a região onde o relé é responsável. As zonas de proteções podem ser abertas ou fechadas, elas podem se sobrepor para evitar que um equipamento fique sem a devida proteção.

Um relé primário tem a sua bobina magnetizante ligada diretamente ao sistema elétrico porém, isso faz com que dificulte a manutenção e a alteração da corrente de ajuste devido ao nível de tensão. O relé secundário alimenta a sua bobina magnetizante através de um TC ou TP, onde é reduzido o nível de tensão e corrente, disponibilizando mais segurança a operação humana. Existem duas formas de atuação do relé no dispositivo de abertura do disjuntor, onde a atuação direta o próprio relé alimenta o mecanismo de abertura do disjuntor. Na atuação indireta, o relé faz o fechamento de um contato que transfere a responsabilidade a outro circuito para fazer a abertura do disjuntor (KINDERMANN, 1999).

Segundo Mamede Filho (2005), os relés utilizam de algumas grandezas elétricas como a frequência, tensão e corrente para ter a sua atuação. Através dessas referências são encontrados outros relés com parâmetros diferenciados como impedância e potência, onde são classificados:

- a) Relé de tensão: através da tensão nominal do sistema elétrico ele faz a comparação com o valor definido e assim determina se existe alguma anomalia. Identificando se seria uma sobretensão ou subtensão, e faz a atuação do relé;
- b) Relé de corrente: é o mais utilizado no sistema de proteção, onde a corrente pode variar de um valor mínimo ou nulo até um valor máximo onde o sistema pode

suportar. Para garantir que o sistema não seja danificado se faz obrigatório ter esse relé como um dos itens de proteção;

- c) Relé de frequência: utiliza da própria frequência fundamental do sistema como um parâmetro de comparação onde ele tem uma variação pequena que é aceitável ao sistema elétrico, após ter excedido esses limites se tem a atuação do relé;
- d) Relé direcionais de potência e corrente: através do fluxo de tensão e corrente que circula por suas bobinas tem o seu funcionamento e faz a análise de comparação; Assim quando existe um fluxo de corrente no sentido contrário do relé ele atua. Estes relés são utilizados quando a instalação possui duas ou mais fontes de alimentação;
- e) Relé de impedância: através da tensão e corrente se tem os seus parâmetros, e por essa relação da corrente e tensão é obtida a impedância dessa forma realiza a atuação do relé; utilizado para fazer a proteção de linhas de transmissão.

Segundo Mamede Filho (2013), os relés de proteção possuem uma grande velocidade e para obter seletividade é adicionado uma temporização aos relés. Eles são classificados em relés:

- a) Instantâneos: não tem um retardo adicionado na sua atuação, e tempo que leva para atuar é devido as características construtivas;
- b) Temporizados com retardo dependente: são caracterizados por uma curva normalmente inversa, onde esse retardo é determinado pelo valor que sensibiliza o relé;
- c) Temporizados com retardo independente: possui um tempo de atuação constante onde se faz o ajuste desse tempo conforme a necessidade de proteção e seletividade.

#### 2.5.4 RELÉ DE SOBRECORRENTE

O relé de sobrecorrente é sensibilizado pela corrente que flui no circuito a ser protegido. É a proteção mais econômica, sempre se tem a presença dessa proteção e para qualquer alteração nas configurações de potências instaladas, ela exige uma alteração na corrente de ajuste (MAMEDE FILHO, 2013).

Esses relés de sobrecorrente são representados pela função ANSI 50 e 51. Onde na função 50, o relé tem uma temporização instantânea e o dispositivo opera sem atraso quando o

valor ajustado é sensibilizado. Na função 51, quando a intensidade da corrente atinge o seu ajuste, ele possui um tempo para a atuação através de uma curva inversa no eixo de tempo x corrente (IEEE C37.2, 2008).

Segundo Sato e Freitas (2015), os relés temporizados possuem dois ajustes:

- a) Tape: tem o seu ajuste pela função da corrente, onde através desse ajuste define-se o valor mínimo para a atuação do relé, chamado de corrente de pick-up ou de partida;
- b) Dial de tempo: é selecionado de acordo com as temporizações para se obter a seletividade.

Para calcular os ajustes das curvas de proteção, é necessário calcular a demanda contratada pela unidade consumidora a ser estudada. Por meio da Equação 1, é possível calcular a demanda contratada.

$$Dem = \frac{P_{inst} \times FD}{FP} \quad (1)$$

Onde:

$Dem$  = Demanda contratada.

$P_{inst}$  = Potência instalada.

$FD$  = Fator de demanda.

$FP$  = Fator de potência.

Após determinar a demanda contratada é necessária calcular a corrente nominal da unidade consumidora, utiliza-se a Equação 2.

$$I_c = \frac{Dem}{V_n \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

Onde:

$I_c$ = Corrente de carga.

$Dem$ = Demanda contratada.

$V_n$ = Tensão nominal.

O ajuste da corrente de partida de fase temporizada (ANSI 51), determina onde o relé terá o início da sua atuação. Para determinar a corrente de partida do relé, na unidade temporizada utiliza-se a Equação 3 (MAMEDE FILHO, 2013).

$$I_{tf} = \frac{K_{tf} \times I_c}{RTC} \quad (3)$$

Onde:

$K_{tf}$ = Fator de sobrecarga entre 1,2 a 1,5.

$I_c$ = Corrente de carga em A.

$RTC$ = Relação do transformador de corrente.

Para a corrente de partida temporizada de neutro (ANSI 51N), deve ser ajustada conforme a Equação 4 (MAMEDE FILHO,2013):

$$I_{tn} = \frac{K_{tn} \times I_c}{RTC} \quad (4)$$

Onde:

$K_{tn}$ = Fator de sobrecarga entre 0,10 a 0,30.

O valor da corrente de pick-up apresentada no coordenograma refere-se ao lado primário do TC, então é multiplicado o valor encontrado nas equações anteriores pela relação de transformação. Os coeficientes chamados de fator de sobrecarga servem para determinar os ajustes finos de seletividade das curvas de proteção, onde através deles é possível ajustar a curva temporizada com a curva Ansi dos transformadores.

A corrente instantânea de fase e neutro, precisa ser inferior ao valor da corrente de curto-circuito e que o ponto Ansi dos transformadores. Este ajuste do valor da corrente instantânea fase (ANSI 50) e neutro (ANSI 50N), não pode ser sensibilizado pela corrente de magnetização dos transformadores (CEMIG, 2017).

De acordo com FERGUTZ (2016), para calcular a corrente instantânea de fase utiliza a Equação 5.

$$I_{insF} = I_{nrushF} \times Aj_{ins} \quad (5)$$

Onde:

$I_{insF}$  = Corrente instantânea de fase.

$Aj_{ins}$  = Ajuste instantâneo é definido pelas concessionárias.

$I_{nrushF}$  = Corrente de magnetização do transformador.

A corrente instantânea de neutro, é determinada através da Equação 6, onde divide a corrente instantânea de fase por três (FERGUTZ, 2016).

$$I_{insN} = \frac{I_{insF}}{3} \quad (6)$$

Onde:

$I_{insN}$  = Corrente instantânea de neutro.

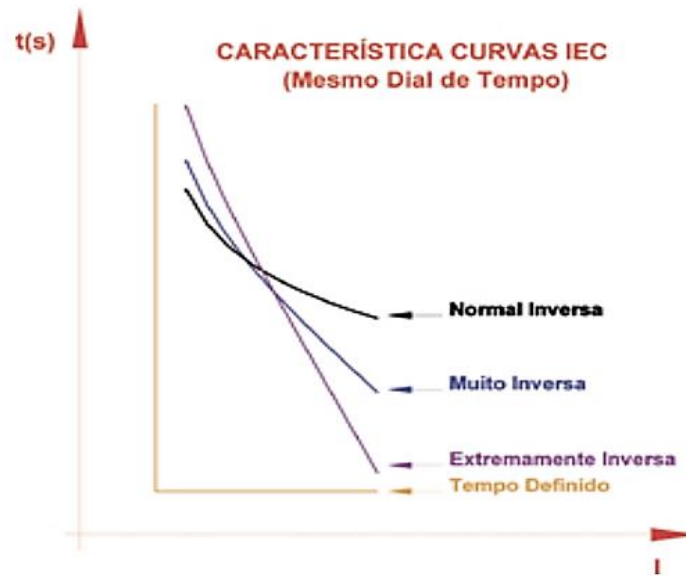
### 2.5.5. CURVA DE ATUAÇÃO

As curvas dos dispositivos de proteções são expressadas em um gráfico logaritmo onde recebe o nome de tempo x corrente. Onde no eixo vertical, se tem o tempo geralmente em segundos e no horizontal se tem os múltiplos de corrente (CAMINHA, 1977).

Segundo Sato e Freitas (2015), através dos dados recebidos do relé de sobrecorrente obtém se as curvas alocadas no gráfico de tempo x corrente. Existe uma umas curvas mais utilizadas como:

- a) Tempo definido: o relé de sobrecarga de tempo definido possui uma característica tempo x corrente plana, onde após atingir a corrente de ajuste ele atua no mesmo instante. Função ANSI 50 (instantânea);
- b) Tempo normal inverso: o relé de sobrecarga de normal inverso é utilizado em redes com uma faixa ampla de curto-circuito. Sua característica de tempo x corrente relativamente plana, possui uma velocidade razoável para uma larga faixa de curto-circuito;
- c) Tempo muito inverso: o relé de sobrecorrente muito inverso tem a sua característica mais íngreme, onde tem uma operação rápida para grandes correntes de curto-circuito e lentamente para baixas correntes;
- d) Tempo extremamente inverso: o relé de sobrecorrente extremamente inverso mantém uma característica mais íngreme, se faz a utilização quando um circuito é protegido por fusíveis o que facilita na coordenação.

Figura 18 – Características das Curvas IEC.



Fonte: (ALMEIDA, 2000).

As características dessas curvas de tempo x corrente se tem através da Equação 7.

$$t = \frac{k}{M^{\alpha} - 1} \times DT \quad (7)$$

Onde:

$DT$  = Fator de multiplicação entre 0,10 a 0,30.

$M$  = Múltiplo de corrente, no coordenograma o múltiplo varia 1,1 a 20.

$k$  e  $\alpha$  = Constantes que dependem das curvas conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das Curvas

Classificação	$\alpha$	$K$
Normal Inversa	0,02	0,1
Muito Inversa	1,0	13,5
Extremamente Inversa	2,0	80

Fonte: Adaptado de (Sato e Freitas, 2015).

## 2.5.6 CORRENTE ANSI E INRUSH

Segundo Fontana, Furlanetto e Benedet (2018), a corrente nominal de um transformador é definida pela Equação 8.

$$I_n = \frac{Pot}{V_n \times \sqrt{3}} \quad (8)$$

Onde:

$I_n$  = Corrente nominal do transformador.

$Pot$  = Potência do transformador.

$V_n$  = Tensão nominal.

A corrente Ansi é um ponto máximo de corrente que o transformador suporta, sem que sofra algum dano durante um período de tempo. A curva de atuação do relé precisa estar antes do ponto de Ansi do transformador de menor potência. Para inserir esses pontos de Ansi no diagrama de seletividade utiliza a Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo da Corrente ANSI

<b>Z%</b>	<b>Icc Max</b>	<b>Tempo (s)</b>
<b>4</b>	25 x In	2
<b>5</b>	20 x In	3
<b>6</b>	16 x In	4
<b>7</b>	14,3 x In	5

Fonte: Adaptado (CEMIG, 2017).



Ao calcular a corrente Ansi de fase, utiliza a Equação 9. Precisa ser o transformador de menor potência com o maior valor de impedância (CEMIG, 2017).

$$I_{AnsiF} = \left(\frac{100}{Z}\right) \times I_n \quad (9)$$

Onde:

$I_{AnsiF}$  = Corrente Ansi de fase.

$Z$  = Impedância do transformador.

$I_n$  = Corrente nominal do transformador.

Em caso de uma falta de fase terra em um transformador, com o primário em delta e secundário em estrela com neutro solidamente aterrado. O ponto Ansi de neutro pode ser considerado 0,58 do ponto de Ansi de fase, conforme a Equação 10.

$$I_{AnsiN} = I_{AnsiF} \times 0.58 \quad (10)$$

Onde:

$I_{AnsiN}$  = Corrente Ansi de neutro.

A CEMIG (2017) relata, que transformadores com uma potência baixa, não deve ser protegido pelo relé. Então é necessário que os transformadores, tenham uma proteção individual por meio de Elos fusíveis.

A corrente de Inrush também é conhecida como a corrente de magnetização do transformador onde é um efeito transitório que é caracterizado por uma elevação de corrente. Essa elevação de corrente pode trazer uma atuação no relé de sobrecorrente conforme seus ajustes (SATO; FREITAS, 2015).

Conforme aborda CELESC (2016), transformadores com uma potência de até 2MVA, considera-se que a corrente Inrush é oito vezes a corrente nominal do transformador com um tempo 0,1s. Quando essa potência for superior a 2MVA, é necessário consultar o fabricante. A corrente Inrush é determinada pela Equação 11.

$$I_{nrushF} = (K \times I_n)_{maior} + \sum I_{n(demais)} \quad (11)$$

Onde:

$I_{nrushF}$  = Corrente Inrush de fase.

$K$  = Coeficiente de magnetização de fase.

$I_n$  = Corrente nominal do transformador.

A corrente de Inrush de neutro é necessário multiplicar a corrente Inrush de fase pelo coeficiente de magnetização de neutro, conforme a Equação 12.

$$I_{nrushN} = K_n \times I_{nrushF} \quad (12)$$

Onde:

$K_n$  = Coeficiente de magnetização de neutro.

### 2.5.7 TRANSFORMADORES DE PROTEÇÃO

O transformador de corrente também chamado de TC tem função de reproduzir proporcionalmente no seu enrolamento secundário a corrente recebida no enrolamento primário, refletindo as mesmas características de deslocamento dos fasores. Essa corrente é uma réplica em escalas reduzidas, o TC tem uma corrente estabelecida de 1A e 5A no seu secundário (KINDERMANN, 1999).

Segundo Kindermann (1999), o transformador de corrente tem três funções:

- a) Isolar equipamentos de medição, controle e relés;
- b) Fornecer no seu secundário uma corrente proporcional;
- c) Fornecer uma corrente adequada aos medidores e relés.

Conforme aborda Barros e Gedra (2009), através dos transformadores de corrente se tem o nível de corrente reduzida, assim permite que essa intensidade seja repassada aos relés de proteção sem causar danificação nos equipamentos de medição ou proteção.

Através do fenômeno de conversão eletromagnética, a corrente elevada que é inserida na bobina primária de um TC, reflete uma corrente no seu secundário, conforme a relação de transformação do equipamento. Como aborda Mamede Filho (2013), a corrente que circula pelo primário do transformador de corrente cria um fluxo magnético alternado que induz uma força eletromotriz nas suas bobinas.

A bobina primária do TC é ligada em série com a carga, sua bobina primária possui uma resistência baixa e poucas espiras, dessa forma ela possui um pequeno consumo e não possui uma queda de tensão. A relação de transformação do TC é definida pela Equação 13 (KINDERMANN, 1999).

$$RTC = \frac{I_P}{I_S} \quad (13)$$

Onde:

$RTC$  = Relação do transformador de corrente.

$I_P$  = Corrente primária do TC.

$I_S$  = Corrente secundária do TC.

Ao especificar um transformador de corrente é necessário ter um cuidado com a corrente nominal primária, onde ela deve ser compatível com a corrente de carga do circuito. Da mesma

forma no secundário do TC tem uma limitação no valor das impedâncias que são ligadas (MAMEDE FILHO, 2013).

De acordo com Mamede Filho (2017), o TC tem uma carga máxima que pode ser aplicada no seu secundário. Caso a carga admissível seja ultrapassada, o valor do erro percentual será diferente da sua classe de exatidão.

Conforme relata Fontana, Furlanetto e Benedet (2018), a Equação 14 determina a tensão de saturação do secundário do TC.

$$V_s = \frac{I_{cc_{max}}}{R_{TC}} \times Z_{ntc} \quad (14)$$

Onde:

$V_s$  = Tensão de saturação no secundário.

$I_{ms}$  = Corrente máxima no secundário.

$Z_{ntc}$  = Carga instalada no secundário.

A carga instalada no secundário do TC, é composta das impedâncias do cabo, impedância dos TC e a impedância do relé associadas em série. De acordo com Kindermann (1999), para calcular a impedância do cabo utiliza a Equação 15.

$$Z_{fiação} = \rho_{cobre} \frac{l}{S_{cobre}} \quad (15)$$

Onde:

$Z_{fiação}$  = Impedância dos condutores.

$\rho_{cobre}$  = resistividade do cobre (0,17).

$l$  = seção do condutor.

$S_{cobre}$  = comprimento dos condutores em metros.

Segundo Mamede Filho (2013), o fator de segurança ou sobre corrente de um TC deve ser multiplicado pela sua corrente primária, assim obtendo a corrente máxima até o limite da classe de exatidão. Esse fator de segurança é determinado pela NBR 6856, onde para o sistema de proteção é de 20 vezes a corrente nominal e em sistema de medição o fator é de 4 vezes a corrente nominal.

Ainda como aborda Mamede Filho (2017), o fator de sobre corrente é a relação máxima para que o TC mantenha a sua classe de exatidão a determina corrente. A corrente primária do transformador, é calculada com base na corrente de curto-circuito assimétrica conforme a Equação 16.

$$I_P = \frac{I_{cs}}{F_s} \quad (16)$$

Onde:

$I_P$  = Corrente primária do TC.

$I_{cs}$  = Corrente de curto-circuito simétrica.

$F_s$  = Fator de sobrecorrente.

Os transformadores de correntes destinados a proteção são capazes de converter correntes de sobre cargas ou de curto-circuito em pequenas correntes, assim tornando a operação de um relé mais segura e econômica já que eles são alimentados diretamente nos transformadores (MAMEDE FILHO, 2013)

Segundo Kindermann (1999), um transformador de corrente destinado a medição deve manter a precisão até atingir a sua corrente nominal, quando essa corrente é ultrapassada o transformador satura. Seus núcleos magnéticos são de seções menores para que possam saturar, assim limitando a sobre tensão sobre os equipamentos de medição, onde a saturação é uma proteção dos transformadores de correntes aplicado ao sistema de medição.

Quanto ao dimensionamento do TC Kindermann (1999), afirma que é necessário verificar:

- a) O TC pela sua relação de transformação;
- b) A impedância do relé;
- c) A carga alimentada no seu secundário;
- d) A classe de exatidão pela normativa;

O transformador de potencial também conhecido por TP, tem a função de transmitir o sinal de tensão aos instrumentos de medição e proteção. Reproduzindo no seu secundário uma tensão com o menor erro possível, sendo assim uma réplica da tensão da linha do sistema elétrico. Esse transformador de potencial é monofásico, onde é possível realizar vários arranjos na sua instalação (KINDERMANN, 1999).

Segundo Mamede Filho (2013), o transformador de potencial tem em seu enrolamento primários várias espiras para se obter a tensão desejada no seu enrolamento secundário. A tensão que é padronizada nos transformadores de potência é de 115 V ou  $115/\sqrt{3}$  V, assim os instrumentos de medição e proteção são dimensionados com bobinas e outros equipamentos com uma baixa isolação.

São transformadores para instrumento cujo enrolamento primário é conectado em derivação com o circuito elétrico, e que se destinam a reproduzir no seu circuito secundário a tensão do circuito primário com sua posição fasorial substancialmente mantida em uma posição definida, conhecida e adequada para uso com instrumentos de medição e proteção (CAMINHA, 1977, pg. 74).

Conforme aborda Mamede Filho (2013), existem dois tipos de transformadores de potencial:

- TP indutivo: é construído para tensões até 138kV, funcionam com a base de conversão eletromagnética entre os enrolamentos. Onde se tem uma tensão aplicada no enrolamento primário e uma tensão reduzida nos terminais do secundário. Segundo a NBR 6855 (2009), existem três grupos de ligação,
  - grupo 1: onde o TP é ligado entre as fases até 34,5kV.
  - grupo 2: onde o TP é ligado entre fase e neutro em sistemas diretamente aterrados.
  - grupo 3: onde o TP é ligado entre fase e neutro e não tem a garantia de um aterramento eficaz.

- TP capacitivo: é constituído basicamente com dois conjuntos de capacitores que fornecem um divisor de tensão e permitem a comunicação de dados e voz, utilizados em tensões iguais ou maiores que 69kV. Existe um divisor capacitivo, onde essas células que formam um condensador são imersas em um invólucro de porcelana, esse divisor é ligado entre fase e terra onde existe uma derivação intermediária que compreende um transformador de potencial (onde se tem as tensões desejadas), um reator de compensação ajustável (que controla a queda de tensão e a defasagem) e um dispositivo de amortecimento de ferro ressonância.

Segundo Kindermann (1999), a carga nominal é limitada pela potência aparente no secundário do transformador de potência, dessa forma não deve exceder a potência que é demonstrada na placa do transformador. Caso isso ocorra pode vir a exceder o erro de exatidão, sendo essa exatidão de 0,3 a 0,6% para aparelhos de medição e 1,2% para aparelhos de proteção. O que limita a potência de um TP é o erro de transformação que é dado pela exatidão do transformador.

Um transformador de potência é marcado por dois erros que são obtidos no secundário pela tensão emitida no seu primário, onde são estes os erros de relação de transformação e o erro de ângulo de fase. Estes erros são medidos pelo fator de correção de transformação que devem ser multiplicados pelo valor de leitura de alguns equipamentos. E a classe de exatidão considera a intensidade desses erros, para determinar a exatidão de um TP, eles são submetidos a ensaios a vazios e ensaios com carga. O ensaio é realizado em três etapas, um regime em tensão nominal, em 90% de tensão nominal e a 110% de tensão nominal (MAMEDE FILHO, 2013).

## 2.6 FERRAMENTA UTILIZADA

Para realizar o projeto de coordenação da proteção e realizar a montagem do gráfico, utilizei de uma ferramenta elaborada pela empresa ABCM eletrotécnica LTDA. Ela foi elaborada através do Excel e o desenvolvedor aplicado a ferramenta o Visual Basic.

Através do software Visual Basic for Applications foi elaborada uma interface gráfica, que tem o objetivo de facilitar a elaboração do projeto de coordenação da proteção. Basicamente essa ferramenta utiliza de valores característicos de componentes elétricos que constituem o sistema de proteção como elo fusíveis, disjuntores e relés de proteção de sobre corrente, para plotar o gráfico com as curvas específicas. Para definir essas características foram utilizadas bibliografias e normas que definem e garantem a integridade das informações.

Para utilizar a ferramenta o usuário deve seguir alguns passos, que demonstraram a forma que a ferramenta foi programada, seguindo um memorial de cálculo predefinido pelo projetista, deve inserir dados iniciais do projeto para determinar as características da instalação onde será realizado o estudo. Para iniciar o projeto primeiramente deve ser solicitado a concessionaria de energia as curvas do relé de proteção. Após o recebimento destas informações o profissional consegue iniciar o estudo de forma efetiva, como veremos a seguir na demonstração de um estudo de caso.

Todo o memorial de cálculo e as condições exigidas pelo projeto estão inseridas dentro do Excel em forma de tabelas. O layout da interface gráfica possui diversos campos e passos a seguir. O primeiro quadro é destinado ao profissional responsável, onde ele preenche dados com suas informações como na Figura 17 e em seguida os dados do cliente proprietário que contratou os serviços, como demonstrado na Figura 18.

Figura 19 – Dados do responsável técnico.

O formulário, intitulado "Dados do responsável técnico:", contém os seguintes campos de entrada:

- Nome do projetista: [campo de texto]
- Registro Crea - SC: [campo de texto]
- Endereço: [campo de texto]
- Número: [campo de texto]
- Telefone: [campo de texto]
- E-mail: [campo de texto]

Abaixo dos campos, há um botão rotulado "Limpar cadastro".

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).



Figura 20 – Dados do cliente.

O formulário, intitulado "Dados do Cliente/prorietário", contém os seguintes campos de entrada:

- Razão social: campo de texto único.
- Cidade: campo de texto único e uma lista suspensa.
- Endereço: campo de texto único.
- Número: campo de texto único.
- CNPJ: campo de texto único.
- Telefone: campo de texto único.
- U.C.: campo de texto único.

Um botão "Limpar cadastro" está localizado na parte inferior direita do formulário.

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).

Em seguida a interface gráfica requisita o preenchimento de dados importantes para a elaboração do estudo, onde esses dados são referentes a características básicas da rede de alimentação da unidade consumidora como.

- Tensão nominal [kV].
- Fator de potência.
- Carga Instalada da unidade consumidora [kW].
- Fator de demanda.

Figura 21 – Dados de Calculo

**Dados de Cálculo**

**Dados referente ao relé 1**

Tensão Nominal [kV]

Fator de Potência [%]

Carga Instalada [Kw]

Fator de demanda

**Dados gerais da instalação**

Demanda [kVA]

Corrente [A]

**Calcular Demanda**

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).

Em seguida a interface da ferramenta requisita os dados fornecidos pela concessionária para a elaboração do estudo de coordenação da proteção, como indicado na Figura 20.

Figura 22 – Dados da concessionária.

**Dados Relé Concessionária**

Marca / Modelo

**Fase**

Curva [IEC]

Dial de Tempo [s]

I defeito [A]

T defeito [s]

I ajuste [A]

I instantaneo [A]

**Neutro**

Curva [IEC]

Dial de Tempo [s]

I defeito [A]

T defeito [s]

I ajuste [A]

I instantaneo [A]

**Grafico**    **Limpa Planilha**

**Dados ponto de entrega - Concessionária**

Impedância rede (R1) [ohm/km]

Impedância rede (X1) [ohm/km]

Impedância rede (R0) [ohm/km]

Impedância rede (X0) [ohm/km]

Impedância conato [ohm]

ICCFT [A]

ICCFTM [A]

ICCFTA [A]

ICC3F [A]

ICC3FA [A]

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).

O layout da Figura 2 traz um quadro, referente ao cálculo de corrente ansi e corrente de magnetização dos transformadores, onde deve ser preenchido a quantidade de transformadores, a potência e tensão de cada um deles.

Figura 23 – Dados do transformador.

Fonte: (ABCM eletrotécnica, 2019).

Após o preenchimento das informações de transformadores de potência citados na Figura 21, uma nova aba é aberta para o preenchimento das configurações e aspectos dos TCs e TPs. Com informações de valores muito importantes para o projeto, como corrente nominal, corrente de primário e secundário do TC e tensão de saturação. A Figura 22 demonstra de que forma estes dados são distribuídos no layout da interface.

Figura 24 – Dimensionamento de TC e TP.

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).

E a última aba da interface traz dados para a configuração do relé do cliente, com dados como corrente de defeito, corrente instantânea percentuais de ajustes. E também a parte mais importante da ferramenta que é plotar o gráfico de coordenação da proteção com precisão e eficiência. Trazendo a segurança devida ao projeto e ao profissional que utiliza desta ferramenta para agilizar o processo e trazer exatidão nos valores calculados.

Figura 25 – Dados para parametrização e dimensionamento do gráfico.

The image shows a software interface for configuring a relay and generating a protection coordination graph. It is organized into three main panels:

- Calculos:** Contains input fields for:
  - % Ajuste I instantanea
  - Demanda [KVA]
  - I nominal [A]
  - % ajuste [A]
  - I ajuste geral [A]
  - % ajuste N [A]
  - I ajuste geral N [A]
 A **Calcula** button is located at the bottom of this panel.
- Gráficos:** Contains dropdown menus for:
  - Seleção Tipo ELO
  - Seleção Corrente H
  - Seleção Corrente K
  - Seleção Corrente T
 A **Grafico** button is located at the bottom of this panel. Below the button, the text "Seleção Corrente H" is visible.
- Dados Relé Cliente 1:** Contains a **Marca / Modelo** input field. It is divided into two sub-sections:
  - Fase:** Includes dropdown for Curva [IEC], and input fields for Dial de Tempo [s], I defeito [A], T defeito [s], I ajuste [A], and I instantaneo [A].
  - Neutro:** Includes dropdown for Curva [IEC], and input fields for Dial de Tempo [s], I defeito [A], T defeito [s], I ajuste [A], and I instantaneo [A].
 Below these sub-sections are several checkboxes:
  - Curva Fase
  - Curva de Neutro
  - Inst. Fase
  - Inst. Neutro
  - I Nominal
  - I partida
  - ANSI
  - Inrush
 At the bottom of this panel are **Grafico** and **Limpa Planilha** buttons.

Fonte: (ABCM Eletrotécnica, 2019).

### 3. ESTUDO DE CASO

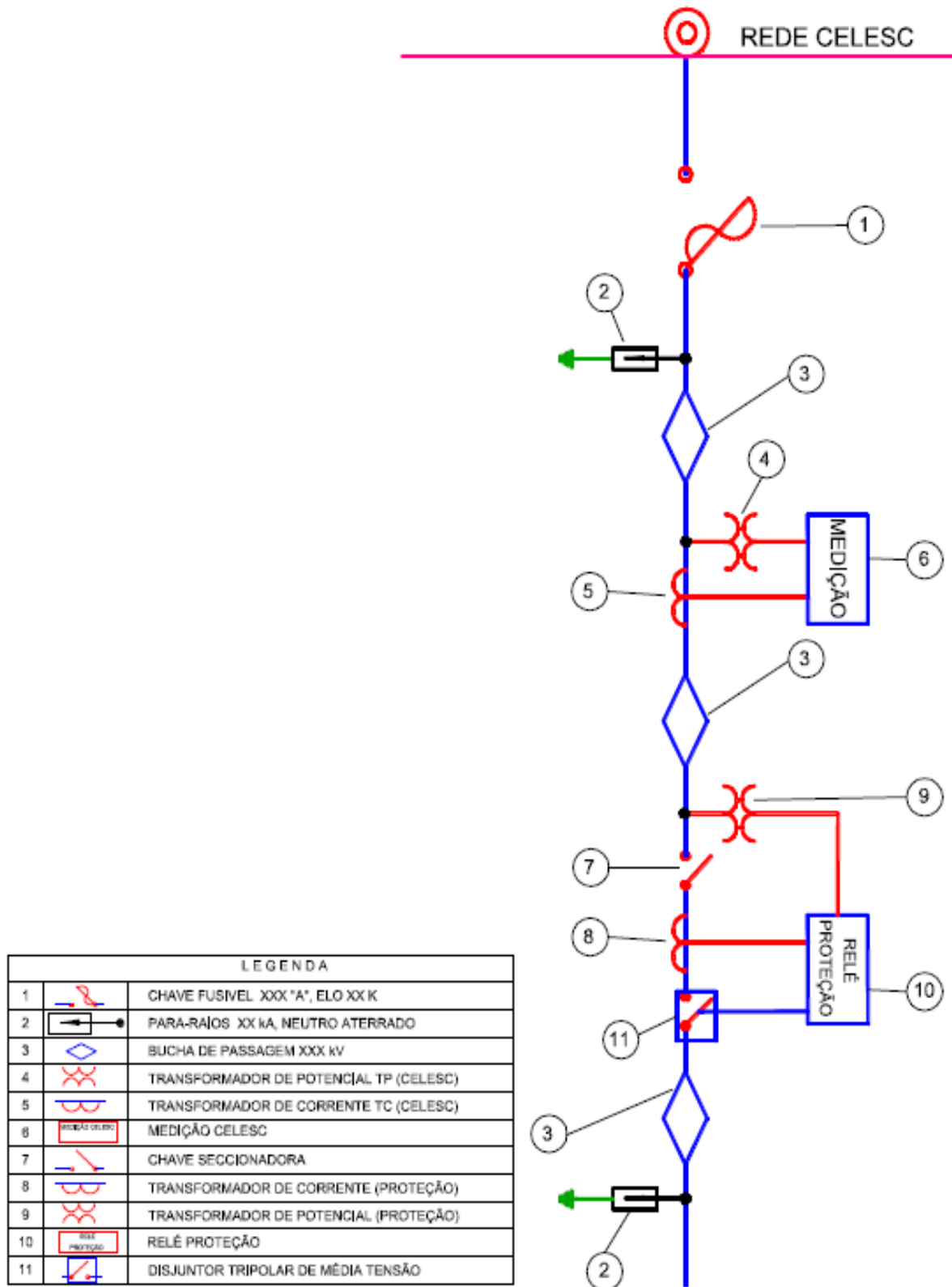
O meu estudo de caso é voltado para o projeto de uma subestação, mais específico nas normas da concessionária que regem este tipo de projeto. O estudo está direcionado ao projeto de coordenação da proteção requerido pela concessionária de energia seguindo a norma N-321.0002.

#### 3.1 REQUISITOS PARA PROJETO

O referido estudo será elaborado com base nos dados de uma unidade consumidora, esta unidade é uma empresa que trabalha com beneficiamento de madeira mais conhecido na região como “serraria”. Possui uma potência instalada de 642,8 kW e uma demanda provável de 489,09 kVA, com uma tensão de alimentação de 23,1kV derivada da rede da concessionária de energia Celesc. O projeto desta subestação já foi aprovado pela Celesc e foi montada seguindo os padrões estabelecidos pela própria concessionária seguindo a norma técnica N-321.0002, em específico os tópicos que tem relação com subestação abrigada de MT, com potência instalada acima de 500kW.

A subestação abrigada é composta por componentes responsáveis pela proteção e operação da subestação. Essa subestação é composta por dois cubículos, o primeiro é dedicado a medição da concessionária e o segundo abriga a proteção do cliente. A figura abaixo demonstra o diagrama unifilar proposto pela concessionária. E após a imagem uma legenda contendo os nomes dos respectivos itens:

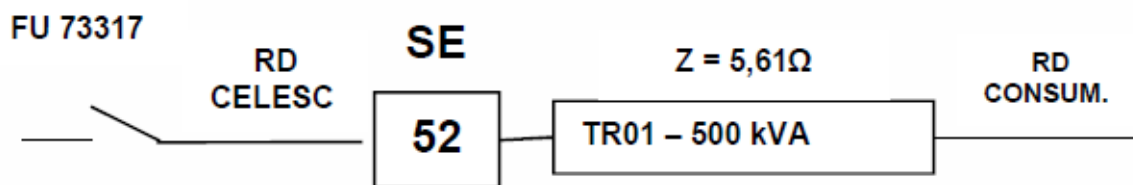
Figura 26 – Subestação de medição e proteção acima de 300kVA.



Fonte: (Celesc, 2016).

No início do estudo de proteção e seletividade, o primeiro passo é encaminhar a concessionária um pedido, solicitando os dados de curto circuito no ponto próximo a subestação, para que se possa interligar o sistema da Celesc ao ramal de entrada da subestação. Geralmente estas interligações são realizadas em um ponto de derivação escolhido pelo engenheiro eletricitista, neste caso foi solicitado os dados referente a uma chave faca posicionada na rede. A figura abaixo demonstra o modelo da carta que deve ser enviada a Celesc.

Figura 27 – Diagrama Unifilar resumido.



Fonte: (Do autor, 2019).

Após a elaboração deste diagrama, é enviado os dados para a concessionária avaliar a situação e gerar um relatório com os dados para realizar os cálculos de ajuste do relé, conforme Figura 27.

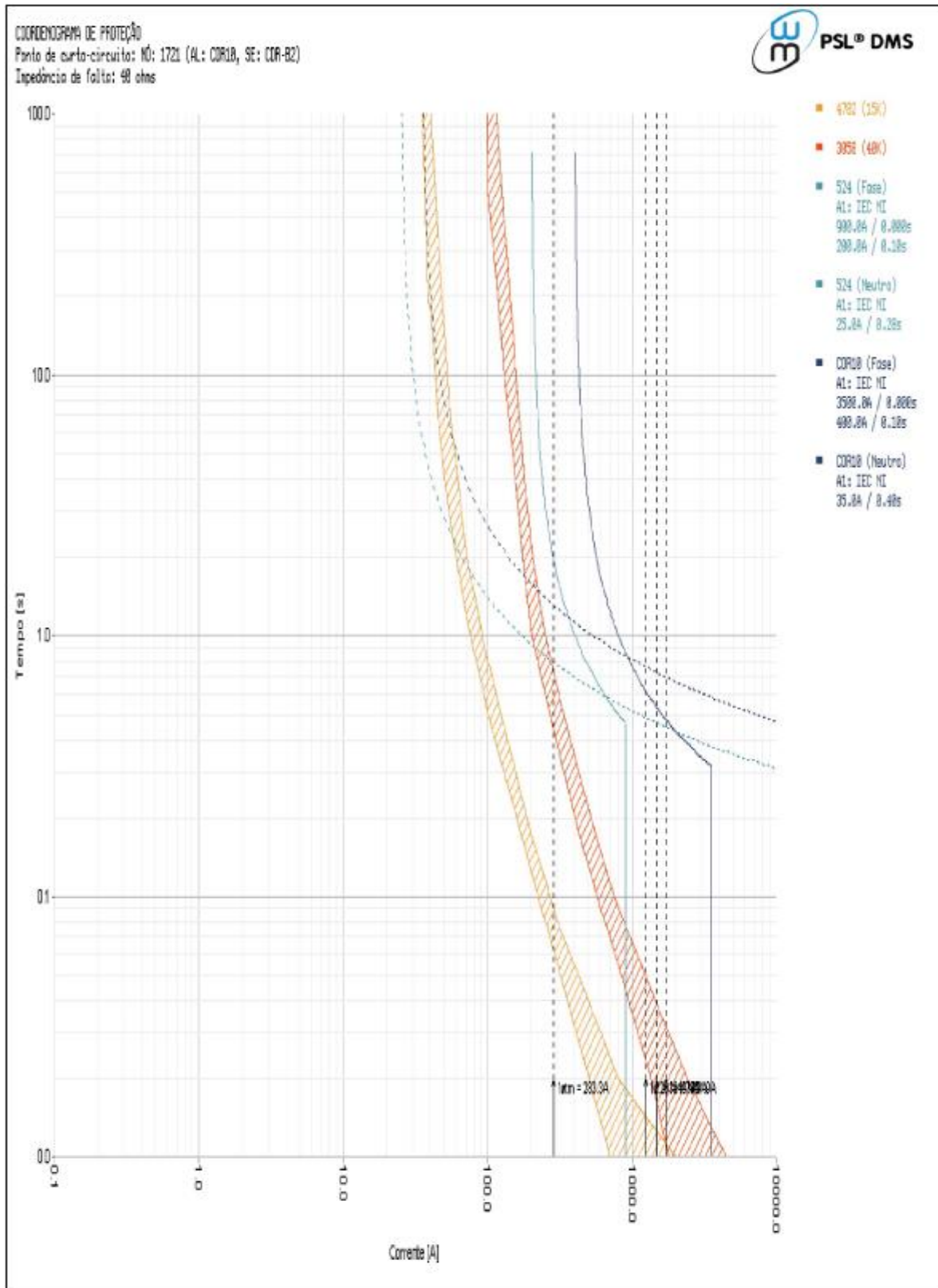
Figura 28 – Dados do cliente fornecido pela concessionária.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO DA CELESC				
EQUIPAMENTO: RELIGADOR				
MODELO: FASE: RL 524 NEUTRO: RL 524				
TIPO:				
TENSÃO: 23 kV				
	NEUTRO		FASE	
CORRENTE DE DISPARO:	25,000 [A]		200,000 [A]	
NÚMERO DE OPERAÇÕES RÁPIDAS:	1		1	
CURVA DE OPERAÇÃO RÁPIDA:	IEC NI (0,28)		IEC NI (0,10)	
NÚMERO DE OPERAÇÕES LENTAS:	-		-	
CURVA DE OPERAÇÃO LENTA:	-		-	
CORRENTES DE CURTO NO PONTO DE CONEXÃO DO CONSUMIDOR				
FASE TERRA	FASE TERRA MÍNIMO	FASE TERRA ASSIMÉTRICA	TRIFÁSICA	TRIFÁSICA ASSIMÉTRICA
1243 A	283 A	1260 A	1702 A	1704 A
IMPEDÂNCIA ACUMULADA NO PONTO DE CONEXÃO				
R0	X0	R1	X1	
1,297 p.u.	2,952 p.u.	1,064 p.u.	1,021 p.u.	
IMPEDÂNCIA DE FALTA				40 ohms
<b>OBSERVAÇÕES:</b>				
CURVA DE "TEMPO X CORRENTE" DA PROTEÇÃO DA CELESC EM ANEXO				
MVA base = 100 MVA				
kV base = 23,000 kV				
I base = 2510 A				
Z base = 5,2900 ohms				
FORNECIDO POR:		MATRÍCULA:	DATA:	FONE:
			06/11/2017	

Fonte: (Do autor, 2019).



Figura 29 – Coordenograma de proteção do disjuntor da Celesc.



Fonte: (Celesc, 2019).

Antes de determinado as informações da instalação, o usuário insere os dados do ponto de entrega fornecidos pela concessionária, também chamada de correntes curto-circuito. A ferramenta disponibiliza a opção de inserir o elo fusível, utilizado para a proteção do ramal de entrada, selecionando o tipo de elo e a corrente de atuação. No gráfico o elo fusível possui duas curvas, sendo o tempo mínimo de fusão e o tempo total de interrupção que são exibidas na cor vermelha.

Nas informações repassadas pela concessionária, é disponibilizado as características das curvas de atuação do religador ou alimentador. O usuário insere estes dados do relé da concessionária, seleciona a curva, insere o valor da dial de tempo, corrente instantânea e temporizada para fase e neutro. Para facilitar a interpretação no gráfico cada curva possui uma legenda.

Os valores inseridos na ferramenta, são utilizados para gerar os pontos onde as curvas serão plotadas no gráfico. Estes dados são armazenados em uma planilha que estará disponível nos anexos deste trabalho. Estas planilhas servem de base para gerar o relatório final do estudo de seletividade. As curvas podem ser exibidas conforme a necessidade do usuário, após seleciona-las é necessário atualizar o gráfico onde a imagem é carregada na interface gráfica. Na imagem do gráfico a corrente de fase é exibida na cor azul em uma linha tracejada e corrente de neutro por uma linha tracejada da mesma cor.

Ao finalizar cada etapa o usuário tem a possibilidade, de gravar os dados inseridos nas caixas de texto em uma planilha base. Esta planilha tem a função de armazenar todos os dados inseridos e calculados. Caso esteja acessando um projeto já realizado na ferramenta de seletividade, o usuário tem a possibilidade de receber os dados que estão armazenados na planilha base.

## 3.2 MEMORIAL DE CALCULO.

### 3.2.1 CALCULO DE CORRENTE NOMINAL DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA.

O primeiro passo para se desenvolver o projeto é calcular a demanda que deverá ser contratada pelo consumidor, conforme descrito na Equação 1 da página 43.

$$Dem = \frac{642,8 \times 0,7}{0,92} \quad (1)$$

$$Dem = 489,09 \text{ kVA}$$

Em seguida é possível calcular a corrente nominal da instalação através de um fator de demanda conhecido, o fator de potência utilizado para o cálculo é de 0,92 conforme representado na Equação 2 citada no referencial da página 44.

$$I_c = \frac{489,09}{23,1 \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

$$I_c = 12,22\text{A}$$

A corrente de disparo do relé é conhecida através de um valor de corrente temporizada de fase, onde esta corrente é conhecida através da multiplicação da corrente nominal por um fator de sobrecarga que representa o valor de 15% da corrente nominal. Conforme citado na Equação 3 da página 44.

$$I_{tf} = 1,15 \times 12,22 \quad (3)$$

$$I_{tf} = 14,04\text{A}$$

Em seguida como demonstrado na Equação 4 da página 45, é calculado um valor de corrente de partida para o neutro, pois é requisito de projeto o monitoramento de correntes de fase e de neutro, onde o valor de corrente temporizada de neutro é apenas 15% do valor de corrente temporizada de fase.

$$I_{tn} = 0,15 \times 14,04 \quad (4)$$

$$I_{tn} = 2,11\text{A}$$

Para dimensionar um transformador de potência para a unidade consumidora do estudo, foi analisado o fator de demanda provável de 489kVA, para fins de projeto foi escolhido um transformador de 500kVA, e para calcular a corrente nominal utilizasse a Equação 8 da Página 48.

$$I_n = \frac{500}{23,1 \times \sqrt{3}} \quad (8)$$

$$I_n = 12,5^a$$

### 3.2.2 CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO E ANSI DO TRANSFORMADOR.

Conhecendo a corrente nominal do transformador ou seja a corrente de real de trabalho do transformador, é possível conhecer as correntes que podem trazer danos ao transformador. O primeiro passo é dimensionar a corrente ANSI do transformador, onde esta corrente ANSI é o valor máximo que o transformador suporta sem que sofra danos permanentes por um determinado período de tempo. Para calcular esta corrente é utilizado a Equação 9, citada na Página 49.

$$I_{\text{AnsiF}} = \left(\frac{100}{5,61}\right) \times 12,5 \quad (9)$$

$$I_{\text{AnsiF}} = 222,82\text{A}$$

Como vimos anteriormente para requisitos de projeto, é necessário conhecer os valores de corrente de neutro também, para isso utilizasse a Equação 10 da página 50. Onde consideramos um valor de 0,58 que representa um percentual para corrente de neutro em relação a corrente de fase de 58%.

$$I_{\text{AnsiN}} = 222,82 \times 0,58 \quad (10)$$

$$I_{\text{AnsiN}} = 129,24\text{A}$$

Em seguida é calculado os valores de corrente Inrush do transformador, tanto para fase como para o neutro. Primeiramente é calculado a corrente Inrush de fase, como podemos observar na Equação 11, o valor de corrente Inrush é obtido através da multiplicação da corrente

nominal por um valor de 8 vezes. Este número é determinado pela concessionária de energia (Celesc, 2016).

$$I_{nrushF} = (8 \times 12,5) \quad (11)$$

$$I_{nrushF} = 100A$$

Para calcular a corrente Inrush de neutro utiliza-se a Equação 9, citada abaixo e também no referencial bibliográfico.

$$I_{nrushN} = 0,15 \times 100 \quad (12)$$

$$I_{nrushN} = 15A$$

### 3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE.

Para dimensionar um TC de proteção com a eficiência que o projeto determina, é necessário levar em consideração a corrente de curto circuito provável que passara por estes equipamentos. Tendo isto em vista é possível determinar qual será a máxima corrente no primário do transformador por um determinado período de tempo, dependendo da impedância do transformador, é estipulado o máximo de corrente que este tipo de transformador suporta, para este estudo foi considerado um valor de  $20 \times I_n$ . Como descrito na Equação 16 da página 53, é possível calcular a corrente primaria do transformador de corrente.

$$I_p = \frac{1704}{20} \quad (16)$$

$$I_p = 85,2A$$

Para a proteção do TC é necessário calcular a tensão de saturação, para isso precisamos calcular as impedâncias interligadas ao transformador. Primeiramente calculamos a impedância do cabo que interliga o TC ao relé de proteção. O cabo tem bitola de  $4\text{mm}^2$  e o TC fica a uma distância de 20m dos bornes do painel que interligam o relé aos componentes de campo. Como representado na Equação 15 da página 53 foi calculada a impedância da afiação.

$$Z_{fiação} = 0,017 \times \frac{20}{4} \quad (15)$$

$$Z_{fiação} = 0,106\Omega$$

Para o relé de proteção a impedância por bobina do relé de  $7 \text{ m}\Omega$  e para o TC uma impedância de  $100 \text{ m}\Omega$ . Essas impedâncias estão ligadas em série então o somatório delas resulta em uma carga instalada de  $0,24\Omega$ . Ao calcular a tensão de saturação do TC, utiliza a Equação 14 da página 52.

$$V_s = \frac{1704}{20} \times 0,24 \quad (14)$$

$$V_s = 20,45\text{V}$$

Calculado uma corrente primária de  $85,2\text{A}$ , deve ser escolhido um primário de  $100\text{A}$  que é valor mais próximo comercialmente. A corrente do secundário do TC é de  $5\text{A}$ , então é possível calcular a relação de transformação através da Equação 13 da página 52.

$$\text{RTC} = \frac{100}{5} \quad (13)$$

$$\text{RTC} = 20$$

A corrente instantânea precisa ser ajustada de modo que a corrente de magnetização do transformador, não sensibilize o relé de proteção. Além de ter este cuidado, a corrente instantânea não deve ser superior as correntes de curto-circuito. A corrente instantânea de fase, função ANSI 50 deve ser calculada conforme a Equação 5 da página 45 considerando um ajuste instantâneo definido pelas concessionárias, neste caso foi determinado valor de  $1,15$ .

$$I_{\text{insF}} = 100 \times 1,15 \quad (5)$$

$$I_{\text{insF}} = 115\text{A}$$

Para determinar a corrente instantânea de neutro, função ANSI 50N utiliza a corrente instantânea de fase e divide por 3. Conforme a Equação 6, apresentada no referencial teórico.

$$I_{\text{insN}} = \frac{115}{3} \quad (15)$$

$$I_{\text{insN}} = 38,33\text{A}$$

Após realizar os cálculos para o dimensionamento do TC e definir qual o modelo comercialmente encontrado que atenda aos requisitos do projeto, o quadro a seguir demonstra algumas características do TC que foi montado no cubículo de proteção.

Tabela 3 – Características do TC de proteção.

Fixação	Parede
Tensão (Kv)	23,1
Frequência nominal (Hz)	60
Nível de isolamento (kV)	70
Meio dielétrico	Epóxi
Exatidão	10B30
Fator de sobrecarga	20 x In
Corrente térmica nom. (Ith)	80 x In
Corrente primária nom. (In)	100
Corrente secundária nom. (In)	5

Fonte: (Do autor, 2019).

Segundo a Celesc (2016), acima de 300kVA a Celesc definirá o valor do elo, através do requerimento do estudo de proteção.

Para inserir as curvas temporizadas no cordenograma é necessário determinar as coordenadas a serem plotadas no gráfico. Isso é realizada através de uma tabela onde são calculados os múltiplos de corrente e tempo. A tabela possui múltiplos de 2 a 20, para determinar a curva temporizada e para calcular o múltiplo de corrente é multiplicada pela corrente de partida.

A curva temporizada de fase utilizada nesse estudo é a extremamente inversa demonstrada na Figura 20 da página 47, com um dial de tempo de 0,1 conforme a Tabela 1 da página 48.

**Tabela 4 - Dados da Curva Temporiza de Fase**

Curva	I partida (A)	k	$\alpha$	DT
IEC-EI	14,04	80	2	0,1

Fonte: (Do autor, 2019).

Ao calcular o tempo de atuação do relé para o múltiplo é utilizado a Equação 7 da página 47. Utilizando o primeiro múltiplo 2 para a corrente de partida de 14,04 A e uma dial de tempo de 0,1.

$$t = \frac{80}{2^2 - 1} \times 0,1 \quad (7)$$

$$t = 2,67$$

A Tabela 5 demonstra os valores encontrados, que devem ser plotados no gráfico.

**Tabela 5 - Curva Temporiza de Fase**

Múltiplos	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
I fase (A)	28,08	42,12	56,16	70,20	84,24	98,28	112,32	126,36	140,40	280,80
Tempo (s)	2,67	1,00	0,53	0,33	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,02

Fonte: (Do autor, 2019).

A curva temporizada de neutro utilizada nesse estudo é a extremamente inversa, com um dial de tempo de 0,2s conforme a Tabela 6.

**Tabela 6 - Dados da Curva Temporiza de Neutro**

Curva	I partida (A)	k	$\alpha$	DT
IEC-EI	2,11	80	2	0,2

Fonte: (Do autor, 2019).



Para calcular o tempo de atuação do relé mantém a mesma Equação 7, onde são alterados a corrente de partida de 2,11A e a dial de tempo de 0,2s.

$$t = \frac{80}{2^2 - 1} \times 0,2 \quad (17)$$

$$t = 5,33s$$

A Tabela 7 demonstra os valores encontrados, que devem ser plotados no gráfico.

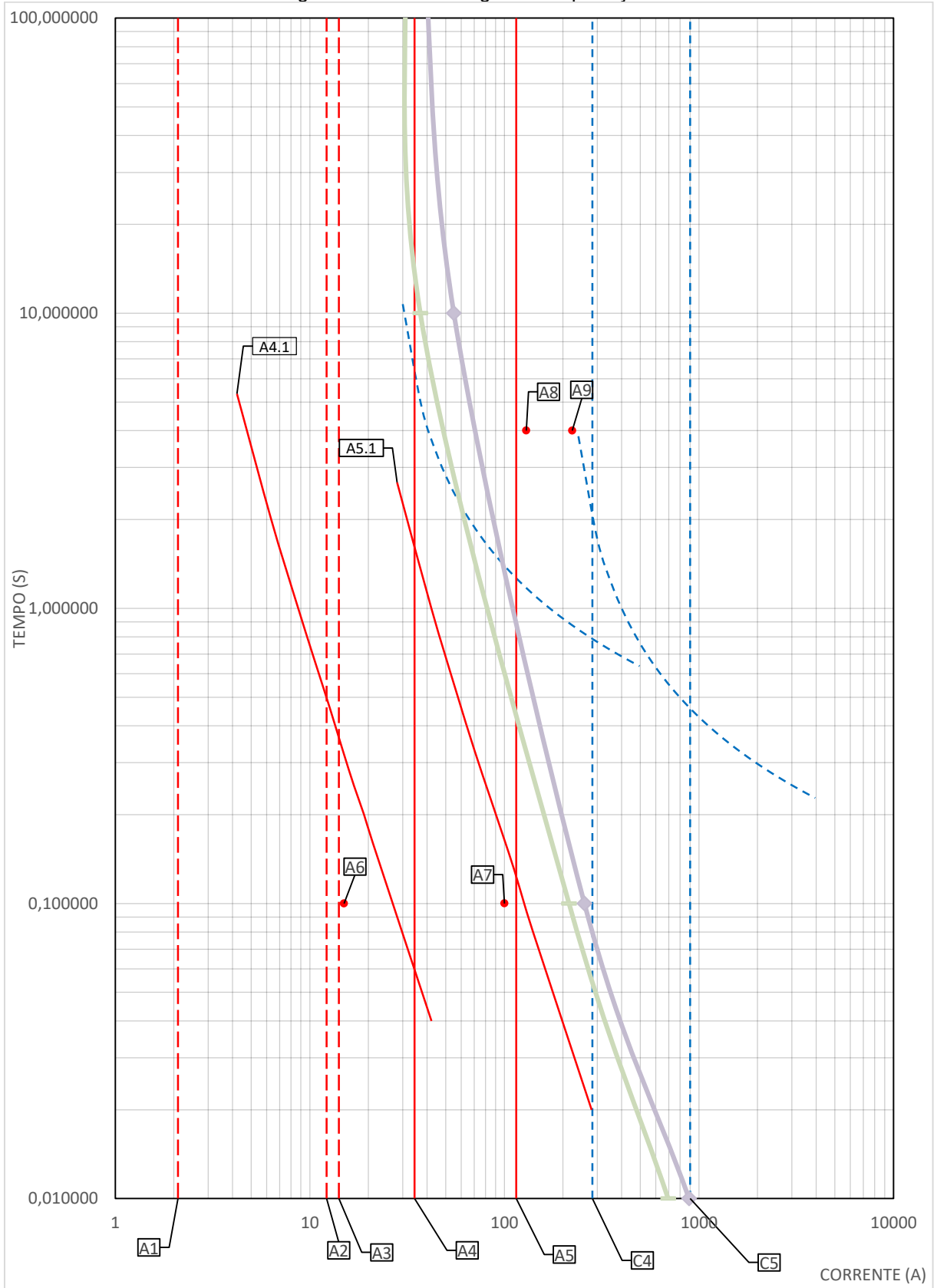
**Tabela 7 - Curva Temporiza de Neutro**

<b>Múltiplos</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<b>I fase (A)</b>	4,22	6,33	8,44	10,55	12,66	14,77	16,88	18,99	21,10	42,20
<b>Tempo (s)</b>	5,33	2,00	1,07	0,67	0,46	0,33	0,25	0,20	0,16	0,04

Fonte: (Do autor, 2019).

Após inserirmos os dados no software seguindo todos os passos metodológicos ele elabora o gráfico, onde é plotado as curvas de proteção do relé. Através do gráfico fornecido pela Celesc, desenvolve-se as curvas de proteção conforme a Figura 32.

Figura 30 – Coordenograma de proteção.



Fonte: (Do autor, 2019).

Tabela 8 – Legenda do gráfico de coordenação da proteção.’

Tag	Descrição	Característica
A1	Corrente de partida de neutro (relé 01)	2,11
A2	Corrente nominal (relé 01)	12,24
A3	Corrente de partida de fase (relé 01)	14,08
A4	Instantâneo de neutro (relé 01)	34,5
A4.1	Curva de neutro (relé 01)	IEC-EI-0,2
A5	Instantâneo de fase (relé 01)	115,1
A5.1	Curva de fase (relé 01)	IEC-EI-0,1
A6	Corrente de rush de neutro (relé 01)	15,01
A7	Corrente de rush de fase (relé 01)	100,08
A8	Corrente Ansi de neutro (relé 01)	129,24
A9	Corrente Ansi de fase (relé 01)	222,8
C4	Instantâneo de neutro (concessionária)	283
C5	Instantâneo de fase (concessionária)	900

Fonte: (Do autor, 2019).

### 3.3 ANALISE DOS RESULTADOS

Os resultado obtidos através de um estudo de caso, foram muito próximos aos dados existentes em um projeto elétrico, e as informações fornecidas pela ferramenta elaborada utilizando o Excel e o Visual Basic, facilitaram muito o desenvolvimento do projeto e a exatidão das curvas de proteção para a devida coordenação da proteção.

Analisando a eficiência do projeto devemos analisar as curvas de proteção do relé da concessionaria e o relé do cliente. A intenção deste estudo é trazer seletividade para o sistema de proteção, evitando danos aos componentes do sistema de proteção como TCs TPs e o disjuntor, como os dispositivos de potência como o transformador que alimenta a fábrica.

Ao analisar o gráfico gerado após o estudo é possível observar que o relé não é sensibilizado durante a corrente de partida do transformador, analisando o ponto A6 ele está

mais à esquerda da curva de neutro do cliente referido na legenda como A4.1, assim como o ponto A7 respectivo ponto de corrente InRush de fase está à esquerda da curva de fase do cliente o ponto A5.1 atendendo aos critérios do projeto onde há demora para energização do transformador é de 0,1 segundos.

Já para os pontos de corrente Ansi de fase e de neutro é necessário que o relé atue antes que a corrente que circula pela subestação chegue a estes níveis. Como representado no gráfico o ponto Ansi de fase respectivo ponto A9, está após a curva de atuação do relé de corrente instantânea de fase, assim como o ponto A8 de corrente Ansi de neutro, está mais à direita da curva instantânea de neutro, sensibilizando o rele antes que danifique os componentes, no período de tempo máximo de 4 segundos como determinado na etapa de projeto.

O gráfico da Figura 32 é o foco do meu estudo, o gráfico de coordenação da proteção onde ele garante a proteção e a seletividade entre disjuntor da subestação e o religador da Celesc, evitando que uma anomalia na rede do cliente atrapalhe o funcionamento da rede da Celesc, isolando de forma temporária o defeito da rede até que ele seja normalizado. A intenção da proteção do cliente é evitar que o problema gerado dentro da instalação se espalhe para a rede ou alimentador, gerando maiores danos ao sistema elétrico, acarretando em desligamentos e interrupção do fornecimento de energia para outros clientes interligados ao mesmo ramal.

## 4. CONCLUSÃO

Um sistema de proteção é muito complexo, tendo isto em mente ao realizar uma pesquisa bibliográfica foi possível observar e conceituar os fatores que determinam os parâmetros a serem seguidos ao se desenvolver um projeto deste nível. Devido a isto, a introdução deste trabalho aborda aspectos fundamentais como objetivos específicos e gerais que o trabalho pretende alcançar e a metodologia utilizada.

O referencial teórico demonstrou os aspectos necessários para o projeto, e também o levantamento dos principais elementos que integram um sistema de proteção, como disjuntores, elos fusíveis, relés de proteção e transformadores destinados ao sistema de potência e transformadores destinados ao sistema de medição e proteção e também as ferramentas utilizadas para elaborar um gráfico de coordenação da proteção.

O terceiro capítulo deste trabalho, foi referente ao dimensionamento do sistema de proteção dimensionado seguindo as normas da concessionária de energia e atendendo aos requisitos básicos de um projeto de proteção e seletividade voltado a uma subestação abrigada com potência instalada superior a 300kVA, onde devido a potência de transformação superior a este valor mencionado, é obrigatório a elaboração de um projeto de proteção e seletividade.

No quarto capítulo foi realizado um detalhamento dos resultados obtidos, analisando a eficiência do projeto e comparando os valores plotados no gráfico. E também os benefícios de utilizar uma ferramenta que gera o gráfico com exatidão trazendo maior comodidade e aceitação do projeto, pelo profissional que o elaborou e pela concessionária de energia que avaliara o projeto.

O projeto de proteção e seletividade traz maior segurança a instalação elétrica do cliente que contrata o serviço e também para a rede da Celesc que transporta a energia até a subestação do consumidor. De forma a trazer maior eficiência e seletividade a proteção, isolando de forma rápida e segura do sistema elétrico, o trecho em que apresenta defeito, trazendo maior confiabilidade ao sistema de transmissão e distribuição.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração por fonte**. 2017. Disponível em:

<[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191504/DD\\_IG\\_1\\_3.pdf/f4be6c6e-4336-0f51-c6d3-f75d184e6e92](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191504/DD_IG_1_3.pdf/f4be6c6e-4336-0f51-c6d3-f75d184e6e92)>. Acesso em 13 fevereiro 2019>. Acesso em 13 fevereiro 2019.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Linhas de transmissão concedidas**. 2017. Disponível em:

<[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DD\\_IG\\_2\\_1.pdf/b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DD_IG_2_1.pdf/b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945)>. Acesso em 14 fevereiro 2019.

ABRADEE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA: **Visão geral do setor**. 2018. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor/>.

ABRADEE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA: **Renovação das Concessões - Associadas ABRADDEE**. 2018. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/component/content/category/21-setor-de-distribuicao>. Acesso em: 20 fevereiro 2019.

BARROS, Benjamim F. de; GEDRA, Ricardo L. **Cabine primária: subestações de alta tensão de consumidor**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2009.

CAMINHA, Amadeu C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2013.

CELESC. CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição N-321.0002**. 2016. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/norma-N3210002.pdf>. Acesso em 29 abril 2019.

CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão ND-5.3**. 2017. Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20Técnicas/nd5\\_3\\_000001p.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20Técnicas/nd5_3_000001p.pdf). Acesso em 25 abril 2019.

FERGUTZ, Marcos. **Projeto de subestações abrigadas**. 2016. Disponível em: [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fergutz/materiais/projeto\\_de\\_subesta\\_\\_\\_\\_es\\_abrigadas\\_v9\\_16.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fergutz/materiais/projeto_de_subesta____es_abrigadas_v9_16.pdf). Acesso em 26 de abril de 2019.

FLÓREZ, Ramiro Ortiz. **Pequenas centrais hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

FONTANA, Diego; FURLANETTO, Cesar; BENEDET, Edmilson. **Manual Supercoord v2**. 2018. Disponível em:

- IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. **IEEE C37.2 Standard for electrical power system device function numbers, acronymus, and contact designations.** New York, 2008.
- KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos C. B. de; ROBBA, Ernesto J. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- KINDERMANN, Geraldo. **Curto circuito.** 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.
- KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** 1. Ed. Florianópolis: Edição do autor, 1999.
- MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Instalações elétricas industriais: de acordo com norma brasileira NBR 5419:2015.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- MARGEDAN, Cláudio. **Proteção e seletividade em sistemas elétricos industriais.** 1. ed. São Paulo: Atitude Editorial, 2012.
- MICROSOFT. **REFERÊNCIA DO VBA DO OFFICE.** 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/office/vba/api/overview/>>. Acessado em 12 de maio 2019.
- MICROSOFT. **CRIANDO A APARÊNCIA DO SEU PROGRAMA VISUAL.** 2010. Disponível em: <[https://docs.microsoft.com/pt-br/previous-versions/visualstudio/visualstudio-2008/b201w61t\(v%3dvs.90\)](https://docs.microsoft.com/pt-br/previous-versions/visualstudio/visualstudio-2008/b201w61t(v%3dvs.90))>. Acessado em 12 de maio 2019.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. ONS. **O Sistema Interligado Nacional.** 2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DD\\_IG\\_2\\_1.pdf/b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DD_IG_2_1.pdf/b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945)>. Acesso em 11 março 2019.
- PINTO, Milton de Oliveira. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligado.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- SATO, Fujio; FREITAS, Walmir. **Análise de curto-circuito e princípios de proteção em sistemas de energia elétrica.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elseiver,2015.
- ZANETTA JUNIOR, Luiz Cera. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência.** 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

**ANEXO A – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DA SUBESTAÇÃO.**



Documento aqui, Localização planta

## **ANEXO B – DIAGRAMA UNIFILAR**

Documento aqui, Unifilar

## **ANEXO C – FUNÇÕES ANSI.**