



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOSÉ AROLDO PEREIRA DA SILVA JÚNIOR

**SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO VIA SOFTWARE
ATPDRAW PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUA PROTEÇÃO**

Palmas-TO

2022

JOSÉ AROLDO PEREIRA DA SILVA JÚNIOR

**SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO VIA SOFTWARE
ATPDRAW PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUA PROTEÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFT - Universidade Federal do Tocantins, Câmpus de Palmas como requisito básico para a conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor. MSc. Adélcio Maximiano Sobrinhos

Palmas-TO

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema
de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

P436s Silva Júnior, José Aroldo Pereira da.
 Simulação do sistema de distribuição via Software
 atpdraw para Implementação de sua proteção. /
 José Aroldo Pereira Da Silva Júnior. – Palmas, TO, 2022.
 67 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2022.
 Orientador: Adélcio Maximiano Sobrinho

 1. Equipamentos de Proteção e Manobra . 2. Transformadores . 3.
 Religadores e Seccionalizadores. 4. ATPDraw. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

José Aroldo Pereira Da Silva Júnior

SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO VIA SOFTWARE ATPDRAW PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUA PROTEÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
UFT – Universidade Federal do Tocantins –
Campus Universitário de Palmas, Curso de
Engenharia Elétrica para ser avaliada para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica e analisada em sua forma final pelo
Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação ____ / ____ / ____

Banca examinadora:

Prof.º MSc. Adelício Maximiano Sobrinho, UFT

Prof. Me Alexandre Motta de Andrade, UFT

Prof. Me Sergio Manuel Rivera Sanhueza, UFT

PALMAS/TO

2021

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram presentes e fizeram parte da minha formação como pessoa e profissional. A meus pais meus agradecimentos por terem me dado todo o suporte de estudo e familiar durante todos esses anos para chegar onde cheguei. Aos professores Adelício Maximiano, Alexandre Motta e Stefani Caroline que tiveram grande influência em minha vida acadêmica, sendo estes os principais responsáveis pelo meu interesse nessa área específica da engenharia sempre oferecendo todo o suporte necessário e auxiliando no processo de aprendizado e desenvolvimento não só como aluno, mas como profissional e como pessoa, grandes professores pelos quais terei eternamente um grande apreço e admiração. Sou muito grato também aos meus grandes amigos que obtive na universidade nestes últimos anos, fossem veteranos ou alunos mais novos, que nos momentos mais difíceis sempre estavam disponíveis para ajudar, como Vinicius Gois, Alana Pereira, Isabel Menezes, Nathalia Marques, José Victor, Gabriel Aiúde e Ítalo Barbosa e que hoje em dia também, tenho a certeza de que estarão sempre em minha vida. Aos meus amigos fora da engenharia e da universidade Matheus Barros, João Pedro Clemente e Hernane Mendes por todos os anos de amizade e apoio em todas as circunstâncias, os quais considero como irmãos de vida. Agradeço também à todas as entidades com as quais estive envolvido nestes últimos anos, em especial à Atlética Blackout que em momentos nos quais até cogitei em mudar de curso, sem dúvidas foi um pilar fundamental principalmente devido a união que sempre tivemos enquanto diretoria e associados, à LIES pela grande experiência acadêmica, e a Liga Sombria, pela oportunidade de poder ir a outros estados carregando sempre o nome das engenharias e da UFT. Sou muito feliz por ter tido tantas experiências maravilhosa durante meu período de graduação, entre eles as viagens para Goiânia e Brasília, as semanas acadêmicas, os eventos esportivos, experiências essas que me deram além de muito conhecimento e diversão, a possibilidade de conhecer novas pessoas e novos lugares. Agradeço a Minha Mãe, uma mulher forte e um exemplo de dedicação, que sempre fez tudo pelo seu único filho, uma pessoa que tem minha gratidão eterna por ter me dado a vida e por estar comigo até hoje, ao meu Pai, homem de caráter, trabalhador e um exemplo de ser

humano íntegro, tentando sempre mostrar o caminho certo a se seguir, mesmo que em muitos momentos eu estivesse perdido.

À minha avó materna Dona Marinete que sempre me aconselhou, mesmo que de longe, e que nunca escondeu de ninguém o orgulho que possui por mim que sou seu neto mais velho. E a todo o resto da minha família que se encontra em Brasília.

RESUMO

Este trabalho se trata de um estudo sobre os principais equipamentos aplicados em Subestações do Sistema Elétrico que são responsáveis por garantir que os sistemas funcionem sempre, ou na maioria das vezes, de acordo com aquilo para o que são planejados, muitas vezes quando se vê uma subestação elétrica, uma linha de transmissão e distribuição, ou até mesmo um poste elétrico nas ruas, preocupa-se apenas em utilizar dessa energia que está sendo fornecida de uma maneira que seja conveniente, entretanto existem uma série de fatores que precisam estar alinhados para que essa utilização aconteça. Ao longo do trabalho são descritos todos os equipamentos necessários para tais objetivos, são estes, disjuntores, relés de proteção, transformadores, retificadores, banco de baterias, religadores e seccionadoras, bem como sua importância em cada instância, seus tipos e variações e seus modos de construção e aplicação, visando apresentar o conhecimento sobre os principais pontos de cada um de uma maneira satisfatória, por fim, é realizada uma simulação por meio do *software ATPDraw* dos mecanismos de proteção de uma rede de distribuição, bem como os esquemas de proteção utilizados e suas coordenações.

Palavras-chave: disjuntores, relés de proteção, transformadores, retificadores, bancos de baterias, religadores, seccionadoras.

ABSTRACT

This work is defined on the main treatment equipment in Electric Substations, which always work to ensure that the majority systems are in accordance with what or that are planned to be designed in a way to be seen many times. electrical substation, an electrical transmission and distribution line, on the streets, is even concerned with using this energy that is being supplied to be supplied. Throughout the work, all the equipment for such purposes are defined, these are circuit breakers, protection relays, transformers, transformers, battery banks, reclosers, as their types and variations and construction and application sectionalizers, presenting the knowledge about the main points of each in a global way, finally, a simulation is performed using the ATPDraw software of the protection mechanisms of a distribution network, such as the protection schemes used and their coordination.

Key-words: circuit breakers, protection relays, transformers, rectifiers, battery banks, reclosers, sectionalizers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama Unifilar das Proteções.....	18
Figura 2.2 Relés de Proteção	40
Figura 3.1 Transformador de Serviço Auxiliar	40
Figura 3.2 Exemplo de Retificadores	39
Figura 3.3 Banco de Baterias	41
Figura 4.1 Rede de Distribuição	44
Figura 4.2 Características Físicas da Linha	48
Figura 4.3 Características Físicas da Linha	48
Figura 4.4 Coordenação Monofásico Mínimo Sistema Atual (L61)	55
Figura 4.5 Coordenação Monofásico Mínimo Sistema Futuro (L61)	56
Figura 4.6 Coordenação Trifásico Sistema Atual (L61)	56
Figura 4.7 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L61)	57
Figura 4.8 Coordenação Trifásico Sistema Atual (L60)	58
Figura 4.9 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L60)	58
Figura 4.10 Coordenação Trifásico Sistema Atual (L43)	59
Figura 4.11 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L43)	59
Figura 4.12 Coordenação Trifásico Sistema Atual (L15)	60
Figura 4.13 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L15)	61
Figura 4.14 Coordenação Trifásico Sistema Atual (L52)	61
Figura 4.15 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L52)	62
Figura 4.16 Coordenação Trifásico Sistema Futuro (L18)	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Características Físicas e Elétricas do Ramal	44
Tabela 4.2 Resistência Dos Diferentes Cabos	46
Tabela 4.3 Tipo de Agrupamento dos Cabos	46
Tabela 4.4 Correntes de Curto dos Religadores	50
Tabela 4.5 Dimensionamento TC Seccionalizadores	54
Tabela 4.6 Resumo Do Dimensionamento dos TC's	55

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
SEP	Sistema Elétrico de Potência
TRAFO	Transformador
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
UFT	Universidade Federal do Tocantins
RTP	Relação de Transformação do Transformador de Potencial
RMS	Valor Eficaz

LISTA DE SÍMBOLOS

AT	Alta tensão
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
K	Relação de transformação
K_n	Relação do Número de Espiras
N_1	Número de Espiras do Enrolamento Primário
N_2	Número de Espiras do Enrolamento Secundário
CC	Corrente Continua
kV	Quilo Volts
kVA	QuiloVolt Ampere

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	Justificativa.....	16
1.2.	Objetivo	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
1.3.	Metodologia da pesquisa.....	18
1.4	Estrutura do trabalho.....	18
2.	ANÁLISE DOS DADOS.....	20
2.1	Equipamentos de Proteção e Manobra	20
2.1.1	Descrevendo os equipamentos de proteção e manobra	21
2.1.1.1	Disjuntores	22
2.1.1.2	Tipos de disjuntores para altas tensões	22
2.2	Tipos de Proteção.....	26
2.2.1	Proteção Contra Curto Circuitos.....	26
2.2.2	Proteção Contra Sobrecargas.....	26
2.2.3	Proteção Contra Sobretensões e Subtensões.....	27
2.4	Relés.....	27
2.4.1	Construção dos Relés.....	29
2.4.2	Tipos de Relés.....	30
2.4.2.1	Relé de Sobrecorrente.....	30
2.4.2.2	Relé de Sobretensão e Subtensão.....	31
2.4.2.3	Relé Direcional.....	31
2.4.2.4	Relé de Distancia.....	32
2.4.2.5	Relé Diferencial.....	33
2.5	Religadores e Seccionalizadoras Automáticas	34
3.	TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS, TRANSFORMADOR DE SERVIÇO AUXILIAR, RETIFICADORES E BANCO DE BATERIAS.....	35
3.1	Introdução aos dispositivos	35
3.2	Transformadores de Corrente	35

3.2.1 Tipos de TC's de acordo com o método de Construção.....	36
3.2.1.1 TC Tipo Enrolado.....	36
3.2.1.2 TC Tipo Janela.....	37
3.2.1.3 TC Tipo Barra.....	37
3.3 Transformadores de Potencial.....	37
3.3.1 Tipos de Transformadores de Potencial.....	38
3.3.1.1 Transformador de Potencial Indutivo.....	38
3.3.1.2 Transformador de Potencial Capacitivo.....	39
3.4 Transformador de Serviço Auxiliar	39
3.4.1 Aplicações.....	40
3.4.1.1 Alimentação Para Subestações De Manobra.....	41
3.4.1.2 Para O Fornecimento de Energia Em Subestações convencionais.....	42
3.4.1.3 Para O Fornecimento de Energia Em Subestações De Energia Reno.....	42
3.4.1.4 Utilização Para Eletrificação de Zonas Rurais.....	42
3.4.1.5 Fonte Alimentação em Torres de Telecomunicações.....	43
3.5 Retificadores.....	43
3.5.1 Tipos de Retificadores Trifásicos.....	45
3.6 Bancos de Baterias.....	45
3.6.1 Princípios de Construção e Funcionamento.....	46

4	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL ATRAVÉS DO ATPDRAW E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	48
4.1	Características da Rede De Distribuição Simulada	48
4.1.1	Localização das Proteções Dentro do Sistema	52
4.2	Implementação Computacional	52
4.2.1	MODELS	53
4.3	Análise de Resultados	54
4.3.1	Dimensionamento do Transformador de Corrente	54

	4.4 Testes de Seletividade	60
	4.4.1 Fusível (FUS-52) x Fusível (FUS-60)	60
	4.4.2 Religador x Seccionalizador x Fusível	63
	4.4.3 Religador x Religador	64
	4.4.4 Religador x Seccionalizador	66
	4.4.5 Religador x Fusível	69
5	CONCLUSÃO	70
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas áreas de estudo que a Engenharia Elétrica proporciona, algumas são vistas como essenciais, pois estão mais expostas para as visões alheias do grande público, outras, no entanto, apesar de serem de extrema importância não são vistas de uma maneira mais ampla pois se tratam muitas vezes daqueles campos que são mais discretos e que dizem respeito a coisas que na maioria das vezes não estão à vista de todos.

Uma dessas áreas, diz respeito aos equipamentos responsáveis pela proteção e pela manobra dos sistemas elétricos.

Em muitas situações vê-se geradores de emergência produzindo energia por exemplo para shoppings centers ou hospitais, transformadores ajudando na distribuição de energia para nossas casas e locais de trabalho, subestações particulares controlando a distribuição, ou mesmo grandes linhas de transmissão que se espalham por milhares de quilômetros com a missão de levar a energia elétrica aos locais que precisam dela.

Nesse contexto, o tema abordado neste trabalho dirá respeito justamente aos dispositivos que se encontram atrelados a todos esses exemplos citados e que são responsáveis justamente por fazer com que tudo isso aconteça de maneira segura, são esses equipamentos, os verdadeiros responsáveis por garantir que a energia elétrica seja gerada, transmitida, distribuída e usada de maneira correta e eficiente por todos aqueles que precisam dela em suas rotinas diárias. Afinal de contas, não seria possível obter todo esse controle sobre algo tão crucial sem que todos esses mecanismos estejam devidamente alinhados corretamente?

1.1. Justificativa

Ao longo do curso de graduação de Engenharia Elétrica, depara-se muitas vezes com um empecilho que embora pareça simples, pode trazer certas complicações a longo prazo.

Este empecilho está atrelado ao fato de que, mesmo que se tenha acesso as mais diversas informações sobre os mais variados tipos de equipamentos que se

utilizam na carreira da engenharia, em muitos momentos essas informações são vistas de uma maneira mais superficial. Principalmente no que diz respeito aos equipamentos que são utilizados na proteção e manobra dos sistemas elétricos.

Esses equipamentos são muitas vezes os principais responsáveis pelo funcionamento adequado de tudo aquilo que está ao nosso redor e necessita de energia elétrica para funcionar, uma vez que, não se pode simplesmente energizar algo ou mesmo transmitir a energia de um ponto a outro sem que houvesse os devidos cuidados com os mecanismos de proteção e manobra para que tudo ocorra da maneira correta

Tendo isso em vista isso, a prerrogativa para a elaboração deste trabalho de conclusão será a análise do funcionamento destes dispositivos bem como o estudo das aplicações práticas que os mesmos possuem nas mais diversas áreas da engenharia elétrica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

Em um contexto geral o principal objetivo deste trabalho de pesquisa será caracterizar, analisar e compreender da maneira mais prática possível tudo aquilo que diz respeito ao funcionamento dos equipamentos de proteção e manobra.

Basicamente tudo girará em torno de apresentar da maneira mais prática e didática possível todas as funções e o real grau de importância de dos principais equipamentos com essas funções.

Equipamentos tais como: TC's, TP's, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores e alimentadores, além de subestações particulares, bancos de baterias, entre outros.

1.2.2 Objetivos específicos

Para que o contexto geral dos objetivos seja atingindo, a base de tudo será transformar todas as informações a serem obtidas em algo de fácil absorção e entendimento, os dados serão analisados e apresentados através das informações preestabelecidas nas bibliografias a serem estudadas.

O objetivo é apresentar de maneira mais palpável o que ocorre dentro destes dispositivos.

Sendo assim, após todos esses levantamentos será possível expressar de maneira satisfatória uma série de respostas no que diz respeito ao modo de operação e às funções que os dispositivos de proteção e manobra possuem.

1.3 Metodologia

As descrições do funcionamento dos Equipamentos de Subestações serão realizadas através de um levantamento bibliográfico. As simulações transitórias da corrente Inrush serão realizadas através do *software ATPDraw*. O trabalho será escrito via *software word*. O dimensionamento do coordenograma de uma Subestação Particular será realizado via *software excell*. Os cálculos para dimensionamento dos transformadores de corrente e dos ajustes das proteções temporizadas e instantâneas são realizados via *software OCTAVE*.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em quatro Capítulos. No Capítulo 1 é realizada a introdução, são descritos os objetivos gerais e específicos, detalhada a metodologia utilizada e mostra também a estrutura deste trabalho.

No Capítulo 2, é realizada a apresentação dos equipamentos de proteção de manobra, bem como os tipos de proteção que são realizadas em um sistema e detalhando também os problemas mais comuns que acontecem nessas situações, além disso, são mostrados também todos os dados referentes aos que estão inseridos nesse contexto, sendo estes os disjuntores e relés de proteção.

Já no Capítulo 3 é mostrado e explicado sobre o funcionamento e a importância da utilização dos transformadores de potencial e de corrente, do transformador de serviço auxiliar, bem como sobre o funcionamento dos retificadores e dos bancos de baterias.

E por fim no Capítulo 4 é apresentado o levantamento final sobre os dados que foram mostrados, bem como os resultados da implementação através do *software ATPDraw* e os métodos utilizados para a obtenção dos mesmos. Diante disso, no

capítulo 5 encontra-se a conclusão sobre tudo aquilo que foi absorvido durante o trabalho e uma visão geral sobre os objetivos que haviam sido estabelecidos desde sua concepção.

2. ANÁLISE DOS DADOS

2.1 Apresentando os equipamentos de proteção e manobra

Em todas as operações de sistemas elétricos, existe o surgimento, que em alguns casos ocorre até de maneira frequente, de falhas que eventualmente acabam por interromper o fornecimento de energia seja em um equipamento específico ou seja a um consumidor final que esteja conectado a esse sistema. Em outras palavras, tudo aquilo que tenha como obrigação a energia elétrica, está suscetível a problemas.

Para facilitar o entendimento, leva-se em conta que esses problemas se dividem basicamente em 4 tipos diferentes. Uma das falhas mais comuns é o curto circuito, que diz respeito basicamente a correntes elevadas que percorrem todo o circuito em questão ocasionando variações bruscas de tensão em todos os componentes que compõe o sistema, ditas variações acabam por causar na maioria das vezes, danos que podem chegar a ser irreversíveis tanto a um sistema isolado como algum equipamento eletroeletrônico, quanto a unidades consumidoras inteiras. O segundo problema diz respeito a sobrecarga elétrica, que basicamente se resume a um pico muito elevado de carga sendo aplicada ao sistema, muitas vezes, um sistema elétrico já é de certa forma projetado para aguentar sobrecargas por tempo limitado, porém, ao igual que problema anterior, caso esse tempo limite seja excedido pode haver danos consideráveis.

Os últimos dois problemas que podemos citar, acabam por ser duas faces da mesma moeda, sendo estes as subtensões e as sobretensões, ambas podem acontecer pelos mesmos motivos, estando condicionadas a condições específicas do momento na qual ocorrem, ditos problemas podem acontecer pelos mais variados motivos, desde de falhas nos mecanismos de proteção ou nos mecanismos de manobra – os quais veremos mais adiante – ou mesmos por consequência de fatores externos como descargas atmosféricas inesperadas por exemplo.

Sendo assim, os equipamentos de proteção e manobra surgem como mecanismos responsáveis por fazer com que esses problemas citados tenham seus impactos diminuídos ou em determinados casos, até mesmo anulados, visando proteger os sistemas elétricos da melhor maneira possível. Na figura 2.1 é possível

visualizar um diagrama unifilar contendo uma exemplificação de como esses equipamentos se posicionam dentro de um sistema.

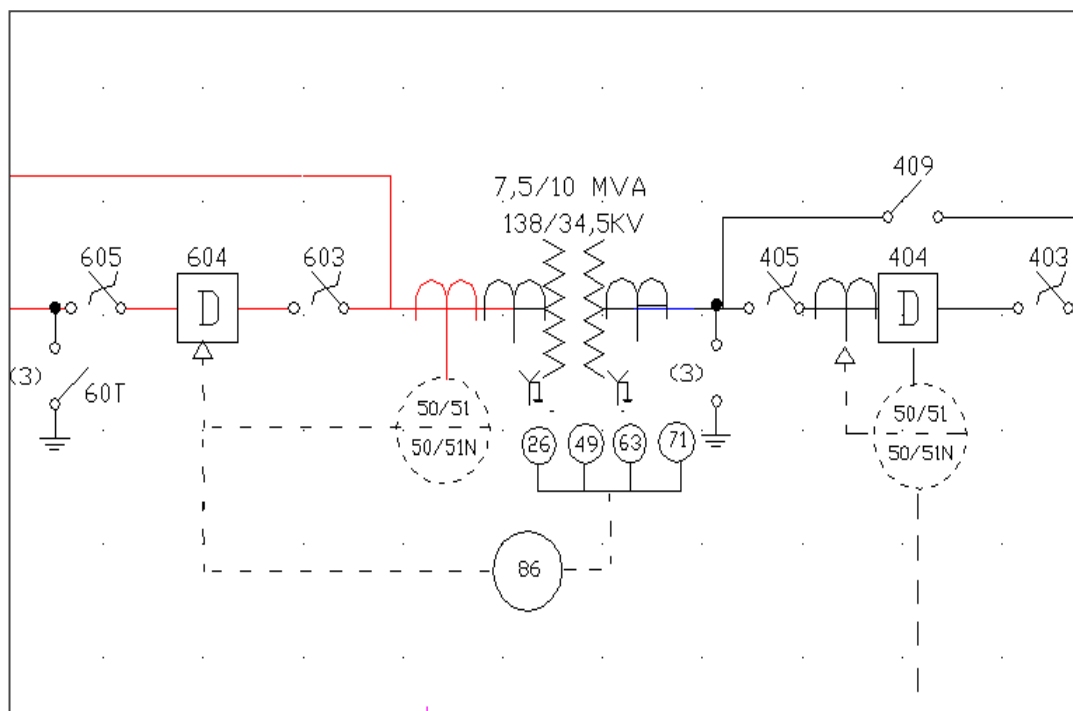


Figura 2.1 Diagrama Unifilar das Proteções.

Fonte: Autoria própria

Uma vez estabelecido esses conceitos, podemos então descrever de forma mais sucinta, o tipo de proteção utilizado em cada um dos 4 tipos de problemas básicos.

2.1.1 Descrevendo os equipamentos de proteção e manobra

Já pôde ser visto mesmo durante esta introdução a respeito dos tipos de problemas e dos tipos de proteção, citações aos dispositivos que atuam diretamente na linha de frente dos sistemas de proteção e manobra, tais como disjuntores e relés, dessa maneira, podemos então descrever mais a respeito de cada um e sobre como os mesmos funcionam. Vale ressaltar que não são apenas disjuntores e relés atuando em solitário, tem-se uma variada gama de dispositivos que uma vez combinados, serão os responsáveis por garantir que tudo funcione da maneira correta diminuindo assim os efeitos negativos decorrentes dos problemas apresentados.

Ou seja, apenas após somarmos disjuntores e relés, teremos as condições ideais para efetuar as manobras de proteção de maneira correta nos mais variados cenários, tais como em TP's e TC's por exemplo.

Também vale ressaltar mais 3 itens que atuam diretamente nos sistemas elétricos e nos dispositivos responsáveis por seu funcionamento seguro e adequado, que são, o Transformador de serviço auxiliar, sendo esse mais um tipo de transformador de potencial, porém que merece por si só um tópico próprio que veremos a seguir, além dos retificadores e dos bancos de baterias.

2.1.1.1 Disjuntores

Seguindo a definição estabelecida com (NISKIER, 2013, p164) disjuntores são equipamentos de proteção e manobra, capaz de conduzir e interromper corrente elétrica em condições normais e/ou em condições anormais. Sendo considerados como condição anormal efeitos provenientes de curto circuito ou sobre corrente.

Através dessa definição podemos então estabelecer que os disjuntores servem como um mecanismo responsável por resguardar a entrada do sistema elétrico no qual o mesmo está instalado de eventuais picos de corrente que possam a vir danificar os componentes que estão ali presentes

Os disjuntores podem servir tanto para baixas quanto para altas tensões. Os exemplos para baixa tensão são aqueles utilizados em construções residenciais ou comerciais de pequeno e médio porte, já os de alta tensão podem ser vistos sendo empregados nas grandes linhas de transmissão de energia ou em subestações elétricas por exemplo.

Já para os disjuntores de alta tensão, teremos mecanismos especiais para a interrupção do arco voltaico resultante na abertura dos polos. Uma vez que, em aplicações de grande potência, esta corrente de curto-circuito, pode alcançar valores de 100 kA. Isso faz com que também existam tipos específicos desses dispositivos feitos para atuar apenas nessas condições mais elevadas.

2.1.1.2 Tipos de disjuntores para altas tensões.

Como citado anteriormente, os disjuntores para baixas e médias tensões que são vistos nas instalações residenciais e comerciais por exemplo, serão utilizados em casos onde a tensão máxima aplicada fique a baixo de 15 kV. Uma vez que se ultrapassa esse limite, por exemplo em grandes linhas de transmissão ou em subestações elétricas, teremos a utilização dos disjuntores para altas tensões. Estes dispositivos de proteção e manobra serão utilizados em situações onde a tensão tiver valores que permaneçam normalmente a partir de 15 e podendo chegar a 230 kV por exemplo. Nesse contexto, esse componente se torna quase que indispensável quando temos essas aplicações elevadas de tensão, pois o mesmo será diretamente responsável por assegurar a proteção do sistema elétrico de maneira eficiente, visando assim diminuir o máximo possível o acontecimento de eventuais falhas e acidentes.

Essa importância é redobrada se levarmos em conta que os locais nos quais temos esse grande fluxo de energia como as linhas de transmissão e subestações, são justamente os locais responsáveis por fazer com que a energia seja transmitida de maneira correta e chegue até o consumidor final.

Com isso em mente, vale ressaltar que os disjuntores de alta tensão recebem uma atenção redobrada em seu desenvolvimento, necessitando de materiais incrivelmente resistentes e com uma vida útil longa, uma vez que, os mesmos precisam estar devidamente preparados para as condições severas de funcionamento as quais estarão sujeitos quando entrarem em operação.

Apesar desses importantes detalhes quanto a sua concepção, o princípio de funcionamento não foge muito daquilo que já foi citado anteriormente. O disjuntor de alta tensão deverá funcionar realizando a interrupção do arco voltaico através da abertura de seus polos.

Entretanto, apesar do princípio de funcionamento ser o mesmo, existem diferentes formas de se chegar no objetivo final, dessa maneira, tem-se diferentes tipos de disjuntores que variam quanto ao seu modo de construção e modo de operação, os mais comuns, e os quais poderemos ver aqui, são: Disjuntor de sopro magnético, disjuntores a óleo, disjuntores a vácuo, disjuntores a ar comprimido e disjuntores SF₆.

- **Disjuntor de sopro magnético**: Neste tipo de disjuntor, os contatos abrem no ar de maneira a empurrar o arco voltaico para dentro das câmaras de extinção onde acontece a interrupção, dita interrupção ocorre devido à distância que ocorre entre a separação e ao contato do arco com as paredes da câmara, aumentando assim a resistência do arco e fazendo com que o mesmo se dissipe.
- **Disjuntor a óleo**: Este é um dos tipos mais antigos pois as capacidades do óleo como material isolante e extintor são conhecidas a décadas, nesse tipo de disjuntor, a extinção do arco voltaico acontece por conta de dois fatores, o efeito de hidrogênio onde as altas temperaturas do arco decompõe o óleo ocasionando a liberação de alguns gases, sendo o principal o hidrogênio que devido a sua elevada condutividade térmica acaba por retirar o calor gerado no arco, resfriando o mesmo, e o efeito de fluxo líquido, onde se joga óleo mais frio sobre o arco de maneira a acelerar o primeiro efeito fazendo com que grandes quantidades de calor sejam retiradas pelos gases resultantes. Estes tipos de disjuntores podem de grande volume de óleo ou de pequeno volume de acordo com o local onde precisa ser instalado.
- **Disjuntores a vácuo**: Apesar do conceito de o vácuo como meio isolante já ser conhecido a bastante tempo levou-se um tempo até que os meios técnicos permitissem o desenvolvimento de câmaras de vácuo eficientes. O princípio de funcionamento deste dispositivo se baseia no fato de que os íons positivos e elétrons são fornecidos pela nuvem de partículas metálicas provenientes da evaporação dos contatos formando um substrato para o arco voltaico. Após a interrupção de corrente, estas partículas depositam-se rapidamente na superfície dos contatos recuperando, assim, a rigidez dielétrica entre os mesmos. Esta recuperação da rigidez dielétrica é muito rápida nos disjuntores a vácuo, o que permite altas capacidades de ruptura em câmaras relativamente pequenas. Esse tipo de disjuntor se caracteriza por uma grande segurança de operação pois não utiliza nenhum tipo de óleo ou gás inflamável, além de ter uma vida útil bastante elevada e uma manutenção mais simplificada.
- **Disjuntores a ar comprimido**: Dentre todos, este é talvez aquele com o princípio de extinção mais simples, consistindo na criação de um fluxo de ar

sobre o arco, fluxo esse que geralmente é gerado através da criação de um diferencial de pressão descarregando o ar comprimido após a extinção para a atmosfera. Esse tipo de disjuntor pode ser utilizado em toda a alta gama de tensões, até mesmo nas superelevadas, entretanto deve-se levar em conta seu alto custo de implantação, dependendo de aonde tiver que ser instalado, e também o fato de que o mesmo necessita de uma manutenção constante principalmente devido aos sistemas responsáveis pela geração do ar comprimido,

- **Disjuntores SF6**: Esse disjuntor tem como base o Hexafluoreto de Enxofre, o mesmo é um gás, não inflamável, não venenoso, incolor, inodoro e devido à sua estrutura molecular simétrica é extremamente estável e se mantém inerte até cerca de 5000°C, agindo basicamente com um gás nobre. O SF6 encontra-se num sistema fechado e praticamente isento de umidade por toda a vida útil do equipamento. Além disso existe a presença de filtros com elementos desumidificadores para qualquer eventualidade, de maneira que, o problema da umidade e das suas consequências seja praticamente inexistente. Com um peso específico de 6,14g/l ele é 5 vezes mais pesado que o ar. As características isolantes do SF6 variam em função da pressão e da densidade e são bastante superiores aquelas dos meios isolantes mais comuns usados nos outros disjuntores que já foram apresentados tais como o óleo mineral e o ar comprimido. Atualmente esses dispositivos funcionam através de um mecanismo denominado de Pressão única, ou seja, nesse conjunto o gás está num sistema fechado com pressão única de 6 a 8bar, conforme o tipo. O diferencial de pressão, sempre necessário nos disjuntores de meio gasoso para criar um fluxo de gás sobre o arco, é conseguido criando-se uma sobre pressão transitória durante a manobra de abertura dos contatos, que faz com que o gás seja bombeado através do arco dissipando o mesmo.

2.2 Tipos De Proteção

2.2.1 Proteção contra curto circuitos

Por ser visto muitas vezes como o problema mais grave a se enfrentar em um sistema com mecanismo de proteção o curto-circuito precisa ser neutralizado ou evitado em um tempo extremamente rápido se a intenção for evitar danos graves ao sistema elétrica, para tanto os equipamentos de proteção e manobra tais como disjuntores e religadores devem estar condicionados a não permitir que o curto circuito dure por períodos muito longos, fazendo com que as variações extremas de corrente sejam limitadas em módulo e tempo, em outras palavras, fazendo com que a corrente que poderia passar através dos componentes seja interrompida totalmente e que os circuitos sejam fechados. Para os casos de curto-circuito normalmente a proteção que atuará mais rápida é a proteção instantânea (50) quando comparada com a temporizada (51).

2.2.2 Proteção contra sobrecargas

Como dito anteriormente, em grande parte das vezes o sistema elétrico já leva em conta desde seu projeto, a possibilidade de ter que atuar sobre efeito de sobrecargas, entretanto, deve-se levar em consideração que essa atuação deverá ser por tempo limitado, esse tempo estará necessariamente atrelado a capacidade dos dispositivos de proteção aplicados no momento do projeto. Não obstante, apesar da projeção para funcionar mesmo com sobrecarga, deve-se levar em conta que a partir do momento que a corrente de sobrecarga ultrapassa os limites estabelecidos, os danos no sistema podem começar a aparecer, dessa forma, quando isso acontece, o sistema precisa estar preparado para ter essa corrente reduzida, ou também para ser desligado e deixado em modo inoperante. Nesse caso de proteção, o tipo mais comum a ser utilizado são os relés. Para os casos de sobrecarga (correntes menores) normalmente a proteção que atuará mais rápida é a proteção temporizada (51) quando comparada com a instantânea (50).

2.2.3 Proteções contra sobretensões e subtensões

Inicialmente deve-se levar em conta as condições para cada caso, sendo assim, a sobretensão, ocorrerá sempre que a tensão que está sendo aplicada ultrapassar o valor máximo de 110% do valor nominal estabelecido para o funcionamento do sistema, já a subtensão, ocorrerá por via de regra quando a tensão aplicada estiver abaixo de 80% do valor nominal estabelecido.

Entre esses dois problemas a sobretensão se torna um pouco mais delicada, uma vez que, a mesma pode causar mais tipos de danos aos sistemas elétricos, chegando ao ponto da irreversibilidade de funcionamento dos mesmos. A sobretensão pode ser ocasionada por uma variedade de fatores, como por exemplo, os curtos circuitos citados anteriormente, chaveamentos ou conexões equivocadas nas redes elétricas ou também por decorrência de descargas atmosféricas, a proteção nesses casos pode seguir uma série de fatores que devem ser observados em função do momento em questão, porém de forma mais simples, ela passará principalmente por ajustes de funcionamento dos relés utilizados, seja através dos ajustes de valor máximo da tensão nominal, do bloqueio do religamento das linhas de transmissão, desconexão dos bancos de capacitores ou mesmo efetuando o desligamento temporário das fontes de energia próximas,

Já para o caso das subtensões, os processos poderão ser os mesmos, porém voltados para quando as tensões estiverem operando abaixo da tensão nominal esperada.

2.4 Relés

Os relés (Figura 2.2) são um dos elementos mais importantes do sistema de proteção. Pois é justamente este dispositivo que servirá por exemplo, para comandar a abertura de um disjuntor quando surgirem condições anormais dentro do sistema.

Os relés são responsáveis por comandar os acionamentos dos sistemas de proteção, isso se dá, pois, o mesmo possui a função de vigiar constantemente diversos parâmetros de operação de um sistema elétrico. Parâmetros esses que podem ser: tensões, correntes, valores de potência e impedância ou até mesmo ângulos de fase. Em outras palavras, o relé precisa ter a capacidade de processar e

analisar os sinais que está recebendo e conseguir determinar se dentre esses parâmetros recebidos existe alguma anormalidade para então acionar alguma ação corretiva, podendo ser esta, uma simples sinalização de alerta, um comando de abertura para o disjuntor para isolar e proteger um sistema ou um equipamento em questão da falha que estiver acontecendo, ou até mesmo um bloqueio total do sistema. Por exemplo, para um sistema com a iminência de um curto circuito, a corrente deve ser capaz de sensibilizar o relé para que o mesmo saiba em que ponto estar a falha e acione a abertura do disjuntor que fará com o ponto onde se está o problema seja desconectado.

Com tudo isso em mente, podemos destacar as principais funções dos relés como sendo as seguintes:

- Identificar eventuais falhas e defeitos no sistema
- Identificar o local exato onde está acontecendo a falha
- Conseguir passar essa informação aos operadores do sistema
- Realizar o envio do sinal para a abertura do disjuntor quando for necessário

Para que o mesmo consiga realizar essas funções, existem certos requisitos mínimos que precisam ser cumpridos obrigatoriamente, ditos requisitos estão associados a fatores como, confiabilidade e segurança, para que não tenhamos problemas com erros ou falta de atuação em situações de emergência, seletividade, para que o mesmo atue somente no tipo de cenário que se espera dele evitando atuações desconexas, e por último, velocidade.

Atenção especial para esse último fator da velocidade, pois é imprescindível que em caso de problemas, a parte defeituosa de um sistema seja desconectada o mais rapidamente possível para que se evite assim estragos maiores dentro daquilo que se deseja proteger. A única exceção a essa exigência de velocidade é quando existe o desejo de que o relé atue de forma temporizada, fora isso, os tempos de atuação no geral de um relé, poderão variar entre valores de 100 ms ou menos.



Figura 2.2 Relés de Proteção.

Fonte: <https://www.itensao.com.br/distribuidor-de-rele-de-protecao>

2.4.1 Construção dos relés

Atualmente tem-se uma infinidade de relés dos mais variados tipos e com as mais diversas aplicações, porém, no que tange à sua construção podemos dividir os relés em 3 tipos para facilitar o entendimento. São estes: Relés Eletromecânicos, relés eletrônicos e relés digitais.

O Relé Eletromecânicos foram os primeiros da área, até então existia a necessidade de vários relés em um único sistema, o que acaba se tornando uma desvantagem levando em conta a eficiência e comodidade dos sistemas elétricos. Seu acionamento acontecia devido as interações dos campos elétricos e magnéticos tanto através da indução magnética quanto da atração, eles foram predominantes até meados da década de 60 quando os eletrônicos começaram a se popularizar.

Os Relés eletrônicos surgiram a partir da década de 60 com o advento dos transistores e do boom causada pelo avanço da eletrônica. Estes são chamados também de relés de estado sólido ou relés estáticos. Seu princípio de funcionamento se dá com base em circuitos transistorizados com a utilização de funções lógicas e com o uso de temporizadores. Eles se destacam em relação aos seus antecessores principalmente devido a sua alta velocidade de operação, o que consequentemente gera tempos de resposta melhores, tornando-os mais eficientes, além de terem uma

manutenção consideravelmente mais prática e que precisa ser realizada com menos frequência.

Já os Relés Digitais são a evolução natural dos eletrônicos, sua concepção partiu do princípio no qual se queria que fosse possível realizar o controle da proteção de um sistema através de um único computador. Para esse meio, começaram a ser desenvolvidos algoritmos inteiros que descrevessem as funções desejadas. Ou seja, basicamente são os relés eletrônicos, só que melhorados, pois utilizam microprocessadores específicos para a programação e controle das ações tudo feito através de softwares feitos para a execução da lógica de proteção, sua principal vantagem em relação a todos os outros, é que o relé digital pode ser capaz de simular qualquer relé que se deseje em um sistema de proteção gerando até mesmo outras funções tais como medições de valores de entrada e saída por exemplo. Nesse contexto, o mesmo pode ser utilizado para vários fins, pois além da proteção, pode atuar na supervisão da rede, no religamento dos disjuntores após um desarme, na identificação do tipo de defeito no sistema, na transmissão de sinais e na sincronização de tempo.

2.4.2 Tipos de relés

Uma vez que definimos os relés com base na sua construção já podemos falar melhor sobre seus diferentes tipos, e sim, são muitos, que podem ser aplicados nas diversas situações de acordo com aquilo que se deseja realizar, dessa forma, na continuação serão apresentados aqueles que podem ser considerados como os principais a serem utilizados em mecanismos de proteção e manobra.

2.4.2.1 Relé de sobrecorrente

Começando pelo mais comum de todos, o relé de sobrecorrente, sua colocação como o mais comum se deve principalmente ao fato de que quase todos os segmentos dos sistemas elétricos são protegidos em alguma instancia por um relé de sobrecorrente. Este tipo de relé é aquele que reage à corrente que passa pelo sistema elétrico que se deseja proteger. Uma vez que, o valor do módulo dessa corrente

ultrapassa o valor para o qual o mesmo foi ajustado, ele é acionado, ressaltando que a ação desse relé pode ser programada para ser tanto instantânea quanto temporizada. Seu tipo de proteção costuma ser a mais econômica entre todas as outras, entretanto, também é o que mais necessita de manutenção para ajustes, pois toda vez que houver alguma alteração no sistema, seu estado e configuração precisa ser revisto.

Este tipo de dispositivo pode ser visto sendo utilizado em sistemas de geradores, motores elétricos, linhas de transmissão, ou mesmo em alimentadores de média e alta tensão por exemplo.

2.4.2.2 Relé de sobretensão e subtensão

Começando pelo relé de sobretensão, a sua função de proteção é quase que análoga à função de sobrecorrente. Basicamente, ele precisa ser capaz de detectar condições de tensão que ultrapassem os valores aceitáveis para a operação do sistema em questão, devendo também ser capaz de enviar sinais de alarmes, de chaveamento para banco de capacitores e, dependendo das características do sistema ou do equipamento a ser protegido, enviar comando de abertura para disjuntores. Eles são normalmente utilizados em casos de sobretensões geradas por chaveamentos de bancos de capacitores, transformadores, reatores e linhas de transmissão ou defeitos monopolares em sistemas isolados ou aterrados com alta impedância. Ao igual que o relé de sobrecorrente, estes podem ser ajustados tanto para atuação instantânea quanto para a temporizada, no caso da instantânea os mesmos são normalmente calibrados para atuar em sobretensões acima de 20% da tensão fornecida, já no caso da temporizada, esse ajuste é feito para 15%.

Já o relé de subtensão funciona exatamente da mesma forma, porém com um ajuste feio para detectar quando a tensão cai para um valor abaixo do recomendado para a operação do sistema, esse tipo de utilização pode ser visto com certa frequência sendo utilizada na proteção de motores elétricos, o ajuste é feito normalmente para acionamento para tensões de 80% do valor ideal fornecido.

2.4.2.3 Relé direcional

A característica principal do relé direcional é o fato de o mesmo ser sensível ao fluxo de potência que está sendo aplicado, ou seja, o relé deve ser capaz de distinguir a direção as correntes que estão passando em um determinado sentido previamente estabelecido. Dessa forma, caso haja uma corrente no sentido contrário ao programado, o mesmo será acionado. Este tipo de dispositivo é comumente utilizado em linhas de transmissão que operam com configuração em anel, onde muitas vezes se torna complicado conseguir uma boa seletividade apenas através de relés de sobrecorrente. Já para circuitos em corrente alternada esse controle é feito por meio do reconhecimento do ângulo de fase entre a corrente e a grandeza de referência utilizada. Seu princípio de funcionamento se divide em duas grandezas responsáveis por sua atuação, a primeira diz respeito a uma grandeza de polarização, podendo esta ser de corrente ou de tensão, e a segunda, a uma grandeza de atuação, sendo nesse caso a corrente elétrica mais utilizada. A direção é dada pela comparação fasorial das posições relativas da corrente de operação e tensão de polarização.

2.4.2.4 Relé de distância

O relé de distância nada mais é do que o fruto do aumento de complexidade nos sistemas elétricos de potência. Isso ocorre, pois, devido a essa complexidade passou a existir a necessidade de combinação diferentes características em relés de proteção de linhas de transmissão, sendo estas a velocidade e a seletividade. Nesse contexto o relé de distância foi feito para ser o mais adequado a esse fim. O relé de distância recebe essa denominação pois utiliza a impedância ou reatância da linha de transmissão vista pelo relé como ponto de referência. Estes parâmetros são baseados na distância na linha de transmissão. Sua alimentação é feita através da tensão e da corrente, ou seja, na ocorrência de um curto-circuito, os parâmetros que o relé ira medir será a tensão de falta e a corrente de falta desde o ponto onde o relé está instalado até o ponto onde houve a falha. Aqui se torna interessante ressaltar, que o relé de distância necessitará sempre um relé direcional acoplado, pois o mesmo é capaz de notar as falhas ocorrendo em ambos os sentidos de transmissão, dessa

forma o relé direcional será responsável por dizer em qual sentido deve ser efetuada a proteção.

2.4.2.5 Relé diferencial

Este relé se baseia no princípio da primeira Lei de Kirchhoff porém voltada para a proteção de equipamentos dos sistemas elétricos. Basicamente o relé diferencial deve ter a capacidade de fazer a comparação entre a corrente que entra e a que sai do equipamento, e sendo essa diferença maior que o valor do ajuste de proteção o mesmo deve ser capaz de tomar as devidas medidas para garantir que não haja infortúnios. Esse tipo de relé pode ser visto sendo utilizado em transformadores, motores, linhas de transmissão ou também em geradores. Uma forma de utilizá-lo também é através de um relé de sobrecorrente sendo adaptado para modo diferencial, truque esse possível devido ao fato dos ajustes dos relés poderem ser feitos de modo digital e programável.

2.5 Religadores e seccionadoras automáticas.

A definição de religador segundo a norma nacional americana ANSI C37.60 e a apostila de distribuição de energia UMCTEC é: “Dispositivo automático que interrompe e religa um circuito de corrente alternada com uma sequência pré-determinada de abertura e fechamento seguido por uma reinicialização, permanecendo fechado ou bloqueado de acordo com as suas instruções operativas.”. Por ser um dispositivo automático que tem a capacidade de operar desligando e religando o circuito alimentador durante uma falta, função que permite a continuidade do serviço frente a curtos de natureza transitória e a interrupção do circuito frente a faltas permanente. Os religadores são muito utilizados para a proteção de redes de distribuição uma vez que 65% das faltas são de caráter transitório, com a utilização do religador estas são resolvidas automaticamente, sem a queima de fusíveis, reduzindo dessa forma o custo com o deslocamento de pessoal, equipamentos e melhores índices de continuidade para as operadoras. Quanto ao modo de funcionamento o religador opera quando desligando e religando o circuito por um

número determinado de vezes, eliminando a falta de acordo com o tempo definido por suas curvas de atuação do relé, instantânea ou temporizada, podendo ser trifásico ou um banco de religadores monofásicos, porém a abertura é sempre tripolar.

Já as chaves seccionalizadoras são usadas em Sistemas de Proteção em conjunto com os religadores, estando localizadas a jusante deles, pois como não possuem a capacidade de interromper a corrente de defeito a abertura dos contatos só ocorre quando o religador localizado a montante tiver desenergizado o circuito. O seccionalizador deve estar localizado dentro da região de sensibilidade do religador, de forma que caso a falta esteja localizada a jusante da chave seccionalizadora o religador atue interrompendo a falta enquanto a chave contabiliza o número de operações que ocorreram.

Caso a falta permaneça a chave irá contabilizar um número pré-determinado de atuações abrindo seus contatos no disparo anterior à abertura definitiva do religador. Como o seccionalizador é uma chave que não abre em carga, não se tem necessidade de uma câmara de extinção de arco como no caso dos outros equipamentos de proteção, sendo, portanto, um mais barato que o religador ou disjuntor. Por se tratar de um equipamento de baixo custo e fácil coordenação com o religador é importante modela-los e estudar seu comportamento em simulação.

3. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS, TRANSFORMADOR DE SERVIÇO AUXILIAR, RETIFICADORES E BANCO DE BATERIAS.

3.1 Introdução aos dispositivos.

Uma vez que foram estabelecidos todos os principais conceitos a respeito dos dispositivos de proteção e manobra, apresenta-se os principais responsáveis por garantir seu funcionamento, estes últimos itens são os transformadores de medida os retificadores e os bancos de baterias. Os transformadores, basicamente são os equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionar adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes e tensões nominais de acordo com a corrente de carga e a tensão do circuito principal. Ou seja, são eles que permitirão que os dispositivos possam funcionar de maneira independente e eficiente executando as medidas de proteção e manobra da forma para a qual são pensados

Nesse contexto existem dois tipos diferentes utilizados nos sistemas de proteção, os transformadores de corrente, ou TC's, e os transformadores de potencial, ou TP's.

3.2 Transformadores de corrente

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples, eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário no qual a corrente nominal transformada é, de acordo com as normas americanas em um valor igual a 5A. Dessa forma, os instrumentos de medição e proteção são dimensionados em tamanhos reduzidos com as bobinas de correntes constituídas de fios de pouca quantidade de cobre. Os transformadores de corrente são utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica, tais como amperímetros, relés de indução, bobinas de corrente de relés diferenciais, medidores de energia, de potência, etc. Os TC transformam, através do fenômeno de conversão eletromagnética, correntes

elevadas, que circulam no seu primário, em pequenas correntes secundárias, segundo uma relação de transformação.

A corrente primária a ser medida, circulando nos enrolamentos primários, cria um fluxo magnético alternado que faz induzir as forças eletromotrizes E_p e E_s , respectivamente, nos enrolamentos primário e secundário. Dessa forma, se nos terminais primários de um TC, cuja relação de transformação nominal é de 20, circular uma corrente de 100 A, obtém-se no secundário a corrente de 5 A, ou seja $100/20 = 5$ A.

Como o objetivo aqui é a apresentação do TC quanto a sua funcionalidade de proteção, os principais parâmetros a serem observados nos mesmos são a corrente nominal primária, a relação de transformação de corrente, fator de sobrecorrente, classe de exatidão e erros. Mas ainda a outros que merecem consideração como: nível de isolamento, cargas nominais, fator térmico, corrente dinâmica e corrente de magnetização por exemplo

Outro fator para se ressaltar é a designação do TC perante a NBR 6856/81. Essa norma especifica o que um TC necessitar ter para ser classificado como instrumento de medição ou instrumento de proteção. Para instrumentos de medição são levados em conta a classe de exatidão e a carga secundária padronizada, já para a designação como instrumento de proteção, é considerado a classe de exatidão, a classe quanto reatância e a tensão secundária para 20 vezes a corrente nominal.

3.2.1 Tipos de TC's de acordo com o método de construção

Existem diversas variações dos transformadores de corrente naquilo que diz respeito a sua construção, entretanto, para facilitar o entendimento, podemos levar em conta três tipos que são usados como base, uma vez que, todos os demais, se originam de modificações feitas nesses três principais, modificações essas que serão feitas de acordo com o uso e aplicação que se pretende dar ao transformador.

3.2.1.1 TC tipo enrolado

É aquele cujo enrolamento primário é constituído de uma ou mais espiras envolvendo o núcleo do transformador, o mesmo é usado principalmente para medição, mas também pode ser usado com relés, seu tipo de construção limita seu uso devido à baixa isolação gerada pelos enrolamentos, não maior que 15 kV. Suas variações de construção são os transformadores com vários enrolamentos primários que é aquele constituído de vários enrolamentos primários montados isoladamente e apenas um enrolamento secundário. E os transformadores com vários enrolamentos secundários que é constituído de um único núcleo envolvido pelo enrolamento primário e vários enrolamentos secundários.

3.2.1.2 TC tipo janela

Este se caracteriza por não possuir um terminal primário fixo, o mesmo é constituído por uma abertura através do núcleo por onde passa o condutor que forma o circuito primário. Este tipo de TC é bastante utilizado em painéis de comando de baixa tensão para pequenas e médias correntes. Sua principal variação é o Transformador do tipo núcleo dividido, que possui o mesmo princípio de funcionamento, porém com a funcionalidade de poder separar o núcleo para permitir envolver o condutor que funcionará então como enrolamento primário.

3.2.1.3 TC tipo barra

A principal característica desse TC é o fato do enrolamento primário ser uma barra fixada através do núcleo de ferro do transformador. Se levarmos em conta o uso em baixa tensão, os transformadores do tipo barra são amplamente utilizados em painéis de comando tanto para uso na proteção quanto para o uso na medição. Este mesmo também é o mais utilizado em subestações de média e alta tensões.

Por via de regra, esse tipo de transformador normalmente acomoda até quatro núcleos com formato toroidal, enrolados com uma tira de aço-silício de grãos

orientados, já o enrolamento secundário consiste em um fio esmaltado e isolado com tecido de algodão, esse enrolamento é igualmente distribuído ao redor do núcleo.

3.3 Transformadores de potencial

Agora trataremos do último tópico, sendo este o transformador de potencial, para tanto definiremos o mesmo como o equipamento que possibilita que instrumentos de proteção e medição atuem na rede em que estão ligados sem a necessidade de possuir a mesma tensão de isolamento que ela. Podem possuir diferentes características construtivas, sendo o mais simples composto apenas por um enrolamento primário com muitas espiras e um enrolamento secundário no qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115V. Ou seja, é um equipamento monofásico que possui dois circuitos, um denominado primário e outro denominado secundário, isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente. São usados para reduzir a tensão a valores baixos com a finalidade de promover a segurança do pessoal, isolar eletricamente o circuito de potência dos instrumentos e reproduzir fielmente a tensão do circuito primário no lado secundário.

No caso do uso na proteção dos sistemas elétricos. O TC atuará como o sensor que realiza a transdução da tensão do sistema de potência para níveis apropriados para o processamento de relés de proteção, disjuntores, medidores e para fins de controle e supervisão de modo geral. Por via de regra, os transformadores de potencial se parecem muito com os transformadores de potência convencionais. Diferentemente do TC, o primário é constituído de muitas espiras, enquanto o secundário possui número suficiente para se obter uma tensão nominal de 115V ou $115/\sqrt{3}$ VA. Sua instalação é feita normalmente na companhia de transformadores de corrente.

Outra característica é que os TP's são conectados diretamente na rede de alimentação e também são fabricados para a atuação em todas as classes de de tensão de isolamento previstas na NBR 5410

Seus principais objetivos serão promover a devida isolação e segurança aos sistemas aos quais estiver conectado, para tanto o circuito secundário deve ser separado e isolado do primário a fim de proporcionar segurança aos operadores dos instrumentos ligados ao TP, e por último e sendo mais simples deverá também reduzir

a tensão de um determinado circuito para os níveis que sejam aceitáveis para os mecanismos de proteção e de manobra no geral.

3.3.1 Tipos de transformadores de potencial

Da mesma forma que acontece com os transformadores de corrente, podemos classificar os transformadores de potencial quanto ao estilo de construção. No caso dos transformadores de potencial, essa classificação é um pouco mais simples pois existem apenas dois tipos diferentes, o primeiro é o Transformador de Potencial Indutivo e o segundo é o Transformador de Potencial Capacitivo.

3.3.1.1 Transformador de potencial indutivo

Este é o tipo mais utilizado para os níveis de tensão de até 138 kV, pois dentro desse cenário seu custo benefício é superior ao do capacitivo. Sua estrutura básica se baseia em um enrolamento primário envolvendo um núcleo comum ao enrolamento secundário funcionando dessa forma com base no princípio da conversão eletromagnética. Dentro do campo de construção dos TPI's ele podem ser dividido em três grupos diferentes de acordo com o uso que se pretende dar aos mesmo

O primeiro grupo são aqueles projetados para ligação entre fases, costuma ser utilizados nos sistemas com até 34,5 kV, esse tipo de transformador deve ser capaz de operar continuamente suportando uma sobrecarga de até 10%.

O segundo, é o grupo projetado para ligação entre fase e neutro de sistemas diretamente aterrados

Já o terceiro grupo é feito para ligações entre fase e neutro também, mas somente para sistemas onde não existe um aterramento com eficácia garantida

3.3.1.2 Transformador de potencial capacitivo

De forma simplificada, os transformadores capacitivos são feitos utilizando-se dois conjuntos de capacitores que terão a função de fornecer um divisor de tensão e

permitir a comunicação através do sistema. Eles normalmente são construídos para atuar em condições superiores as condições do tipo Indutivo, ou seja, para tensões iguais ou superiores a 138 kV. Isso é feito pois somente para atuações a partir dessas condições, seu elevado custo passa a compensar, ao contrário do indutivo, o tipo capacitivo não possui diferentes grupos. O mesmo é ligado entre fase e terra, havendo uma derivação intermediária B, correspondente a uma tensão V da ordem de 5 kV a 15 kV, para alimentar o enrolamento primário de um TP tipo indução intermediário, o qual fornecerá a tensão V2 aos instrumentos de medição e de proteção ali instalados.

3.4 Transformador de serviço auxiliar

Os transformadores de serviço auxiliar, Figura 3.1, são projetados para fornecer potência em Baixa Tensão em subestações de até 550kV, de forma confiável e econômica. Estes, foram pensados para cobrir as necessidades de uma alimentação auxiliar nas subestações de manobra nas quais não haviam um transformador de potência ou mesmo uma linha de transmissão e distribuição disponível. Estes transformadores fornecem uma ampla gama de aplicações que serão descritas a seguir.

O mesmo também possui uma série de vantagens naquilo que diz respeito à sua utilização. Ditas vantagens estão ligadas aos mais diversos fatores, tais como: Uma fonte de energia confiável e segura, planos de manutenção para longas durações, redução de impactos ambientais, custo benefício bastante favorável, além também de fornecer uma energia autônoma, retirada diretamente da linha de transmissão e com um alto desempenho.



Figura 3.1 Transformador de Serviço Auxiliar .

Fonte: Artech.com

3.4.1 Aplicações

Os transformadores de serviço auxiliar podem ser vistos, em utilização dentro de qualquer subestação de alta tensão. Nesse caso ele é visto como uma fonte de baixa tensão que trabalhará na alimentação de todos os serviços auxiliares dentro da subestação, isso inclui por exemplo, os equipamentos de controle, proteção e manobra, sistemas de segurança, sistemas de refrigeração e de iluminação. Para estes tipos de aplicações os órgãos reguladores exigem duas ou três fontes confiáveis e independentes. O Transformador Auxiliar se torna então é uma fonte de alimentação auxiliar exclusiva, como sugere o nome e dedicada, que garante a confiabilidade da subestação e o cumprimento dos regulamentos. Pode ser usado como fonte primária ou reserva.

Dito isso, é possível também listar alguns tipos de utilização exclusivas destes transformadores dentro das subestações, linhas de transmissão e afins.

3.4.1.1 Alimentação para as subestações de manobra

As subestações de manobra são utilizadas para chavear várias linhas de transmissão. A diferença com as subestações normais de elevação ou abaixamento é que não existe nenhum transformador de potência e, portanto, a alimentação auxiliar

de serviço não pode ser obtida a partir do enrolamento terciário do transformador de potência. Nestas condições, estas subestações estão na sua maioria localizadas em áreas remotas, onde linhas de distribuição normalmente não estão presentes nas proximidades.

3.4.1.2 Fornecimento de energia em subestações convencionais

Ao contrário do que acontece nas subestações de manobra, normalmente existem linhas de distribuição e/ou centrais de média tensão disponíveis dentro da subestação, de modo que o Transformador nesse caso pode ser utilizado como fonte reserva.

3.4.1.3 Fornecimento de energia em subestações de energia renovável.

Subestações de alta tensão são necessárias para conectar plantas de geração de energia renovável, sejam plantas eólicas ou solares, à rede principal de transmissão. Essas usinas geralmente estão localizadas em áreas isoladas, portanto, muitas vezes é necessária uma linha de transmissão. Dependendo do tamanho, localização e condições climáticas, as necessidades de fornecimento de energia em baixa tensão variam entre 100-500 kVA. Portanto, se torna necessário que haja uma linha de transmissão que ligue a subestação ao sistema de transmissão principal, com uma tensão típica variando de 115 a 500kV. Nesse caso os Transformadores auxiliares ficam localizados dentro do pátio de manobra de Alta tensão e podem ser conectados nos barramentos ou na entrada da linha, dependendo do projeto geral da subestação.

3.4.1.4 Utilização para eletrificação de zonas rurais.

Nesse caso, o Transformador auxiliar irá agir como fonte de para fornecer energia a pequenas comunidades rurais afastadas nas quais existem linhas de transmissão, porém não existem linhas de distribuição. Esta aplicação fornece energia de baixa tensão diretamente da linha de alta tensão, de forma econômica e prática.

Com um único transformador auxiliar, até 333kVA podem ser retirados diretamente de uma linha de 245kV e centenas de residências podem obter um acesso barato e confiável à eletricidade. Estima-se que a economia de custos em comparação com a subestação tradicional pode variar entre 60 a 80%.

3.4.1.5 Como fonte de alimentação para torres de telecomunicações em áreas remotas

Atualmente, a demanda por uma ampla e eficiente cobertura da rede de comunicações é algo bastante presente no âmbito de todas as empresas da área. Nesse contexto, existe um problema que atrapalha essa eficiência que é devido ao alcance relativamente curto de cada torre de telecomunicação. O que cria a necessidade muitas vezes de que se construam torres em lugares remotos e afastados. Desse modo, sempre que houver ao menos uma linha de transmissão nas proximidades, o transformador auxiliar pode ser utilizado como fonte para fornecer a energia necessária para alimentar estas torres de forma confiável.

3.5 Retificadores

Estabelecendo o conceito básico, um retificador, Figura 3.2, é um circuito usado para converter o fornecimento de energia de corrente alternada em alimentação de corrente contínua unidirecional. Este processo de conversão de corrente alternada para corrente contínua é o que recebe o nome de retificação. Os retificadores podem ser classificados por suas próprias variedades de configurações, dependendo de fatores como tipo de suprimento, configuração de ponte, natureza de controle, componentes utilizados e outros fatores. Além disso, os retificadores são classificados em retificadores monofásicos e trifásicos e são classificados em retificadores não controlados, meio controlados e totalmente controlados.

Nesse contexto, a transmissão de energia elétrica é uma atividade que exige, acima de tudo, planejamento. Em quase todos os casos, faz-se necessário a utilização de uma série de técnicas e equipamentos para fazer a conversão de potência, do tipo de energia, do tipo de corrente elétrica, momento esse nos quais entram os

transformadores que foram descritos anteriormente. Uma das técnicas mais necessárias neste meio é a conversão de corrente elétrica, que busca receber um tipo de sinal e transformá-lo em outro que possa ser realmente usado sem trazer riscos aos aparelhos eletrônicos. Para tanto, utiliza-se o retificador trifásico ou monofásico.

Lembrando que os retificadores serão trifásicos ou monofásicos dependendo de sua aplicação. Para os estudos que estão sendo apresentados neste trabalho de conclusão, será dada uma ênfase maior nos retificadores trifásicos, pois estes são mais significativos dentro da área dos transformadores aqui apresentados e do conceito geral dos equipamentos de proteção e manobra pois nesses contextos, as potências utilizadas são de valores muitas vezes elevados, o que caracteriza a necessidade de uma capacidade maior de operação para todos os componentes envolvidos.

O que ocorre normalmente no Brasil, e em boa parte do mundo, é que a energia elétrica produzida pelas distribuidoras costuma chegar aos pontos de consumo em forma de corrente elétrica alternada. Esta não pode ser usada pela maioria dos equipamentos eletrônicos. Neste sentido, o retificador trifásico é o responsável por transformá-la. Basicamente, o retificador trifásico tem a função de receber a corrente elétrica alternada e convertê-la para corrente elétrica contínua. Dessa forma, ele consegue impedir que haja uma inversão do fluxo de energia. De modo geral, para a maior parte da população, a chegada de energia elétrica em sua residência ou estabelecimento é algo quase automático. Mas aqueles que lidam diariamente com este tipo de serviço sabem da importância de um retificador trifásico para o consumo seguro de energia elétrica.

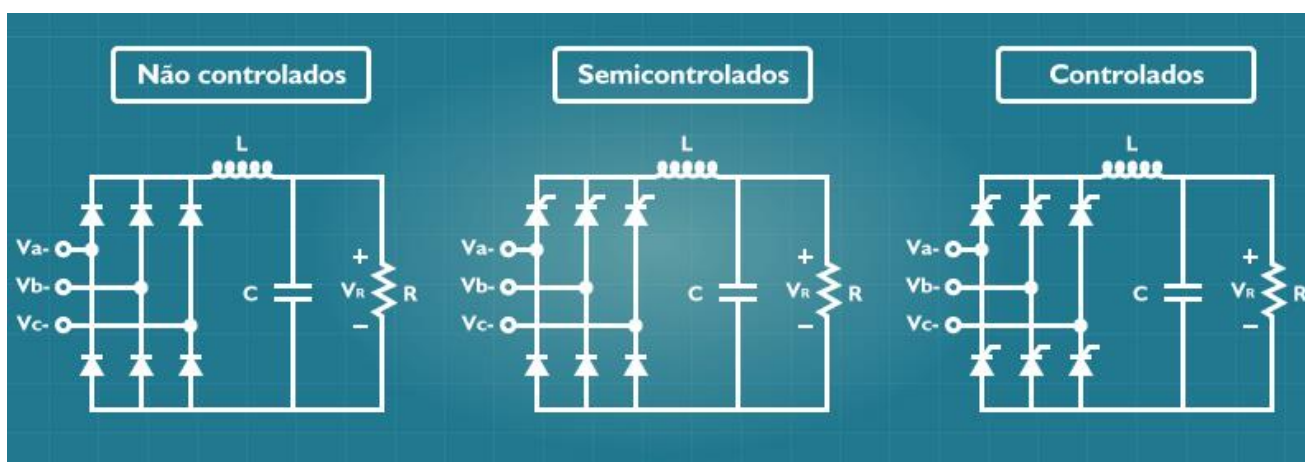


Figura 3.2 Exemplo de Retificadores.

Fonte: Autoria própria

3.5.1 Tipos de retificadores trifásicos.

Os retificadores trifásicos podem ser divididos em três tipos diferentes, sendo estes, retificadores não controlados, retificadores controlados e por último, retificadores semicontrolados. Sua principal característica, e o que basicamente o diferencia de um retificador monofásico, está na quantidade de chaves de controle dentro do retificador, pois no caso do retificador trifásico, teremos três sinais de tensão enquanto que no monofásico apenas um. Dessa forma, a saída dos dois tipos de retificadores é a mesma, uma carga cuja tensão seja contínua.

A diferença entre os tipos de retificadores trifásicos é algo fácil de ser contextualizada pois ela se baseia no tipo de chave que é utilizado. Desse modo, no não controlado existem apenas dispositivos não controláveis, os diodos, enquanto nos controlados há apenas tiristores, em que é possível controlar a sua condução por meio do gatilho. No semicontrolado, há uma mistura de dispositivos controlados e não controlados.

3.6 Banco de baterias

Por fim, o último tópico a ser abordado no que tange aos equipamentos e dispositivos responsáveis por garantir o funcionamento dos equipamentos de proteção e manobra diz respeito aos bancos de baterias, Figura 3.3. Um banco de baterias é um sistema acumulador de energia que serve basicamente para fornecer eletricidade em casos de falha no fornecimento da fonte principal. Esses bancos são, portanto, fundamentais para garantir a estabilidade dos sistemas elétricos. É fácil reconhecer a importância de um sistema de baterias para evitar interrupções no fornecimento de energia. Esse tipo de sistema atuará sempre em conjunto com os sistemas de proteção e de manobra, pois ele deverá garantir em caso de interrupção do sistema por exemplo, que a carga volte a ser aplicada de maneira correta evitando o que pode vir a ser algo problemático para o funcionamento do sistema.

É interessante lembrar, que o sistema de banco de baterias não deve ser confundido com a geração de energia através de um gerador, uma vez que, o banco

de baterias gera sua energia através da conversão da energia química das baterias em energia elétrica, enquanto o gerador funciona através da conversão da energia de algum combustível, como por exemplo o óleo diesel, por meio do processo de combustão para enfim gerar a energia elétrica.

Outra diferença importante, diz respeito ao fator de acionamento, pois o banco de baterias possui um acionamento quase que imediato, fazendo com que o fornecimento de energia não seja interrompido por tempo demais, já o gerador possui um acionamento mais lento, o que dependendo da circunstância, pode fazer com que danos sejam causados ao sistema que está em utilização



Figura 3.3 Banco de Baterias.

Fonte: <https://sktecenergia.com.br>

3.6.1 Princípios de construção e funcionamento.

Os bancos funcionam basicamente como associações de “pilhas” que são estas as baterias. Esses grupos de baterias são acumuladores de energia instalados para garantir a segurança de sistemas elétricos que demandam fornecimento ininterrupto. A primeira bateria, a pilha voltaica, foi criada em 1800 por Alessandro Volta. Tratava-se da sobreposição de discos de cobre e zinco permeados por panos encharcados com água salgada, que funcionavam como eletrólitos. Hoje, existem baterias de diversos tamanhos, formatos e elementos químicos variados. Mas o princípio da pilha voltaica é o mesmo. Quando um circuito é fechado conectando-se os terminais do equipamento eletrônico à bateria, ocorre a circulação de elétrons livres

entres os metais, o que gera a corrente elétrica. Como a corrente gerada por uma bateria é insuficiente para suprir a tensão e corrente em vários tipos de funções, as pilhas são então agrupadas em série, em paralelo ou em série-paralelo. Esse agrupamento – o banco de baterias – é capaz de garantir a energia necessária para um sistema elétrico durante determinado tempo.

Como dito a pouco, o banco de baterias gera sua energia por meio da energia química armazenada no interior das baterias, fazendo a conversão dessa energia química em energia elétrica. No momento em que ocorre alguma interrupção não programada no fornecimento de energia, as baterias são acionadas por sensores. A energia química é imediatamente transformada em eletricidade, que assume temporariamente o lugar da fonte principal de alimentação. Isso ocorre quase que instantaneamente dependendo da projeção de utilização estipulada para o banco. Por isso os bancos de baterias são fundamentais para garantir a segurança elétrica em situações de emergência.

A instalação de um banco de bateria em um sistema elétrico deve passar por alguns processos de dimensionamento, portanto vários pré-requisitos são verificados antes da instalação. São estes: a autonomia do banco de baterias que diz respeito ao tempo mínimo em que o sistema de proteção deverá suprir a carga, a potência nominal da carga para estabelecer a potência ativa à qual será submetido o banco, a tensão e a corrente máxima de funcionamento que o mesmo poderá gerar, além da quantidade, do tipo de baterias a serem utilizadas e do tipo de ligação que será feita entre as mesmas, pois o tipo de ligação, sendo este em série ou paralelo pode afetar o desempenho do banco de acordo com a utilização que se pretende dar ao mesmo.

Uma vez que seja bem dimensionado e bem instalado dentro de um sistema, e funcionando em perfeita sincronia com os equipamentos de proteção e de manobra responsáveis por manter tudo em ordem, os bancos de bateria poderão ser responsáveis por uma série de vantagens, como por exemplo: a possibilidade de não paralisar uma linha de transmissão ou de produção que interfere não apenas em produtividade e logística, mas também em horas-extras para compensar atrasos e uma diminuição considerável de possíveis danos aos equipamentos que estiverem conectados ao sistema.

4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL ATRAVÉS DO ATPDRAW E ANÁLISE DE RESULTADOS.

4.1 Características da rede de distribuição simulada.

A rede de distribuição estudada está ilustrada na Figura 4.1, sendo um alimentador real radial de aproximadamente 9,8 km de extensão, que opera a frequência de 60Hz e alimenta uma carga de 8,2 MVA através de cabos de alumínio CAA e CA.

Conforme dados fornecidos em seu estudo o alimentador é composto por 2 transformadores de 10MVA, com corrente de curto trifásica e monofásica iguais a 7856,6 A e 8480,6 A, respectivamente atualmente e 9427,68 A e 10176,72 A de curto trifásica e monofásica para estudo referente ao crescimento de 10 anos, levado por um crescimento de 20%.

O alimentador redesenhado composto por 63 barramentos, cujas características físicas e elétricas de cada trecho foram definidas de acordo com as Tabelas 4.1 a 4.3, pode ser observado na Figura 4.1, que já localiza onde as proteções serão implementadas. Para implementação do sistema no *ATPDraw* a potência elétrica apresentada na Tabela 4.1. foi estimada a impedância trifásica equilibrada equivalente a 1 pu.

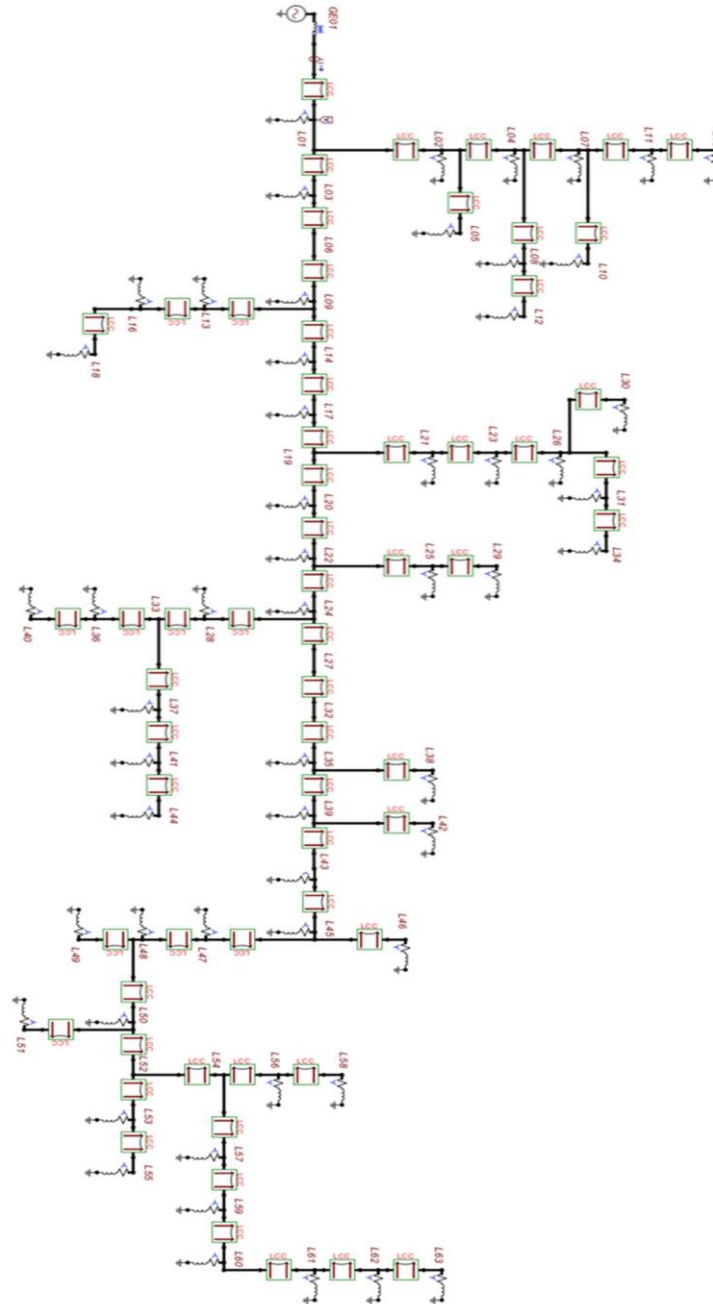


Figura 4.1 Rede de Distribuição.

Fonte: Autoria própria

Tabela 4.1 Características físicas e elétricas do ramal [9].

De	Para	Length (km)	P (MW)	Q (Mvar)	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)	Pk (MW)	Qk (Mvar)	Resistência K (Ω)	Reatância K (Ω)	Cabo
0	1	0,61	0,114	0,0353	1524,37	472,02	0,1368	0,0424	1270,31	393,35	0
1	2	0,07	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	1

1	3	0,14	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	0
2	4	0,27	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
2	5	0,18	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
3	6	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4	7	0,25	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
4	8	0,07	0,0713	0,0221	2436,85	755,32	0,0856	0,0265	2030,71	629,43	2
6	9	0,04	0,114	0,0353	1524,37	472,02	0,1368	0,0424	1270,31	393,35	0
7	10	0,38	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
7	11	0,08	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
8	12	0,19	0,114	0,0353	1524,37	472,02	0,1368	0,0424	1270,31	393,35	2
9	13	0,15	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
9	14	0,15	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	0
11	15	0,18	0,0287	0,0088	6065,30	1859,74	0,0344	0,0106	5054,42	1549,79	2
13	16	0,11	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
14	17	0,06	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	0
16	18	0,07	0,114	0,0353	1524,37	472,02	0,1368	0,0424	1270,31	393,35	2
17	19	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0
19	20	0,14	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	0
19	21	0,13	0,2509	0,0773	693,23	213,58	0,3011	0,0928	577,69	177,98	1
20	22	0,31	0,0574	0,0176	3032,65	929,87	0,0689	0,0211	2527,21	774,89	0
21	23	0,03	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	1
22	24	0,19	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	0
22	25	0,29	0,215	0,0662	809,06	249,12	0,2580	0,0794	674,22	207,60	2
23	26	0,18	0,1075	0,0331	1618,13	498,23	0,1290	0,0397	1348,44	415,19	1
24	27	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	0
24	28	0,32	0,1434	0,0441	1213,29	373,12	0,1721	0,0529	1011,07	310,94	1
25	29	0,03	0,0143	0,0044	12165,70	3743,29	0,0172	0,0053	10138,08	3119,41	2
26	30	0,07	0,1721	0,1322	695,92	534,58	0,2065	0,1586	579,94	445,48	2
26	31	0,04	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
27	32	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	0
28	33	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	1
31	34	0,02	0,2151	0,0663	808,54	249,22	0,2581	0,0796	673,78	207,68	2
32	35	0,19	0,0143	0,0044	12165,70	3743,29	0,0172	0,0053	10138,08	3119,41	0
33	36	0,07	0,3585	0,1103	485,28	149,31	0,4302	0,1324	404,40	124,42	2
33	37	0,07	0,1434	0,0441	1213,29	373,12	0,1721	0,0529	1011,07	310,94	2
35	38	0,13	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
35	39	0,08	0,0287	0,0088	6065,30	1859,74	0,0344	0,0106	5054,42	1549,79	0
36	40	0,15	0,0143	0,0044	12165,70	3743,29	0,0172	0,0053	10138,08	3119,41	2
37	41	0,11	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2

De	Para	Length (km)	P (MW)	Q (Mvar)	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)	Pk (MW)	Qk (Mvar)	Resistência K (Ω)	Reatância K (Ω)	Cabo
39	42	0,07	0,0143	0,0044	12165,70	3743,29	0,0172	0,0053	10138,08	3119,41	2
39	43	0,11	0,129	0,0396	1349,14	414,16	0,1548	0,0475	1124,29	345,13	0
41	44	0,21	0,1797	0,0552	968,39	297,47	0,2156	0,0662	806,99	247,89	2
43	45	0,51	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	0
45	46	0,09	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
45	47	0,16	0,1075	0,0331	1618,13	498,23	0,1290	0,0397	1348,44	415,19	0
47	48	0,11	0,0573	0,0176	3037,03	932,84	0,0688	0,0211	2530,86	777,37	0
48	49	0,11	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
48	50	0,21	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	0
50	51	0,05	0,1434	0,0442	1212,81	373,82	0,1721	0,0530	1010,68	311,52	2
50	52	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	0
52	53	0,11	0,1075	0,0331	1618,13	498,23	0,1290	0,0397	1348,44	415,19	2
52	54	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0
53	55	0,06	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
54	56	0,32	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	2
54	57	0,05	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	1
56	58	0,16	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
57	59	0,15	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	1
59	60	0,16	0,0717	0,0221	2425,62	747,65	0,0860	0,0265	2021,35	623,04	1
60	61	0,08	0,5089	0,1566	341,85	105,19	0,6107	0,1879	284,87	87,66	1
61	62	0,33	0,043	0,0132	4047,43	1242,47	0,0516	0,0158	3372,86	1035,39	2
62	63	0,14	0,172	0,0528	1011,86	310,62	0,2064	0,0634	843,21	258,85	2

Fonte: Autoria própria

Tabela 4.2 Resistência dos diferentes cabos.

		Área	Diâmetro	Rin	Rout	Resistência
0	Oriole	39,78	18,83	0,3558	0,9415	0,1703
1	Penguin	17,87	14,31	0,2385	0,7155	0,2676
2	Swan	3,53	6,36	0,1060	0,3180	1,3545

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.3 Tipo de agrupamento dos cabos. Dados de [9].

		Horizontal cabo 1	Vertical torre 1	Horizontal cabo 2	Vertical torre 2	Horizontal cabo 3	Vertical torre 3
0	Oriole	0	10,5	0,54513	11,444	1,09027	10,5
1	Penguin	-1,2	10,5	0	10,5	0,6	10,5
2	Swan	0	10,5	0,54513	11,444	1,09027	10,5

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Localização das proteções dentro do sistema.

A escolha do tipo de proteção a ser empregada em um sistema de distribuição deve seguir naturalmente as Normas Técnicas referentes à concessionária local e também os conceitos provenientes de estudos teóricos. Portanto a proteção deverá ser instalada em:

- Em circuitos longos que levam a proteção de retaguarda não ser sensível ao curto-circuito mínimo. Solução: religador ou chave fusível;
- Ramais importantes para o sistema que sofrem ou apresentam riscos de sofrer faltas transitórias e em trechos de bifurcação de alimentadores. Solução: religador ou seccionizador desde que exista um religador a montante. Ramais que não se enquadram no descrito usa-se fusível;
- Deve-se instalar proteção logo após cargas que possuam característica de continuidade crítica, como por exemplo demanda de Leitos Hospitalares;
- Sempre instalar elos fusíveis nos primários dos transformadores;
- Ramais que não apresentem proteção de falta de fase é desaconselhável a utilização de chaves fusíveis e no caso de troncos que apresentem possibilidade de inversão de fluxo é desaconselhável a utilização de religadores ou seccionizadoras;

A partir desses critérios definiu-se utilizar o mesmo posicionamento da proteção adotada nesta rede de distribuição em [9], onde foram instalados dois religadores, 3 seccionizadoras e 4 chaves fusíveis, sendo o primeiro religador instalado na subestação, o segundo religador instalado no ponto médio do alimentador, seccionizadoras nos barramentos 1, 24 e 43, sendo que no caso do 43 foi a solução decidida para não se colocar 3 fusíveis em série e por fim, elos fusíveis forma a atender dois ramais menores referentes ao barramento 09 e 19 além do 52 e 60 que coordenam com o 43.

4.2 Implementação computacional

Para a simulação do Sistema foi utilizado a interface do ATPDraw, para tal meio foi necessário o levantamento de todos os dados que fazem referência aos ramais

presentes no sistema, dados estes apresentados nas Tabelas 4.1-4.3 e isso permitiu montar o sistema da Figura 3.1. Como o sistema do ATP não permite inserir uma carga entrando com o valor de sua potência, fez-se necessário calcular qual seria o valor da impedância trifásica equivalente que geraria esta potência a 1 pu (13,8kV). Cada linha foi caracterizada de acordo com os dados obtidos pela referência [9] e com suas características operacionais. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam como é feito o preenchimento das características das linhas.

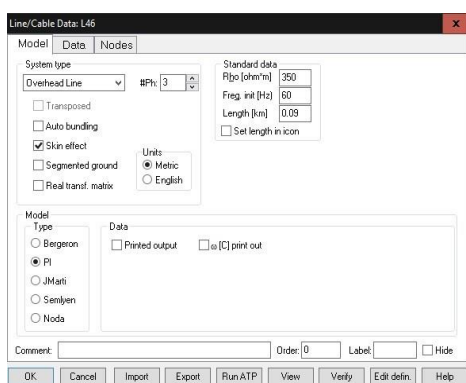


Figura 4.2 Características físicas da linha.

Fonte: Autoria própria.

#	Ph.no	Rin [cm]	Rout [cm]	Resist [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vlower [m]	Vmid [m]
1	1	0.106	0.318	1.3545	0	10.5	10.5
2	2	0.106	0.318	1.3545	0.54513	11.444	11.444
3	3	0.106	0.318	1.3545	1.09027	10.5	10.5

Figura 4.3 Características físicas da linha.

Fonte: Autoria própria.

O ATPDraw em si, não possui blocos prontos que permitam a implementação das proteções que estão sendo buscadas, dessa forma, para a realização do trabalho foi necessário a programação em MODELS, de maneira a conseguir simular as proteções e comportamentos desejados.

4.2.1 MODELS

A linguagem MODELS é uma linguagem de programação criada para simular sistemas no domínio do tempo e descrever comportamentos dinâmicos de sistemas físicos de alta complexidade (DUBÉ, 1996). No programa ATP, esta linguagem permite o controle da operação dos componentes elétricos do sistema simulado, tal como a criação de novos modelos. Sua principal função é a capacidade de interligar o ATPDraw com programas externos.

As principais características da linguagem MODELS são:

- Um extenso campo de variáveis, que podem ser numéricas, lógicas, escalares ou matriciais.
- Uma sintaxe regular para o uso de variáveis, matrizes, expressões e funções.
- A possibilidade de especificar operações que só são executadas quando estiverem reunidas algumas condições, como por exemplo quando forem detectados erros.
- A linguagem gerencia automaticamente o armazenamento e recuperação de valores históricos das variáveis de um modelo, conforme necessário durante a execução da simulação.
- Instâncias individuais dos modelos de um sistema automaticamente atualizam o seu funcionamento de acordo com o aumento do valor do tempo de simulação.

Como foi dito, esta linguagem faz com que seja possível ligar programas externos com o *ATPDraw* para a modelagem de componentes, o acesso a medições, ou interação com equipamentos, sem a necessidade de um conhecimento de programação da operação interna de *ATPDraw* e sem necessidade de qualquer modificação para ser feito com o código fonte de *ATPDraw*.

Para o seguimento do trabalho, foram desenvolvidos os blocos em MODELS para os seguintes dispositivos: ELO FUSÍVEL, RELIGADOR E SECCIONALIZADORA. Além de dois blocos adicionais referentes a um filtro analógico necessário para prevenir ruídos e um estimador de fasor para se ter informações sobre os valores de módulo e de fase referentes a corrente.

4.3 Análise de resultados

4.3.1 Dimensionamento do Transformador de Corrente - TC

Para dimensionamento do TC e também para posterior análise, dimensionamentos e simulação e do religador necessitaremos de alguns dados referente aos curtos trifásico (I3), bifásico (I2), monofásico (I1) e monofásico mínimo (I1_min) que estão apresentados na Tabela 4.4. Nesse contexto disso, vale

estabelecer que o religador nada mais é que um disjuntor em que o relé acoplado tem a função de religamento.

Tabela 4.4 Correntes de curto nos religadores.

Religador 2					
Barra	Tipo de curto	Corrente (A)	Fase	Corrente k (A)	Fase K
L63	I3	2425,97	-61,38	2551,00	-60
	I2	2082,40	-45,01	2189,33	-43,67
	I1	1416,37	-68,87	1464,39	-68
	I1 min	307,04	-15,69	331,31	-16,31
Religador 2					
Barra	Tipo de curto	Corrente (A)	Fase	Corrente k (A)	Fase K
L60	I3	2852,56	-70,7	3032,79	-70,04
	I2	2500,06	-53,72	2658,52	-52,64
	I1	1614,06	-74,31	1675,05	-73,56
	I1 min	310,43	-15,28	334,72	-15,93
L52	I3	3068,84	-71,7	3279,40	-71,1
	I2	2722,36	-54,89	2906,92	-53,78
	I1	1749,38	-74,8	1820,09	-74,1
	I1 min	311,44	-16	335,77	-15,5
L22	I3	4423,00	-74,27	4877,55	73,58
	I2	3920,86	-60,11	4309,60	-58,62
	I1	2889,79	-76,42	3072,68	-75,78

Fonte: Autoria própria

Religador 1					
Barra	Tipo de curto	Corrente (A)	Fase	Corrente k (A)	Fase K
L52	I3	3098,56	-71,1	3316,98	-70,42
	I2	2729,86	-54,4	2923,93	-53,3
	I1	1782,52	-73,45	1861,70	-72,4
	I1 min	403,78	-17,9	446,65	-17,5
L22	I3	4436,00	-74,09	4894,13	-73,37
	I2	3943,07	-59,98	4337,96	-58,47
	I1	2095,43	-75,97	3092,78	-75,25
	I1 min	408,58	-15,28	451,89	-15,99
SE	I3	7856,10	-81	9427,75	-81
	I2	8051,71	-85,74	9662,06	-85,74
	I1	8470,55	-82,07	10164,46	-82,07

Fonte: Autoria própria

Para dimensionamento do TC-02 que opera em conjunto com o religador instalado no barramento 22 necessita-se fazer a análise pelos critérios de curto-circuito e corrente nominal. Pelo critério do curto-circuito onde o religador está instalado, calcula-se a corrente nominal do TC pela Equação 3.12, onde FS=20 conforme definido pela NBR 6856 e usando o critério de corrente nominal para o mesmo ponto, tem-se a corrente nominal pela equação seguinte.

$$I_{nTC} \geq \frac{I_{cc} \Phi_k}{FS} \quad (3.12)$$

$$I_{nTC} \geq 1,5 * I_{nmax} \quad (3.13)$$

Onde:

- I_{nTC} Corrente Nominal TC.
- $I_{cc3\Phi_k}$ Corrente de Curto Trifásica após crescimento da carga

- FS Fator de Sobrecorrente
- $I_{n_{\max}}$ Corrente Nominal Máxima

Para o caso com crescimento de carga:

$$I_{n_{TC2}} \geq \frac{4877,55}{20} = 243,87A \quad (3.14)$$

$$I_{n_{TC2}} \geq 1,5 * 144,6 = 216,9A \quad (3.15)$$

De acordo com a NBR 6856 o modelo TC será RM 600-5A, 250 – 5: 50 [15], que apresenta Tap selecionável. Entretanto deve-se levar em consideração o critério de saturação do TC proposto pela fabricante de relés Schweitzer Engineering Laboratories. Conforme apresentado na Equação 3.17, fazendo as mesmas considerações feitas em [12]:

1. A distância entre o TC e o relé digital de 0,3m e o fio alimentador de cobre de 8mm²;
2. O consumo do relé digital de sobrecorrente de 0,5VA@5A;
3. A impedância da bobina secundária do TC de 0,75Ω;
4. O TC do tipo 10B800 RM 600 – 5A, que corresponde a uma impedância de 8Ω;
5. Corrente de curto-circuito de 4877,55 com defasagem de -73,58.

De tal forma obtém-se Z_{carga} e consequentemente $Tap_{TC_{R2}}$ conforme Equações (3.16) a (3.18):

$$Z_{\text{carga}} = Z_{\text{fio}} + Z_{\text{secTC}} + Z_{\text{relé}} = 0,77 \Omega \quad (3.16)$$

$$Tap \geq \sqrt{\frac{I_{\text{cc}3\phi} \times Z_{\text{carga}} \times I_{\text{a max}}}{20 \times Z_{\text{bn}}}} \times (tg(\theta) + 1) \quad (3.17)$$

$$Tap_{\text{TCR}_2} \geq \sqrt{\frac{4872,55 \times 0,77 \times 600}{20 \times 8}} \times (tg(73,58) + 1) = 248,74 \quad (3.18)$$

Onde:

- Z_{bn} Impedância do TC.
- Z_{carga} Impedância total da carga (conexão do relé)
- Z_{fio} Impedância do fio
- Z_{secTC} Impedância do secundário do TC
- $Z_{\text{relé}}$ Impedância do relé
- $I_{\text{cc}3\phi}$ Corrente de Curto Trifásica
- θ Defasagem
- Tap_{TCR_2} Tap TC religador 2

Com a análise do resultado da equação 3.18 escolhe-se então o TC será RM 600-5A, 300 – 5: 60. $Tap_{\text{TCR}_2} = 300$ e $RT_{\text{CR}_2} = 60$. Como o dimensionamento do TC é um fator de limite inferior e caso seja dimensionado somente para o sistema com crescimento de carga, o sistema atual também será atendido, dessa forma não a necessidade de maiores cálculos para dimensionamento do mesmo.

Com a análise do resultado da equação 3.18 escolhe-se então o TC será RM 600-5A, 300 – 5: 60. $Tap_{\text{TCR}_2} = 300$ e $RT_{\text{CR}_2} = 60$. Como o dimensionamento do TC é um fator de limite inferior e caso seja dimensionado somente para o sistema com crescimento de carga, o sistema atual também será atendido, dessa forma não a necessidade de maiores cálculos para dimensionamento do mesmo.

TC-01 — Para dimensionamento do TC-01 que opera em conjunto com o religador instalado na saída da SE necessita-se fazer a análise pelos critérios de curto-circuito (Eq. 3.19) e corrente nominal (Eq. 3.20) assim como realizado para o dimensionamento do TC-02.

$$I_{nTC1} \geq 471,38A \quad (3.19)$$

$$I_{nTC} \geq 410,3A \quad (3.20)$$

De acordo com a NBR 6856 o TC será RM 600-5A, 500 – 5: 100, porém levando em consideração o critério de saturação do TC proposto pela fabricante de relés Schweitzer Engineering Laboratories. Conforme apresentado na Equação 3.21 abaixo, fazendo as mesmas considerações de EVERALDO, onde:

- A distância entre o TC e o relé digital de 50m e o fio alimentador de cobre de 8mm²;
- O consumo do relé digital de sobrecorrente de 0,5VA@5A;
- A impedância da bobina secundária do TC de 0,75Ω;
- O TC do tipo 10B800 RM 600 – 5A, que corresponde a uma impedância de 8Ω
- Corrente de curto-circuito de 9427,75 com defasagem de -81. De tal forma obtém-se Z_{carga} e consequentemente $Tap_{TC_{R2}}$ como:

$$Z_{carga} = Z_{fio} + Z_{secTC} + Z_{relé} = 0,98\Omega \quad (3.21)$$

$$Tap_{TC_{R1}} \geq \sqrt{\frac{9427,75 \times 0,98 \times 600}{20 \times 8}} \times (tg(81) + 1) = 503,38 \quad (3.22)$$

Com a análise do resultado da Equação 3.22 escolhe-se então o TC será RM 600-5A, 600 – 5: 120. $Tap_{TC_{R1}} = 600$ e $RT_{CR1} = 120$. Como o dimensionamento do TC é um fator de limite inferior e caso dimensionado somente para o sistema com crescimento de carga, o sistema atual também é atendido, dessa forma não a necessidade de maiores cálculos para dimensionamento do mesmo.

TC-SEC — O mesmo procedimento deve ser adotado para dimensionamento dos TCs relacionados aos seccionalizadores. De forma simplificada, apresenta-se neste trabalho somente a planilha com os dados necessários para os cálculos e a relação final encontrada. A Tabela 4.5 mostra os dados do TC dos seccionalizadores.

Tabela 4.5 Dimensionamento TC seccionalizadores.

	SEC-01	SEC-02	SEC-03
I_n	30,22	45,04	85,66
$I_{cc3\phi}$	7322,09	4654	4062,32
Dados para cálculos do TC	θ	77,45	73,25
			72,44
Z_{carga}	0,77	0,77	0,77
Tap_{max}	600	600	600
Z_{bn}	8	8	8
Resultado dos cálculos	Tap	400	300
	RTC	80	60
			50

Já a tabela de dimensionamento dos TC' é apresentada na Tabela 4.6:

Tabela 4.6 Resumo do Dimensionamento dos TC's

DIMENSIONAMENTO TC										
Critério saturação						Critério Nominal	Critério Curto	RTC	Tap	
	Icc	Zcarga	Tapmax	Zbn	Tg(teta)	Tapsat				
TC1	9427,75	0,98	600	8	6,31	503,3	410,3	471,4	120	600
TC2	4877,55	0,77	600	8	3,39	248,7	216,9	243,9	60	300
SEC1	7322,09	0,77	600	8	4,5	341,0	45,3	366,1	80	400
SEC2	4654	0,77	600	8	3,3	240,4	67,6	232,7	60	300
SEC3	4062,32	0,77	600	8	3,16	220,9	128,5	203,1	50	250

Fonte: Autoria Própria

4.4 Testes de seletividade

4.4.1 Fusível (FUS-52) x Fusível (FUS-60)

Para demonstrar a seletividade entre as proteções fusíveis foi feita a simulação de um curto monofásico mínimo na barra 61 conforme Figuras 4.4 e 4.5, uma vez que a coordenação neste trecho é dada para correntes até 1100A, pois não foi possível ser feita para curtos bifásico e trifásicos.

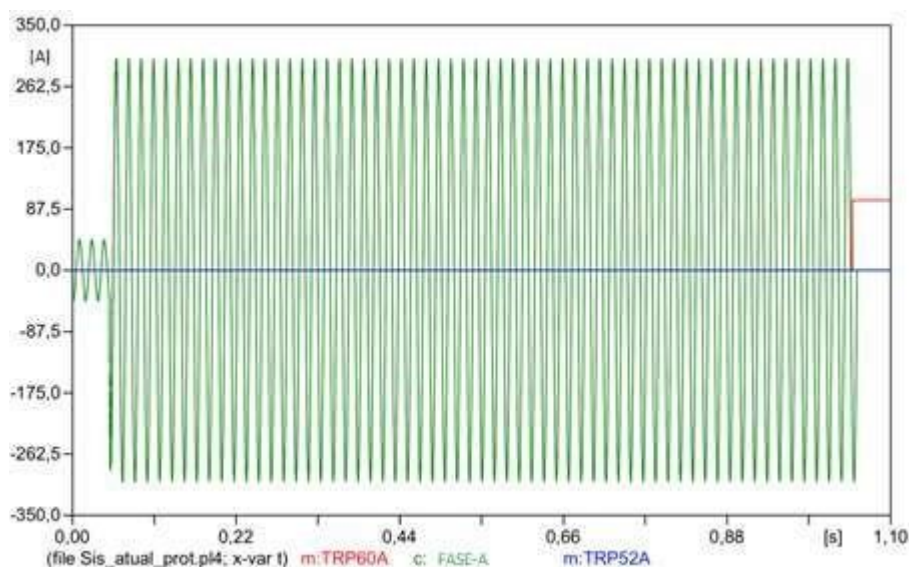


Figura 4.4 Coordenação monofásico mínimo sistema atual (L61).

Fonte: Autoria própria

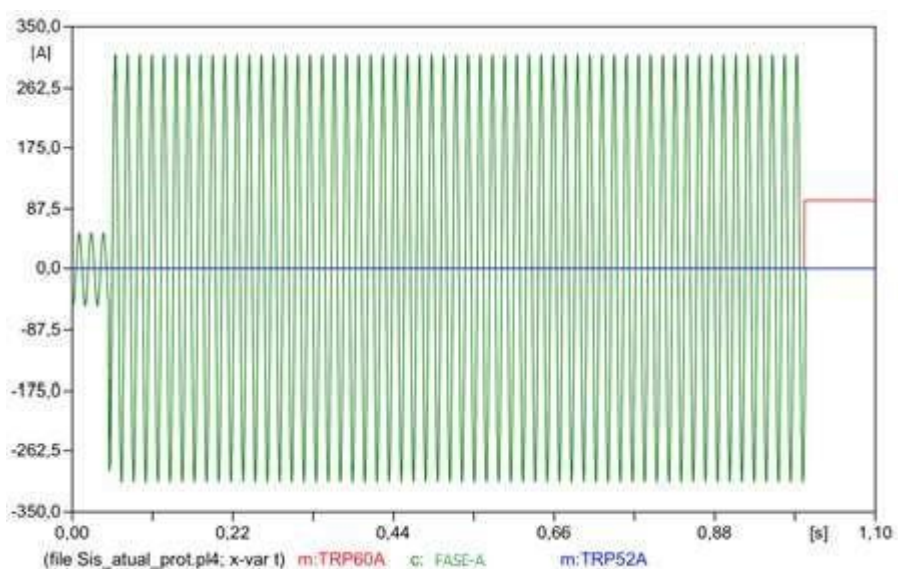


Figura 4.5 Coordenação monofásico mínimo sistema futuro (L61).

Fonte: Autoria própria.

Para a situação apresentada nas Figuras 4.4 e 4.5 existe coordenação e seletividade esperada entre as proteções, observado uma vez que a falta está presente na barra L61 a proteção atuada foi a FUS-60 (mais próximo/ protetor) e não a FUS-52 (mais distante/ protegido). Para caso de um curto maior que 1100A ocorrerá

uma perda de seletividade na proteção, no caso simulado temos um curto trifásico na barra L61 e ambos os fusíveis atuaram para a falta.

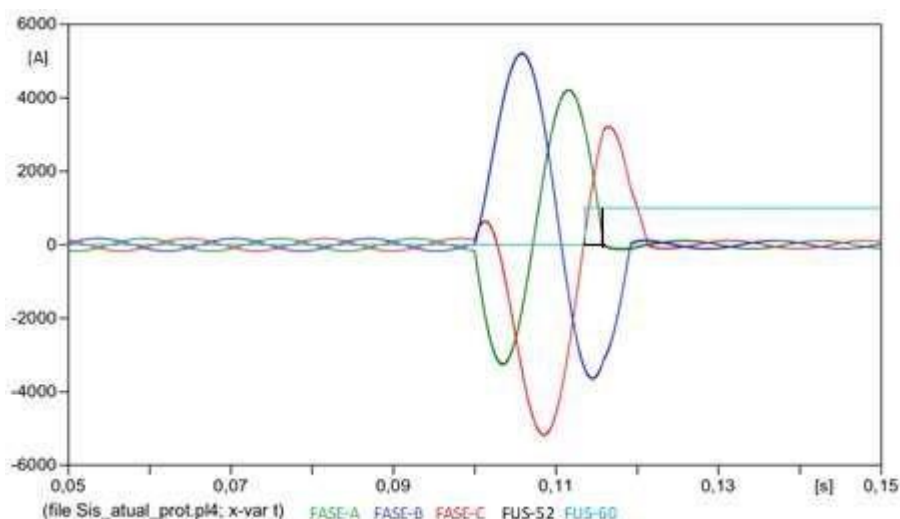


Figura 4.6 Coordenação trifásico sistema atual (L61).

Fonte: Autoria própria

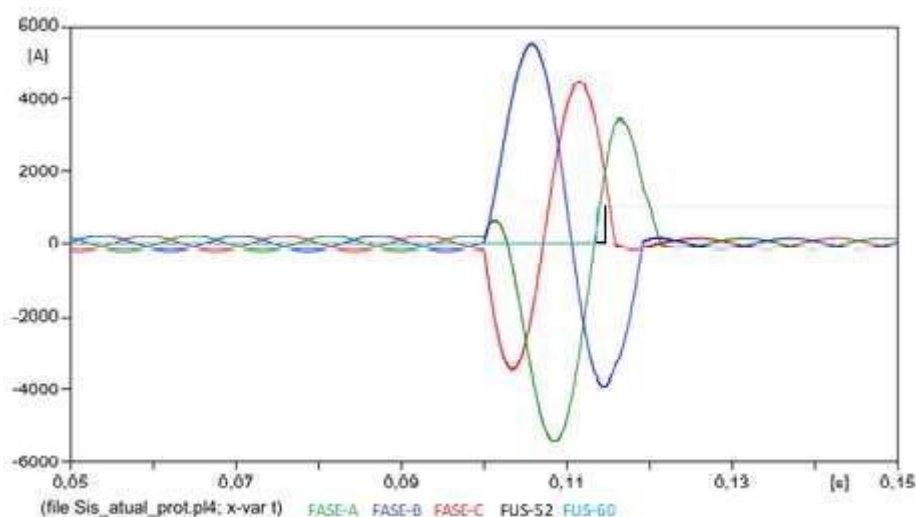


Figura 4.7 Coordenação trifásico sistema futuro (L61).

Fonte: Autoria própria.

Como se trata de um sistema de distribuição e é sabido que os maiores causadores de anormalidades na rede são os curtos monofásicos mínimos (Figuras 4.4 e 4.5) então apesar de não se ter seletividade entre as proteções para um curto trifásico (Figuras 4.6 e 4.7) a mesma continua atuando protegendo o sistema contra um desligamento.

4.4.2 Religador x Seccionalizador x Fusível

A seletividade entre as proteções religador (REL-02), seccionalizador (SEC-03) e fusível (FUS-52) é demonstrada através de uma simulação de curto trifásico na barra 60 a montante da instalação do fusível FUS-60 (Figuras 4.8 e 4.9).

Nesta situação o FUS-52 atua antes mantendo a seletividade do sistema, mas sem haver atuação do religador.

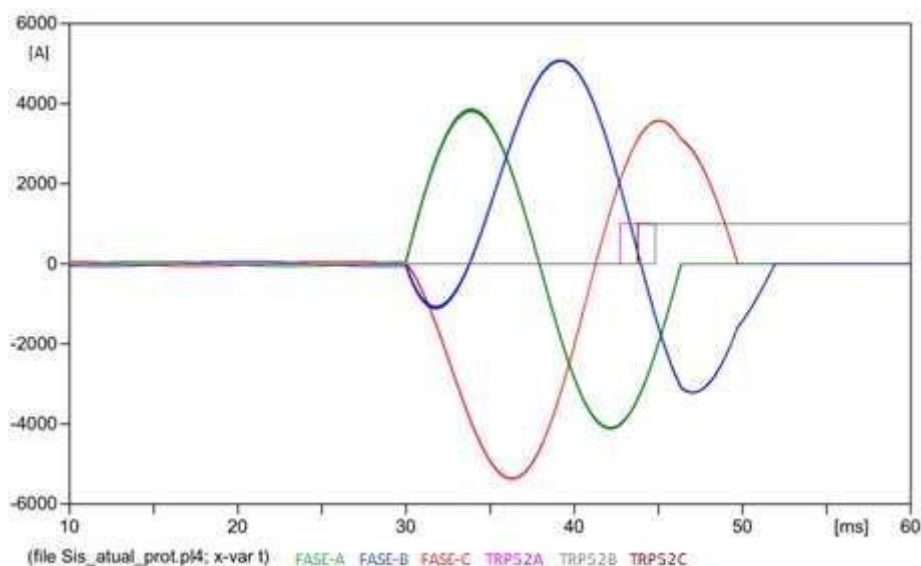


Figura 4.8 Coordenação trifásico sistema atual (L60).

Fonte: Autoria própria.

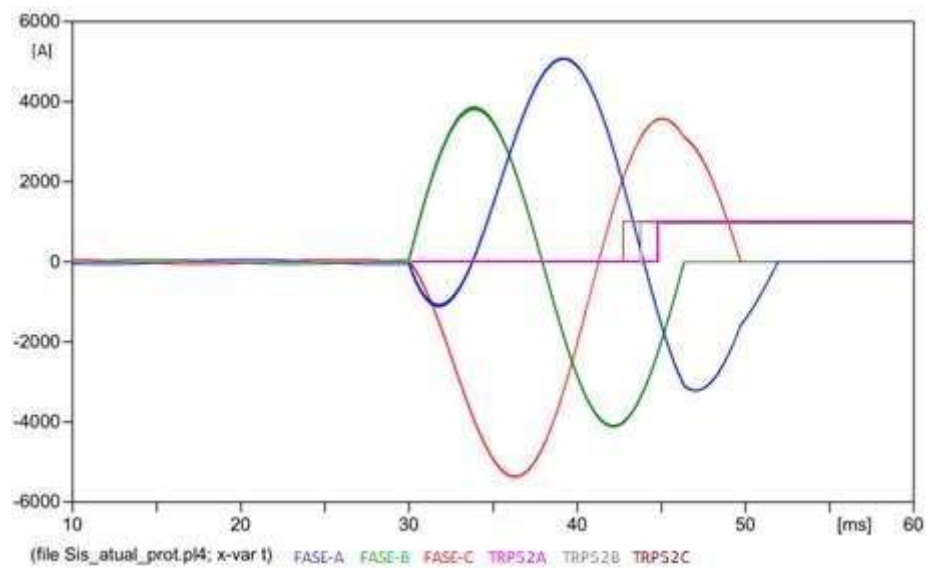


Figura 4.9 Coordenação trifásico sistema futuro (L60).

Fonte: Autoria própria.

4.4.3 Religador x Religador

A seletividade entre as proteções religador (REL-02) e religador (RE-01) será feita através de uma simulação de curto trifásico na barra 43 a montante da instalação do seccionizador (SEC-03) conforme mostram as Figuras 4.10 e 4.11.

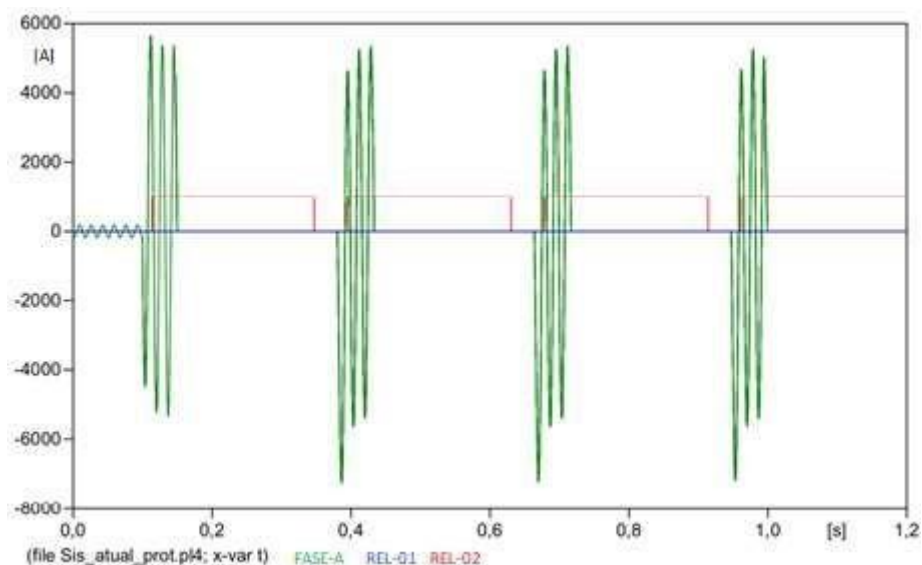


Figura 4.10 Coordenação trifásico sistema atual (L43).

Fonte: Autoria própria.

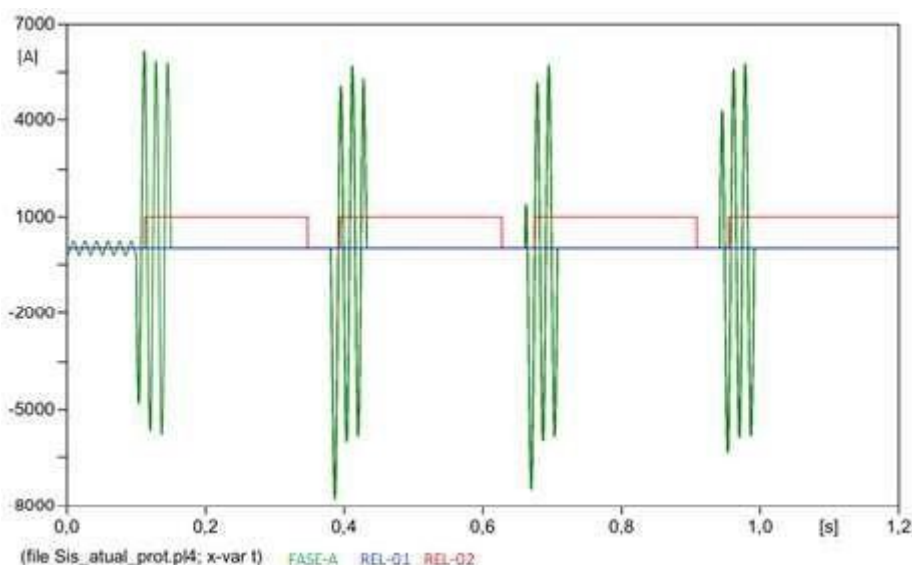


Figura 4.11 Coordenação trifásico sistema futuro (L43).

Fonte: Autoria própria.

Por meio desta simulação observa-se que há uma coordenação entre as proteções de Religador 1 e 2 uma vez que quem opera é o REL-02 não o REL-01. Não há sobreposição das regiões de atuação na atualidade nem no futuro, portanto o dimensionamento da proteção está adequado para o ramal estudado.

4.4.4 Religador x Seccionalizador

A seletividade entre as proteções religador (REL-01) e seccionalizador (SEC-01) (Figuras 4.12 e 4.13) será feita através de uma simulação de curto trifásico na barra 15, final do ramal protegido pelo SEC-01 enquanto a seletividade entre as proteções religador (REL-02) e seccionalizador (SEC-03) será feita através de uma simulação de curto trifásico na barra 52, final do ramal protegido pelo SEC-03 (Figuras 4.14 e 4.15).

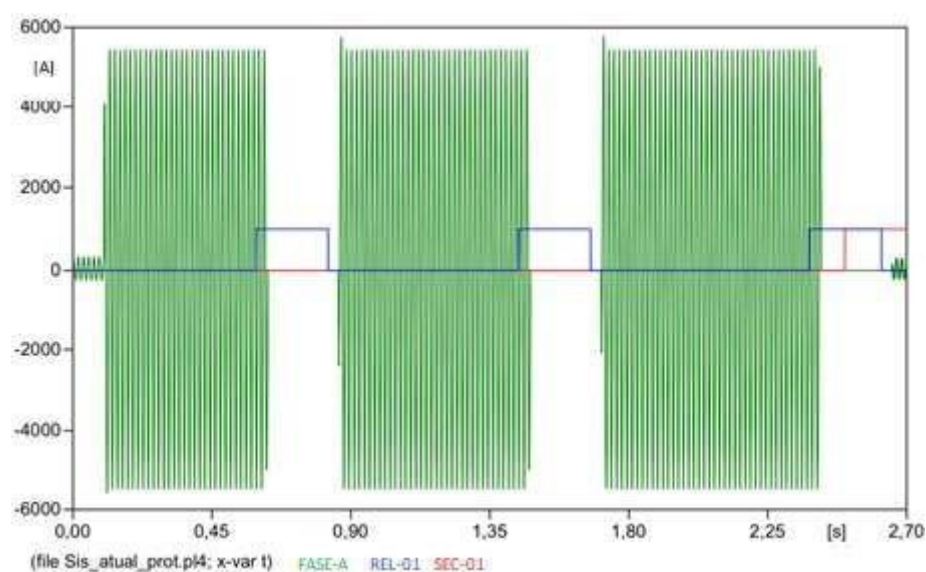


Figura 4.12 Coordenação trifásico sistema atual (L15).

Fonte: Autoria própria

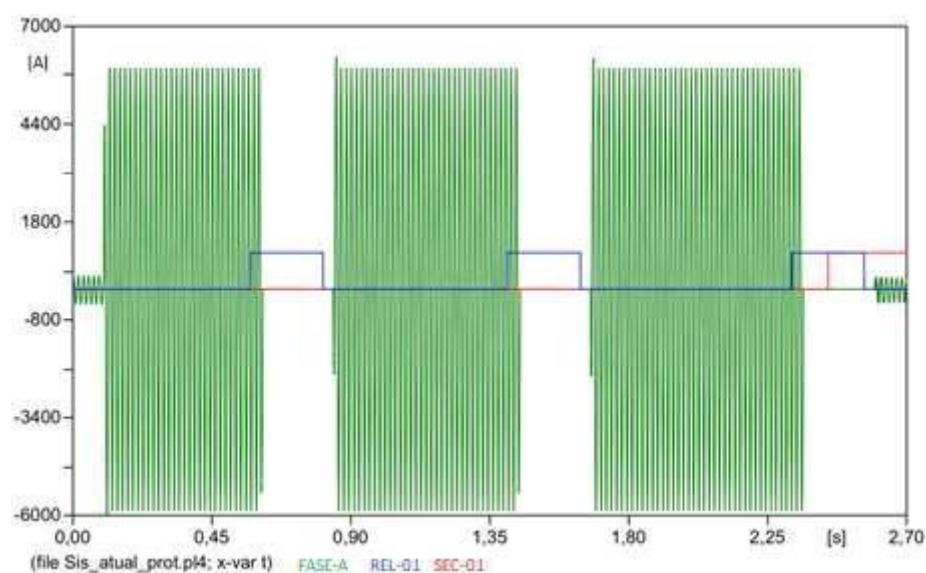


Figura 4.13 Coordenação trifásico sistema futuro (L15).

Fonte: Autoria própria

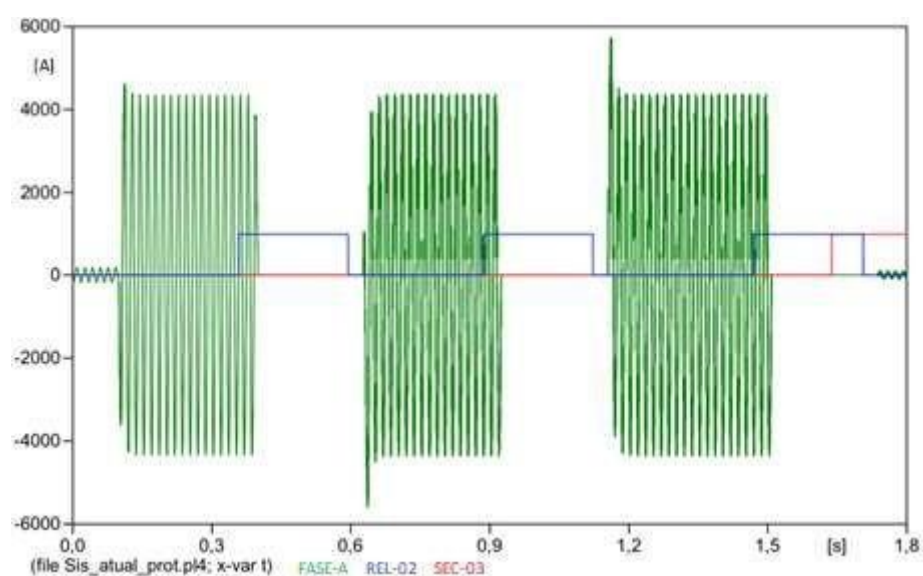


Figura 4.14 Coordenação trifásico sistema atual (L52).
Fonte: Autoria própria

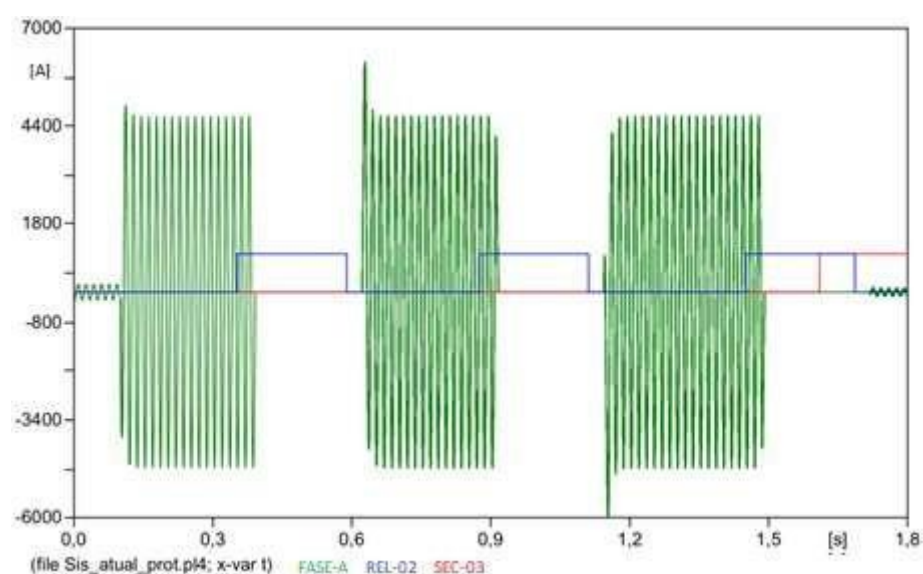


Figura 4.15 Coordenação trifásico sistema futuro (L52).
Fonte: Autoria própria

Nestas simulações fica evidenciado como é o comportamento de abertura do seccionalizador, ocorrendo na última reabertura do religador a montante. É inclusive possível nesta simulação observar que o ramal principal irá continuar em operação após a separação do trecho defeituoso visto que após o último fechamento do religador observa-se um percentual da corrente nominal circulando no circuito.

4.4.5 Religador x Fusível

A seletividade entre as proteções religador (REL-01) e fusível (FUS-09) será observada através de uma simulação de curto trifásico na barra 18, final do ramal protegido pelo FUS-09 conforme Figura 4.16.

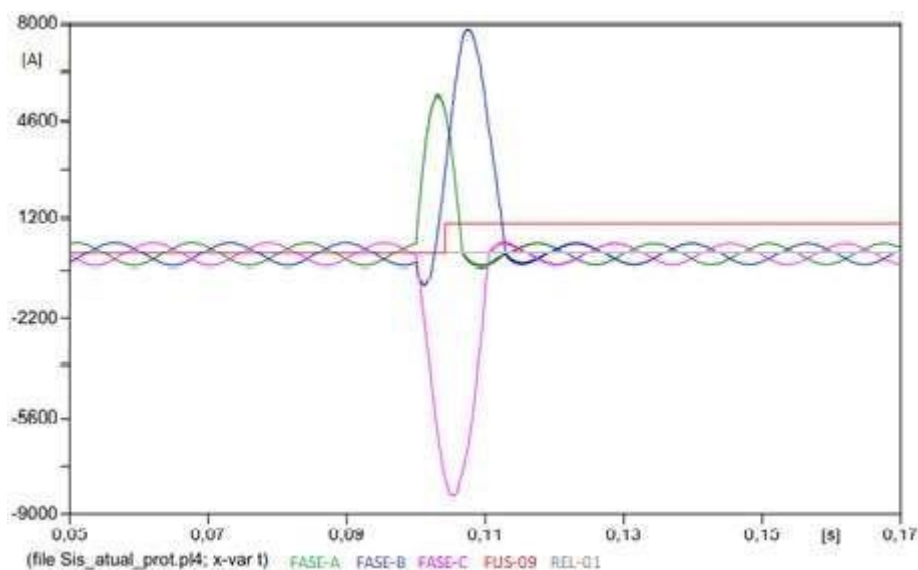


Figura 4.16 Coordenação trifásico sistema futuro (L18).

Fonte: Autoria própria.

Conforme esperado, uma vez que a falta se deu em um trecho do ramal protegido pelo FUS-09, ocorreu a abertura do fusível ao invés do religador. Com a abertura do FUS-09, a falta isolada do circuito permitindo a continuidade da operação do ramal principal.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusão

O intuito deste trabalho baseia-se na missão de apresentar todos os principais equipamentos responsáveis por fazer com que os sistemas de proteção e de manobra presente nos sistemas elétricos de distribuição funcionem. Foi desse ponto que surgiu a premissa de apresentar os mesmos de acordo com a ordem na qual costumam ser vistos durante sua utilização, começando pelo princípio básico do disjuntor e de seus diferentes tipos de proteções, passando pelos relés de proteção que garantem o acionamento dos mesmos, bem como esclarecendo a respeito dos tipos de transformadores, sejam estes de corrente, de potencial ou de serviço auxiliar, retificadores, bancos de baterias, religadores e seccionadoras responsáveis por garantir que tudo funcione atue de maneira correta e da maneira para a qual são projetados, e garantindo acima de tudo o fornecimento de energia de maneira segura e eficiente

Dessa maneira, uma vez que, todos esses conceitos foram apresentados e esclarecidos, o foco principal se voltou para um estudo mais detalhada sobre as simulações das proteções de um sistema de distribuição na pratica, visando apresentar como as proteções são dimensionadas e acionadas de acordo com as condições nas quais o sistema pode ser submetido, uma vez que, este é uma das vertentes de estudo que menos possui estudos e pesquisas relacionadas quando comparada à outras áreas como as linhas de transmissão por exemplo.

Portanto, por meio deste trabalho foi possível observar as limitações quanto a coordenação de proteção para barramentos muito próximos da SE, o que tornava impossível a coordenação das proteções para faltas trifásica, além de observar a limitação de coordenação entre curtos monofásicos mínimos e trifásicos e de obter experiência junto ao ATPDraw.

Os objetivos propostos na introdução sem dúvidas foram alcançados, não podendo ser deixado de lado também a própria experiência com o ATPDraw para a realização dos estudos, o mesmo se mostrou como um software excelente para o estudo das proteções existindo a possibilidade da simulação e visualização de diversas anomalias em um sistema uma vez fornecidas todas as informações necessárias para o dimensionamento adequado do mesmo. Dentro desse contexto, a

linguagem MODELS permitiu um uso muito mais aperfeiçoado da plataforma, uma vez que, num primeiro momento o próprio ATPDraw não possuiu todos os blocos necessários para um estudo mais completo, portanto através dessa linguagem se torna mais prático se aprofundar nas características de comportamento da proteção de forma a torna-la o mais próximo possível daquilo observado na prática.

A elaboração e visualização dos coordenogramas de ajuste das proteções também foram excelentes pontos de aprendizagem possibilitando verificar as principais dificuldades quando se realiza um dimensionamento de proteção, permitindo que se tenha uma melhor noção entre proteger os sistemas tanto para curtos mais elevados, ou mais reduzidos de forma a torna o sistema o mais eficiente, seguro e com um funcionamento contínuo.

Como complemento, ao fim do trabalho, é possível visualizar além de tudo que foi apresentado, alguns lampejos de como aprofundar ainda mais esse conhecimento a respeito das simulações de um sistema de distribuição. Caso se leve em conta o crescimento dos sistemas de geração distribuída que se encontra em alta atualmente pode-se fazer uma análise de como essa inserção influencia nos sistemas de proteção de distribuição.

Para isso devem-se criar novas funções de proteção de forma a simular adequadamente a inserção desse modo de geração e assim verificar a partir de que ponto esta inserção pode apresentar risco de falta de sensibilidade da proteção clássica, e se este ponto é um ponto factível de ser alcançado.

Através de ferramentas como o *ATPDraw*, e complementos tais como a linguagem MODELS, poderia se imaginar o desenvolvimento de ferramentas específicas que ajudassem no estudo desses novos mecanismos.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAUJO, C. A. S.... [et al.]. Proteção de Sistemas Elétricos. 2. ed. Rio de Janeiro: Light: Interciência, 2005. 266 p.
- [2] MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [3] CAMINHA, Amadeu Casal. Introdução a proteção dos sistemas elétricos. 11. reimpr. -. São Paulo: E. Blucher, 2009.
- [4] OLIVEIRA, J.C.; COGO. J. R.; ABREU, J. P. G. Transformadores - Teoria e Ensaio, 1ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1984. 174 p.
- [5] HAYT, W.H. Análise de Circuitos em Engenharia. 7.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2003. 858p.
- [6] KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Volume 1, Florianópolis: 2ª Edição, 2005.
- [7] KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Volume 2, Florianópolis: 1ª Edição, 2006.
- [8] KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Volume 3, Florianópolis: 1ª Edição, 2008.
- [9] CONCEIÇÃO, EVERALDO NONATO DA - Modelagem e Simulação da Proteção de Alimentadores de Distribuição Utilizando Softwares Tipo EMTP. [Distrito Federal] 2012

- [10] BRANCO, R. C. C. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA Transformadores trifásicos de média / baixa tensão, do tipo seco. p. 1–19, 2014. CHAPMAN, S. J. Máquinas Eléctricas. p. 495, 2003.
- [11] HENRY, J.; FARADAY, M.; FAZEM, C. C. Transformadores História do Transformador. p. 1–131, 1830.
- [12] Sistema Interligado Nacional atende 98% do mercado brasileiro. Disponível e livre acesso pelo site <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/sistema-interligado-nacional-atende-98-do-mercado-brasileiro> >
- [13] GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica -Profa. Ruth Leão- UFC Capítulo 4. Disponível e livre acesso pelo site <http://joinville.ifsc.edu.br/~edsonh/Repositorio/PIPProjeto_e_Instalacoes_Eletricas_Prediais/Material%20de%20Aula/Parte_I_GTD/Complemento/>
- [14] Apostila Distribuição de Energia - UMCTEC -Prof. Abelardo. Disponível e livre acesso pelo site <<http://edsonjosen.dominiotemporario.com/doc/Apostila%20Distribuicao%20de%20Energia%20-%20UMCTEC.pdf>>
- [15] NTD.3.36. Elos Fusíveis para Redes de Distribuição Aéreas de 15kV. Companhia Energética de Brasília (CEB).
- [16] ABNT NBR 5359, 1989 - Elos fusíveis de distribuição.
- [17] HOROWITZ, Stanley H.; PHADKE, ARUN G. Power System Relaying Third Edition.2008.

