



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MAILSON NERES VALENTIM

RETROFIT DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69KV

SOBRAL
2023

MAILSON NERES VALENTIM

RETROFIT DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69KV

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica do campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Rômulo Nunes De Carvalho Almeida.

SOBRAL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V246r Valentim, Mailson Neres.
Retrofit do sistema de proteção de uma subestação de 69kV / Mailson Neres Valentim. – 2023.
88 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2023.
Orientação: Prof. Me. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida .
1. relé de proteção. 2. retrofit. 3. subestação. I. Título.

CDD 621.3

MAILSON NERES VALENTIM

RETROFIT DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69KV

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica do campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 13/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rômulo Nunes De Carvalho Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Eber de Castro Diniz
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Lucivando Ribeiro de Araújo
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Eng. Paulo Eduardo Santos Figueiredo
Ponder Elétrica Ltda

A Deus, por me dar forças para continuar.

A minha mãe, Ana Lúcia, pelo alicerce e incentivo durante toda minha formação.

A minha esposa, Karen Aline, por sua compreensão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus por não me deixar desistir durante as dificuldades da vida, pelas oportunidades que colocou em minha vida e pelas pessoas que colocou no meu caminho.

À minha família, que me apoiou desde o início, em especial minha mãe, Ana Lúcia, que me incentivou e me apoiou, de modo que possibilitou minha permanência no curso e minha esposa que foi meu porto seguro durante as dificuldades encontradas.

À Universidade Federal do Ceará, por proporcionar uma estrutura que favorece a formação de alunos de diversas classes sociais. Ao PET da engenharia elétrica, o qual fiz parte, por proporcionar uma evolução no meu desempenho como discente e pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa. Ao corpo docente da Universidade por compartilhar conhecimentos e vivências, preparando para o mercado de trabalho.

Ao Prof. Me. Rômulo Nunes, pela excelente orientação, por aceitar a proposta e me incentivar a fazer um trabalho com excelência.

Aos amigos que a universidade me presenteou, em especial Ermeson, Jair, Lyvia, Weder, Werley Jamille e Mariana, pelo companheirismo e troca de conhecimento no decorrer do curso.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o *retrofit* do sistema de proteção de uma subestação elétrica industrial, que foi construída em 1993 e atualmente possui equipamentos defasados tecnologicamente. No decorrer do trabalho será abordado os passos elaborados para a realização desse estudo de caso de modo que proporcione a eficiência da atuação do sistema de proteção da subestação. Inicialmente foram levantados os equipamentos que compõem a subestação e realizados ensaios nos relés de proteção para analisar os tempos de atuação, baseado nos resultados dos ensaios e nas condições encontradas dos relés foi proposto a substituição dos relés eletromecânicos por relés digitais, adequação dos painéis dos relés de proteção da média tensão e implantação do estudo de coordenação e seletividade. Ainda foi realizado a substituição do banco de baterias e retificador/carregador. Foi levantado as informações técnicas dos dispositivos da subestação e os níveis de curto-circuito fornecido pela concessionária local para a realização do estudo, a fim de tornar o sistema de proteção coordenado e seletivo, atuando de modo a isolar apenas o local de ocorrência da falta e manter os outros equipamentos em funcionamento. Ao final do trabalho foi abordado um comparativo do antes e depois da implantação do *retrofit*, benefícios alcançados e desafios encontrados.

Palavras-chave: relé de proteção; *retrofit*; subestação.

ABSTRACT

The present work presents the retrofit of the protection system of an industrial electrical substation, which was built in 1993 and currently has technologically outdated equipment. In the course of the work, the steps taken to carry out this case study will be addressed in order to provide the efficiency of the substation protection system. Initially, the equipment that makes up the substation was surveyed and tests were carried out on the protection relays to analyze the actuation times, based on the results of the tests and the conditions found for the relays, it was proposed to replace the electromechanical relays with digital relays, adapting the relay panels medium voltage protection and implementation of the coordination and selectivity study. The battery bank and rectifier/charger were also replaced. The technical information of the substation devices and the short-circuit levels provided by the local concessionaire were collected to carry out the study, in order to make the protection system coordinated and selective, acting in such a way as to isolate only the place where the fault occurred. and keep the other equipment running. At the end of the work, a comparison was made between before and after the implementation of the retrofit, benefits achieved and challenges encountered.

Keywords: protection relay; retrofit; substation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transformador de força.....	18
Figura 2 - Esquema básico de um TC.....	19
Figura 3 - Esquema básico de um TP.....	20
Figura 4 - Disjuntor de 69 KV a PVO.....	22
Figura 5 - Chave Seccionadora de 69 KV.....	24
Figura 6 - Esquemático de um relé de proteção.....	27
Figura 7 - Relé eletromecânico - Disco de Indução.....	29
Figura 8 - Relé estático.....	30
Figura 9 - Topologia de um relé digital.....	31
Figura 10 - Ramal de entrada SE 69kV.....	33
Figura 11 - Diagrama unifilar da SE.....	35
Figura 12 - Mesa de comando SE 69KV.....	36
Figura 13 - Cubículo P1.....	36
Figura 14 - Cubículo P6.....	37
Figura 15 - Cubículos de distribuição em 6,6kV.....	37
Figura 16 - Conjunto de baterias.....	38
Figura 17 - Retificador de baterias.....	39
Figura 18 - Bobina carbonizada.....	45
Figura 19 - Contribuição ENEL na entrada da SE.....	48
Figura 20 - Coordenograma de fase Entrada SE 69KV - L1 (RL_12C1).....	57
Figura 21 - Coordenograma de fase Entrada SE 69KV – L2 (RL_12C2).....	58
Figura 22 - Coordenograma de neutro Entrada SE 69KV - L1 (RL_12C1).....	59
Figura 23 - Coordenograma de neutro Entrada SE 69KV – L2 (RL_12C2).....	60
Figura 24 - Coordenograma de fase do cubículo de entrada TR1.....	68
Figura 25 - Coordenograma de fase do cubículo de entrada TR2.....	69
Figura 26 - Coordenograma de neutro do cubículo de entrada TR1.....	70
Figura 27 - Coordenograma de neutro do cubículo de entrada TR2.....	71
Figura 28 - Coordenograma de fase do cubículo auxiliar TR_AUX.....	72
Figura 29 - Antes e depois do cubículo de entrada TR2.....	73
Figura 30 - Antes e depois do comando elétrico do cubículo de entrada TR2.....	73
Figura 31 - Antes e depois do cubículo de entrada TR1.....	74
Figura 32 - Antes e depois da mesa de comando.....	74

Figura 33 - Antes e depois do banco de baterias	75
Figura 34 - Antes e depois do retificador das baterias.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de Exatidão TC	19
Tabela 2 - Classes de Exatidão TP	21
Tabela 3 - Carga Nominal.....	21
Tabela 4 - Ensaio do relé reserva da entrada L1 da SE	41
Tabela 5 - Ensaio do relé reserva da entrada L2 da SE	42
Tabela 6 - Ensaio relé fase R cubículo de entrada TR1	43
Tabela 7 - Ensaio relé fase T cubículo de entrada TR1	44
Tabela 8 - Ensaio relé de Neutro cubículo de entrada TR1	44
Tabela 9 - Ensaio relé fase R cubículo de entrada TR2	45
Tabela 10 - Ensaio relé fase T cubículo de entrada TR2	46
Tabela 11 - Ensaio relé de Neutro cubículo de entrada TR2	46
Tabela 12 - Especificação dos transformadores de força	50
Tabela 13 - Especificação do disjuntor de entrada L1 e L2.....	50
Tabela 14 - Especificação do TC da entrada L1 e L2.....	51
Tabela 15 - Especificação do TC do resistor de aterramento	51
Tabela 16 - Configurações gerais do relé (RL_12C1 / RL_12C2).....	51
Tabela 17 - Parametrização dos TC's de Entrada L1/L2	52
Tabela 18 - Proteções habilitadas para atuação	52
Tabela 19 - Parametrização da função 50 (RL_12C1 e RL_12C2).....	53
Tabela 20 - Parametrização da função 51 (RL_12C1 e RL_12C2).....	54
Tabela 21 - Parametrização da função 50N (RL_12C1 e RL_12C2).....	54
Tabela 22 - Parametrização da função 51N (RL_12C1 e RL_12C2).....	54
Tabela 23 - Parametrização da função 50G (RL_12C1 e RL_12C2).....	55
Tabela 24 - Parametrização da função 51G (RL_12C1 e RL_12C2).....	55
Tabela 25 - Especificação dos transformadores de força e auxiliar	62
Tabela 26 - Especificação do disjuntor do cubículo de entrada TR1 e TR2.....	62
Tabela 27 - Especificação do TC do cubículo de entrada TR1 e TR2.....	62
Tabela 28 - Especificação dos fusíveis de MT do cubículo do banco de capacitores e transformador auxiliar	63
Tabela 29 - Configurações gerais do relé (RL_TR1 / RL_TR2).....	64
Tabela 30 - Parametrização dos TC's de Entrada TR1/TR2.....	64
Tabela 31 - Proteções habilitadas (Enabled) para atuação	65

Tabela 32 - Parametrização da função 50 (RL_TR1 e RL_TR2)	65
Tabela 33 - Parametrização da função 51 (RL_TR1 e RL_TR2)	66
Tabela 34 - Parametrização da função 50N (RL_TR1 e RL_TR2)	66
Tabela 35 - Parametrização da função 51N (RL_TR1 e RL_TR2)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/D	Analógico Digital
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AT	Alta Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Cia	Companhia de Fornecimento de Energia Elétrica
GE	<i>General Electric</i>
GVO	Grande Volume de Óleo
IAC	<i>Intersocietal Accreditation Commission</i>
In	Corrente nominal
Iprim	Corrente Primária
Isec	Corrente Secundária
L1	Linha 1
L2	Linha 2
MPX	Multiplexador
ms	Mili segundos
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
POT	Potência
PVO	Pequeno Volume de Óleo
SE	Subestação Elétrica
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
Trafo	Transformador
Vprim	Tensão Primária
Vsec	Tensão Secundária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	15
1.2	Estrutura do trabalho	16
2	EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO	17
2.1	Transformador de força	17
2.2	Transformadores de instrumentos	18
<i>2.2.1</i>	<i>Transformador de corrente</i>	18
<i>2.2.2</i>	<i>Transformador de potencial</i>	20
2.3	Disjuntores	22
2.4	Chave seccionadora	23
2.5	Equipamentos de proteção	24
2.6	Serviços Auxiliares	25
3	RELÉS DE PROTEÇÃO	26
3.1	Estrutura básica dos relés de proteção	26
3.2	Desenvolvimento histórico	27
3.3	Relés eletromecânicos	28
3.4	Relés estático	29
3.5	Relés digitais	30
4	DESCRIÇÃO DO SISTEMA E ENSAIOS	32
4.1	Subestação abaixadora 69/6,6 kV	32
4.2	Serviços auxiliares	37
4.3	Ensaio dos relés de proteção	39
<i>4.3.1</i>	<i>Relés das entradas L1 e L2</i>	40
<i>4.3.2</i>	<i>Relés dos cubículos de entradas TR1 e TR2</i>	42
5	ESTUDO E ESPECIFICAÇÕES PROPOSTAS	48
5.1	Crítérios adotados no estudo	48

5.2	Estudo de coordenação e seletividade entradas L1 e L2	49
5.2.1	<i>Componentes atuais do sistema</i>	49
5.2.2	<i>Parametrização do Relé</i>	51
5.2.3	<i>Funções de proteção</i>	53
5.2.3.1	<i>Proteção 50/51</i>	53
5.2.3.2	<i>Proteção 50N/51N</i>	54
5.2.3.3	<i>Proteção 50G/51G</i>	54
5.2.4	<i>Curvas de coordenação das proteções</i>	55
5.3	Estudo de coordenação e seletividade TR1 / TR2	61
5.3.1	<i>Componentes do sistema</i>	61
5.3.2	<i>Critérios adotados na proteção e seletividade dos transformadores TR1 e TR2</i>	63
5.3.3	<i>Parametrização do Relé</i>	63
5.3.4	<i>Funções de proteção</i>	65
5.3.4.1	<i>Proteção 50/51</i>	65
5.3.4.2	<i>Proteção 50N/51N</i>	66
5.3.5	<i>Curvas de coordenação das proteções do cubículo de distribuição da SE de 69 KV</i>	66
5.4	Substituição dos relés de proteção	72
5.5	Substituição das baterias e retificador do sistema auxiliar da SE 69KV	74
6	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A – RELATÓRIO DE CURTO-CIRCUITO - CASO 1	81
	ANEXO B – RELATÓRIO DE CURTO-CIRCUITO - CASO 2	83
	ANEXO C – UNIFILAR CUB. ENTRADA L1/L2 COM NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO – CASO 2	85
	ANEXO D – UNIFILAR CUB. ENTRADA TR1/TR2 COM NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO – CASO 2	86

1 INTRODUÇÃO

Segundo Barrientos (2004), *retrofit* (“retro”, do latim, significa andar para trás e fit, do inglês, adaptação, ajuste) surgiu nos Estados Unidos e na Europa no final da década de 90. A ideia principal do termo é modernização, adequando um sistema/equipamento de tecnologia ultrapassada aos critérios de desempenho determinados pela tecnologia atual de modo que prolonga a vida útil, aumenta a disponibilidade, confiabilidade e adequa-se as normas vigentes.

Realizar uma obra de *retrofit* possui várias vantagens, podemos citar a redução de gastos e a preservação do equipamento ampliando a vida útil. Contudo, para recuperar o equipamento, é preciso contar com uma equipe multidisciplinar experiente já que, por muitas vezes, essa atividade é executada por profissionais com pouca qualificação e sem respaldo técnico, além de ser complicado antecipar o grau de intervenção que será praticado, detalha Barrientos (2004).

Segundo o autor Nunes e Silva (2021) as subestações elétricas compõem parte importante para que um sistema elétrico trabalhe em sua capacidade máxima para suprir uma grande quantidade de consumidores. Os equipamentos para proteção das linhas, assim como os equipamentos para manobras são instalados nas subestações o que denota a confiabilidade do serviço. Segundo a Norma Brasileira Regulamentar NBR 5462 (1994, p. 3), confiabilidade é a “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

Nunes e Silva (2021) afirma inclusive que uma subestação elétrica tem como base para seu funcionamento a dinâmica de transformar o nível de tensão eminente para uma tensão apropriada ao sistema.

Segundo o autor Duailibe (1999) uma subestação compreende um conjunto de equipamentos de manobra que conseqüentemente transformam os reativos para proporcionar o fluxo de energia em sistema potencial que distribua em diversos canais e atinja a maior quantidade de usuários. O autor ainda relata sobre as subestações possuírem uma classificação que se distingue por função e instalação. As funções da subestação elétrica (SE) podem ser diferenciadas por subestação transformadora e subestação seccionadora, de manobra ou de chaveamento. A SE transformadora é entendida como aquela que transmuta a tensão de um provimento para um nível adequado a finalidade. No entanto a SE seccionadora, de manobra ou de chaveamento consiste em conjugar circuitos de provimento com a mesma tensão propiciando a sua propagação.

O presente trabalho foi desenvolvido em uma mineradora de calcário, onde há uma subestação industrial transformadora do tipo abaixadora de 69/6,6kV responsável pelo suprimento de energia da britagem primária do calcário, pois, na indústria possuem motores de grande porte que requerem um nível de tensão elevado para seu funcionamento. No caso abordado os motores de média tensão são alimentados com tensão de 6,6kV.

A subestação abaixadora 69/6,6kV foi projetada em 1993 e até então não tem um estudo de coordenação e seletividade atualizado. Possui equipamentos de proteção defasados, que não se tem peças de reposição, estudos desatualizados, mudanças de perfil de carga, proteções imprecisas, tornando a manutenibilidade inviável. Essas condições impactam nos riscos avaliados pela seguradora da indústria, tornando o seguro mais caro. Portanto, mediante os pontos levantados, se faz necessário um *retrofit* no sistema de proteção da SE a fim de garantir a atuação da proteção da subestação da mina de calcário.

Segundo a NBR 14039 (2021), a periodicidade da manutenção deve ser adequada ao tipo de instalação, a ser considerado a complexidade, importância, influências externas e vida útil dos equipamentos. A norma cita dois tipos de manutenção: preventiva e corretiva. A primeira é realizada em intervalos preestabelecidos, a fim de reduzir a probabilidade de uma falha ou degradação. A segunda é efetuada após a ocorrência da falha, destina-se a recolocar o equipamento em operação.

A fim de cumprir com as exigências da seguradora e com a norma NBR 14039, realizando o gerenciamento dos riscos patrimonial e pessoal, foi solicitado a uma empresa terceirizada especializada que realizasse uma manutenção preventiva nos equipamentos de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT), manutenção nos disjuntores, seccionadoras e relés de proteção da subestação de 69kV da mina de calcário. Através dos resultados obtidos dessa manutenção foi proposto adequações no sistema de proteção a fim de realizar o *retrofit* da SE para proporcionar uma proteção eficiente contra faltas que podem ocorrer durante a operação do sistema.

Esse trabalho tem como foco principal a abordagem dos relés de proteção e o estudo de coordenação e seletividade.

1.1 Objetivo

Descrever de forma sequencial e didática os procedimentos adotados durante o processo de *retrofit* do sistema de proteção da SE com as seguintes características: substituição

dos relés de proteção eletromecânicos por relés digitais, banco de baterias, retificador/carregador do sistema auxiliar e implantação do estudo de coordenação e seletividade.

1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho foi desenvolvido em 6 capítulos, onde o primeiro está composto pela justificativa da escolha do tema, objetivo do trabalho e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo descreve os equipamentos que compõe uma subestação.

O capítulo 3 aborda os relés de proteção, sua evolução durante as últimas décadas e seu princípio de funcionamento.

No capítulo 4 foi abordado as condições da subestação antes do *retrofit* realizado, mostrando como se encontrava o sistema auxiliar de baterias, os ensaios dos relés de proteção e a disposição dos equipamentos que formam a subestação de 69kV.

O capítulo 5 traz uma visão geral do estudo de coordenação e seletividade da subestação, os coordenogramas de fase e neutro, bem como os níveis de curto-circuito nas barras da SE. Além disso, foi evidenciado as substituições realizadas durante o *retrofit*.

Por fim, o último capítulo aborda os benefícios adquiridos com a adequação, evidenciando relatos de atuação coordenada da proteção, comparativo das tecnologias adotadas em relação as anteriores e os desafios encontrados durante o *retrofit*.

2 EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO

Articulando sobre as subestações elétricas, o autor Duailibe (1999) menciona sobre os diferentes tipos de equipamentos que uma subestação necessita para suas funcionalidades. Esses consistem em equipamentos de transformação, equipamentos de manobra, equipamentos de compensação de reativos e por fim não menos importantes os equipamentos de proteção.

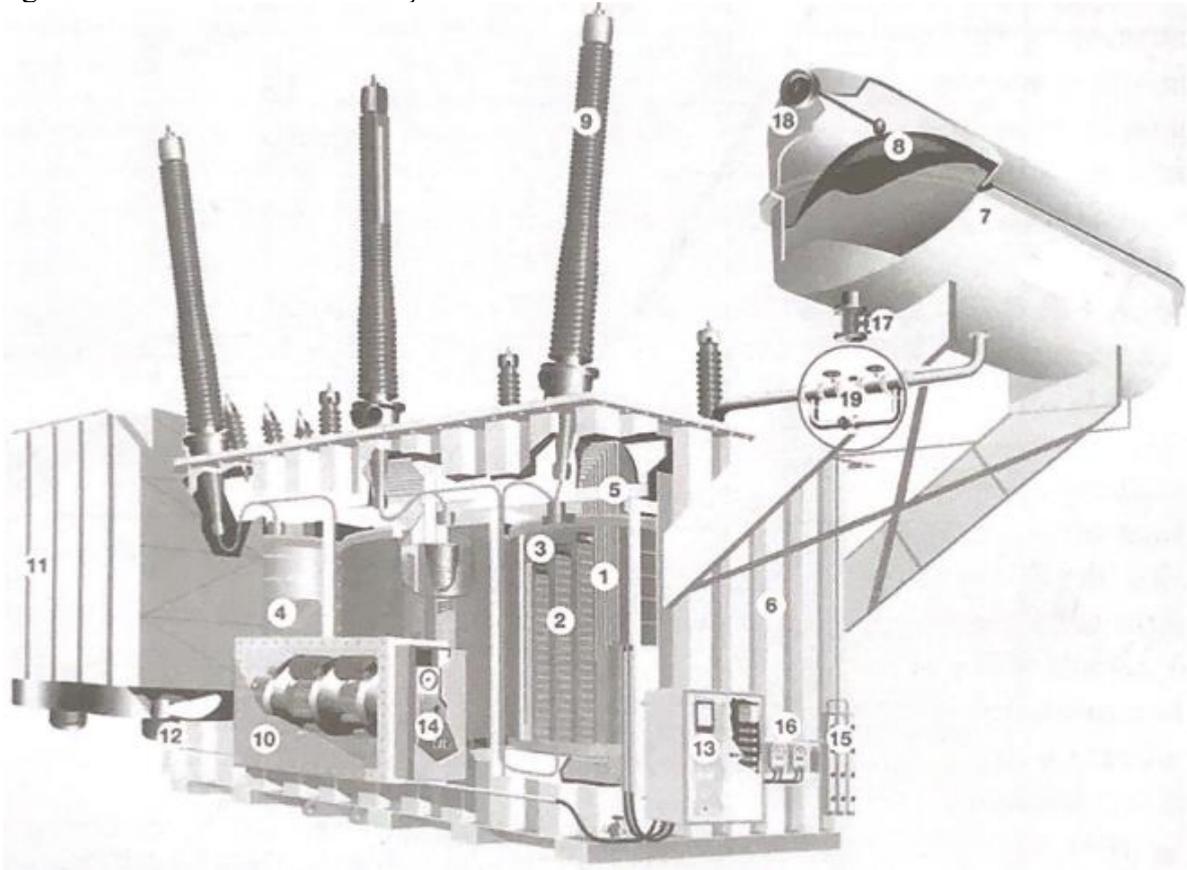
2.1 Transformador de força

Silva (2013, p. 51) cita que “Os transformadores de potência são máquinas elétricas estáticas, que têm a finalidade de transmitir a energia de um circuito primário para um ou mais circuitos, podendo ser de dois ou três enrolamentos”.

Os transformadores de força podem ser classificados segundo o seu fator isolante sendo a óleo mineral, a líquidos isolantes sintéticos pobremente inflamáveis (silicone) e secos. O óleo sendo derivado de petróleo e os líquidos isolantes sintéticos possuem suas características fundamentais como, isolar para que não haja a formação de arco entre os dois condutores e resfriar com o intuito de esgotar o calor oriundo da operação do equipamento. Os transformadores secos, por sua vez, usam o ar circulante de forma isolante e refrigerante dispondo isolamento classe B, F e H (DUAILIBE, 1999).

Segundo Mamede Filho e Mamede (2022), o transformador de força a óleo possui os seguintes itens em sua composição, que estão expostos na Figura 1 e descritos a seguir: 1 – núcleo, 2 – enrolamento, 3 – isolação principal, 4 – ligação dos enrolamentos, 5 – suportes de ligação, 6 – tanque principal, 7 – tanque de expansão de óleo, 8 – membrana de borracha, 9 – bucha, 10 – comutador sob carga, 11 – radiador, 12 – motoventilador, 13 – painel de controle, 14 – mecanismo de acionamento do comutador, 15 – secador de ar, 16 – termômetros ou monitores de temperatura, 17 – válvula de óleo, 18 – indicador do nível de óleo, 19 – relé de buchholz.

Figura 1 - Transformador de força



Fonte: (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022, p. 272).

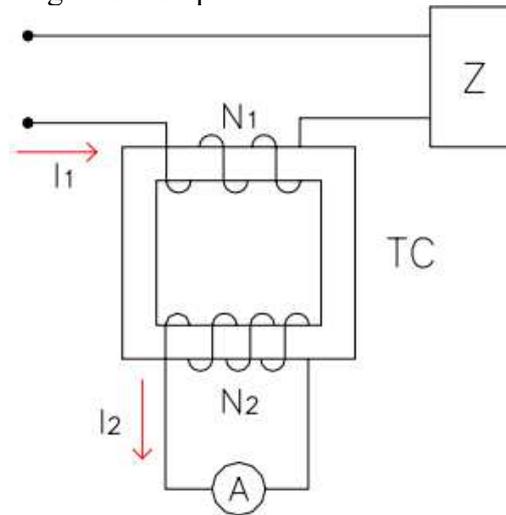
2.2 Transformadores de instrumentos

Os transformadores de instrumentos têm o objetivo de minimizar a corrente ou a tensão de níveis cabíveis com os valores de suprimentos dos relés e medidores. Esses transformadores podem ser classificados em corrente e potencial.

2.2.1 Transformador de corrente

O transformador de corrente tem em sua estrutura um enrolamento primário ligado em série a um círculo elétrico e um enrolamento secundário com finalidade de alimentar as bobinas de correntes de instrumentos elétricos de medição, proteção e/ou controle. O enrolamento primário é composto de poucas espirais (2 ou 3 por exemplo) constituído de condutores de cobre (DUAILIBE, 1999). A Figura 2 representa o esquema básico de um Transformador de Corrente (TC).

Figura 2 - Esquema básico de um TC



Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 30).

Para Duailibe (1999) as principais características elétricas dos transformadores de corrente são:

- **Corrente secundária nominal:** Possuindo padrão de 5A;
- **Corrente primária nominal:** Indica o valor suportado em regime normal pelo transformador;
- **Classe de exatidão:** Onde o valor máximo do erro é evidenciado em percentagem, no qual o transformador de corrente poderá causar aos instrumentos que estarão conectados. Na Tabela 1 demonstra os padrões, baseado nas normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e *American National Standards Institute* (ANSI).

Tabela 1 - Classes de Exatidão TC

	TC para Medição	TC para Proteção
ABNT	0,3; 0,6; 1,2; 3,0	5; 10
ANSI	0,3; 0,6; 1,2	10

Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 34).

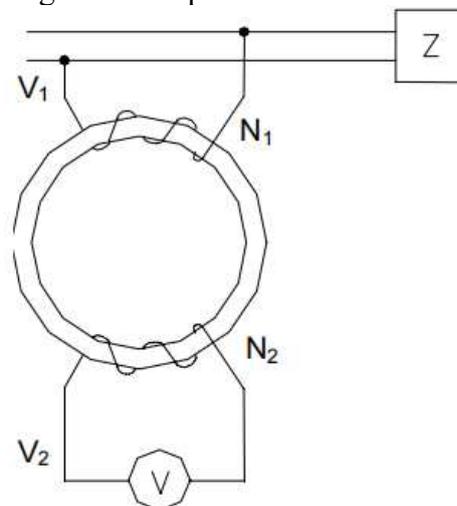
- **Corrente nominal:** Carga que tem por base os requisitos de exatidão do TC.
- **Fator Térmico:** Fator na qual necessita multiplicar a corrente primária nominal para adquirir o valor da corrente primária máxima a qual o TC é capacitado para atuar em regime permanente.
- **Nível de Isolamento:** Estabelece a especificação do TC referente às condições que é necessário para satisfazer a sua isolação relacionado a tensão suportável.

- **Corrente Térmica Nominal:** É considerado o valor máximo da corrente primária que um TC pode suportar durante o tempo de 1 segundo, na condição do enrolamento secundário curto-circuitado sem exceder qualquer um dos enrolamentos a temperatura máxima determinado para a sua classe de isolamento.
- **Corrente Dinâmica Nominal:** Valor do topo da corrente primária onde o TC tem a capacidade para suportar no decorrer do primeiro meio ciclo com o enrolamento secundário curto-circuitado, não havendo danos por causa das forças eletromagnéticas resultantes. Sendo igual a 2,5 vezes o valor da corrente térmica nominal.
- **Polaridade:** Indica o sentido que a corrente percorre do primário ao secundário, podendo ser de polaridade aditiva ou subtrativa, normalmente se utiliza polaridade subtrativa.

2.2.2 Transformador de potencial

Por outro lado, o Transformador de Potencial (TP) possui o enrolamento primário com objetivo de ser ligado em derivação a um circuito elétrico e o enrolamento secundário com objetivo de alimentar bobinas de potencial de instrumentos elétricos de medição, proteção e/ou controle (DUAILIBE, 1999). A Figura 3 ilustra o esquema básico de um TP, sendo construído com $N_1 > N_2$ para se obter o nível de tensão menor no secundário.

Figura 3 - Esquema básico de um TP



Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 34).

As principais características elétricas dos transformadores de potencial para Duailibe (1999) são:

- **Tensão Primária Nominal:** Especificado conforme a tensão do circuito onde o TP será instalado.
- **Tensão Secundária Nominal:** Tem por padrão 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V.
- **Classe de Exatidão:** O transformador poderá ser responsável pelo máximo valor do erro aos instrumentos que estão conectados, na tabela 2 mostra um exemplo. A Tabela 2 exemplifica as classes de exatidão.

Tabela 2 - Classes de Exatidão TP

TP's Alimentando Instrumentos	Classe de Exatidão	
	Recomendada	Aceitável
Medidores Indicadores	0,3	0,6
	0,6	1,2

Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 40).

- **Carga Nominal:** Os requisitos de exatidão do TP são obtidos baseado na carga nominal no secundário, onde os valores são expressos em potência aparente (VA). A Tabela 3 expõe a recomendação segundo as normas ABNT e ANSI, a qual especifica a carga nominal dos TPs.

Tabela 3 - Carga Nominal

Designação ABNT	Designação ANSI
P 12,5	W
P 25	X
P 75	Y
P 200	Z
P 400	ZZ

Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 40).

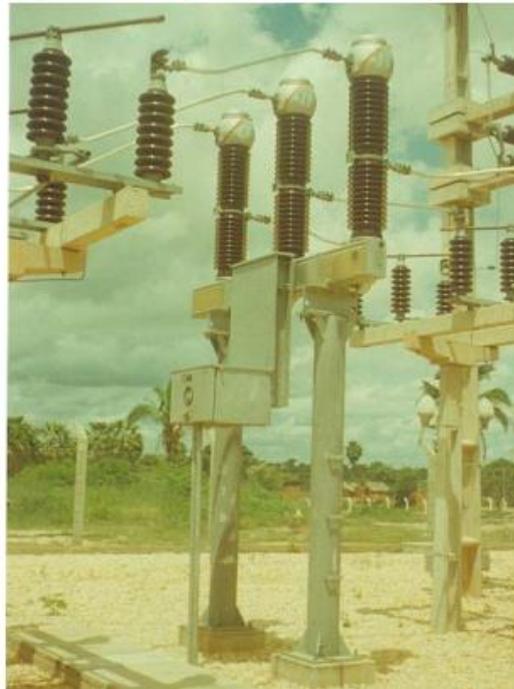
- **Potência Térmica:** É classificado como potência máxima que um TP pode oferecer de forma permanente de acordo com a tensão e frequência nominal, onde não pode ultrapassar os limites de temperatura que são permitidos por sua classe de isolamento.
- **Nível de Isolamento:** Responsável por determinar as especificações do TP referente à sua isolação conforme a tensão suportável.

2.3 Disjuntores

Os disjuntores são os equipamentos mais relevantes no uso de redes elétricas destinados a atividades de carga e de segurança. Os mesmos podem ter dois estados estacionários, fechado e abertos, que se definem em estados transitórios da manobra de fechamento (ligamento) e manobra de abertura (desligamento) (DUAILIBE, 1999).

Muzy (2012, p.56) afirma que “O disjuntor sem o acompanhamento dos seus relés torna-se apenas uma chave de manobra, sem qualquer característica de proteção”. A Figura 4 apresenta um exemplo de disjuntor a óleo.

Figura 4 - Disjuntor de 69 KV a PVO



Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 21).

Muzy (2012) reitera que existem quatro tipos de disjuntores, que são:

- **Disjuntores a óleo:** Estão divididos em Grande Volume de Óleo (GVO) e Pequeno Volume de Óleo (PVO). O GVO possui uma capacidade menor e suas fases ficam submersas em um recipiente com óleo, onde é usado tanto para o isolamento como para a interrupção das correntes, o GVO possui uma grande vantagem que é a extensa capacidade de ruptura em caso de curto-circuito, apesar disso esse disjuntor está ficando em desuso. O PVO

foi planejado uma câmara de extinção onde o fluxo força sobre o arco ampliando a sua eficiência no processo de interrupção de corrente.

- **Disjuntores a ar comprimido:** São aqueles que fazem uso do ar comprimido por via de extinção de arco elétrico e por muitas vezes para o acionamento dos contatos móveis e para isolamento. Além de que os disjuntores de ar quando soprados sobre as regiões entre os contatos regula a temperatura do arco e sua compressão. Sampaio (2012, p. 34) afirma que “os disjuntores a ar comprimido se sobressaem principalmente pela facilidade de obtenção do meio extintor e pela sua velocidade de operação”.
- **Disjuntores SF₆:** Utiliza o gás hexafluoreto de enxofre como meio de extinção do arco elétrico, seu princípio de funcionamento é semelhante aos disjuntores a ar comprimido com a diferença que é soprado o gás ao invés de ar.
- **Disjuntores a Vácuo:** São disjuntores que faz uso de câmaras de extinção a vácuo, onde oferecem um aumento na rigidez dielétrica. Os arcos dos disjuntores a vácuo se mantêm através de íons de material metálico vaporizado oriundos dos contatos. Além do mais os arcos formados pelos contatos apresentam diferenças significativas em relação aos arcos em outros disjuntores. Com uma longa expectativa de vida e pouca necessidade de manutenção, este equipamento é extremamente vantajoso, afirma Sampaio (2012).

2.4 Chave seccionadora

As chaves seccionadoras são os dispositivos capazes de segregar zonas de barramento sendo operadas sempre sem cargas. Na Figura 5 ilustra um exemplo de chave seccionadora de 69 KV.

Figura 5 - Chave Seccionadora de 69 KV



Fonte: (DUAILIBE, 1999, p. 23).

Duailibe (1999) exemplifica os tipos construtivos de chaves que estão definidos em inúmeras normas, para a ANSI estão classificadas em relação ao tipo da abertura, ao modo de operação e ao ambiente de movimentação do contato móvel, como a abertura vertical – tipo A, dupla abertura lateral – tipo B, basculante (3 colunas) – tipo C, abertura lateral – tipo D, abertura central – tipo E, basculante (2 colunas) – tipo F, aterramento – tipo G, operação por vara de manobra – tipo H, fechamento ou alcance vertical – tipo J.

2.5 Equipamentos de proteção

Por fim, temos os equipamentos de proteção que equivalem aos para-raios, resistores de aterramento, relés e fusíveis.

Os para-raios equivalem a proteção do sistema de descargas que podem ocasionar grandes danos, sendo equipamentos monofásicos, seu funcionamento é de forma simples, quando há um valor alto de sobretensão no sistema elétrico, esse equipamento começa a se comportar como condutor, passando a descarregar parte dessa corrente para a terra, diminuindo assim os danos que podem ocorrer, afirma Silva (2013).

Os resistores de aterramento têm por finalidade limitar a corrente de curto-circuito entre fase e terra, normalmente é utilizado em subestações industriais onde se tem uma tensão secundária de 2,4 a 15 kV, segundo Duailibe (1999).

Mamede Filho e Mamede (2022) acrescenta sobre a funcionalidade do sistema elétrico trazendo a sua finalidade como sendo garantir a proteção da desconexão por meio de qualquer desequilíbrio. Inclusive menciona sobre o sistema ser embasado através de fusíveis e relés que são responsáveis pela segurança da distribuição. Para ser considerado um sistema de proteção o projeto deve priorizar alguns requisitos primordiais para que seja possível obter um afável funcionamento, como a seletividade e zonas de atuação, velocidade, sensibilidade, confiabilidade e automação.

Tratando de definições o autor define a seletividade como sendo uma técnica voltado aos estudos de proteção e coordenação. As zonas de atuação correspondem ao local sendo dentro ou fora da zona onde é detectado a evento de um defeito. A velocidade é um elemento de proteção que busca reduzir os efeitos dos erros no sistema. A sensibilidade é a inteligência que detecta com certeza através de uma equação precisa. A confiabilidade e automação se complementam no que diz respeito a serem eficientes no desempenho de suas finalidades ao serem necessários pelas grandezas (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022).

2.6 Serviços Auxiliares

Para que as cargas necessárias para o funcionamento de uma subestação sejam supridas faz-se necessário duas fontes de tensão denominadas, fonte de tensão em corrente contínua e fonte de tensão em corrente alternada. Um sistema de proteção que utiliza relés secundários necessita de uma fonte de tensão independente da fonte de tensão do sistema que se pretende proteger, com o propósito de assegurar o desempenho das funções do esquema de proteção quando houver ausência da fonte principal.

A bateria é a fonte de tensão auxiliar mais utilizada nos projetos de proteção pois fornece a energia necessária para diversos usos, como abertura e fechamento da bobina dos disjuntores e religadores; sistema de sinalização; acionamento dos motores dos disjuntores, religadores e chaves seccionadoras motorizadas; iluminação de emergência; sistema de medição; sistema de comunicação; alimentação dos relés de proteção, entre outros (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022).

3 RELÉS DE PROTEÇÃO

Os relés de proteção foi um dos principais motivo da realização do *retrofit*, visto que os existentes possuem um elevado desvio no tempo de atuação das proteções e possuem tecnologia defasada diante das evoluções dos relés, como ausência da função de automonitoramento, componentes eletromecânicos que exigem manutenção frequente, impossibilidade de proteções lógicas, entre outras. Portanto, esse capítulo abordará a estrutura básica de um relé, desenvolvimento histórico e os principais tipos de relés.

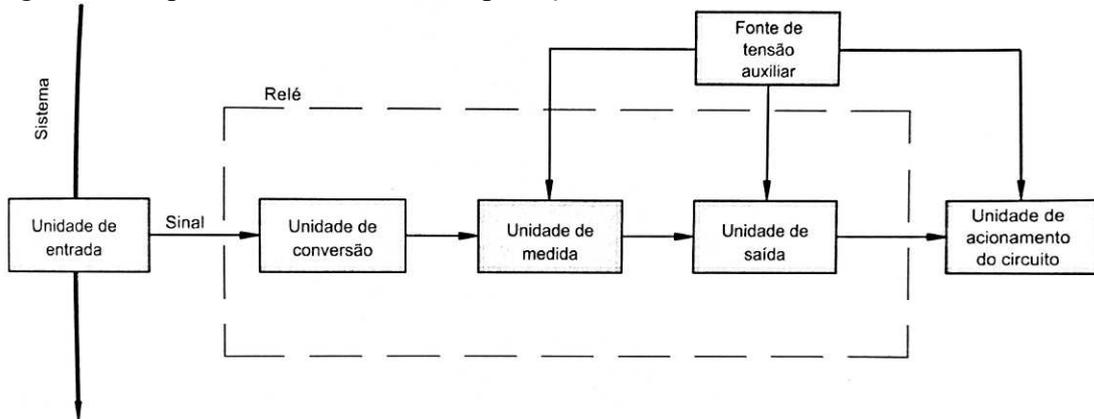
No sistema de proteção de uma SE, os relés de proteção são os principais equipamentos que garantem a realização das proteções, enviando um sinal de *trip*, contanto NA/NF que aciona a bobina de abertura do disjuntor, ao disjuntor a montante, caso seja sensibilizado. Segundo Mamede Filho e Mamede (2022) os relés são dispositivos que possibilitam a proteção de sistemas elétricos de inúmeras formas, tais como: sobrecarga, curto-circuito, sobretensão, subtensão, etc.

3.1 Estrutura básica dos relés de proteção

A Figura 6 exemplifica o funcionamento de um relé de proteção, sua estrutura se dá inicialmente pela unidade de entrada que corresponde aos equipamentos que recebem as informações de distúrbios do sistema elétrico. Esses equipamentos são os transformadores de corrente e de potencial que enviam esses sinais a unidade de conversão do relé de proteção. As unidades de entrada também oferecem uma isolação elétrica entre o sistema e os dispositivos de proteção evitando que tensões e correntes elevadas sejam conduzidas a esses dispositivos. A unidade de conversão de sinal é o elemento interno aos relés que recebe os sinais dos transformadores de corrente e de potencial e os transforma em sinais com modulação adequada ao nível de funcionamento dos relés. A unidade de medida é responsável por receber os sinais da unidade de conversão e comparar suas características (módulos da corrente e tensão, ângulo de fase, frequência e etc.) com os valores que foram previamente armazenados nela e tido como referência de operação. Em caso de os níveis de entrada apresentarem valores alterados comparados aos valores previamente ajustados, a unidade de medida enviara um sinal a unidade de saída que pode ser formada por um contato auxiliar ou chave semicondutora. A fonte de tensão auxiliar é responsável por fornecer energia às unidades de medida, à unidade de saída e a unidade de acionamento. A unidade de acionamento geralmente é formada por uma bobina de

grossas espiras estabelecidas no elemento de desconexão do circuito protegido, podendo ser um disjuntor ou interruptor (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022).

Figura 6 - Esquemático de um relé de proteção



Fonte: (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022, p. 2).

3.2 Desenvolvimento histórico

Segundo o autor Mamede Filho e Mamede (2022) o primeiro dispositivo de proteção eletromecânico foi criado em 1901 o qual foi caracterizado por relé de proteção de sobrecorrente do tipo indução. Em torno de 1908 seguiu-se por uma inovação voltada ao desenvolvimento da proteção diferencial de corrente e em 1910 o desenvolvimento das proteções direcionais. Mas somente em 1930 conseguiram desenvolver a proteção de distância. Os dispositivos eletromecânicos evoluíram com o tempo permitindo que os esquemas se tornassem mais confiáveis mediante a qualidade e complexidade da tecnologia. Ainda na década de 30 surgiram os primeiros relés com mecanismo à base de componentes eletrônicos com uso de semicondutores, porém sem muita anuência no mercado, devido a consolidação dos relés eletromecânicos no mercado e em função da sensibilidade dos seus componentes à elevadas temperaturas.

Alguns anos depois em 1980, com o avanço da microeletrônica, surgiram os relés usando a tecnologia digital, no entanto, o mercado nacional não teve uma boa aceitabilidade por desconfiar em situações anteriores de fracassos relacionados a tecnologia eletrônica. Os limites de temperatura tanto nos relés estáticos como os digitais contribuíam muito para as falhas desses dispositivos. Acontece que os relés secundários de indução eram instalados em armários metálicos, ao tempo, onde suportaram as intempéries sem apresentar falhas graves de performance. Entretanto os relés estáticos e digitais criados com alicerce de componentes de

alta sensibilidade a altos níveis de temperatura, foram utilizados muitas vezes em condições críticas de temperatura apresentando falhas graves em seu funcionamento. O autor ainda afirma que as vantagens dos relés eletrônicos em relação aos relés eletromecânicos são consideradas pequenas comparadas as vantagens dos relés microprocessados em relação aos eletromecânicos e eletrônicos. O avanço da tecnologia digital mudou um pouco o conceito do tempo de vida útil de um sistema de proteção. Onde os relés eletromecânicos de indução apresentavam uma vida útil de 20 a 30 anos, já os relés digitais não possuem sua vida útil baseada nos desgastes dos componentes microprocessados, mas pelo tempo de obsolescência da tecnologia implementada no relé (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022).

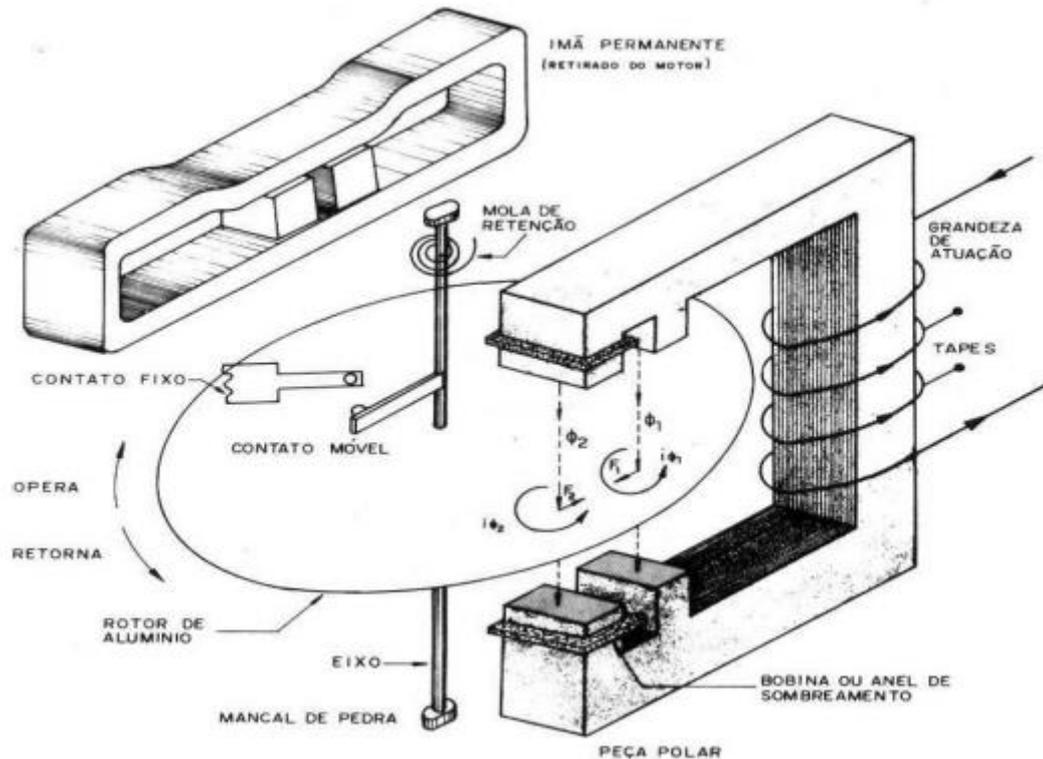
3.3 Relés eletromecânicos

Segundo Gondim (2010), os relés eletromecânicos tem uma estrutura fundada no contato metálico que se abre e fecha sob a influência de campo eletromagnético induzido por uma bobina em seu interior. Pode-se descrever a evolução dos relés como inicialmente com os relés eletromecânicos, relés estáticos e relés digitais. Atualmente no Brasil, os relés eletromecânicos não são mais fabricados e são considerados uma tecnologia ultrapassada onde são usadas para consumidores industriais de companhias de eletricidade (JUNIOR, 2005).

Podemos citar que uma proteção eletromecânica pode possuir algumas características vantajosas, como baixa sensibilidade a surtos eletromagnéticos, durabilidade e robustez, tolerância a altas temperaturas e confiabilidade. Entretanto o custo da instalação, a precisão, a manutenção e a limitação de funcionamento são consideradas desvantagens para esse tipo de proteção (GONDIM, 2010). O relé eletromecânico também é conhecido como relé elementar, relés de atração (armadura axial), relé de atração (armadura em charneira), relé de arsonval e relé de indução (disco de indução, tambor de indução).

A Figura 7 mostra o relé de indução (disco de indução) que em sua estrutura é formado com um disco condutor, geralmente de alumínio, que se move por meio de indução em volta de um eixo no entreferro de um núcleo magnético pela passagem de corrente na bobina que o envolve. Os relés de indução apresentam algumas vantagens por possuir maior velocidade, baixo custo, facilidade de manutenção e confiabilidade e algumas desvantagens como o custo da instalação, a manutenção e a limitação de funcionamento (GONDIM, 2010).

Figura 7 - Relé eletromecânico - Disco de Indução

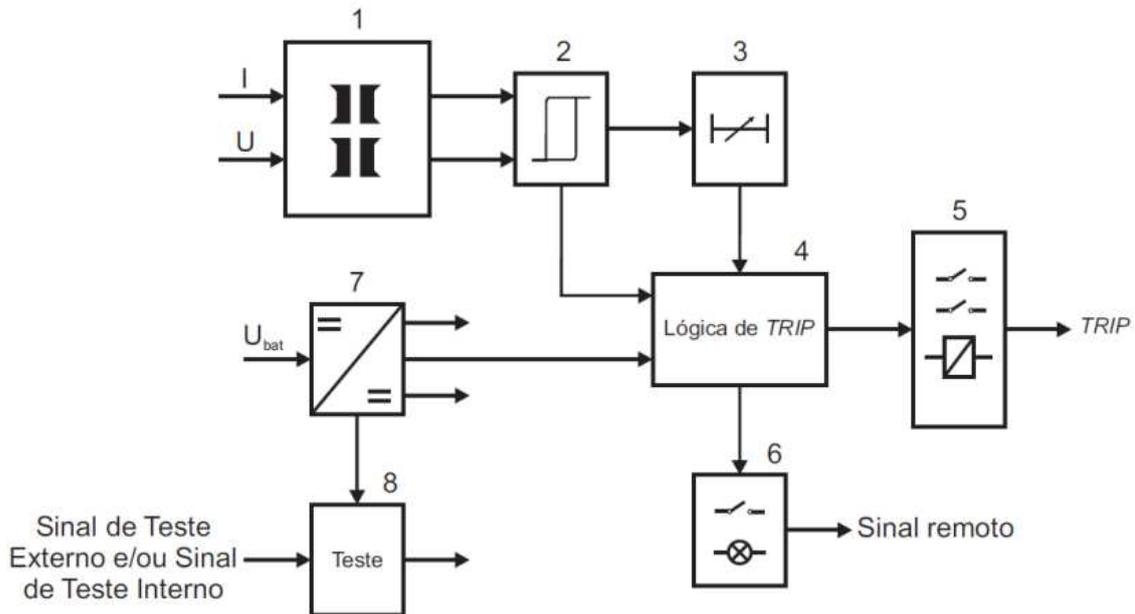


Fonte: (GONDIM, 2010, p. 20).

3.4 Relés estático

O termo estático surgiu da comparação com os relés eletromecânicos. Os relés estáticos possuem a característica da ausência de elementos mecânicos móveis e são utilizados de igual maneira em comparação ao sistema de proteção com os relés eletromecânicos. Podemos citar algumas vantagens dos relés estáticos como, maior velocidade, baixo custo, facilidade de manutenção e confiabilidade. Por outro lado, os mesmos apresentam algumas desvantagens como, maior sensibilidade a surtos, vida útil reduzida e impacto no funcionamento desses equipamentos relacionados na influência do meio ambiente (GONDIM, 2010). A Figura 8 exemplifica.

Figura 8 - Relé estático



Fonte: (GONDIM, 2010, p. 23).

3.5 Relés digitais

Sob outra perspectiva, os relés digitais dispõem de determinadas vantagens tais como o custo que inicialmente era elevado, porém, atualmente tornou-se bem mais viável. A confiabilidade e a autoanálise que consistem no próprio relé se autodiagnosticarem reparando algumas situações de risco sendo capaz de monitorar e repelir para fora do sistema algo que impeça o funcionamento adequado para o equipamento. Outra vantagem é a comunicação que o relé digital favorece onde pode fornecer e receber qualquer informação vindo do sistema de proteção (RUFATO, 2006).

Os relés digitais possibilitaram uma revolução extrema no que diz respeito a qualidade de vida útil de um sistema de proteção, que comparado aos relés de proteção eletromecânicos são por volta de 20 a 30 anos. Porém a vida útil dos relés digitais é contabilizada pelo tempo de redução gradativa da tecnologia da informação que promove a execução do relé (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2022). Para a proteção do sistema elétrico podem possibilitar inúmeras vantagens, como o custo que inicialmente correspondia de 10 a 20 vezes o custo dos relés convencionais. Mas que, ao longo dos anos o custo foi reduzido e a sua

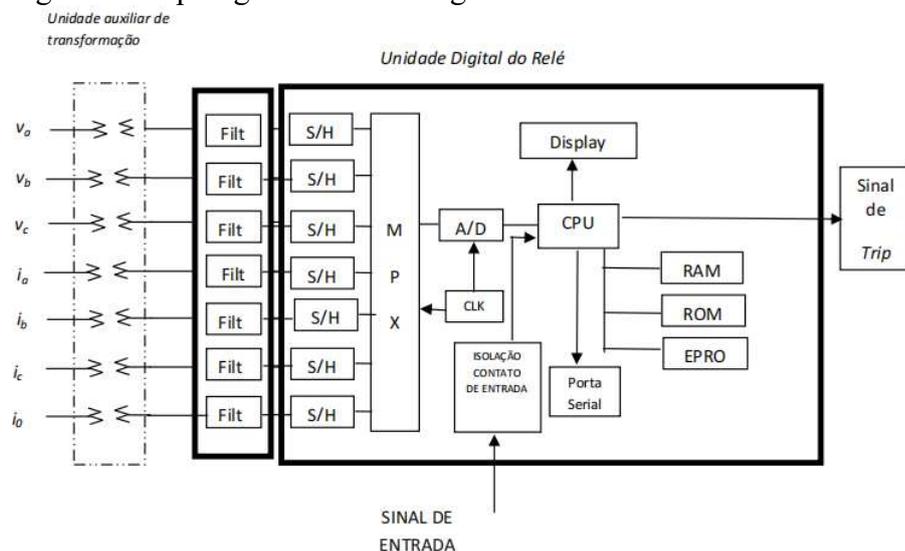
velocidade aumentou substancialmente.

É possível por meio do relé digital programar diversas funções na subestação tais como medição, monitoramento e etc. A confiabilidade e a capacidade de se autodiagnosticar são consideradas características essenciais dos argumentos técnicos a favor desses relés. Inclusive a integração digital que acontece de forma natural nos sistemas (GONDIM, 2010).

Os relés digitais dispõem de subsistema com funções muito definidas, como afirma o autor Gondim, o qual descreve os itens da Figura 9:

Os transformadores de entrada (módulo de interface) módulo de interface atenuam as tensões e correntes de entradas a níveis de tensão adequados aos microprocessadores ($\pm 10V$). Permitem também a isolamento galvânica entre os relés de proteção e os sinais provenientes dos transformadores de corrente (TCs) e transformadores de Potencial (TPs). Filtros analógicos passivos passa-baixa são também usados nos módulos de interface (filtros *anti-aliasing*), com o objetivo de se evitar erros no processamento digital dos sinais. Dispositivos Sample and Hold (S/H) amostra as entradas analógicas em um mesmo instante e disponibiliza dos sinais ao multiplexador (MPX). Este dispositivo minimiza a deformação provocada pela amostragem não sequencial e consequente operação incorreta da proteção. O MPX permite que seja usado apenas um conversor A/D (Analogico Digital) para várias entradas analógicas. As entradas analógicas são conectadas uma a uma pelo multiplexador ao conversor A/D. No conversor A/D os sinais analógicos são convertidos para a forma digital em intervalos definidos pela taxa amostral. O módulo de entrada lógica informa ao processador sobre o estado de chaves, disjuntores, seccionadores e sobre a atuação de outras proteções. O processador controla o funcionamento do relé, faz a filtragem digital dos sinais para extração dos componentes fundamental, se pertinente, executa os cálculos e decide atuação. O software lógico do relé será armazenado em memória ROM, enquanto a memória RAM será utilizada para armazenar quantidades e operações intermediárias no algoritmo do relé. Os ajustes do relé serão armazenados em E2PROM. O módulo de saída lógica é responsável pelas atuações de disjuntores e alarmes decididos pelo processamento. O suprimento de energia é geralmente fornecido por baterias (GONDIM, 2010, p. 27).

Figura 9 - Topologia de um relé digital



Fonte: (GONDIM, 2010, p. 27).

4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA E ENSAIOS

Para se ter uma visão completa dos equipamentos que compõe a subestação, será abordado o detalhamento dos dispositivos de proteção, manobras, monitoramento e topologia utilizada. Além disso, será apresentado a composição do sistema auxiliar e os ensaios nos relés de proteção da subestação juntamente com as observações encontradas durante os procedimentos.

4.1 Subestação abaixadora 69/6,6 kV

A subestação objetiva o suprimento de energia elétrica para a britagem primária da mineração de calcário e cargas auxiliares, está construída em alvenaria de forma abrigada. Sua construção foi realizada em três níveis diferentes, térreo, nível 1 e nível 2. De modo que o nível 2 dispõem dos equipamentos de alta tensão, nível 1 o acionamento dos dispositivos que estão localizados no nível acima, e no térreo estão localizados os cubículos de 6,6kV, banco de baterias e os transformadores de potência. Essa forma de construção possibilita maior segurança durante a realização de manobras visto que o local da manobra está totalmente isolado da parte ativa da SE e proporciona uma vida útil dos dispositivos de AT prolongada, já que não estão expostas as intempéries.

A subestação é alimentada pela concessionária Enel em um nível de tensão de 69kV em linha aérea que tem como primeiro componente da SE um conjunto de 3 para-raios do tipo BHF-8E/72kV/10kA e na sequência as buchas de passagem externa/interna da subestação abrigada, situados na parte externa do prédio, conforme Figura 10.

Figura 10 - Ramal de entrada SE 69kV



Fonte: Próprio autor.

Na sequência a rede passa pelo segundo elemento que é formado pela medição da concessionária, que é composta de um conjunto de 3 transformadores de potencial (TP's) do tipo UXT-72/72,5kV/0,3WXYZ e 2 transformadores de corrente (TC's) do tipo QDR-72/2 / 72,5kV / 200/5A / 0,3C12,5 situados na parte interna da SE, o diagrama unifilar da Figura 11 representa os componentes que estão sendo descritos obedecendo o fluxo de carga. Após o sistema de medição a rede passa por uma seccionadora tripolar (32C1-1) de dupla abertura lateral do tipo DAL-72,5kV/1250A com acionamento manual com tubo de descida, nesse ponto é dividido a rede de alta tensão em duas linhas de distribuição L1 e L2.

As linhas 1 e 2 possuem os mesmos equipamentos que constitui de uma chave seccionadora tripolar (32C1-5) e (32C2-5), respectivamente, de dupla abertura lateral do tipo DAL-72,5kV/1250A com acionamento manual com tubo de descida, seguido do sistema de proteção da entrada da SE que é formado por um conjunto de 6 TC's do tipo QDR-72/2 / 72,5kV / 200/5A / A10F20C12,5 sendo 1 por fase, três TC's na linha L1 e três na linha L2, e os relés microprocessados de proteção 50/51 da fase e neutro do tipo SPAJ 140C denominado de RL_12C1 e RL_12C2, das linhas L1 e L2, respectivamente, atuando diretamente no disjuntor 12C1 e 12C2.

Logo na sequência do sistema de proteção, nas duas linhas L1 e L2, possui um TP do tipo UEV-70/72,5kV/0,3P200 situado na fase central com o objetivo de fornecer uma tensão de referência, após o instrumento de medição a rede passa pelo disjuntor de alta tensão, (12C1) e (12C2), do tipo PVO HPF 409K/72,5kV/2000A/31,5kA e segue para as seccionadoras tripolar (32C3-5), (32C4-5), (32C5-5) e (32C6-5) de mesma especificação das anteriores mencionadas,

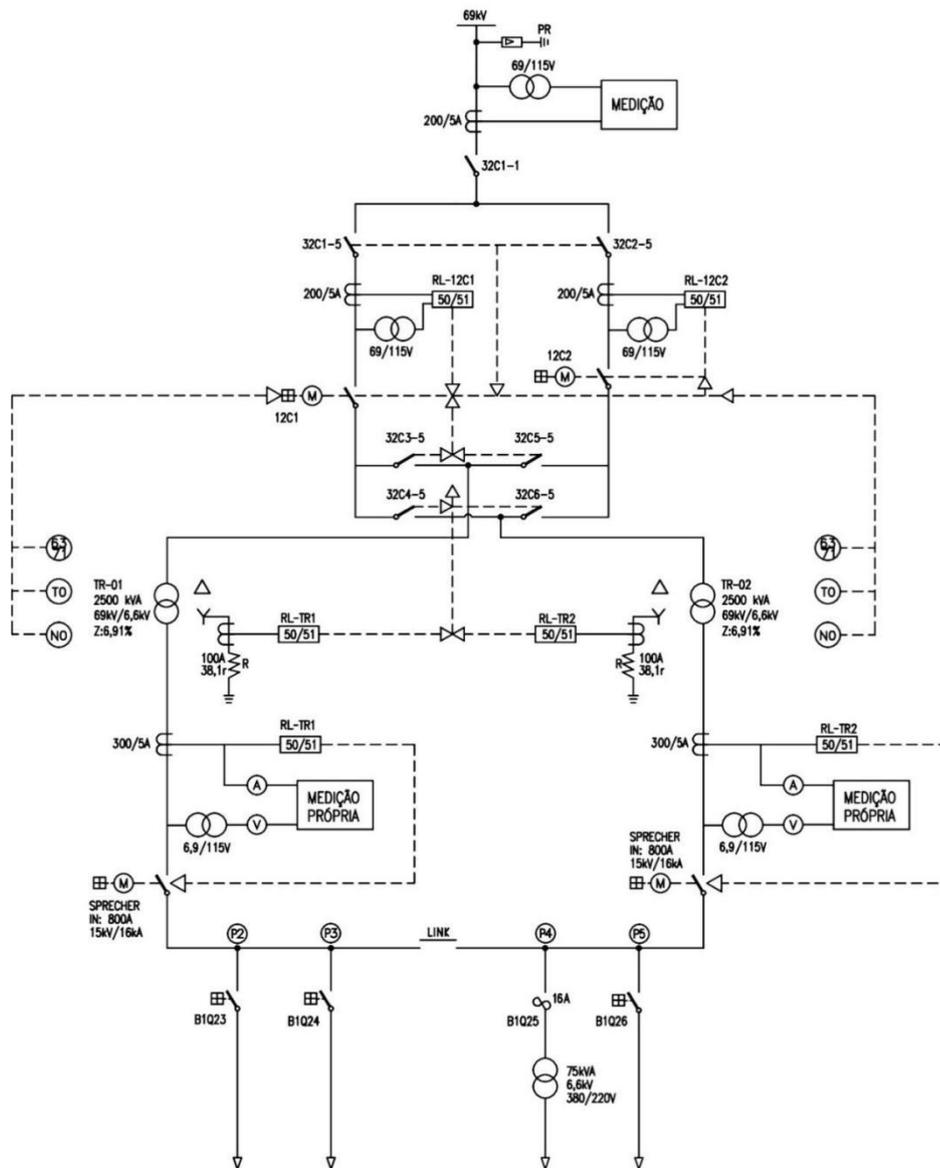
esse conjunto de seccionadoras possibilitam a reversão das linhas L1 e L2 diante da alimentação dos transformadores de força, contudo, o conjunto possui intertravamento elétrico com os disjuntores (12C1) e (12C2) de modo a evitar uma energização simultânea dos transformadores. Na sequência têm-se os transformadores de força trifásico (TR1) e (TR2) do tipo a óleo 2500kVA / 69/6,6kV / Dyn1 / Z=6,91% que estão localizados no térreo isolados com parede corta fogo, na saída do neutro acessível do Trafo é instalado um banco de resistores de aterramento de modo a limitar uma falta fase-terra a 100A.

Na sequência, a rede que sai do transformador TR1 alimenta o cubículo P1 e a que sai do transformador TR2 alimenta o cubículo P6, os cubículos P1 e P6 são formados pelo sistema de proteção e medição em 6,6kV, composto por um conjunto de 6 TC's do tipo à seco em epóxi para medição e proteção 7,2kV / 300/5A / 0,3C25 / 10A100 sendo 1 por fase, três TC's no cubículo P1 e três no cubículo P6, e 4 TP's do tipo à seco em epóxi para medição 7,2kV / 6900/115V / 0,3P25 sendo 2 TP's ligados em delta aberto nos cubículos P1 e P6.

Na sequência, 4 relés monofásicos de proteção 50/51 de fase do tipo eletromecânico modelo 12IAC51B804A sendo utilizado 2 para proteção das fases R e T da linha L1 e 2 para proteção das fases R e T da linha L2, 2 relés monofásicos de proteção 50/51 de neutro do tipo eletromecânico modelo 12IAC51B801A sendo utilizado 1 para proteção de neutro da linha L1 e 1 para proteção de neutro da linha L2, e os disjuntores de média tensão do tipo HPTWLSI505D/15kV/800A/16kA (DJ_MT_TR1) e (DJ_MT_TR2) que estão localizados nos cubículos P1 e P6, respectivamente.

Os Cubículo P2, P3 e P5 possuem o mesmo disjuntor de MT que distribui as cargas da SE, sendo P2 responsável pela alimentação do britador B1Q23 e sistema administrativo, P3 é alimenta o banco de capacitores da SE e o P5 sendo responsável pela alimentação do sistema de bombeamento (desativado). O cubículo P4 é designado para alimentar as cargas auxiliares da SE que é formado por uma chave seccionadora tripolar 15kV/400A com base fusível HH, um conjunto com 3 fusíveis do tipo HH 7,2kV/16A/63kA e um transformador de força a seco trifásico 75kVA / 6600/380V / Dyn1. Entre os cubículos P4 e P5 possui um link para interligação dos barramentos de modo que todo a carga seja alimentada por apenas um transformador de força TR1 ou TR2, esse link atualmente permanece fechado, visto que a SE foi projetada para que apenas um Trafo seja suficiente para alimentar todo a carga, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Diagrama unifilar da SE



Fonte: SERVIMAN Adaptado.

O sistema de proteção e acionamento da subestação de 69kV está localizado no térreo e é formado por uma mesa de comando que é composta pelos relés de proteção RL_12C1 e RL_12C2, botoeiras para acionamento a distância dos disjuntores de entrada 12C1 e 12C2 da SE, sinóticos do diagrama unifilar, sinalização para indicar as condições atuais dos disjuntores e seccionadoras da parte de alta tensão da SE, medidores de tensão, corrente e sistema de comando, conforme Figura 12.

Figura 12 - Mesa de comando SE 69KV



Fonte: Próprio autor.

De acordo com o descrito no início desta seção, a Figura 13 mostra a disposição dos componentes do cubículo P1, que recebe a ligação da saída do transformador de força TR1, que são 2 relés monofásicos de proteção 50/51 de fase e 1 de neutro, medidor de energia/demanda, medidor de tensão e corrente da saída do Trafo TR1, indicação do disjuntor de média tensão DJ_MT_TR1 e o acionamento manual dele.

Figura 13 - Cubículo P1



Fonte: Próprio autor.

Análogo ao cubículo P1, a Figura 14 mostra a disposição dos componentes do

cubículo P6, que recebe a ligação da saída do transformador de força TR2, que são 2 relés monofásicos de proteção 50/51 de fase e 1 de neutro, medidor de energia/demanda, medidor de tensão e corrente da saída do Trafo TR2, indicação do disjuntor de média tensão DJ_MT_TR2 e o acionamento manual dele.

Figura 14 - Cubículo P6



Fonte: Próprio autor.

Na sequência, a Figura 15 mostra uma visão geral da disposição dos cubículos de distribuição em 6,6kV da SE, que contemplam os cubículos P1 ao P6 como descrito anteriormente e estão localizados a esquerda da mesa de comando.

Figura 15 - Cubículos de distribuição em 6,6kV



Fonte: Próprio autor.

4.2 Serviços auxiliares

O sistema auxiliar é formado por um transformador de força a seco trifásico 75kVA / 6600/380V / Dyn1, localizado no cubículo P4 que alimenta o quadro de distribuição de força em baixa tensão 380/220V, um conjunto de 56 elementos de baterias de chumbo ácido de 2V por elemento e o retificador modelo TCKR 110-15B-1A. O painel de distribuição alimenta os circuitos de iluminação em geral, tomadas e o retificador/carregador de baterias. O retificador é responsável por manter as baterias carregadas e fornecer tensão de comando CC nos cubículos P1 ao P6, mesa de comando, disjuntores de AT, MT e iluminação de emergência, garantindo a energização dos relés de proteção, indicação, sinalização e acionamento dos dispositivos em caso de falta de energia, já que as baterias garantem essa autonomia. Na Figura 16 é possível observar o conjunto de 56 baterias associadas em série para fornecer a tensão final de 112VCC.

Figura 16 - Conjunto de baterias



Fonte: Próprio autor.

O conjunto de baterias está ligado em paralelo com a saída do retificador de tal modo que em caso de falta de energia as baterias fornecem a tensão CC necessária para manter os equipamentos de proteção atuando. O retificador descrito anteriormente está disposto na Figura 17, o qual possui uma chave seletora para indicação de tensão/corrente nas baterias ou no consumidor, chave seletora para seleção do modo de operação, disjuntor e leds de sinalização.

Figura 17 - Retificador de baterias



Fonte: Próprio autor.

Através de inspeção visual foi possível observar formação de crostas nos polos das baterias e superaquecimento nas baterias provocando vazamento do eletrólito. Portanto, foi solicitado a substituição do banco e do retificador, visto que as baterias já ultrapassaram a vida útil e não estavam segurando a carga pelo tempo necessário, já o retificador por está defasado em relação aos atuais foi recomendado a substituição por um retificador com controle microprocessado.

4.3 Ensaio dos relés de proteção

Foi realizado os ensaios nos relés de proteção da entrada da subestação, a fim de verificar se as proteções estão atuando dentro do tempo permitido. Para isso foi utilizado a mala de ensaios de relés trifásica digital - K68i do fabricante Kingsine. A seção 4.3.1 apresenta os resultados obtidos dos ensaios realizados para os relés de entrada da subestação RL_12C1 e RL_12C2, na seção e 4.3.2 se têm os resultados dos relés da saída dos transformadores RL_TR1 e RL_TR2.

O ensaio inicia pela identificação do valor de pick-up, em cada fase e no neutro, que representa o valor que sensibiliza o relé, esse valor é registrado para calcular o erro entre o valor encontrado e o valor definido na parametrização do relé. Após encontrado o pick-up o

próximo passo é encontrar o tempo de atuação do relé em cada função de proteção. Iniciando pela função de sobrecorrente temporizado é identificado qual a curva de proteção selecionada e o dial de tempo para calcular o tempo teórico de atuação do relé, então é injetado uma corrente de 2 vezes o valor do pick-up e conectado o sinal de trip, sinal de atuação do relé, na mala de corrente que serve para parar o cronômetro no momento da atuação do relé, tendo o tempo de atuação do relé registrado na mala e calculado o tempo de atuação de acordo com a curva e o dial de tempo é encontrado o desvio em porcentagem entre o tempo esperado e o tempo medido durante o ensaio.

O relé é caracterizado em condições normais de operação quando o desvio do tempo de atuação é menor ou igual a 5%, o procedimento é repetido em cada fase e no neutro. Na sequência é ensaiado a proteção de sobrecorrente instantâneo onde é aplicado uma corrente 10% superior ao valor parametrizado e cronometrado o tempo de atuação do relé, no caso do relé SPAJ 140C o valor mínimo para atuação instantânea é de 50ms, portanto o relé será considerado em condição normal de operação desde que o tempo de atuação da proteção de sobrecorrente instantâneo seja inferior a 70ms, o procedimento é realizado em cada fase e no neutro. Como não tem normas estipulando os valores de aceitação, é utilizado a boa prática entre os profissionais da área de atuação.

4.3.1 Relés das entradas L1 e L2

Os relés RL_12C1, RL_12C2 são do tipo microprocessados, de proteção sobrecorrente instantâneo e temporizado de fase e neutro do tipo SPAJ 140C corrente nominal in 1A/5A fabricante ABB e estão localizados na mesa de comando, são responsáveis pela proteção da SE 69kV. Ao iniciar os ensaios constatou-se que os relés estavam inoperantes devido ao defeito no módulo fonte do relé. Portanto, os dois relés da entrada L1 e L2 não estavam protegendo a SE, com isso, foi realizado os ensaios nos relés reservas para atestar se estavam calibrados. Os relés reservas se encontravam em condições normais de operação, conforme resultados das Tabelas 01 e 02, logo foi sugerido a troca imediata dos relés principais.

Na Tabela 4 se tem os resultados dos tempos de atuação das proteções 50/51 de fase e neutro do relé da entrada L1 (RL_12C1), onde é possível observar em destaque que o máximo desvio da proteção de sobrecorrente temporizada foi de -1,88% e o máximo tempo de atuação na proteção de sobrecorrente instantânea foi de 63ms, garantindo que o relé está em condições normais de operação baseado nos critérios estabelecido.

Tabela 4 - Ensaio do relé reserva da entrada L1 da SE

Marca do Relé: ABB		Tipo: SPAJ 140C (SPCJ 4D29)		Frequência: 60 Hz							
Nº Fabricação: 264794		Relação: 200/5		Tape: 5A							
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		Encontrado %		Deixado %	
R	2,60	2,53		R	2,60	2,53		-2,69		-2,69	
S	2,60	2,54		S	2,60	2,54		-2,31		-2,31	
T	2,60	2,54		T	2,60	2,54		-2,31		-2,31	
N	1,00	1,00		N	1,00	1,00		0,00		0,00	
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: EI						NORMA: IEC					
DIAL DE TEMPO: 0,05						ALPHA: -					
Encontrado					Deixado					Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
2,60	2,00	5,20	1,333	1,308	2,60	2,00	5,20	1,33	1,31	-1,98	-1,88
2,60	2,00	5,20	1,333	1,320	2,60	2,00	5,20	1,33	1,32	-0,98	-0,98
2,60	2,00	5,20	1,333	1,357	2,60	2,00	5,20	1,33	1,36	1,80	1,80
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado					Deixado					Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
25,00	1,10	27,50	27,50	48,00	25,00	1,10	27,50	27,50	48,00	-	-
25,00	1,10	27,50	27,50	49,00	25,00	1,10	27,50	27,50	49,00	-	-
25,00	1,10	27,50	27,50	56,00	25,00	1,10	27,50	27,50	56,00	-	-
TEMPORIZADO NEUTRO I >											
CURVA: EI						NORMA:					
DIAL DE TEMPO: 0,5						ALPHA: -					
Encontrado					Deixado					Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
1,00	2,00	2,00	13,330	13,120	1,00	2,00	2,00	13,330	13,120	-1,58	-1,58
INSTANTÂNEO NEUTRO I >>											
Encontrado					Deixado					Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
5,00	1,10	5,50	5,50	63,00	5,00	1,10	5,50	5,50	63,00	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 105).

Na Tabela 5 se tem os resultados dos tempos de atuação das proteções 50/51 de fase e neutro do relé da entrada L2 (RL_12C2), onde é possível observar em destaque que o máximo desvio da proteção de sobrecorrente temporizada foi de -2,85% e o máximo tempo de atuação na proteção de sobrecorrente instantânea foi de 65ms, garantindo que o relé está em condições normais de operação baseado nos critérios estabelecido.

Tabela 5 - Ensaio do relé reserva da entrada L2 da SE

Marca do Relé: ABB		Tipo: SPAJ 140C (SPCJ 4D29)				Frequência: 60 Hz					
Nº Fabricação: 264795		Relação: 200/5				Tape: 5A					
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		Encontrado %		Deixado %	
R	2,60	2,52	R	2,60	2,52	-3,08	-3,08				
S	2,60	2,54	S	2,60	2,54	-2,31	-2,31				
T	2,60	2,54	T	2,60	2,54	-2,31	-2,31				
N	1,00	1,00	N	1,00	1,00	0,00	0,00				
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: EI						NORMA: IEC					
DIAL DE TEMPO: 0,05						ALPHA: -					
Encontrado					Deixado					Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
2,60	2,00	5,20	1,333	1,338	2,60	2,00	5,20	1,33	1,34	0,38	0,38
2,60	2,00	5,20	1,333	1,335	2,60	2,00	5,20	1,33	1,34	0,15	0,15
2,60	2,00	5,20	1,333	1,348	2,60	2,00	5,20	1,33	1,35	0,98	0,98
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado					Deixado					Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
25,00	1,10	27,50	27,50	57,00	25,00	1,10	27,50	27,50	57,00	-	-
25,00	1,10	27,50	27,50	59,00	25,00	1,10	27,50	27,50	59,00	-	-
25,00	1,10	27,50	27,50	65,00	25,00	1,10	27,50	27,50	65,00	-	-
TEMPORIZADO NEUTRO I >											
CURVA: EI						NORMA:					
DIAL DE TEMPO: 0,5						ALPHA: -					
Encontrado					Deixado					Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
1,00	2,00	2,00	13,330	12,950	1,00	2,00	2,00	13,330	12,950	-2,85	-2,85
INSTANTÂNEO NEUTRO I >>											
Encontrado					Deixado					Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
5,00	1,10	5,50	5,50	65,00	5,00	1,10	5,50	5,50	65,00	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 106).

4.3.2 Relés dos cubículos de entradas TR1 e TR2

Os cubículos de entrada P1 e P6 possuem relés eletromecânicos monofásicos de modelo 12IAC51B804A corrente de ajuste de 2 a 16A fabricante GE que fazem a proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada de fase e relés de modelo 12IAC51B801A corrente de ajuste de 0,5 a 4A fabricante GE que fazem a proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro. Como o relé é monofásico são necessários mais relés para a proteção do sistema trifásico, com isso, no projeto original é utilizado 1 relé para realizar a proteção na fase R, 1 relé para a fase T e 1 relé para o Neutro, nos cubículos P1 e P6.

O procedimento é semelhante aos realizados nos ensaios dos relés RL_12C1 e RL_12C2, considerando a seguinte observação: a curva de atuação é pré-definida pela característica construtiva do relé, curva IAC de tempo inverso, portanto ao se calcular o tempo

de atuação para a proteção temporizada de fase e neutro utiliza-se a fórmula da curva IAC de tempo inverso. Os critérios para determinar que os relés estão em condições normais de operação se mantêm aos determinados na seção 3.2.

Na Tabela 6 é possível identificar, em destaque, que o tempo de atuação da proteção de sobrecorrente instantâneo na fase R foi superior a 70ms, embora a proteção temporizada de fase esteja obedecendo o critério, o relé é considerado que não está em condições normais de operação, devido ao tempo elevado na proteção 50.

Tabela 6 - Ensaio relé fase R cubículo de entrada TR1

Marca do Relé: GE		Tipo: 12IAC51B804A		Frequência: 60 Hz		
Nº Fabricação: 18738		Relação:		Tape: 5A		
PICK-UP						
Encontrado			Deixado		Desvio	
I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	Encontrado %	Deixado %	
R 5,00	5,40	R 5,00	5,40	8,00	8,00	
S 5,00	-	S 5,00	-	#VALORI	#VALORI	
T 5,00	-	T 5,00	-	#VALORI	#VALORI	
N -	-	N -	-	#VALORI	#VALORI	
TEMPORIZADO FASE I >						
CURVA: Curve INVERSE			NORMA: IAC			
DIAL DE TEMPO: 2		K=0,2		ALPHA: -		
Encontrado			Deixado		Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
5,00	2,00	10,00	1,515	1,520	5,00	2,00
5,00	2,00	10,00	1,515	-	5,00	2,00
5,00	2,00	10,00	1,515	-	5,00	2,00
INSTANTÂNEO FASE I >>						
Encontrado			Deixado		Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
8,70	1,00	8,70	8,70	167,00	8,70	167,00
8,70	1,10	8,70	8,70	-	8,70	1,10
8,70	1,10	8,70	8,70	-	8,70	1,10

Fonte: (PONDER, 2021, p. 107).

No ensaio do relé da fase T acontece o oposto do ensaio anterior, como na Tabela 7, é possível identificar, em destaque, que o tempo de atuação da proteção de sobrecorrente instantâneo na fase T obedece ao critério, porém a proteção temporizada de fase excede o desvio máximo de 5%, portanto, o relé é considerado que não está em condições normais de operação, devido ao desvio elevado no tempo de atuação da proteção 51.

Tabela 7 - Ensaio relé fase T cubículo de entrada TR1

Marca do Relé: GE			Tipo: 12IAC51B804A			Frequência: 60 Hz					
Nº Fabricação: 18742			Relação:			Tape: 5A					
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	Encontrado %	Deixado %						
R	5,00	-	-	R	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
S	5,00	-	-	S	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
T	5,00	5,20	-	T	5,00	5,20	-	4,00	4,00		
N	-	-	-	N	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: Curve INVERSE				NORMA: -							
DIAL DE TEMPO: 1,8				K=0,2				ALPHA: -			
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
5,00	2,00	10,00	1,360	-	5,00	2,00	10,00	1,36	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	1,360	-	5,00	2,00	10,00	1,36	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	1,360	1,270	5,00	2,00	10,00	1,36	1,27	-6,62	-6,62
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,10	11,00	11,00	40,00	10,00	1,10	11,00	11,00	40,00	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 108).

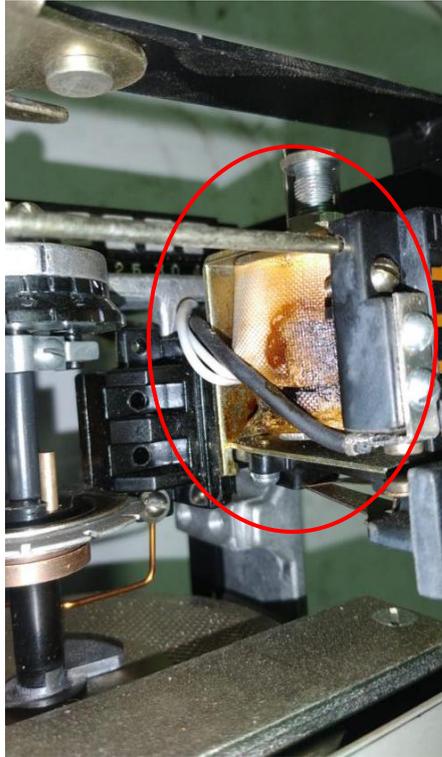
Ao realizar o ensaio do relé de proteção de neutro do cubículo P1 foi constatado a não atuação da proteção de sobrecorrente instantâneo, conforme destacado em amarelo na Tabela 8, a função de sobrecorrente temporizada atuou, porém fora do desvio permitido, portanto o relé não está em condições normais de operação. A partir de inspeção visual observou-se que a bobina de acionamento da proteção 50 estava com sinais de superaquecimento, conforme Figura 18.

Tabela 8 - Ensaio relé de Neutro cubículo de entrada TR1

Marca do Relé: GE			Tipo: 12IAC51B801A			Frequência: 60 Hz					
Nº Fabricação: 18736			Relação:			Tape: 0,5A					
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	Encontrado %	Deixado %						
R	-	-	-	R	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
S	-	-	-	S	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
T	-	-	-	T	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!		
N	0,50	0,52	-	N	0,50	0,52	-	4,00	4,00		
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: Curve -				NORMA: IAC							
DIAL DE TEMPO: -				ALPHA: -							
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
-	2,00	-	-	-	-	2,00	-	0,00	-	-	-
-	2,00	-	0,000	-	-	2,00	-	0,00	-	-	-
-	2,00	-	0,000	-	-	2,00	-	0,00	-	-	-
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
-	1,10	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-	-
-	1,10	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-	-
-	1,10	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-	-
TEMPORIZADO NEUTRO I >											
CURVA: INVERSO				NORMA: -							
DIAL DE TEMPO: 2,55				K=0,2				ALPHA: -			
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
0,50	2,00	1,00	1,930	2,100	0,50	2,00	1,00	1,930	2,100	8,81	8,81
INSTANTÂNEO NEUTRO I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
-	1,10	0,00	0,00	-	-	1,10	0,00	0,00	-	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 109).

Figura 18 - Bobina carbonizada



Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados obtidos dos ensaios nos relés de proteção de fase R e T do cubículo P6, conforme Tabelas 9 e 10, conclui que os relés não estão em condições normais de operação, pois o desvio do tempo de atuação da proteção temporizada de fase ultrapassou 5% em ambos os relés.

Tabela 9 - Ensaio relé fase R cubículo de entrada TR2

Marca do Relé: GE			Tipo: 12IAC51B804A			Frequência: 60 Hz					
Nº Fabricação: 18743			Relação:			Tape: 5A					
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	I Set Setado (A)	I Set Medido (A)	Encontrado %	Deixado %						
R	5,00	4,85	R	5,00	4,85	-3,00	-3,00				
S	5,00	-	S	5,00	-	#VALOR!	#VALOR!				
T	5,00	-	T	5,00	-	#VALOR!	#VALOR!				
N	-	-	N	-	-	#VALOR!	#VALOR!				
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: Curve INVERSE						NORMA: IAC					
DIAL DE TEMPO: 1,45			K=0,2			ALPHA:					
Encontrado					Deixado					Desvio	
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
5,00	2,00	10,00	1,515	1,000	5,00	2,00	10,00	1,52	1,00	-33,99	-33,99
5,00	2,00	10,00	1,515	-	5,00	2,00	10,00	1,52	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	1,515	-	5,00	2,00	10,00	1,52	-	#####	#####
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado					Deixado					Desvio	
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
7,70	1,00	7,70	7,70	55,00	7,70	1,10	7,70	7,70	55,00	-	-
7,70	1,10	7,70	7,70	-	7,70	1,10	7,70	7,70	-	-	-
7,70	1,10	7,70	7,70	-	7,70	1,10	7,70	7,70	-	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 110).

Tabela 10 - Ensaio relé fase T cubículo de entrada TR2

Marca do Relé: GE				Tipo: 12IAC51B804A - IAC				Frequência: 60 Hz			
Nº Fabricação: 18744				Relação:				Tape: 5A			
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		Encontrado %		Deixado %	
R	5,00	-	-	R	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
S	5,00	-	-	S	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
T	5,00	4,85	-	T	5,00	4,85	-	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
N	-	-	-	N	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: Curve INVERSE						NORMA: IAC					
DIAL DE TEMPO: 1,6				K=0,2				ALPHA:			
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
5,00	2,00	10,00	1,290	-	5,00	2,00	10,00	1,29	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	1,290	-	5,00	2,00	10,00	1,29	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	1,290	1,100	5,00	2,00	10,00	1,29	1,10	-14,73	-14,73
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,00	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,10	11,00	11,00	60,00	10,00	1,10	11,00	11,00	60,00	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 111).

Tabela 11 - Ensaio relé de Neutro cubículo de entrada TR2

Marca do Relé: GE				Tipo: 12IAC51B801A				Frequência: 60 Hz			
Nº Fabricação: 18737				Relação:				Tape: 0,5 A			
PICK-UP											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		I Set Setado (A)		I Set Medido (A)		Encontrado %		Deixado %	
R	5,00	-	-	R	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
S	5,00	-	-	S	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
T	5,00	-	-	T	5,00	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!
N	0,50	0,53	-	N	0,50	0,53	-	5,00	5,00	5,00	5,00
TEMPORIZADO FASE I >											
CURVA: Curve -						NORMA:					
DIAL DE TEMPO: -				ALPHA:							
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Temp o esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
5,00	2,00	10,00	-	-	5,00	2,00	10,00	-	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	-	-	5,00	2,00	10,00	-	-	#####	#####
5,00	2,00	10,00	-	-	5,00	2,00	10,00	-	-	#####	#####
INSTANTÂNEO FASE I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
10,00	1,10	11,00	11,00	-	10,00	1,10	11,00	11,00	-	-	-
TEMPORIZADO NEUTRO I >											
CURVA: INVERSO						NORMA:					
DIAL DE TEMPO: 1				K=0,2				ALPHA:			
Encontrado				Deixado				Desvio			
I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	I> Set (A)	Mult	I> (A)	Tempo esp. (s)	Tempo medido (s)	Encontr. %	Deixado %
0,50	2,00	1,00	0,757	0,800	0,50	2,00	1,00	0,757	0,800	5,68	5,68
INSTANTÂNEO NEUTRO I >>											
Encontrado				Deixado				Desvio			
I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	I>> Base (A)	Mult	I>> (A)	I>> Med. (A)	Temp medido (ms)	Encontr. %	Deixado %
1,96	1,00	1,96	1,96	200,00	1,96	1,00	1,96	1,96	200,00	-	-

Fonte: (PONDER, 2021, p. 112).

Ao analisar os resultados obtidos no ensaio do relé de proteção instantânea e temporizada de neutro do cubículo P6, conforme Tabela 11, conclui-se que o relé não está em condições normais de operação, pois o desvio do tempo de atuação da proteção temporizada de neutro ultrapassou 5% e o tempo de atuação da proteção instantânea ultrapassou 70ms.

Portanto, através dos ensaios nos relés foi possível identificar anomalias que comprometem o sistema de proteção da SE, os relés RL_12C1 e RL_12C2 estavam inoperantes, realizado a substituição de imediato. Os relés eletromecânicos todos foram rejeitados por atuação fora dos tempos determinados ou por não atuação das proteções, esses relés por serem do tipo eletromecânico requer manutenção constantemente devido aos desgastes de seus componentes, portanto foi sugerido a substituição dos relés eletromecânicos por relés digitais e implantação de um estudo de coordenação e seletividade, visto que não foi apresentado nenhum estudo desde o projeto da SE e os relés eletromecânicos já estão ultrapassados apresentando uma série de desvantagens abordada no capítulo 3.

5 ESTUDO E ESPECIFICAÇÕES PROPOSTAS

Nesta seção será apresentado o estudo de coordenação e seletividade elaborado para a subestação, que compreende a entrada de 69kV e o sistema de distribuição em 6,6kV, juntamente com os resultados das adequações da SE comparando o antes e depois do *retrofit*.

5.1 Critérios adotados no estudo

- A planta em questão possui dois transformadores abaixadores na entrada da SE 69KV, porém não são utilizados em paralelo. Portanto, toda a planta é alimentada por apenas um Trafo, TR1 ou TR2;
- A alimentação de entrada em 69 kV é fornecida pela concessionária ENEL, portanto foram utilizados os níveis de curto-circuito fornecidos pela Cia de acordo com a Figura 19;

Figura 19 - Contribuição ENEL na entrada da SE

4. RELATÓRIO DE NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO

IDENTIFICAÇÃO NUM.	NOME	VEBAS	TRIFÁSICO			MONOFÁSICO			BIFÁSICO-TERRA			ASSM(kA)F				
			MOD(kA)	ANG(gr)	X/R	ASSM(kA)	MOD(kA)	ANG(gr)	X/R	ASSM(kA)	MOD(kA)		ANG(gr)	X/R		
9486	PDR	69	69.0	2.13	-66.43	2.29	3.78	1.13	-74.72	3.66	2.27	1.96	34.58	2.43	3.53	C

5. RELATORIO DE DADOS DE CURTO-CIRCUITO IMPEDÂNCIAS REDUZIDAS EM (PU)

IDENTIFICACAO NUM.	NOME	Z1		Z0		X0/X1	TRIFÁSICO		MONOFÁSICO		BIFÁSICO-TERRA		R0/X1	KV	ATERR	
		MOD(pu)	ANG(gr)	MOD(pu)	ANG(gr)		MOD(MVA)	ANG(gr)	MOD(MVA)	ANG(gr)	MOD(MVA)	ANG(gr)				
9486	PDR	69	0.3923	66.43	1.4552	79.18	3.97	254.88	-66.43	134.70	-74.72	233.91	34.58	0.76	54.07	ATR

Fonte: PONDER (2022).

- Em caso de falta os motores de indução trifásico irão contribuir ao curto, adota-se um tempo de 2 a 3 ciclos de contribuição após a falta;
- Os motores que possuem acionamento por inversor de frequência ou conversor CA/CC não irão contribuir ao curto;
- Para coordenar o sistema de proteção será adotado 0,2s entre 2 unidades de sobrecorrente instantâneo.
- Corrente Inrush dos transformadores será adotada 10 vezes a corrente nominal do Trafo;

O estudo foi realizado para 2 condições de operação, caso 1 e caso 2.

- Caso 1: O tempo de análise da falta menor que 50ms (3 ciclos) onde existe contribuição de motores de indução para o curto, portanto nessa condição o sistema apresenta o maior nível de curto-circuito trifásico e monofásico possível, esses valores serão utilizados para analisar a suportabilidade dos dispositivos de proteção da subestação;
- Caso 2: O tempo de análise da falta maior que 50ms (3 ciclos) onde não existe contribuição de motores de indução para o curto, portanto nessa condição o sistema apresenta o menor nível de curto-circuito trifásico e monofásico possível, esses valores serão utilizados para a parametrização de sobrecorrente instantânea.

Os relatórios do estudo do caso 1 e 2 estão contemplados nos Anexos A e B, respectivamente.

5.2 Estudo de coordenação e seletividade entradas L1 e L2

O estudo foi desenvolvido utilizando o software PTW, fornecido pela empresa terceirizada contratada para o retrofit da subestação, para isso inicialmente foi criado o diagrama unifilar da subestação, modelado cada componente da SE, como relé, disjuntor, transformadores de força e de instrumentos, fusível, motores, capacitores e cabos. Após isso, é inserido os níveis de curto-circuito fornecido pela concessionária e o software calcula os níveis de curto-circuito trifásico e monofásico, simétrico e assimétrico, conforme Anexo C.

A sequência de atuação da proteção da entrada da SE será realizada da seguinte maneira: relé de proteção da Entrada L1 irá mandar um sinal de trip para o disjuntor DJ_AT_12C1, em caso de uma falta, para proteger a entrada de 69kV. Com a elaboração desse estudo será garantido a coordenação com as proteções à jusante; o relé de proteção da Entrada L2 irá mandar um sinal de trip para o disjuntor DJ_AT_12C2, em caso de uma falta, para proteger a entrada de 69kV. O estudo garante que o disjuntor da entrada da SE estará seletivo com as proteções à jusante.

5.2.1 Componentes atuais do sistema

Para realizar o estudo é necessário saber a especificação dos elementos que estão instalados na subestação, para se conseguir ser mais assertivo no estudo elaborado, portanto, os

principais equipamentos que compõe as linhas L1 e L2 da SE, estão descritos abaixo.

- Transformadores
- Relé de Proteção L1 e L2: Siemens 7SR1003
- Disjuntor de Alta Tensão
- Transformador de Corrente - Fase
- Transformador de Corrente - Neutro

Os dados técnicos dos transformadores de força TR1 e TR2 da SE estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 - Especificação dos transformadores de força

TAG	POT (kVA)	Vprim (kV)	Vsec (kV)	Iprim (A)	Isec (A)	INRUSH	
TR1	2500	69	6,6	20,9	218,7	10 x In	209
TR2	2500	69	6,6	20,9	218,7	10 x In	209

Fonte: (PONDER, 2022, p. 29).

Os dados técnicos dos disjuntores de alta tensão das linhas L1 e L2 estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13 - Especificação do disjuntor de entrada L1 e L2

Descrição	Primário
Fabricante	SPRECHER ENERGIE
Tipo	HPF409 K
Un	72,5 kV
In	2000 A
Icc	31,5 kA
Frequência	60 Hz

Fonte: (PONDER, 2022, p. 29).

As especificações dos transformadores de corrente das fases das entradas L1 e L2 estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Especificação do TC da entrada L1 e L2

Descrição	Primário
Relação de Transformação	100 / 5 A
Nível de Isolamento	72,5 Kv
Frequência	60Hz
Fator Térmico	1,2
Exatidão	A10F20C12,5

Fonte: (PONDER 2022, p. 29).

As especificações do transformador de corrente de neutro, localizado no secundário do transformador de força, estão descritas na Tabela 15.

Tabela 15 - Especificação do TC do resistor de aterramento

Descrição	Primário
Relação de Transformação	100 / 5 A
Nível de Isolamento	72,5 kV
Frequência	60Hz
Fator Térmico	1,2

Fonte: (PONDER, 2022, p. 30).

5.2.2 *Parametrização do Relé*

Diante das especificações dos componentes da SE é realizado a parametrização das configurações gerais dos relés de proteção RL_12C1 e RL_12C2, conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Configurações gerais do relé (RL_12C1 / RL_12C2)

Código	Ajuste
Frequência do Sistema	60 Hz
Configurando Dependências	Habilitado
Temporização dos Medidores Favoritos	2 min
Temporização da Luz de Fundo	5 min
Definir Exibição de Corrente	Primário
E/F Definir Exibição de Corrente	Primário
Seleção do Modo Grupo	Nível Acionado
Sincronização de Tempo BI	Desabilitado
Modo de Operação	Local ou Remoto
Símbolo da Atividade de Disco	Habilitado
Tempo de Bloqueio do Arquivador	0,5 min

Bloqueio de Reinício Inesperado	Desabilitado
Definir Senha	Nenhum
Senha de Controle	340701675
Alerta de Trip	Habilitado
Alerta de Alarme Geral	Habilitado
Identificação do Relé	SE69KV-L1/L2
Identificação do Circuito	-

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 34).

O relé necessita das informações do transformador de corrente para saber a corrente real que está passando no circuito, portanto a parametrização dos TC's da entrada L1 e L2 estão registradas na Tabela 17. Essas informações de parametrização seguiu as especificações do equipamento conforme Tabela 14.

Tabela 17 - Parametrização dos TC's de Entrada L1/L2

Código	Ajuste
Entrada de Corrente Fase	5A
Primário do TC Fase	100
Secundário do TC Fase	5
Entrada de Corrente Terra	5A
Primário do TC Terra	100
Secundário do TC Terra	5
Sequência de Fase	ABC

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 35).

As proteções habilitadas para os relés RL_12C1 e RL_12C2 são: sobrecorrente instantânea e temporizada de fase, neutro e terra, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Proteções habilitadas para atuação

Código	Ajuste
Gn Sobrecorrente de Fase	Habilitado
Gn Carga Fria	Desabilitado
Gn Sobrecorrente de Neutro	Habilitado
Gn Sobrecorrente de Terra	Habilitado
Gn Sobrecorrente NPS	Desabilitado
Gn Térmica	Desabilitado
Gn Falha de CB	Desabilitado
Gn Condutor Quebrado	Desabilitado
Gn Supervisão de Trip CCT	Desabilitado
Gn Supervisão de Fechar CCT	Desabilitado
Gn Detecção de Inrush	Desabilitado
Gn Supervisão de THD	Desabilitado

Gn Contador de CB	Desabilitado
Gn Desgaste I^2t de CB	Desabilitado

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 35).

5.2.3 Funções de proteção

As proteções utilizadas nas linhas L1 e L2 foram definidas para proteger o sistema contra sobrecorrente instantânea e temporizada, que são definidas pela tabela ANSI como funções 50/51, respectivamente. Além dessas utilizou-se as funções variantes 50N/51N e 50G/51G que representam proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro e terra, respectivamente.

Ao se realizar alteração da parametrização do relé da entrada da SE é necessário submeter a concessionária o estudo para aprovação, devido a parametrização dos relés das linhas L1 e L2 estarem seletivos com o estudo proposto e o mesmo já ter sido aprovado pela concessionária, optou-se por manter os valores já parametrizados anteriormente.

5.2.3.1 Proteção 50/51

Para realizar a parametrização do relé é necessário saber a relação de transformação dos TC's, conforme descrito anteriormente na Tabela 14, pois os valores de proteção são definidos em relação ao primário do TC e valores de parametrização é baseado na corrente nominal do relé 5A aplicando a relação de transformação.

Para a proteção de sobrecorrente instantânea de fase, ANSI 50, foi adotado uma corrente de 500 A com temporização de 0,04, conforme Tabela 19.

Para a proteção de sobrecorrente temporizada de fase, ANSI 51, adotou-se 52 A, curva IEC Extremamente Inversa e dial de tempo de 0,28, conforme Tabela 20.

Tabela 19 - Parametrização da função 50 (RL 12C1 e RL 12C2)

Código	Ajuste
Gn 50-1 Elemento	Habilitado
Gn 50-1 Ajuste	$5xI_n$
Gn 50-1 Tempo de Atuação	0,04s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 36).

Tabela 20 - Parametrização da função 51 (RL 12C1 e RL 12C2)

Código	Ajuste
Gn 51-1 Elemento	Habilitado
Gn 51-1 Ajuste	0,52 x In
Gn 51-1 Curva	IEC-EI
Gn 51-1 Múltiplo de Tempo	0,28
Gn 51-1 Tempo Mínimo de Operação	0s
Gn 51-1 Tempo Adicional Fixo	0s
Gn 51-1 Reset	0s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 36).

5.2.3.2 Proteção 50N/51N

Nessa proteção, sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro, o relé recebe a corrente resultante da soma vetorial dos 3 TC's que estão na entrada da SE.

Para a proteção instantânea de neutro, ANSI 50N, foi adotado uma corrente de 100 A com temporização de 0,05, conforme Tabela 21.

Para a proteção temporizada de neutro, ANSI 51N, adotou-se 20 A, curva IEC Extremamente Inversa e dial de tempo de 0,5, conforme Tabela 22.

Tabela 21 - Parametrização da função 50N (RL 12C1 e RL 12C2)

Código	Ajuste
Gn 50N-1 Elemento	Habilitado
Gn 50N-1 Ajuste	1xIn
Gn 50N-1 Tempo de Atuação	0,05s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 37).

Tabela 22 - Parametrização da função 51N (RL 12C1 e RL 12C2)

Código	Ajuste
Gn 51N-1 Elemento	Habilitado
Gn 51N-1 Ajuste	0,20 x In
Gn 51N-1 Curva	IEC-EI
Gn 51N-1 Múltiplo de Tempo	0,5
Gn 51N-1 Tempo Mínimo de Operação	0s
Gn 51N-1 Tempo Adicional Fixo	0s
Gn 51N-1 Reset	0s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 37).

5.2.3.3 Proteção 50G/51G

Nessa proteção, sobrecorrente instantânea e temporizada de terra, o relé realiza a leitura de corrente através de um único TC que está ligado em série com o resistor de aterramento, no neutro do secundário do transformador, protegendo assim o transformador em caso de curto no cabo de interligação secundário/cubículo. Essa proteção não estava prevista na parametrização anterior.

Para a proteção sobrecorrente instantânea de terra, ANSI 50G, foi adotado uma corrente de 75A com temporização de 0,85. A fim de coordenar com os dispositivos de proteção à jusante, conforme Tabela 23.

Para a proteção sobrecorrente temporizada de terra, ANSI 51G, adotou-se 30 A, curva IEC Normal Inversa e dial de tempo de 0,5, conforme Tabela 24.

Tabela 23 - Parametrização da função 50G (RL_12C1 e RL_12C2)

Código	Ajuste
Gn 50G-1 Elemento	Habilitado
Gn 50G-1 Ajuste	0,75xIn
Gn 50G-1 Tempo de Atuação	0,85s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 38).

Tabela 24 - Parametrização da função 51G (RL_12C1 e RL_12C2)

Código	Ajuste
Gn 51G-1 Elemento	Habilitado
Gn 51G-1 Ajuste	0,30 x In
Gn 51G-1 Curva	IEC-NI
Gn 51G-1 Múltiplo de Tempo	0,5
Gn 51G-1 Tempo Mínimo de Operação	0s
Gn 51G-1 Tempo Adicional Fixo	0s
Gn 51G-1 Reset	0s

Fonte: (Adaptado de PONDER 2022, p. 38).

5.2.4 *Curvas de coordenação das proteções*

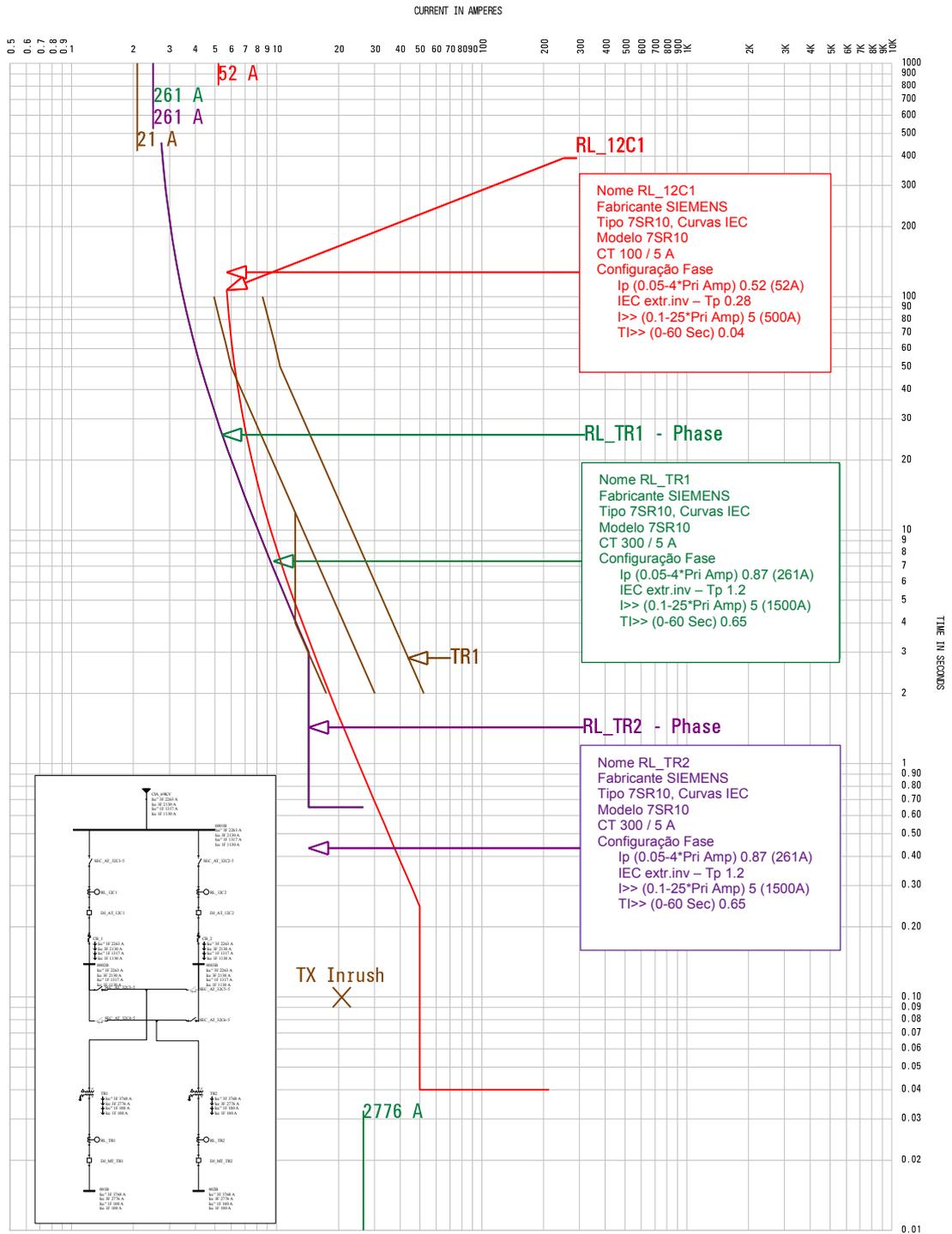
No coordenograma da Figura 20 é possível validar a seletividade das proteções 50/51, verificar que o sistema está coordenado com as proteções a jusante RL_TR1 e RL_TR2, está atuando antes de chegar aos níveis de curto-circuito e está coordenado com a corrente Inrush do transformado de força TR1, evitando atuação inadvertida durante a energização do Trafo. O coordenograma das proteções de fase da entrada da SE, na Figura 20, possui escala de corrente x 10A, tempo em segundos e nível de tensão 69kV.

O coordenograma da Figura 21 é análogo ao da Figura 20 visto que se trata das mesmas proteções, porém na entrada L2 da SE, portanto todas observações e conclusões se aplica para o coordenograma descrito.

No coordenograma da Figura 22 é possível validar a seletividade das proteções 50/51G, verificar que o sistema está coordenado com as proteções a jusante e está atuando antes de chegar aos níveis de curto-circuito. O coordenograma das proteções de neutro da entrada da SE, na Figura 22, possui escala de corrente x 1A, tempo em segundos e nível de tensão 69kV.

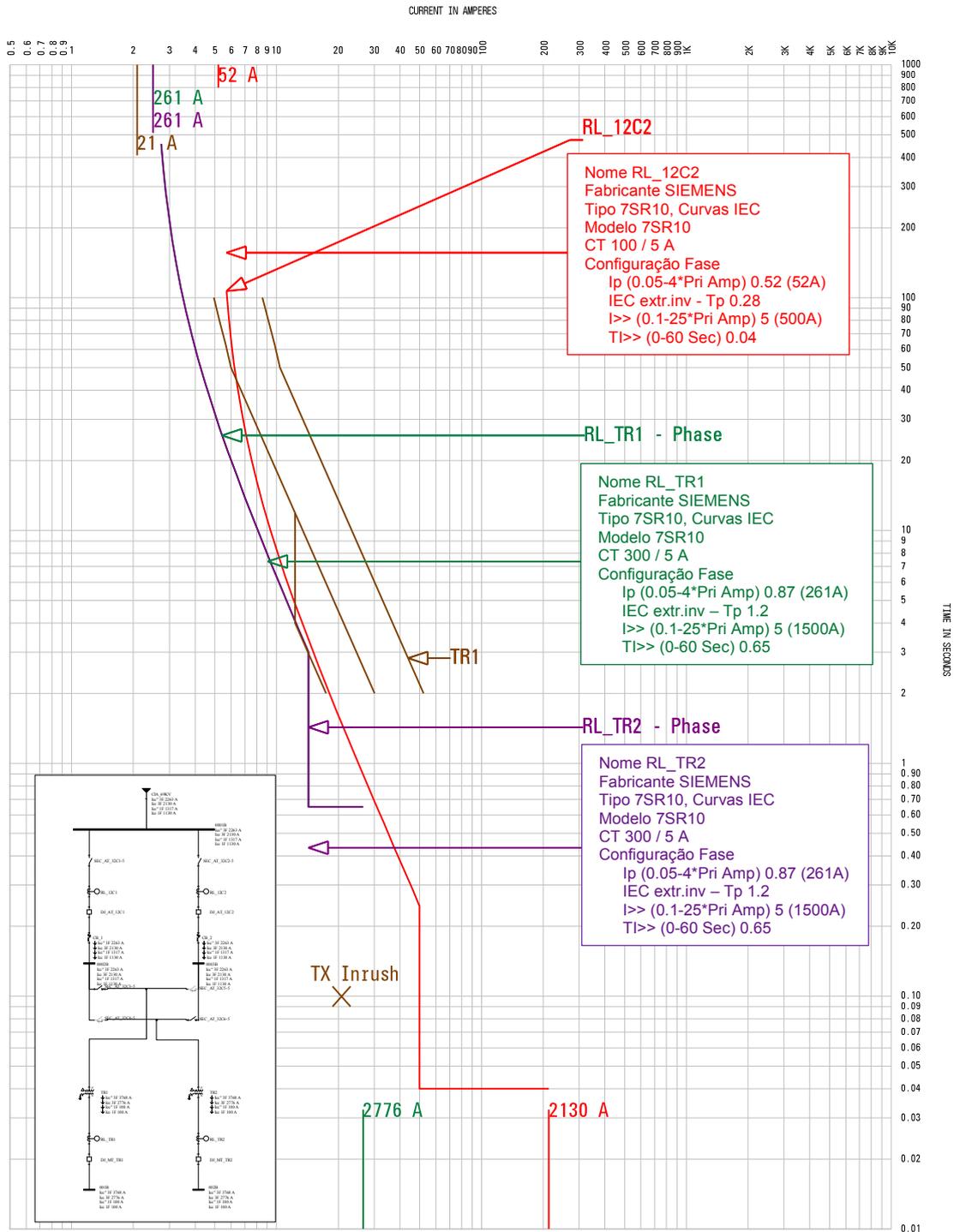
O coordenograma da Figura 23 é análogo ao da Figura 22 visto que se trata das mesmas proteções, porém na entrada L2 da SE, portanto todas observações e conclusões se aplica para o coordenograma descrito.

Figura 20 - Coordenograma de fase Entrada SE 69KV - L1 (RL_12C1)



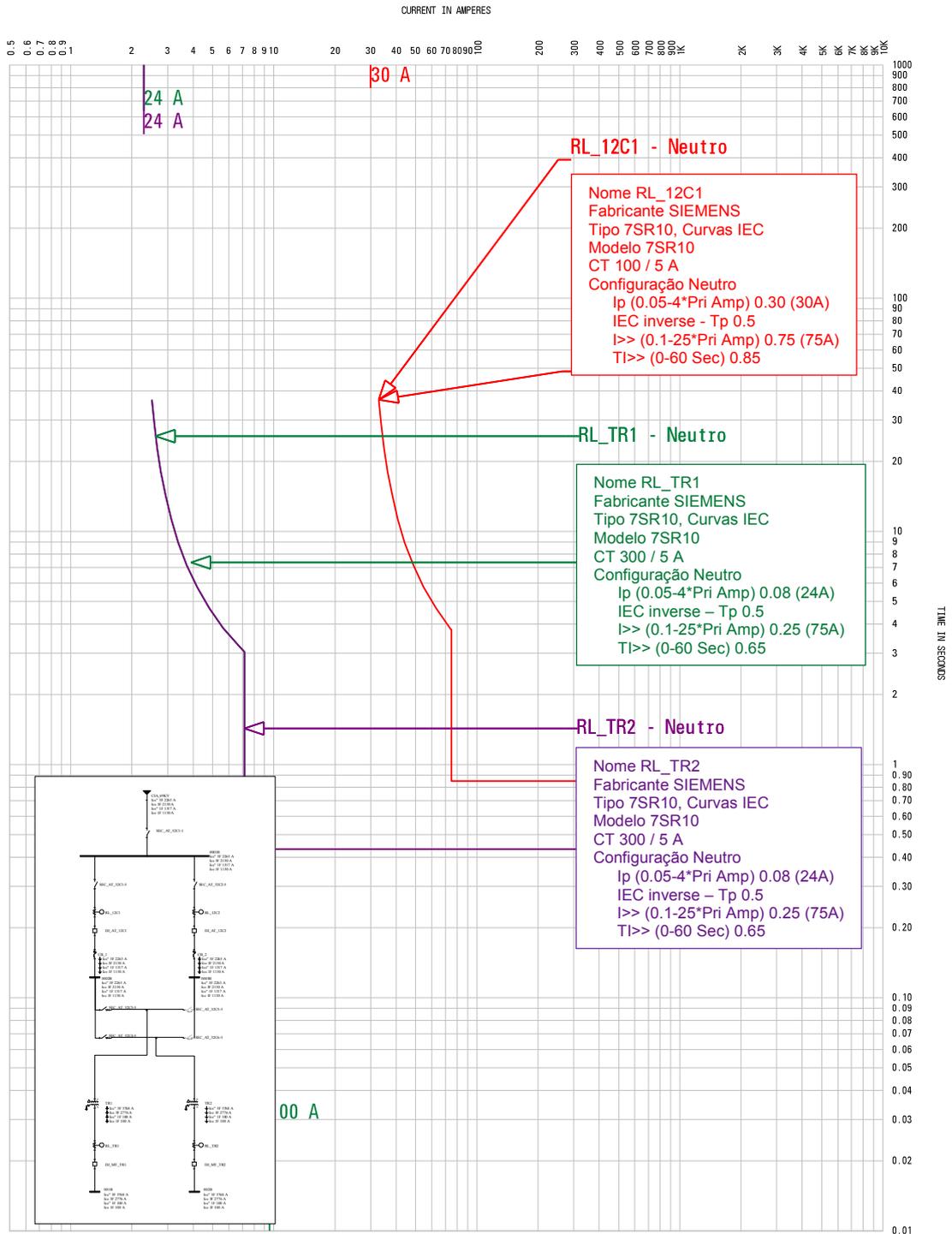
Fonte: PONDER (2022).

Figura 21 - Coordenograma de fase Entrada SE 69KV – L2 (RL_12C2)



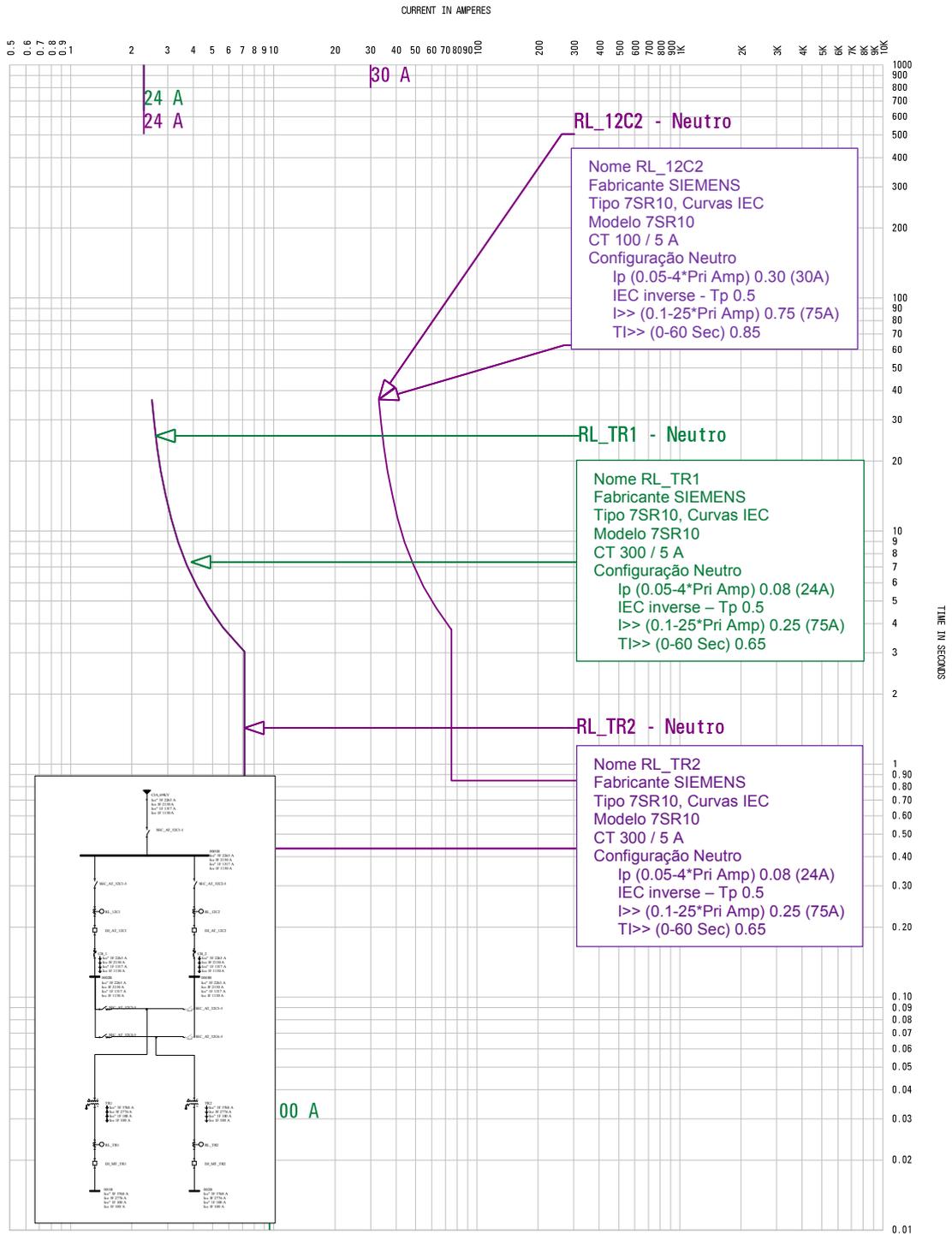
Fonte: PONDER (2022).

Figura 22 - Coordenograma de neutro Entrada SE 69KV - L1 (RL_12C1)



Fonte: PONDER (2022).

Figura 23 - Coordenograma de neutro Entrada SE 69KV – L2 (RL_12C2)



Fonte: PONDER (2022).

5.3 Estudo de coordenação e seletividade TR1 / TR2

O estudo foi desenvolvido utilizando o software PTW, para isso inicialmente foi criado o diagrama unifilar da subestação, modelado cada componente da SE, como relé, disjuntor, transformadores de força e de instrumentos, fusível, cabos. Após isso, é inserido os níveis de curto-circuito fornecido pela concessionária e o software calcula os níveis de curto-circuito trifásico simétrico e assimétrico, monofásico simétrico e assimétrico, conforme Anexo D.

A proteção do subsistema será realizada da seguinte maneira: relé de proteção instalado no cubículo de entrada TR1 irá mandar um sinal de trip para o disjuntor DJ_MT_TR1, em caso de uma falta, para proteger o ponto ANSI do transformador TR1 do lado secundário. Com a elaboração desse estudo ele estará seletivo com as proteções à montante e à jusante; o relé de proteção instalado no cubículo de entrada TR2 irá mandar um sinal de trip para o disjuntor DJ_MT_TR2, em caso de uma falta, para proteger o ponto ANSI do transformador TR2 do lado secundário. Com a elaboração desse estudo ele estará seletivo com as proteções à montante e à jusante.

Para coordenar o sistema de proteção será adotado 0,2s entre 2 unidades de sobrecorrente instantâneo.

5.3.1 Componentes do sistema

As especificações dos elementos que compõe a entrada do cubículo TR1, TR2 e de distribuição da SE estão descritas abaixo.

- Transformadores
- Relé de Proteção TR1 e TR2: Siemens 7SR1003
- Disjuntor de Média Tensão MT
- Transformador de Corrente
- Fusíveis de MT

Os dados técnicos dos transformadores de força e auxiliar da SE estão descritos na Tabela 25.

Tabela 25 - Especificação dos transformadores de força e auxiliar

TAG	POT (kVA)	Vprim (kV)	Vsec (kV)	Iprim (A)	Isec (A)	INRUSH	
TR1	2500	69	6,6	20,9	218,7	10 x In	209
TR2	2500	69	6,6	20,9	218,7	10 x In	209
TR_AUX	75	6,6	0,38	6,6	114,0	10 x In	66

Fonte: (PONDER, 2022, p. 59).

Os dados técnicos dos disjuntores de média tensão dos cubículos de distribuição estão descritos na Tabela 26.

Tabela 26 - Especificação do disjuntor do cubículo de entrada TR1 e TR2

Descrição	Primário
Fabricante	SPRECHER ENERGIE
Tipo	HP TWSLI 505D
Um	15 kV
In	800 A
Icc	16 kA
Frequência	60 Hz

Fonte: (PONDER, 2022, p. 59).

As especificações dos transformadores de corrente das fases dos cubículos TR1 e TR2 estão descritos na Tabela 27.

Tabela 27 - Especificação do TC do cubículo de entrada TR1 e TR2

Descrição	Primário
Relação de Transformação	300 / 5 A
Nível de Isolamento	17,5 kV
Frequência	60 Hz
Fator Térmico	1,2
Exatidão	10B100

Fonte: (PONDER, 2022, p. 59).

As especificações dos fusíveis de média tensão dos cubículos que alimenta o banco de capacitores e o transformador do sistema auxiliar estão descritos na Tabela 28.

Tabela 28 - Especificação dos fusíveis de MT do cubículo do banco de capacitores e transformador auxiliar

TAG	Tipo	Modelo	Cap. Int. Simet. Nominal	Tensão Nominal CA
FU_MT_CAPMINA	HH	63 A	63 KA	13,8 KV
FU_MT_AUX	HH	16 A	63 KA	6,6 KV

Fonte: (PONDER, 2022, p. 60).

5.3.2 Critérios adotados na proteção e seletividade dos transformadores TR1 e TR2

- Função 50 - (Sobrecorrente Instantânea de Fase) primário - ajuste maior que a corrente de magnetização do transformador, maior que o valor da corrente de curto-circuito subtransitória simétrica no secundário refletida no primário e menor que o valor da corrente de curto-circuito subtransitória simétrica no primário;
- Função 51 - (Sobrecorrente Temporizada de Fase) primário – de 1,2 a 2,5 vezes a corrente nominal devendo proteger o ponto ANSI do transformador. Será adotado 1,2 vezes a corrente nominal;
- Função 50N - (Sobrecorrente Instantânea de Neutro) primário – Será ajustada em função da corrente de curto-circuito fase-terra do sistema;
- Função 51N - (Sobrecorrente Temporizada de Neutro) primário – de 15 a 40A na linha;
- Função 50 - (Sobrecorrente Instantânea de Fase) secundário – Será bloqueada ou temporizada para coordenar com as unidades instantâneas das proteções a jusante;
- Função 51 - (Sobrecorrente Temporizada de Fase) secundário – de 1,2 a 2,0 vezes a corrente nominal. Será considerado 1,2.

5.3.3 Parametrização do Relé

Diante das especificações dos componentes do cubículo TR1, TR2 e de distribuição da SE é realizado a parametrização das configurações gerais dos relés de proteção RL_TR1 e RL_TR2, conforme Tabela 29.

Tabela 29 - Configurações gerais do relé (RL_TR1 / RL_TR2)

Código	Ajuste
Frequência do Sistema	60 Hz
Configurando Dependências	Habilitado
Temporização dos Medidores Favoritos	2 min
Temporização da Luz de Fundo	5 min
Definir Exibição de Corrente	Primário
E/F Definir Exibição de Corrente	Primário
Seleção do Modo Grupo	Nível Acionado
Sincronização de Tempo BI	Desabilitado
Modo de Operação	Local ou Remoto
Símbolo da Atividade de Disco	Habilitado
Tempo de Bloqueio do Arquivador	0,5 min
Bloqueio de Reinício Inesperado	Desabilitado
Definir Senha	Nenhum
Senha de Controle	340701675
Alerta de Trip	Habilitado
Alerta de Alarme Geral	Habilitado
Identificação do Relé	ENTRADA-TR1/TR2
Identificação do Circuito	-

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 65).

O relé necessita das informações do transformador de corrente para saber a corrente real que está passando no circuito, portanto a parametrização dos TC's da entrada TR1 e TR2 estão registradas na Tabela 30. Essas informações de parametrização seguiu as especificações do equipamento conforme Tabela 27.

Tabela 30 - Parametrização dos TC's de Entrada TR1/TR2

Código	Ajuste
Entrada de Corrente Fase	5A
Primário do TC Fase	300
Secundário do TC Fase	5
Entrada de Corrente Terra	5A
Primário do TC Terra	300
Secundário do TC Terra	5
Sequência de Fase	ABC

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 65).

As proteções habilitadas para os relés RL_TR1 e RL_TR2 são: sobrecorrente instantânea e temporizada de fase e neutro, conforme Tabela 31.

Tabela 31 - Proteções habilitadas (Enabled) para atuação

Código	Ajuste
Gn Sobrecorrente de Fase	Habilitado
Gn Carga Fria	Desabilitado
Gn Sobrecorrente de Neutro	Habilitado
Gn Sobrecorrente de Terra	Desabilitado
Gn Sobrecorrente NPS	Desabilitado
Gn Térmica	Desabilitado
Gn Falha de CB	Desabilitado
Gn Condutor Quebrado	Desabilitado
Gn Supervisão de Trip CCT	Desabilitado
Gn Supervisão de Fechar CCT	Desabilitado
Gn Detecção de Inrush	Desabilitado
Gn Supervisão de THD	Desabilitado
Gn Contador de CB	Desabilitado
Gn Desgaste I ² t de CB	Desabilitado

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 66).

5.3.4 Funções de proteção

As proteções utilizadas nos relés dos cubículos de entrada TR1 e TR2 foram definidas para proteger o sistema contra sobrecorrente instantânea e temporizada de fase e neutro, que são definidas pela tabela ANSI como funções 50/51 e 50N/51N, respectivamente.

5.3.4.1 Proteção 50/51

Para a proteção de sobrecorrente instantânea de fase, ANSI 50, foi adotado uma corrente de 1500 A com temporização de 0,65, conforme Tabela 32.

Para a proteção de sobrecorrente temporizada de fase, ANSI 51, adotou-se 262,44 A, curva IEC Extremamente Inversa e dial de tempo de 1,2, conforme Tabela 33.

Tabela 32 - Parametrização da função 50 (RL TR1 e RL TR2)

Código	Ajuste
Gn 50-1 Elemento	Habilitado
Gn 50-1 Ajuste	5xIn
Gn 50-1 Tempo de Atuação	0,65s

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 67).

Tabela 33 - Parametrização da função 51 (RL TR1 e RL TR2)

Código	Ajuste
Gn 51-1 Elemento	Habilitado
Gn 51-1 Ajuste	0,87 x In
Gn 51-1 Curva	IEC-EI
Gn 51-1 Múltiplo de Tempo	1,2
Gn 51-1 Tempo Mínimo de Operação	0s
Gn 51-1 Tempo Adicional Fixo	0s
Gn 51-1 Reset	0s

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 66).

5.3.4.2 Proteção 50N/51N

Para a proteção de sobrecorrente instantânea de neutro, ANSI 50N, foi adotado uma corrente de 75 A com temporização de 0,65, conforme Tabela 34. Pois é utilizado resistor de aterramento para limitar a corrente de curto fase terra em 100 A.

Para a proteção de sobrecorrente temporizada de neutro, ANSI 51N, adotou-se 24 A, curva IEC Normal Inversa e dial de tempo de 0,5, conforme Tabela 35.

Tabela 34 - Parametrização da função 50N (RL TR1 e RL TR2)

Código	Ajuste
Gn 50N-1 Elemento	Habilitado
Gn 50N-1 Ajuste	0,25xIn
Gn 50N-1 Tempo de Atuação	0,65s

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 67).

Tabela 35 - Parametrização da função 51N (RL TR1 e RL TR2)

Código	Ajuste
Gn 51N-1 Elemento	Habilitado
Gn 51N-1 Ajuste	0,08 x In
Gn 51N-1 Curva	IEC-NI
Gn 51N-1 Múltiplo de Tempo	0,5
Gn 51N-1 Tempo Mínimo de Operação	0s
Gn 51N-1 Tempo Adicional Fixo	0s
Gn 51N-1 Reset	0s

Fonte: Adaptado de PONDER, 2022, p. 67).

5.3.5 Curvas de coordenação das proteções do cubículo de distribuição da SE de 69 KV

No coordenograma da Figura 24 é possível validar a seletividade das proteções

50/51, verificar que o sistema está coordenado com as proteções a jusante, está atuando antes de chegar aos níveis de curto-circuito e está coordenado com a corrente Inrush do transformado de força TR1, evitando atuação inadvertida durante a energização do Trafo. O coordenograma das proteções de fase do cubículo entrada TR1, na Figura 24, possui escala de corrente x 1A, tempo em segundos e nível de tensão 69kV.

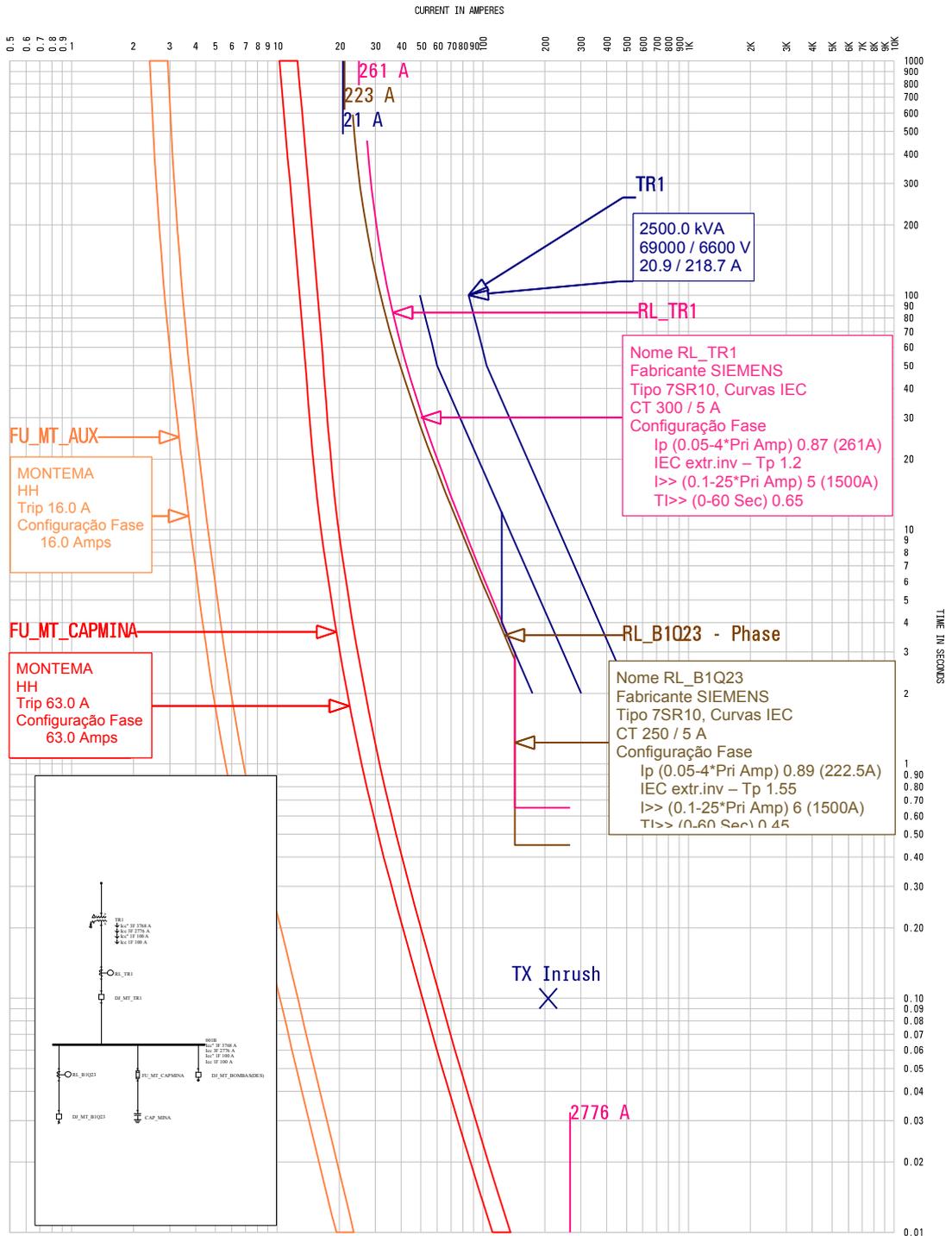
O coordenograma da Figura 25 é análogo ao da Figura 24 visto que se trata das mesmas proteções, porém cubículo de entrada TR2, portanto todas observações e conclusões se aplica para o coordenograma descrito.

No coordenograma da Figura 26 é possível validar a seletividade das proteções 50/51N, verificar que o sistema está coordenado com as proteções a jusante e está atuando antes de chegar aos níveis de curto-circuito. O coordenograma das proteções de neutro do cubículo entrada TR1, na Figura 26, possui escala de corrente x 0,1A, tempo em segundos e nível de tensão 69kV.

O coordenograma da Figura 27 é análogo ao da Figura 26 visto que se trata das mesmas proteções, porém do cubículo entrada TR2, portanto todas observações e conclusões se aplica para o coordenograma descrito.

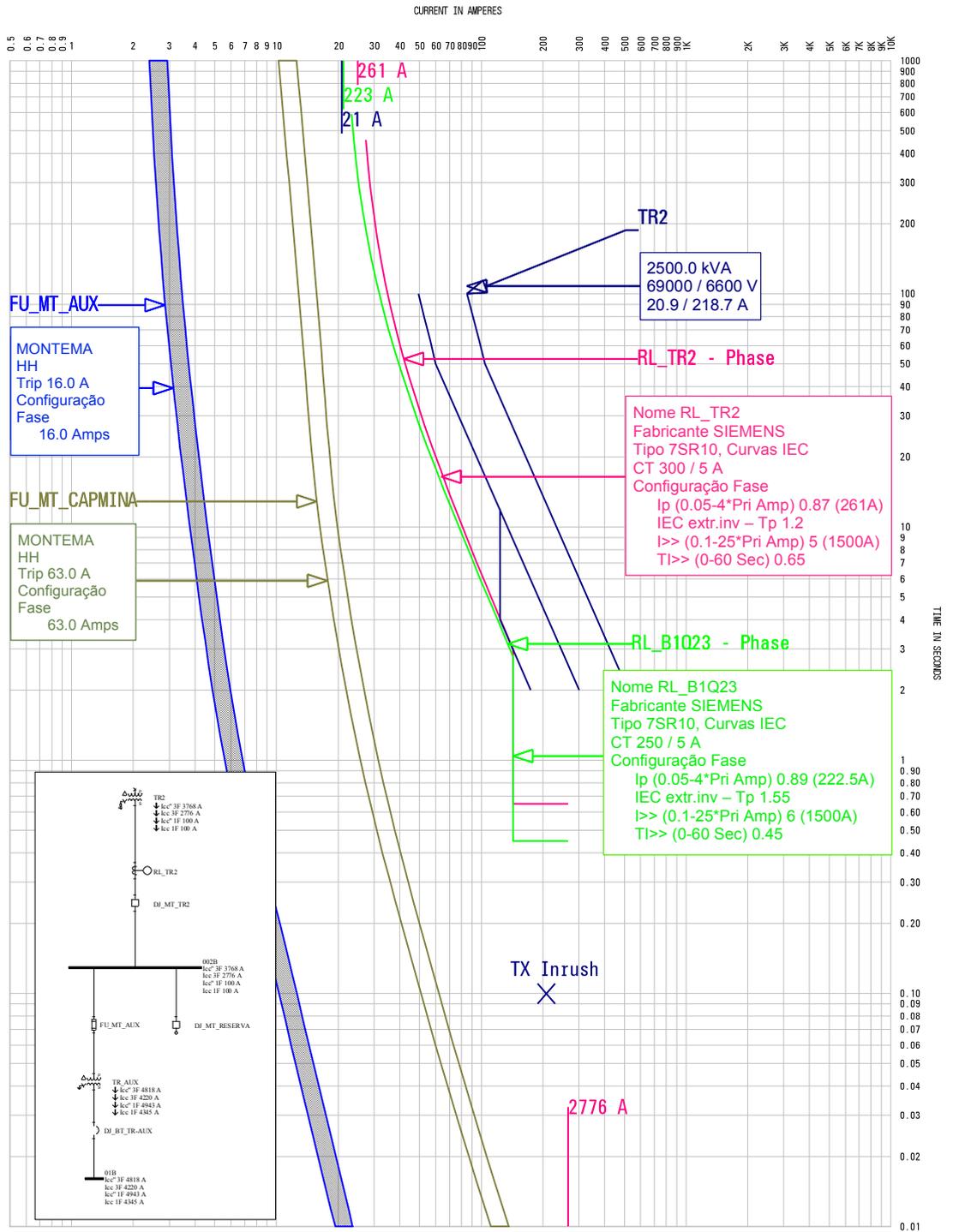
No coordenograma da Figura 28 é possível observar as proteções de fase mediante o fusível de média tensão no primário do Trafo e disjuntor de baixa tensão no secundário, verificar que o sistema está atuando antes de chegar aos níveis de curto-circuito e está coordenado com a corrente Inrush do transformado auxiliar TR_AUX, evitando atuação inadvertida durante a energização do Trafo. O coordenograma das proteções de fase do cubículo P4, na Figura 28, possui escala de corrente x 1A, tempo em segundos e nível de tensão 6600V.

Figura 24 - Coordenograma de fase do cubículo de entrada TR1



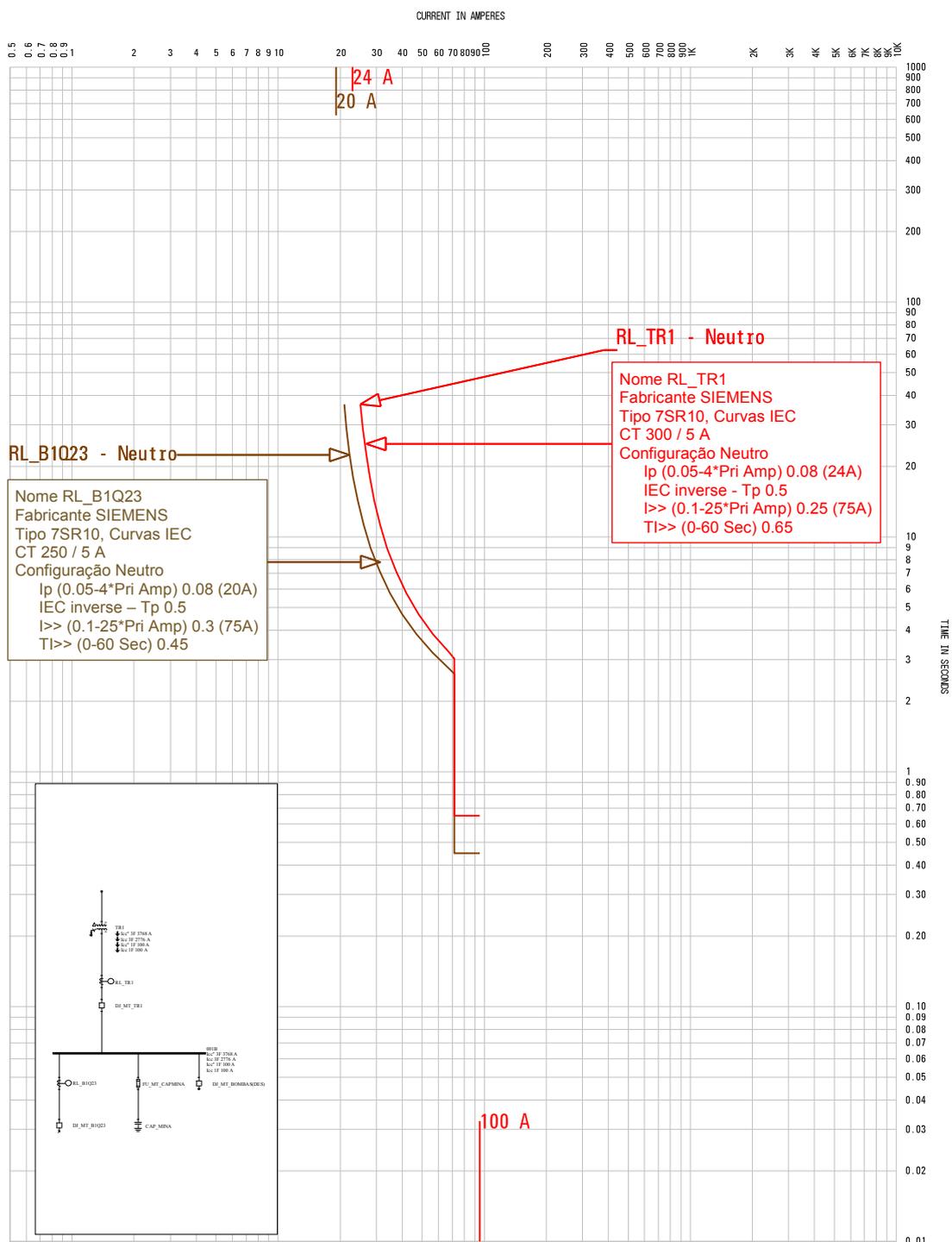
Fonte: PONDER (2022).

Figura 25 - Coordenograma de fase do cubículo de entrada TR2



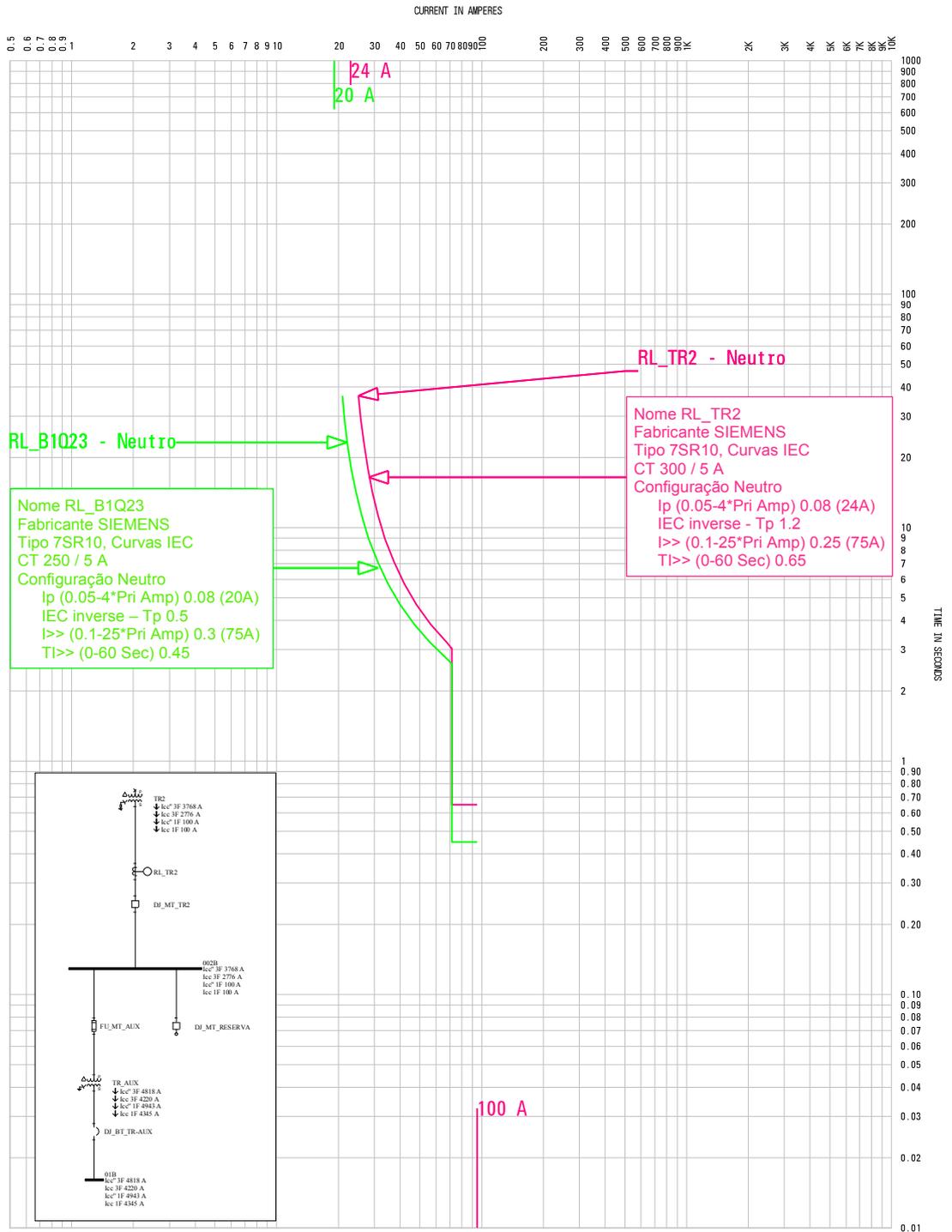
Fonte: PONDER (2022).

Figura 26 - Coordenograma de neutro do cubículo de entrada TR1



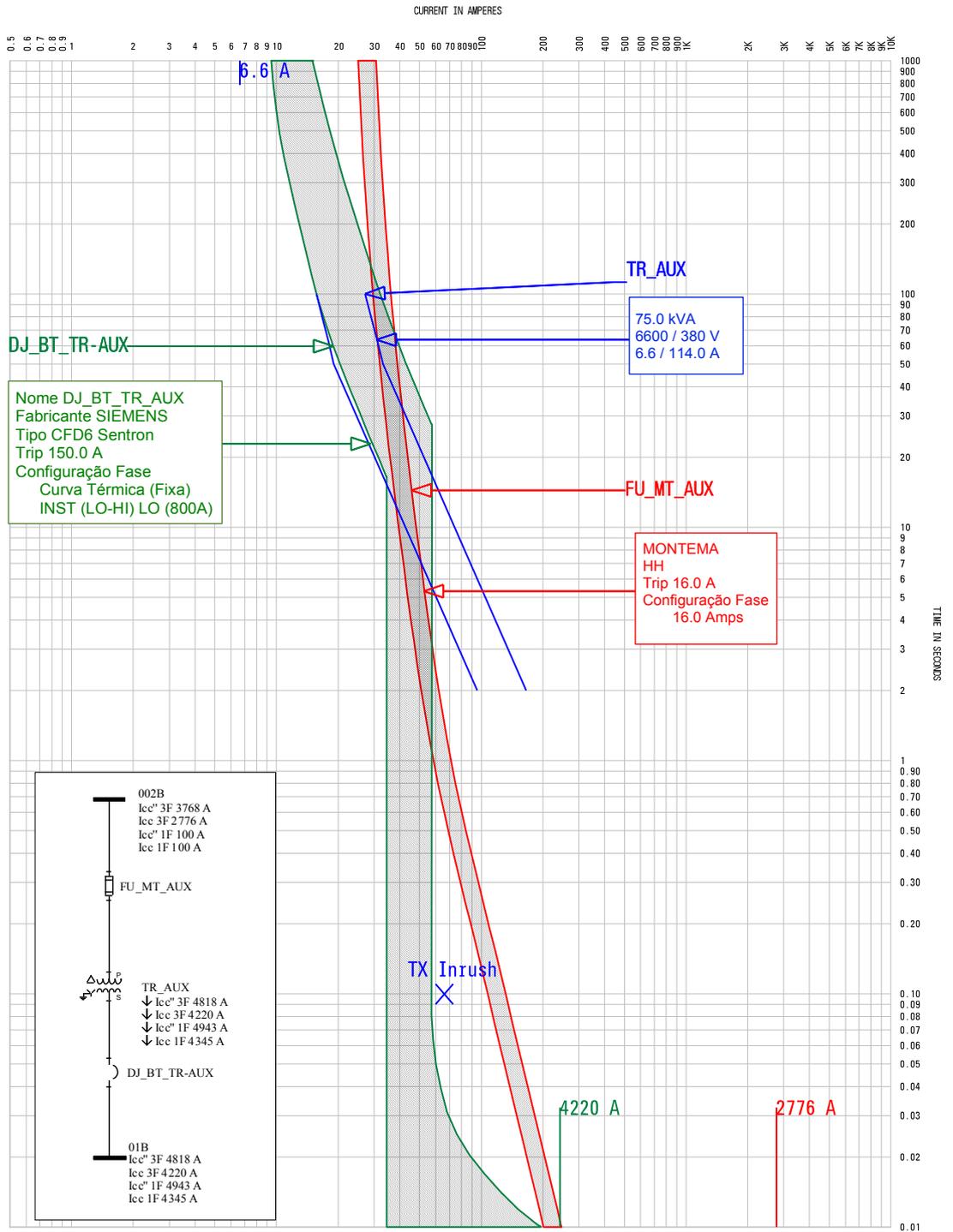
Fonte: PONDER (2022).

Figura 27 - Coordenograma de neutro do cubículo de entrada TR2



Fonte: PONDER (2022).

Figura 28 - Coordenograma de fase do cubículo auxiliar TR_AUX



Fonte: PONDER (2022).

5.4 Substituição dos relés de proteção

Os relés de proteção da entrada da SE (RL_12C1 e RL_12C2) e os relés dos Trafos

TR1 e TR2 (RL_TR1 e RL_TR2) foram substituídos a fim de realizar o *retrofit* do sistema de proteção da SE. Os relés RL_TR1 e RL_TR2 é do tipo eletromecânico e possui uma série de desvantagens comparados aos relés digitais, portanto se foi necessário substituí-los para ser possível garantir a atuação das proteções em caso de faltas e possibilitar a implementação mais assertiva do estudo proposto nas seções anteriores. A Figura 29 representa o antes e o depois do cubículo P6, onde foi substituído os relés do Trafo TR2 e seus periféricos. A Figura 30 mostra como ficou o painel de comando depois do *retrofit*.

Figura 29 - Antes e depois do cubículo de entrada TR2



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 - Antes e depois do comando elétrico do cubículo de entrada TR2



Fonte: Próprio autor.

Similar ao cubículo P6, a Figura 31 mostra o antes e depois do cubículo P1, onde foi substituído os relés do Trafo TR1e seus periféricos.

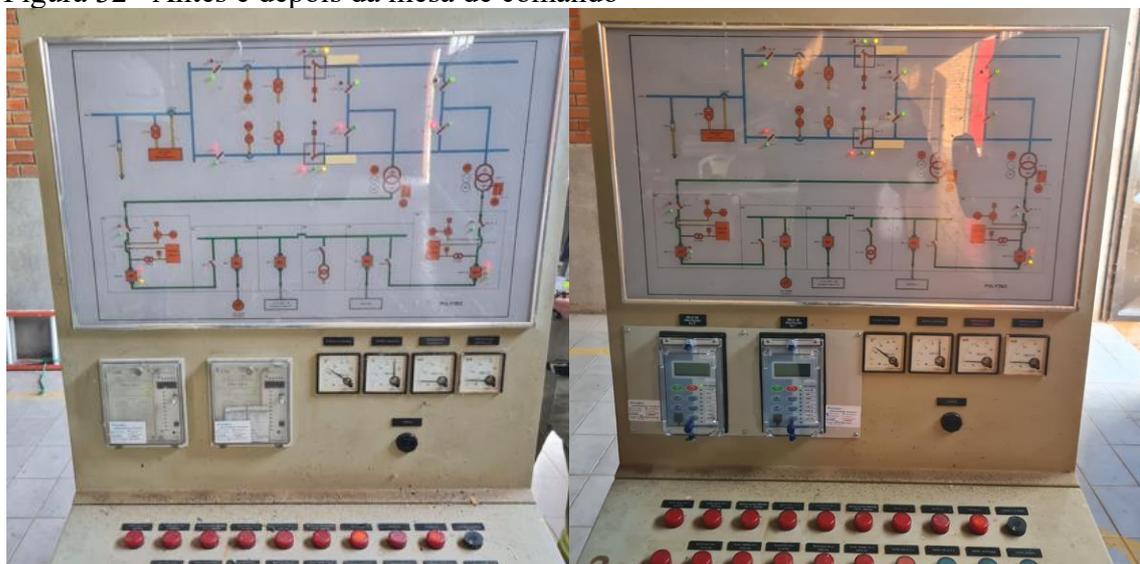
Figura 31 - Antes e depois do cubículo de entrada TR1



Fonte: Próprio autor.

Os relés de proteção da entrada da SE que já eram microprocessados foram substituídos a fim de proporcionar uma proteção adicional 50G/51G, manter a padronização entre as proteções da SE, facilitar a parametrização e comunicação. A Figura 32 mostra o antes e depois da substituição dos relés RL_12C1 e RL_12C2.

Figura 32 - Antes e depois da mesa de comando



Fonte: Próprio autor.

5.5 Substituição das baterias e retificador do sistema auxiliar da SE 69KV

Como mencionado na subseção 4.2 a necessidade da substituição do banco de baterias e do retificador, as Figuras 30 e 31 mostram o antes e depois, respectivamente. Com a

substituição do retificador foi possível aumentar o nível de tensão do banco para 124VCC, onde antes chegava a 112VCC, com isso foram utilizados 62 elementos de 2V/100Ah.

Figura 33 - Antes e depois do banco de baterias



Fonte: Próprio autor.

O novo retificador microprocessado possibilita a leitura de tensão e corrente da rede de alimentação, banco de baterias e consumidor, possui comunicação ethernet para realizar parametrização via software e possui saídas digitais para sinalização de alarmes.

Figura 34 - Antes e depois do retificador das baterias



Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÃO

Durante o processo de *retrofit* foi encontrado alguns desafios, iniciando pelo levantamento dos equipamentos, por se tratar de uma subestação de alta tensão e ficar energizada 24 horas por dia, foi necessário recorrer aos projetos e diagramas existentes, porém não se encontrava com facilidade, pois não tinha mais esses arquivos, foi então que encontraram uma cópia dos documentos do projeto da SE, porém, de baixa qualidade. Como a SE possui mais de 25 anos de existência, se faz necessário conferir em campo se cada equipamento manteve sua originalidade ou foi modificado no decorrer desse tempo. No entanto, não foi disponibilizado uma parada da SE, então foi realizado uma reunião com o supervisor da elétrica para alinhar as informações encontradas no projeto com as informações de campo e no dia da execução realizar uma conferência para garantir que as especificações dos equipamentos estavam de acordo com o projeto de 1993. Outro desafio foi no dia da execução, pois o prazo para a realização do trabalho era de apenas 48 horas, como o comando dos cubículos TR1 e TR2 foram atualizados, foi exigido bastante tempo para essa adequação, com isso foi estabelecido a estratégia de finalizar o cubículo TR2 dentro do prazo de 48 horas para possibilitar a reenergização da SE pelo mesmo, enquanto a SE estava energizada foi feito o outro cubículo em paralelo, visto que a redundância do sistema possibilita essa opção e os cubículos de distribuição estão em nível diferente da parte de alta tensão. Outra dificuldade encontrada foi na tensão estabilizada do cubículo TR2, onde foi detectado que a tensão CC do cubículo vinha do cubículo TR1 o que não estava discriminado no diagrama elétrico, com isso, foi necessário adequar para tornar independente o sinal de tensão estabilizada. Por fim, o TC do resistor de aterramento não estava instalado no dia da execução, portanto, foi deixado os cabos disponíveis para a ligação após a chegada do instrumento.

Durante a realização dos ensaios dos relés de proteção existente, antes do *retrofit*, foi possível observar várias anomalias na operação do relé de proteção, iniciando pelos relés da entrada da SE de 69kV que estavam inoperantes, de imediato foi solicitado a substituição dos equipamentos inoperantes pelos reservas. Os relés responsáveis pela proteção da rede de média tensão encontrava-se com desvio elevado na atuação das proteções e proteção instantânea de neutro inoperante, o motivo da não atuação da proteção de neutro foi devido ao superaquecimento da bobina de atuação, já os desvios elevados nos tempos de atuação se dão pelo fato de ser relé do tipo eletromecânico que utiliza componentes que necessitam de manutenções frequentes para ajuste, porém não eram realizadas essas atividades. Portanto,

todas essas observações encontradas nos ensaios dos relés comprovou a necessidade da realização do *retrofit* no sistema de proteção da SE. Além das anomalias encontradas se tem as observações sobre as desvantagens de utilizar relés eletromecânicos nos dias atuais, visto que atualmente os relés digitais tem inúmeras vantagens comparado aos do tipo eletromecânico, podemos citar a multifuncionalidade, visto que os relés digitais podem vir incorporados com várias funções de proteção em um único equipamento, o que não era possível nos relés eletromecânicos; a função do auto monitoramento (*watchdog*) que é realizado constantemente para encontrar alguma anomalia nos módulos do relé, durante o seu funcionamento; equipamento microprocessado com interfaces de entrada e saídas possibilitando criação de lógicas de programação; protocolos de comunicação; oscilografia para analisar o momento exato da ocorrência da falta.

Um dos benefícios ao optar pelo *retrofit* da SE está relacionado ao custo/benefício, visto que foi necessário adequação do comando, adaptação do painel e substituição dos relés eletromecânicos, gerando um aproveitamento do painel, cabos, calhas, bornes, chaves de aferição e instrumentos de medidas. Caso optar-se por um sistema de proteção novo, deveria ser substituído completamente o cubículo TR1/TR2, os relés e realizado todas as ligações para o novo cubículo, conseqüentemente, o valor para essa instalação seria bem mais alto que a opção de *retrofit*. Os valores referentes ao *retrofit* e ao novo sistema de proteção foram comparados e analisados, porém não foram divulgados, mas a empresa optou pela realização do *retrofit* pela justificativa do custo/benefício.

Com a realização do *retrofit* do sistema de proteção, pôde-se alcançar os seguintes benefícios: maior proteção do sistema de MT, visto que anteriormente não tinha proteção de sobrecorrente na fase S e agora tem; sistema de proteção coordenado e seletivo após a implantação do estudo de coordenação e seletividade; função *watchdog* habilitada nos relés de proteção dos cubículos de MT, garantindo um perfeito funcionamento do relé e em caso de alguma anomalia o relé comuta sua saída digital para abertura do disjuntor; garantia de atuação das proteções instantânea e temporizada de fase e neutro dos relés substituídos, visto que foram realizados os ensaios de todos os relés após o *retrofit*; facilidade em identificar a falta ocorrida, visto que o relé possui leds de identificação da falta detectada e possibilita a oscilografia para analisar os fasores de corrente no momento da ocorrência da falta; aumento da autonomia dos equipamentos essenciais da SE para 10 horas, em caso de falta de energia, com a substituição do banco de baterias e retificador do sistema auxiliar.

Após a realização do *retrofit* foi recebido um retorno do supervisor de elétrica sobre a ocorrência de uma falta na rede que alimenta o britador, na ocasião foi detectado um curto

fase terra devido ao desprendimento da conexão no poste aéreo, e o sistema de proteção atuou de forma seletiva, de modo que o relé de saída do transformador de força foi sensibilizado fazendo abrir o disjuntor de MT, antes do *retrofit* foi relatado pelo supervisor que o sistema não estava seletivo, onde qualquer falta que ocorria na rede de MT sensibilizava o relé de entrada da SE, deixando toda a mineração sem energia.

Portanto, com a realização do *retrofit* foi possível obter uma maior confiabilidade no sistema de proteção da SE, aumento da vida útil do sistema de proteção, maior segurança aos equipamentos que formam a SE, devido a atuação adequada das proteções.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações: Estudo de reabilitação e Adaptação das Edificações Antigas às necessidades atuais.** 2004. 189 f. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- DUAILIBE, Paulo. **Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção.** Consultoria para uso eficiente de energia. 1999. 85 p. Disponível em <<http://www.vieiraevarela.com.br/arquivos/SE.pdf>> Acesso: 29 maio. 2023.
- GONDIM, Pedro. **Estudo dos relés eletromecânicos aos digitais nos sistemas elétricos de potência.** 2010. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade acadêmica de Engenharia Elétrica. Campina Grande, 2010.
- JUNIOR, Eloi. **Validação técnica e econômica da modernização do sistema de proteção da distribuição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de energia e automação elétricas. São Paulo, 2006.
- MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC | Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2022. 584 p.
- MUZY, Gustavo Luiz Castro de Oliveira. **Subestações Elétricas.** 2012. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica | Ufrj, Rio de Janeiro, 2012. Cap. 04. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005233.pdf>. Acesso em: 20 maio 2023.)
- NUNES, André. SILVA, Renato. Subestação de energia elétrica: Viabilidade e confiabilidade na instalação. **Repositório anima educação.** 2021. Disponível em <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/17569>>. Acesso: 20 maio. 2023.
- PONDER ELÉTRICA LTDA. **Estudo de Coordenação e Seletividade.** 2022.
- PONDER ELÉTRICA LTDA. **Laudo Técnico de Manutenção Preventiva em Subestações.** 2022.
- PRONOR LTDA. **Memorial de Cálculo.** 1993.
- PRONOR LTDA. **Memorial Descritivo.** 1993.
- PRONOR LTDA. **Diagrama Funcional da Mesa de Comando.** 1993.

SAMPAIO, André Lawson Pedral. **CONSOLIDAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO PARA A DISCIPLINA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – DISJUNTORES**. 2012. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8976/1/monopoli10005016.pdf>. Acesso em: 19 maio 2023.

SERVIMAN. **Diagrama Unifilar Geral**. 2020.

SILVA, Matheus Jouan Raymundo da. **PROJETO ELÉTRICO BÁSICO DE UMA SUBESTAÇÃO INDUSTRIAL TÍPICA NA CLASSE 15kV**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/121248/000735119.pdf;jsessionid=4F28C158045CFE5F1B3743F8D037C005?sequence=1>. Acesso em: 20 maio 2013.

ANEXO A – RELATÓRIO DE CURTO-CIRCUITO - CASO 1

DAPPER Fault Contribution Complete Report

Comprehensive Short Circuit Study Settings

Three Phase Fault	Yes	Faulted Bus	All Buses
Single Line to Ground	Yes	Bus Voltages	First Bus From Fault
Line to Line Fault	Yes	Branch Currents	First Branch From Fault
Line to Line to Ground	No	Phase or Sequence	Report phase quantities
Motor Contribution	Yes	Fault Current Calculation	Initial Symmetrical RMS (with 1/2 Cycle Asym)
Transformer Tap	Yes	Asym Fault Current at Time	0.50 Cycles
Xformer Phase Shift	Yes		

Bus Name	Contributions		Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
			3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
0001B			2,155	1,134	0	1,866	2,293	1,325	0	1,986		
CB_1	CABLE	In	26	9	0	23	28	11	0	24		
CB_2	CABLE	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
CIA_69KV	UTILITY	In	2,130	1,126	0	1,845	2,266	1,314	0	1,963	1,134	
BUS-0006			2,155	1,134	0	1,866	2,293	1,325	0	1,986		
CB_1	CABLE	In	2,130	1,126	0	1,845	2,266	1,314	0	1,962	1,134	
SEC_AT_32C3-5	PI-EQUI	In	26	9	0	23	28	11	0	24		

Bus Name	Contributions		Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
			3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
SEC_AT_32C4-5	PI-EQUI	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
BUS-0007			2,155	1,134	0	1,866	2,293	1,325	0	1,986		
CB_2	CABLE	In	2,155	1,134	0	1,866	2,293	1,325	0	1,986	1,134	
SEC_AT_32C5-5	PI-EQUI	Out										
SEC_AT_32C6-5	PI-EQUI	Out										
BUS-0008			2,086	1,116	0	1,806	2,207	1,293	0	1,912		
TR1	2W-XFMR	In	26	9	0	23	28	11	0	24		
SEC_AT_32C3-5	PI-EQUI	In	2,061	1,107	0	1,785	2,181	1,282	0	1,889	1,116	
SEC_AT_32C5-5	PI-EQUI	Out										
BUS-0009			2,084	1,116	0	1,805	2,205	1,292	0	1,910		
TR2	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
SEC_AT_32C4-5	PI-EQUI	In	2,084	1,116	0	1,805	2,205	1,292	0	1,910	1,116	
SEC_AT_32C6-5	PI-EQUI	Out										
001B			3,075	100	0	2,663	4,176	100	0	3,616		
C_BRITAGEM	CABLE	In	299	6	0	259	406	6	0	351		
TR1	2W-XFMR	In	2,776	93	0	2,404	3,770	93	0	3,265	100	

Bus Name	Contributions		Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
			3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
C_BRITAGEM-1	CABLE	In	2,572	92	0	2,228	3,144	92	0	2,722	99	
C_BRITAGEM-2	CABLE	In	301	7	0	261	368	7	0	319		
TR_ILU	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
04B			3,743	3,846	0	3,241	4,228	4,343	0	3,662		
TR_OFICINA	2W-XFMR	In	3,743	3,846	0	3,241	4,228	4,343	0	3,662	3,846	
007B			2,681	98	0	2,322	3,071	98	0	2,660		
C_BRITAGEM-2	CABLE	In	2,383	90	0	2,064	2,730	90	0	2,364	98	
C_BRITAGEM-3	CABLE	In	304	7	0	263	348	7	0	301		
TR_OFICINA	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
003B			2,604	97	0	2,168	2,755	97	0	2,386		
C_BRITADOR	CABLE	In	306	8	0	265	337	8	0	292		
C_BRITAGEM-3	CABLE	In	2,208	89	0	1,912	2,430	89	0	2,104	97	
TR_BRITAGEM	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
05B			15,467	17,911	0	13,394	18,433	21,696	0	15,963		
TR_BRITAGEM	2W-XFMR	In	15,467	17,911	0	13,394	18,433	21,696	0	15,963	17,911	
004B			2,604	97	0	2,168	2,755	97	0	2,386		

Bus Name	Contributions		Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
			3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
LINK BARRAS	PI-EQUI	Out										
002B			2,780	100	0	2,407	3,777	100	0	3,271		
TR2	2W-XFMR	In	2,780	100	0	2,407	3,777	100	0	3,271	100	
TR_AUX	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
LINK BARRAS	PI-EQUI	Out										
01B			4,220	4,345	0	3,655	4,819	4,944	0	4,174		
TR_AUX	2W-XFMR	In	4,220	4,345	0	3,655	4,819	4,944	0	4,174	4,345	
005B			3,021	99	0	2,617	3,971	99	0	3,439		
C_BRITAGEM	CABLE	In	2,722	93	0	2,357	3,578	93	0	3,098	99	
C_BRITAGEM-1	CABLE	In	299	7	0	259	394	7	0	341		
TR_ADM	2W-XFMR	In	0	0	0	0	0	0	0	0		
02B			6,054	6,294	0	5,243	7,026	7,277	0	6,084		
TR_ADM	2W-XFMR	In	6,054	6,294	0	5,243	7,026	7,277	0	6,084	6,294	
03B			625	628	0	541	673	676	0	583		
TR_ILU	2W-XFMR	In	625	628	0	541	673	676	0	583	628	
006B			2,872	99	0	2,487	3,510	99	0	3,039		

Bus Name	Contributions		Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
			3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
C_BRITADOR	CABLE	In	2,208	89	0	1,912	2,430	89	0	2,104	97	
MTR_BRITADOR	IND-MTR	In	306	8	0	265	337	8	0	292		

ANEXO B – RELATÓRIO DE CURTO-CIRCUITO - CASO 2

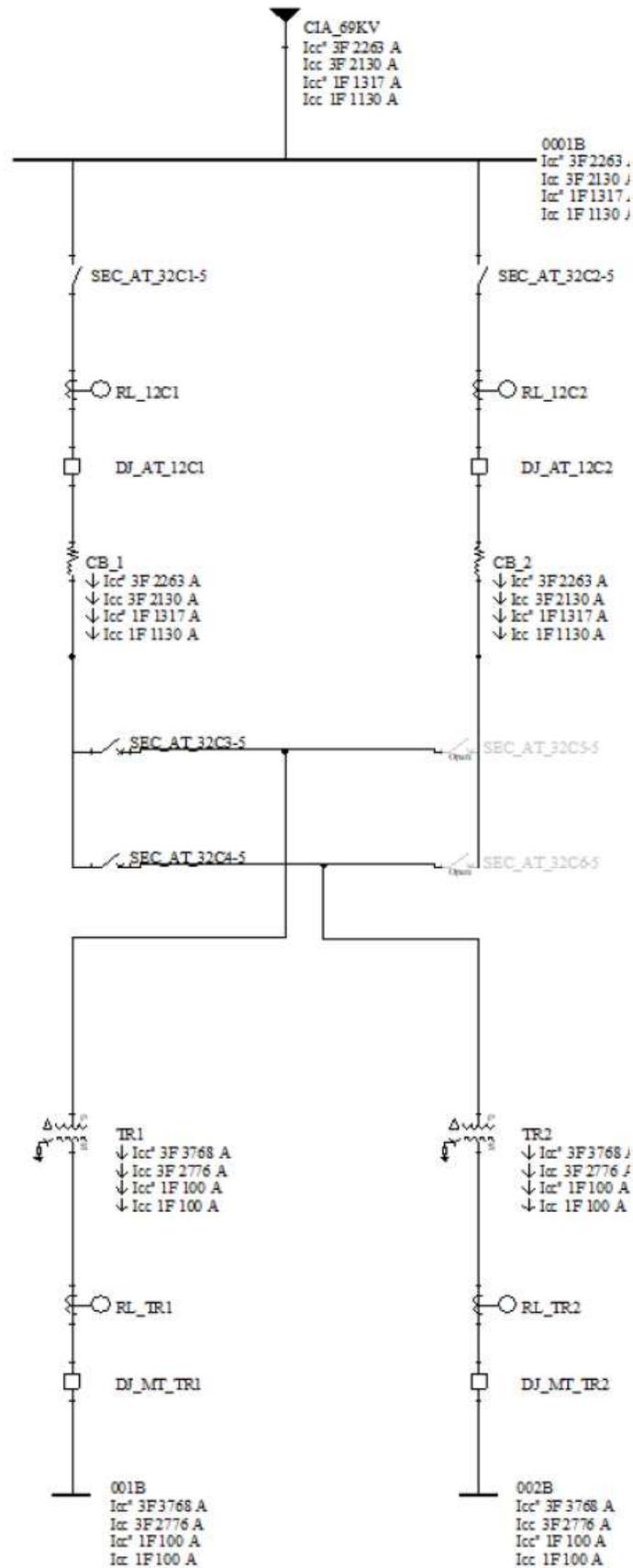
DAPPER Fault Contribution Complete Report

Comprehensive Short Circuit Study Settings

Three Phase Fault	Yes	Faulted Bus	All Buses
Single Line to Ground	Yes	Bus Voltages	First Bus From Fault
Line to Line Fault	Yes	Branch Currents	First Branch From Fault
Line to Line to Ground	No	Phase or Sequence	Report phase quantities
Motor Contribution	No	Fault Current Calculation	Initial Symmetrical RMS (with 1/2 Cycle Asym)
Transformer Tap	Yes	Asym Fault Current at Time	0.50 Cycles
Xformer Phase Shift	Yes		

Bus Name	Contributions			Initial Symmetrical Amps				Asymmetrical Amps				Init Sym Neutral Amps	
				3 Phase	SLG	LLG	LL	3 Phase	SLG	LLG	LL	SLG	LLG
0001B				2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960		
CB_1	CABLE	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
CB_2	CABLE	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
CIA_69KV	UTILITY	In		2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960	1,130	
BUS-0006				2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960		
CB_1	CABLE	In		2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960	1,130	
SEC_AT_32C3-5	PI-EQUI	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
SEC_AT_32C4-5	PI-EQUI	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
BUS-0007				2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960		
CB_2	CABLE	In		2,130	1,130	0	1,845	2,263	1,317	0	1,960	1,130	
SEC_AT_32C5-5	PI-EQUI	Out											
SEC_AT_32C6-5	PI-EQUI	Out											
BUS-0008				2,061	1,112	0	1,785	2,178	1,285	0	1,886		
TR1	2W-XFMR	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
SEC_AT_32C3-5	PI-EQUI	In		2,061	1,112	0	1,785	2,178	1,285	0	1,886	1,112	
SEC_AT_32C5-5	PI-EQUI	Out											
BUS-0009				2,061	1,112	0	1,785	2,178	1,285	0	1,886		
TR2	2W-XFMR	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
SEC_AT_32C4-5	PI-EQUI	In		2,061	1,112	0	1,785	2,178	1,285	0	1,886	1,112	
SEC_AT_32C6-5	PI-EQUI	Out											
001B				2,776	100	0	2,404	3,768	100	0	3,263		
C_BRITAGEM	CABLE	In		0	0	0	0	0	0	0	0		
TR1	2W-XFMR	In		2,776	100	0	2,404	3,768	100	0	3,263	100	

ANEXO C – UNIFILAR CUB. ENTRADA L1/L2 COM NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO – CASO 2



ANEXO D – UNIFILAR CUB. ENTRADA TR1/TR2 COM NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO – CASO 2

