



Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Engenharia Elétrica-Laboral

**PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA
DL4/DL22**

Estudante:

Nhabomba, Albino Anosse

Supervisor:

Eng. Gerson Zango

Maputo, Julho de 2023

NHABOMBA, ALBINO ANOSSE

**PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA
DL4/DL22**

Projeto, referente a Disciplina de Projeto de Curso, como requisito de aprovação nesta mesma, enquadrada no Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane.
SUPERVISOR: Eng. Gerson Zango



DIVISÃO DE TRANSPORTE SUL

A
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
Av. Moçambique, Km 1,5, C. Postal 257
Telf. 258 21 475315

Nossa Referência:
135/DTSU/2023
N.º de Páginas: 1+0

Vossa Referência:
TR-007/2023

Data:
17-02-2023

Contacto:
Moises Mucambe
moises.mucambe@edm.co.mz
Telefone: +258 84 619 2700

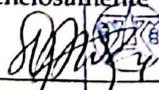
Assunto: Resposta ao Pedido de Estágio Profissional

Acusamos a recepção da carta de V.Excia, através da qual solicita o estágio profissional a favor do Sr. Albino Anosse Nhabomba, estudante do curso de Engenharia Elétrica, pelo que vimos pela presente informar que a mesma mereceu a nossa especial atenção.

Atinente ao mesmo, temos a honra de informar que estamos disponíveis para o acolhimento, podendo para o efeito apresentar-se a partir do dia 13 de Março de 2023, munido dos equipamentos de segurança abaixo, as atividades serão coordenadas pelo Eng. Augusto Machiane.

1. Fato macaco de 2 peças;
2. Par de botas;
3. Par de Luvas de cabedal;
4. Capacete;
5. Óculos de Protecção;
6. Apólice de seguros

Atenciosamente


ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE. E.P.
DIVISÃO DE TRANSPORTE SUL - DTSU
MAPUTO

Solomone Manhique
Director

Página 1 de (1)

ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE

	FICHA DE AVALIAÇÃO ESTAGIARIO	ANO: 2023
		Código do Avaliador: AFE638
Nome:	ALBINO ANOSSE NHABOMBA	
Código:		
CN/CS:	DTSU	
Transporte:	DTSU	
Departamento:	SUBESTAÇÕES	

A seguir discrimina-se um conjunto de factores relacionados com desempenho do estagiário. Analise cada um deles indique somente **UM** marcando com um **X** no número correspondente.

	1	2	3	4	5
1 CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO					
1.1 Planeamento, organização e método de trabalho				X	
1.2 Qualidade de trabalho			X		
1.3 Definição de prioridades				X	
1.4 Conclusão atempada das tarefas				X	
1.5 Eficácia dos resultados			X		
2 CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS					
2.1 Conhecimentos técnicos			X		
2.2 Conhecimento da Unidade de Negócio				X	
2.3 Interesse na aquisição de novos conhecimentos					X
3 RESPONSABILIDADE					
3.1 Pontualidade					X
3.2 Assiduidade					X
3.3 Bom senso				X	
3.4 Utilização de materiais e equipamento de trabalho			X		
4 ATITUDE					
4.1 Disponibilidade				X	
4.2 Iniciativa				X	
4.3 Empenho					X
4.4 Espírito de equipa			X		
4.5 Satisfação das necessidades dos clientes					
5 POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO					
5.1 Capacidade de aprendizagem				X	
5.2 Adaptação a novas situações			X		
5.3 Criatividade e inovação					X
5.4 Vontade de progredir					
6 MEDIA	16,4 valores				

ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE

COMENTÁRIOS DO AVALIADOR

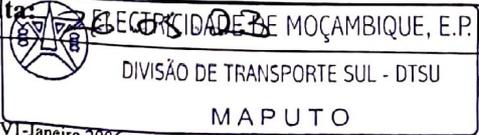
PONTOS FORTES	PONTOS A MELHORAR
Tem interesse na aquisição de novos conhecimentos	Deve aplicar-se mais na investigação de avarias em circuitos de comando.

NECESSIDADES DE FORMAÇÃO
- Formação em sistemas de protecções eléctricas

COMENTÁRIOS DO AVALIADO
Concordo com a avaliação efectuada.

DATA E ASSINATURAS

ASSINATURA DO AVALIADO	AVALIADOR CHEFIA DIRECTA
<i>Albino Amosse Xhobomba</i> Data: 26/05/2023	<i>Augusto Paulo Machiani</i> Data: 26/05/2023

ASSINATURA DO DIRECTOR / CHEFE DE DIVISÃO	COMENTÁRIOS
<i>P. P. POSSA</i> Data: 26/05/2023 	



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Curso de Engenharia Eléctrica

TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD04

Data: 20/02/2023

1. TÍTULO DO TEMA

Proposta de melhoramento do sistema de proteção da linha de transporte DL4/DL22

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER

Introdução:

A EDM como empresa estatal foi criada em 27 de agosto de 1977, há sensivelmente dois anos depois da independência de Moçambique. O seu objetivo era o estabelecimento e a exploração do serviço público de Produção, Transporte e Distribuição de energia Eléctrica. Sendo Transporte um dos objetivos da EDM, a DTSU é responsável pelo transporte da região sul do país que lida com as subestações desta região. As subestações de energia eléctrica são as responsáveis pela transmissão e distribuição da electricidade das fontes geradoras até os consumidores e, com os avanços tecnológicos e a consequente automatização das mesmas, a energia eléctrica passou a ser entregue com maior continuidade e confiabilidade. Os sistemas de proteção nas subestações são os grandes responsáveis por fazer com que a energia eléctrica chegue aos consumidores finais com qualidade, já que sua função é impedir a propagação de qualquer tipo de falha ocorrida em qualquer ponto da transmissão até aos centros de carga. Esses sistemas são constituídos, basicamente, pelos transformadores de corrente e de potencial, pelos relés de proteção e pelos disjuntores e chaves seccionadoras.

Portanto, torna-se fundamental entender melhor o funcionamento desses equipamentos, assim como do sistema em geral.

Formulação do Problema

A maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica, não são planejados com a coordenação dos dispositivos de proteção em mente, e pode falhar na coordenação adequada dos dispositivos de proteção. Falhas na coordenação e seletividade dos relés podem facilmente resultar em uma queda de energia no sistema inteiro. No dia 21 de fevereiro de 2023, as 15h17min registou-se um disparo da DL4 que resultou na retirada de outras subestações como a da CTM, bem como a subestação elétrica 7.

O defeito foi provocado pelo condutor antigo da DL4A (comissionada em 1972) sobre a DL22 que durou cerca de 1 segundo na rede. Neste período de defeito, dispararam os relés das outras linhas em zonas diferentes.

Com os disparos acima mencionados, toda carga deste circuito foi tomada pela CTM Geração, que transitou de uma potência de 60MW para 95MW durante 1 segundo, o que culminou no disparo dos grupos geradores por funcionar de baixo da frequência nominal (*underfrequency*) 1º estágio, interrompendo deste modo o fornecimento de energia às Subestações CTM, SE4, SE5, SE6 e SE7.

A linha DL4 outrora alimentava a SE INFULENE a partir da CTM, mas com o crescimento do consumo esta linha foi derivada e passou a alimentar uma nova SE chamada SE7. E com o passar do tempo os defeitos foram aumentando na rede e a performance das proteções baixou devido a esta configuração que não é ideal surgindo deste modo uma grande necessidade de melhorar o sistema de proteção neste trecho.

Como fazer com que o sistema de Proteção atue especificamente para a falha em causa?

Justificativa

Os sistemas elétricos geralmente usam fusíveis, disjuntores e relés para proteger seus equipamentos elétricos. No caso de ocorrer uma falha, seria desejável que um curto-circuito afetasse apenas a parte do sistema elétrico onde a falha ocorreu, em

vez de todo o sistema. Um estudo de coordenação e seletividade de Disjuntores, Relés e Fusíveis é usado para analisar os tempos de disparo para uma série de dispositivos com sobrecorrente que estão sendo comparados, geralmente da fonte até o maior dispositivo do circuito ramificado.

Um sistema devidamente coordenado tem cada um dos seus dispositivos de proteção ajustados para minimizar o impacto negativo das falhas do equipamento. Sendo assim, pode se notar que esta coordenação e seletividade não se verifica na linha DL4 que tem uma bifurcação para DL22, pois estes usam relés de distância para localização da falta e por conta desta derivação, a leitura feita pelos relés não é fiável havendo assim a necessidade de uma nova configuração, removendo a derivação e alocar as linhas diretamente num barramento e redimensionar os relés de proteção.

Objetivo geral:

Propor o melhoramento do sistema de proteção da linha de transporte DL4 - DL22

Objetivos específicos:

- Descrever o estado atual da configuração da rede de transporte nos troços DL4 que interliga a SE Infulene à SE da CTM e DL22 da derivação da 2M à SE7;
- Apresentar uma proposta de configuração da rede nestes troços;
- Efetuar o dimensionamento de novos dispositivos de proteção que serão usados na nova configuração.

Metodologias:

Para a elaboração deste relatório serão aplicadas três metodologias:

- **Revisão bibliográfica:** Consistirá em pesquisa e leituras de manuais na sua maioria eletrônicos dos quais estarão citados nas referências bibliográficas ou outra bibliografia consultada;
- **Pesquisa de campo:** consistirá em visitas as subestações em que se pretende fazer o estudo da linha de transmissão elétrica, de modo a solicitar dados referentes à distância entre as subestações bem como outro dado que se achar importante para o posterior estudo ou análise.

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

EDM-E. P Moçambique-Divisão de Transporte Sul

4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM	Engenheiro Gerson Zango	<i>Gerson Zango</i>
Co-supervisor		
Da Instituição	Engenheiro Augusto Machiana	<i>Augusto Machiana</i>

Maputo, 23 de Março de 2023

O estudante

Albino Anosse Nhabomba
(Albino Anosse Nhabomba)

O Director do Curso

Zefanias José Mabote
(Engº. Zefanias José Mabote)

O Chefe da Comissão Científica

José Nelson Guambe
(Mestre José Nelson Guambe, Engº.)
03/03/23

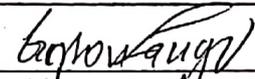
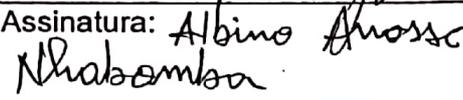
Plano de Atividades

Estágio Profissional

Tema: Proposta de melhoramento do sistema de proteção da linha de transporte
DL4/DL22

Referência: 2023ELEPD04

Data: 20/02/2023

Semana prevista	Data prevista	Hora prevista	Semana real	Data real	Duração real	Assunto
Semana 1	22/03/23	08H00	1	14/04/23	08H00 à 08H45	Apresentação do TAT de EP
Semana 2	31/03/23	08H00	2	31/03/23	08H00 à 08H45	Apresentação do Resumo Teórico
Semana 3	22/04/23	08H00	3	22/04/23	08H00 à 08H45	Desenvolvimento do trabalho: Apresentação e esclarecimento das dúvidas ao supervisor sobre proteções elétricas nas linhas de transmissão e aplicação de relés.
Semana 4	20/05/23	08H00	4	20/05/23	08H00 à 08H45	Apresentação do relatório final revisado
				Supervisor: Eng. Gerson Zango		Assinatura: 
				Estudante: Albino Anosse Nhabomba		Assinatura: 

Observações:

Data:

23/03/2023

Nome do estudante:

Albino Anosse Nhabomba

(Albino Anosse Nhabomba)



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO

Nome do estudante: Albino Anosse Nhabomba

Referência do tema: 2023ELEPD04

Data: 20 /02 /2023

Título do tema: PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA DL4/DL22

1. Resumo					
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5
Secção 1 subtotal (max: 5)					

2. Organização (estrutura) e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal (max: 45)										

3. Argumentação										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					
3.3. Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4. Relação objectivos/ métodos/ resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5. Relevância	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal (max: 30)										

4. Apresentação e estilo da escrita					
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5
4.4. Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc.)	1	2	3	4	5
Secção 4 subtotal (max: 20)					

Total de pontos (max: 100)		Nota (=Total*0,2)	
-----------------------------------	--	--------------------------	--

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE

(Auxiliar para o supervisor)

Nome do estudante: Albino Anosse Nhabomba

Referência do tema: 2023EPL04

Data:20/02/2023

Título do tema: **Proposta De Melhoramento Do Sistema De Proteção Da Linha DL4/DL22**

Indicador	Classificação				
	1	2	3	4	5
Atitude geral (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)	1	2	3	4	5
Dedicação e comprometimento (Deu grande prioridade ao projeto e aceitou as responsabilidades prontamente)	1	2	3	4	5
Independência (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)	1	2	3	4	5
Iniciativa (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)	1	2	3	4	5
Flexibilidade (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)	1	2	3	4	5
Sensibilidade (ouviu e tentou compreender as opiniões dos outros)	1	2	3	4	5
Criatividade (contribuiu com imaginação e novas ideias)	1	2	3	4	5
Total de pontos (max: 35)					

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

Total de pontos (max: 35)

Nota (=Total*20/35)



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO: ENGENHARIA ELÉTRICA (LABORAL)

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE ESTÁGIO
PROFISSIONAL**

Declaro que o estudante Albino Anosse Nhabomba entregou no dia
 /02/2023 as 3 cópias do relatório do seu Projeto do Curso com
referência: 2023ELEPD04

Intitulado: PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO
DA LINHA DL4/DL22

Maputo, 29 de 05 de 2023

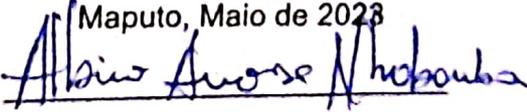
P A chefe da Secretaria

Arlete Chilconela

(Arlete Chilconela)

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu Albino Anosse Nhabomba, estudante do 5º nível do curso de Engenharia Eléctrica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declaro por minha honra que este trabalho é da minha autoria, sendo fruto dos conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação, investigação pessoal e da orientação do supervisor. O conteúdo deste trabalho é original e todos os documentos consultados estão devidamente identificados na bibliografia.

Maputo, Maio de 2023


(Albino Anosse Nhabomba)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais, amigos e irmãos Em Cristo Jesus.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio nos momentos difíceis, meus irmãos, em especial a minha Irmã Jéssica que sempre me apoiou financeiramente.

Ao Eng. Gerson Zango e ao Eng. Augusto Machiane pelas sábias análises e aconselhamentos no que diz respeito a como conduzir a pesquisa; que tratamento dar aos dados; e indicação de Manuais adequados com o tema.

RESUMO

O presente relatório foi elaborado com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema de proteção da linha Principal DL4 e na linha Derivada DL22, por forma a melhorar a alimentação da Subestação número 7.

As derivações na sua utilidade apresentam vantagens pela redução do custo de implantação, porém o custo de manutenção tende a ser muito mais caro, porque estas apresentam limitações de continuidade de serviço, no que diz respeito a resposta à atuação de defeitos que ocorrem ao longo das linhas intervenientes. Assim, quando ocorre um defeito (seja de manobra ou de impulso atmosférico) ao longo da DL4 ou da DL22, a proteção retira a alimentação de toda linha em radial, limitando a alimentação da SE7. É natural que existam mais linhas alternativas para alimentação da SE7, porém é lícito que as linhas sejam fiáveis no propósito no qual foram construídas, atendendo e considerando que não se verifica o princípio de contingências da linha. Sabendo que a CTM é um grande produtor de energia, entretanto conta-se com projetos futuros de alimentação através da geração da CTM, o que significa que SE7 passará a ser alimentada tanto da SE INF assim como da SE CTM, aliviando deste modo os transformadores de Infulene e aproveitando a energia da Central para aumentar a qualidade de energia aos consumidores.

Assim, o trabalho inicia com a análise das funções da proteção que controla a linha de Transporte DL4, e culmina com a inserção de um barramento que visa separar quando necessário, bem como garantir a seletividade e funcionalidade do sistema a linha principal que debita potência a DL22, o que de certa forma vai individualizar a função da proteção da DL4 no sentido SE Infulene à SE7, assim como a proteção da DL4 no sentido SE CTM à SE7.

Palavras Chave: Proteção, seletividade.

ABSTRACT

This report was prepared with the aim of improving the efficiency of the protection system on the Main Line DL4 and on the Derivative Line DL22, in order to improve the power supply to Substation number 7.

Derivations in their usefulness have advantages by reducing the cost of implementation, but the cost of maintenance tends to be much more expensive, because they have limitations of continuity of service, with regard to the response to the action of defects that occur along the lines. intervening lines. Thus, when a fault occurs (whether it is a maneuver or an atmospheric impulse) along DL4 or DL22, the protection removes the power supply from the entire radial line, limiting the power supply to SE7. It is natural that there are more alternative lines to feed the SE7, but it is legitimate that the lines are reliable in the purpose for which they were built, taking into account and considering that the principle of line contingencies does not apply. Knowing that CTM is a large energy producer, however, there are future power supply projects through the generation of CTM, which means that SE7 will be fed from both SE INF and SE CTM, thus relieving transformers of Infulene and taking advantage of the Central's energy to increase the quality of energy for consumers.

Thus, the work begins with the analysis of the protection functions that control the DL4 Transport line, and culminates with the insertion of a bus bar that aims to separate, when necessary, as well as guarantee the selectivity and functionality of the system, the main line that delivers power to DL22, which in a way will individualize the protection function of DL4 towards SE Infulene to SE7, as well as the protection of DL4 towards SE CTM to SE7.

Keywords: Protection, Selectivity.

ÍNDICE

Dedicatória	I
Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Índice	V
LISTA DE SÍMBOLOS e ABREVIATURAS	VI
Índice de Figuras	VII
Índice de Tabelas	VIII
1 Introdução	1
1.1 Formulação do Problema	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivo geral:	3
1.4 Objetivos específicos:	3
1.5 Metodologias:	3
2 Revisão da literatura	4
2.1 Sistema elétrico de potência	4
2.2 Estrutura do Sistema de Elétrico de Potência	5
2.2.1 Subestação Geradora	5
2.2.2 Subestação de Transmissão	5
2.2.3 Subestação de Subtransmissão	6
2.2.4 Subestação de Distribuição	6
2.3 Sistema de proteção de um Sistema elétrico de Potência	7
2.3.1 Constituição de um sistema de proteção para um sistema elétrico de potência	8
2.3.1.1 Tipos de Relés	12

3	Estudo de Caso.....	19
3.1	Descrição do Problema	19
3.2	A apresentação Atual da rede no troço	20
3.2.1	Parâmetros Técnicos da DL4 – DL22	21
3.2.2	Inconvenientes Da Configuração Atual	24
3.3	Proposta de Melhoramento	24
3.3.1	Simulação e Dimensionamento	27
3.3.2	Dimensionamento dos TCs	28
3.3.3	Especificações dos Transformadores de Potencial.....	31
3.3.4	Dimensionamento do Barramento	32
4	Conclusão	46
5	Bibliografia	47

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Δt – variação de tempo

A - Ampere

f – Frequência

In – Corrente Nominal

S1 – Seccionador número 1

S2 – Seccionador número 2

Sn – Potencia Aparente Nominal

Un – Tensão Nominal

V – Volt

VA – Volt-Ampere

W - Watt

ANS – American National Standards Institute

AT – Alta Tensão

MAT - Muito alta tensão

MIEBBC - Manual de Instalações Eléctricas da BBC BRO WN BOVERI

MT - Média tensão

CTM – Central Térmica de Maputo
EDM – Eletricidade de Moçambique
INF – Infulene
PS – Posto de Seccionamento
SE – Subestação
SE 7 – Subestação número 7
SE CTM – Subestação da Central Térmica de Maputo
SE INF – Subestação de Infulene
SF6 – Hexafluoreto de Enxofre
TC – Transformador de Corrente
TI – Transformador de Corrente
TP – Transformador de Potencial
CVT- Capacitive Voltage Transformer
TR – Transformador
TR1 – Transformador 1
TR13 – Transformador 13
VT – Transformador de Tensão ou de Potencial

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema elétrico de Potência.....	4
Figura 2: Sistema de Proteção do SEP.....	8
Figura 3: Transformador de Corrente.....	8
Figura 4: Transformador de potencial indutivo	10
Figura 5: Transformador de potencial capacitivo.....	10
Figura 6: Construção principal do transformador de potencial capacitivo	11
Figura 7: Representação em unifilar do relé 87 (diferencial).....	13
Figura 8: Esquema unifilar do relé de subtensão	13
Figura 9: Esquema unifilar do relé de sobretensão.....	14
Figura 10: Representação do relé de bloqueio em esquemas unifilares e uma foto do mesmo.....	15
Figura 11: Esquema unifilar do relé 21 e o seu princípio de funcionamento. ...	15
Figura 12: Proteção de distância típica	16

Figura 13: Esquema unifilar do relé de frequência	17
Figura 14: Características das curvas do Relé 50/51 segundo a ANSI.....	18
Figura 15: Situação Atual do sistema de proteção no trecho DL4-DL22.....	21
Figura 16: Esquema da rede no trecho DL4/DL22	26
Figura 17: Simulação dos valores de curto circuito da rede.....	27
Figura 18: Ábaco BBC 70668 (Retirado do MIEBBC)	34
Figura 19: Trecho de uma subestação visto em corte.....	35
Figura 20: Trecho de uma subestação visto de cima	36
Figura 21: Fator m retirado do Ábaco BBC 736966	41
Figura 22: Fator n retirado do Ábaco BBC 736966	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros técnicos das Linhas DL4-DL22	21
Tabela 2: Parâmetros Principais das Subestações EM Estudo.....	22
Tabela 3: Principais parâmetros dos Transformadores.....	22
Tabela 4: Tipo de Proteção da DL4-DL22.....	22
<i>Tabela 5: Características Técnicas do Disjuntor da DL4 – SE Infulene</i>	<i>23</i>
Tabela 6: Padronização dos Tps.....	31
Tabela 7: Especificações dos Tps.....	32
Tabela 8: Parâmetros do Barramento	32
Tabela 9: Fator K.....	40
Tabela 10: Limite de elasticidade (Módulo de Young).....	43

1 INTRODUÇÃO

A EDM como empresa estatal foi criada em 27 de agosto de 1977, há sensivelmente dois anos depois da independência de Moçambique. O seu objetivo era o estabelecimento e a exploração do serviço público de Produção, Transporte e Distribuição de energia Elétrica. Sendo Transporte um dos objetivos da EDM, a DTSU é responsável pelo transporte da região sul do país que lida com as subestações desta região. As subestações de energia elétrica são as responsáveis pela transmissão e distribuição da eletricidade das fontes geradoras até os consumidores e, com os avanços tecnológicos e a consequente automatização das mesmas, a energia elétrica passou a ser entregue com maior continuidade e confiabilidade. Os sistemas de proteção nas subestações são os grandes responsáveis por fazer com que a energia elétrica chegue aos consumidores finais com qualidade, já que sua função é impedir a propagação de qualquer tipo de falha ocorrida em qualquer ponto da transmissão até aos centros de carga. Esses sistemas são constituídos, basicamente, pelos transformadores de corrente e de potencial, pelos relés de proteção e pelos disjuntores e chaves seccionadoras. Portanto, torna-se fundamental entender melhor o funcionamento desses equipamentos, assim como do sistema em geral.

1.1 Formulação do Problema

A maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica, não são planejados com a coordenação dos dispositivos de proteção em mente, e pode falhar na coordenação adequada dos dispositivos de proteção. Falhas na coordenação e seletividade dos relés podem facilmente resultar em uma queda de energia no sistema inteiro. No dia 21 de fevereiro de 2023, as 15h17min registou-se um disparo da DL4 que resultou na retirada de outras subestações como a da CTM, bem como a subestação elétrica 7.

O defeito foi provocado pelo condutor antigo da DL4A (comissionada em 1972) sobre a DL22 que durou cerca de 1 segundo na rede. Neste período de defeito, dispararam os relés das outras linhas em zonas diferentes.

Com os disparos acima mencionados, toda carga deste circuito foi tomada pela CTM Geração, que transitou de uma potência de 60MW para 95MW durante 1 segundo, o que culminou no disparo dos grupos geradores por funcionar de baixo da frequência nominal (*underfrequency*) 1º estágio, interrompendo deste modo o fornecimento de energia às Subestações CTM, SE4, SE5, SE6 e SE7.

A linha DL4 outrora alimentava a SE INFULENE a partir da CTM, mas com o crescimento do consumo esta linha foi derivada e passou a alimentar uma nova SE chamada SE7. E com o passar do tempo os defeitos foram aumentando na rede e a performance das proteções baixou devido a esta configuração que não é ideal surgindo deste modo uma grande necessidade de melhorar o sistema de proteção neste troço.

Como fazer com que o sistema de Proteção atue especificamente para a falha em causa?

1.2 Justificativa

Os sistemas elétricos geralmente usam fusíveis, disjuntores e relés para proteger seus equipamentos elétricos. No caso de ocorrer uma falha, seria desejável que um curto-circuito afetasse apenas a parte do sistema elétrico onde a falha ocorreu, em vez de todo o sistema. Um estudo de coordenação e seletividade de Disjuntores, Relés e Fusíveis é usado para analisar os tempos de disparo para uma série de dispositivos com sobrecorrente que estão sendo comparados, geralmente da fonte até o maior dispositivo do circuito ramificado.

Um sistema devidamente coordenado tem cada um dos seus dispositivos de proteção ajustados para minimizar o impacto negativo das falhas do equipamento.

Sendo assim, pode se notar que esta coordenação e seletividade não se verifica na linha DL4 que tem uma bifurcação para DL22, pois estes usam relés de distância para localização da falta e por conta desta derivação, a leitura feita pelos relés não é fiável havendo assim a necessidade de uma nova configuração, removendo a derivação e alocar as linhas diretamente num barramento e redimensionar os relés de proteção.

1.3 Objetivo geral:

Propor o melhoramento do sistema de proteção da linha de transporte DL4 - DL22

1.4 Objetivos específicos:

- Descrever o estado atual da configuração da rede de transporte nos troços DL4 que interliga a SE Infulene à SE da CTM e DL22 da derivação da 2M à SE7;
- Apresentar uma proposta de configuração da rede nestes troços;
- Efetuar o dimensionamento de novos dispositivos de proteção que serão usados na nova configuração.

1.5 Metodologias:

Para a elaboração deste relatório serão aplicadas três metodologias:

- a) **Revisão bibliográfica:** Consistirá em pesquisa e leituras de manuais na sua maioria eletrônicos dos quais estarão citados nas referências bibliográficas ou outra bibliografia consultada;
- b) **Pesquisa de campo:** consistirá em visitas as subestações em que se pretende fazer o estudo da linha de transmissão elétrica, de modo a solicitar dados referentes à distância entre as subestações bem como outro dado que se achar importante para o posterior estudo ou análise.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistema elétrico de potência

O sistema Elétrico de Potência é uma rede que consiste em sistema de geração, transmissão e distribuição. O sistema elétrico de potência inclui os dispositivos conectados ao sistema, como gerador síncrono, motor, transformador, disjuntor, condutor, etc.

A central de energia, o transformador, a linha de transmissão, as subestações, a linha de distribuição e o transformador de distribuição são os seis principais componentes do sistema elétrico de potência. A central de energia gera a energia que é aumentada ou reduzida através do transformador para transmissão.

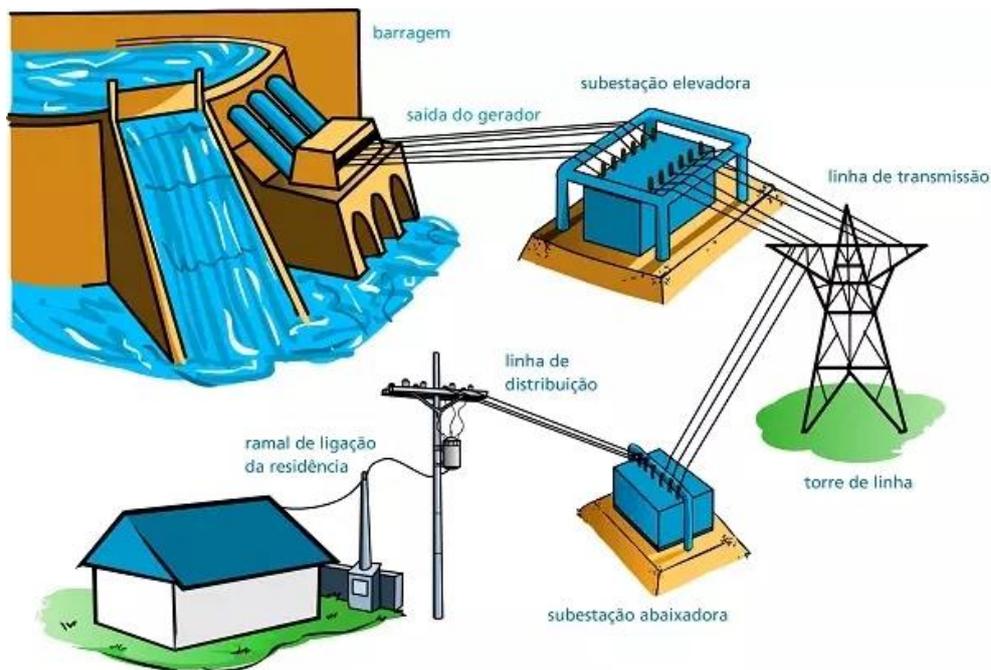


Figura 1: Sistema elétrico de Potência

Fonte: Mundo Elétrica

A linha de transmissão transfere a energia para as várias subestações. Através da subestação, a energia é transferida para o transformador de distribuição que rebaixa a energia para o valor adequado para os consumidores.

2.2 Estrutura do Sistema de Elétrico de Potência

O sistema elétrico de potência é o empreendimento complexo que pode ser subdividido nos seguintes subsistemas. Os subsistemas do sistema elétrico de potência são explicados abaixo em detalhes.

2.2.1 Subestação Geradora

Na estação geradora o combustível (carvão, água, energia nuclear, etc.) é convertido em energia elétrica. A energia elétrica é gerada na faixa de 3,3kV a 33kV, que é intensificada para transmissão de longa distância. A central da subestação geradora é classificada principalmente em três tipos, ou seja, central termoelétrica, central hidroelétrica e central nuclear.

O gerador e o transformador são os principais componentes da estação geradora. O gerador converte a energia mecânica em energia elétrica. A energia mecânica vem da queima de carvão, gás e combustível nuclear, turbinas a gás ou, ocasionalmente, do motor de combustão interna.

2.2.2 Subestação de Transmissão

A subestação de transmissão carrega as linhas aéreas que transferem a energia elétrica gerada da geração para as subestações de distribuição. Ela fornece apenas a maior parte da energia para subestações de energia em massa ou consumidores muito grandes.

As linhas de transmissão executam principalmente as duas funções:

- Ela transporta a energia das estações geradoras para as estações receptoras em massa.
- Ela interliga duas ou mais estações geradoras. As subestações vizinhas também são interligadas através das linhas de transmissão.

A tensão de transmissão está operando em mais de 33kV e é padronizada em 66kV, 110kV, 220KV, 400KV, linha a linha. A linha de transmissão acima de 400KV é geralmente chamada de extra alta tensão (EHV).

A linha de alta tensão termina em subestações que são chamadas de subestações de alta tensão, subestações recetoras ou subestações primárias. Na subestação de alta tensão, a tensão é reduzida para um valor adequado para a próxima parte do fluxo em direção à carga. Os grandes consumidores industriais podem ser atendidos diretamente pelo sistema de transmissão.

2.2.3 Subestação de Subtransmissão

A parte do sistema de transmissão que conecta as subestações de alta tensão através do transformador abaixador às subestações de distribuição é chamada de sistema de subtransmissão.

O nível de tensão da subtransmissão varia de 33kV a 110kV. O sistema de subtransmissão atende diretamente algumas grandes indústrias. O capacitor e o reator estão localizados nas subestações para manter a tensão da linha de transmissão.

A operação do sistema de subtransmissão é semelhante à de um sistema de distribuição. É diferente de um sistema de distribuição da seguinte maneira:

- Um sistema de subtransmissão tem um nível de tensão mais alto do que um sistema de distribuição.
- Fornece apenas cargas maiores.
- Abastece apenas algumas subestações em comparação com um sistema de distribuição que abastece algumas cargas.

2.2.4 Subestação de Distribuição

O componente de um sistema de energia elétrica conectando todos os consumidores em uma área às fontes de energia em massa é chamado de sistema de distribuição. As estações de energia em massa são conectadas às subestações geradoras por linhas de transmissão. Eles alimentam algumas subestações que geralmente estão situadas em pontos convenientes próximos aos centros de carga.

As subestações distribuem a energia para os consumidores domésticos, comerciais e relativamente pequenos. Os consumidores requerem grandes blocos de energia que são normalmente fornecidos em sistemas de subtransmissão ou mesmo de transmissão.

2.3 Sistema de proteção de um Sistema elétrico de Potência

O sistema de proteção elétrica tem como finalidade, como o próprio nome sugere, proteger, isto é, tornar mais seguro um ambiente ou um sistema elétrico e, assim, garantir um bom funcionamento. Para isso, são utilizados dispositivos específicos que cumprem uma determinada função num sistema. Um sistema de proteção deve ter as seguintes características:

- a) **Fiabilidade** – Requisito que garante o bom funcionamento da proteção, isto é, nos tempos definidos para proteger determinados equipamentos;
- b) **Seletividade** – Requisito que garante a minimização da perda de operação do SEE, isto é, o sistema de proteções deve apenas isolar o equipamento defeituoso;
- c) **Sensibilidade** – Requisito que garante a máxima fiabilidade na sua zona de atuação e permanece estável em condição de máxima carga;
- d) **Rapidez** – Requisito que garante a atuação dos equipamentos de proteção num tempo mínimo;
- e) **Proteção primária** – Um equipamento de proteção deve cobrir várias zonas. Este quando efetua proteção primária deve atuar em primeiro e o mais rapidamente na zona em que é ativo;
- f) **Proteção secundária (backup)** – Uma proteção além de proteger a sua zona principal deve assistir zonas periféricas. Esta proteção de backup deve atuar no caso de a proteção primária falhar por qualquer motivo.

2.3.1 Constituição de um sistema de proteção para um sistema elétrico de potência

Um sistema elétrico de potência devidamente projetado e protegido tem os seguintes equipamentos de proteção como ilustra a figura abaixo:

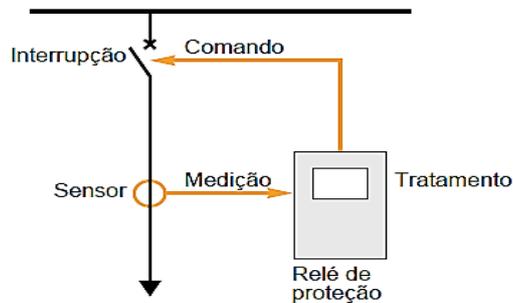


Figura 2: Sistema de Proteção do SEP

- a) **Sensores de medição de corrente e tensão** – fornecem as informações de medição necessárias à detecção das falhas. Esta tarefa é executada pelo transformador de Corrente e de Tensão.

Estes sensores ou ainda transdutores constituem um dos maiores componentes do sistema de proteção, pois tem a função de transformar as correntes e tensões do sistema de potência para magnitudes mais baixas. (SCHNEIDER)

TC - transformador de corrente: equipamento responsável pelo suprimento da corrente ao elemento de avaliação da corrente que se quer controlar. (MAMEDE)



Figura 3: Transformador de Corrente

Fonte: Super watts

TP - transformador de potencial: equipamento responsável pelo fornecimento da tensão ao elemento de avaliação da tensão que se quer controlar. (MAMEDE)

O transformador de potencial pode ser indutivo ou capacitivo.

O transformador de potencial indutivo é um componente de sistemas de alta tensão, utilizado para reduzir as tensões para valores tratáveis, transformando níveis elevados de tensão em valores estabelecidos para equipamentos de medição e proteção.

O transformador de potencial indutivo é ideal para instalações em pontos de medição, por conta de sua alta exatidão, pode ser utilizado em descarga de linhas de alta tensão e bancos de capacitores.

Na base do transformador de potencial indutivo fica localizada a parte ativa do aparelho, sua isolação é baseada no uso de óleo mineral e o tubo capacitivo se encontra dentro do isolador. Com função de compensar o nível de óleo com as variações de temperatura, a câmara de expansão fica na parte superior do transformador de potencial indutivo.

O transformador de potencial indutivo é hermeticamente selado, o tanque e flanges são feitos de alumínio e o nível de óleo pode ser visualizado através de um indicador. O equipamento é muito seguro, com proteção contra ferrorressonância e contra sobretensões transientes da rede de alta tensão.



Figura 4: Transformador de potencial indutivo

Fonte: Super watts

Transformadores de tensão capacitiva (CVTs) são usados em níveis de tensão mais altos, a partir de 66 kV e para cima. O tipo de CVT é sempre monopolar, assim a conexão é entre fase e terra. Quanto maior o nível de tensão, mais competitivo em termos de preço se torna o tipo capacitivo.



Figura 5: Transformador de potencial capacitivo

Fonte: <https://crushtymks.com/pt/>

Uma das vantagens do tipo capacitivo, em comparação com o tipo indutivo, é a possibilidade de usar transformadores de tensão capacitiva como unidades de acoplamento de alta frequência em direção ao sistema primário (over headlines).

Uma aplicação típica seria utilizar o CVTs para unidades de interface de sinal de alta frequência da portadora de linha de energia (PLC). Para fins de medição de tensão, o comportamento e a especificação de dados de CVTs seguem as mesmas diretrizes das indutivas. Além disso, a possibilidade de um acoplamento de sinal de alta frequência requer valor especificado para capacitância nominal (C_n). Esse valor é escolhido considerando os seguintes problemas:

- Magnitude de tensão a ser medida
- Demandas do sistema PLC (frequência, largura de banda, conexões)
- Considerações sobre fabricação de transformadores de tensão capacitiva.

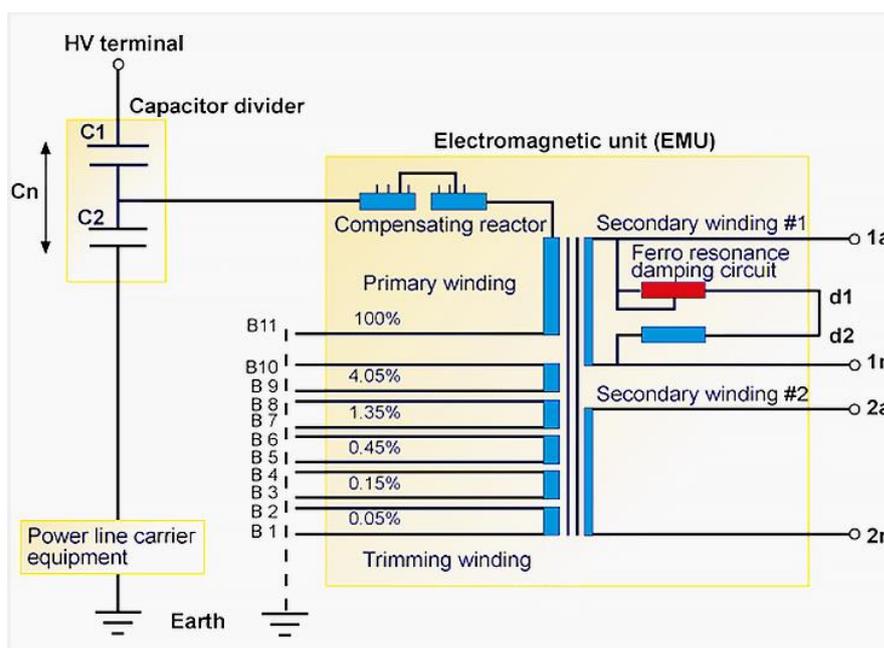


Figura 6: Construção principal do transformador de potencial capacitivo

Fonte: <https://crushtymks.com/pt/>

A figura acima mostra o princípio de um divisor de tensão capacitiva em que o transformador de tensão capacitiva é sediada. Os enrolamentos de recorte são usados para ajustar o sinal de saída para corresponder aos requisitos de classe de precisão necessários. O reator de compensação compensa a mudança do

ângulo de fase causada pelo divisor de tensão capacitivo. A capacitância no divisor de tensão, em série com a indutância do reator de compensação e do transformador enrolado (dentro da unidade eletromagnética EMU), constitui um circuito de ressonância sintonizado. Ao contrário do tipo indutivo de transformadores de tensão, os CVTs geralmente têm o circuito de amortecimento de ferrorressonância embutido no próprio CVT, como mostrado na figura anterior.

- b) **Relé de proteção** - encarregado da monitoração permanente do estado elétrico da rede até a elaboração dos comandos de eliminação das peças defeituosas e seu comando pelo circuito de trip. Executam a tarefa de elementos lógicos que começam com a operação de abertura de fecho.

2.3.1.1 Tipos de Relés

Nesta etapa serão descritos os relés de proteção mais usados:

a) Relé diferencial

São relés que operam quando a diferença da corrente de entrada em relação à corrente de saída ultrapassa um valor preestabelecido ou ajustado.

Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé diferencial é o 87. Pode receber uma letra adicional como 87T (diferencial de transformador), 87B (diferencial de barra), 87G (diferencial de gerador), 87M (diferencial de motor), etc.

Direcionalidade

Operam dentro de sua zona de proteção (entre os TCs de entrada e saída) em qualquer direção.

Polarização

A polarização do relé diferencial ocorre por corrente.

Conexão/esquemas

Para a representação em esquemas unifilares, vide Figura 3

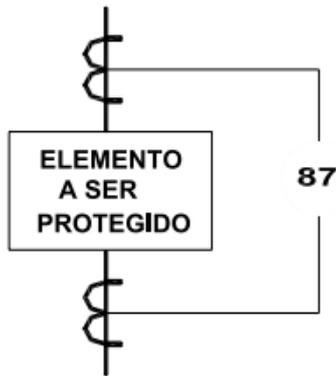


Figura 7: Representação em unifilar do relé 87 (diferencial)

Fonte: (Fascículo, 2023)

Relé de subtensão

São relés que operam quando a tensão do sistema cai abaixo de um valor preestabelecido ou ajustado.

Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de subtensão é o 27.

Polarização

A polarização do relé de subtensão é por tensão.

Conexão

A conexão do relé de subtensão é apresentada no esquema unifilar da Figura 4.

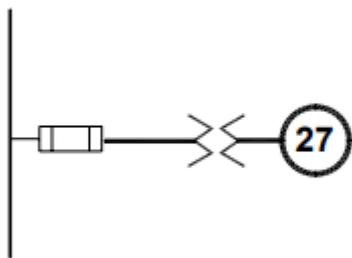


Figura 8: Esquema unifilar do relé de subtensão

Fonte: (Fascículo, 2023)

Relé de sobretensão

São relés que operam quando a tensão do sistema ultrapassa um valor preestabelecido ou ajustado.

Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de sobretensão é o 59.

Polarização

A polarização do relé de sobretensão é por tensão

Conexão

A conexão do relé de sobretensão é apresentada no esquema unifilar da Figura 5.

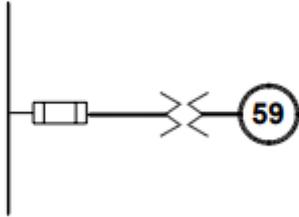


Figura 9: Esquema unifilar do relé de sobretensão.

Fonte: (Fascículo, 2023)

Relé de bloqueio

São relés que recebem sinais de desligamento de outros relés e atuam sobre o disjuntor. Sua função é bloquear o religamento do disjuntor no caso de falta, pois o disjuntor somente pode ser religado após este relé ser reiniciado e, assim, somente será religado por pessoa especializada e autorizada. Normalmente, apenas os relés de sobrecorrente são direcionados para este relé (50, 51, 50/51, 50/51N, 67, 87).

Função ANSI

O número ANSI para esta função é o 86.

Polarização

Não possui.

Conexão

A representação do relé de bloqueio em esquemas unifilares pode ser visualizada na Figura 6.



Figura 10: Representação do relé de bloqueio em esquemas unifilares e uma foto do mesmo

Fonte: (Fascículo, 2023)

A Figura 6 mostra um relé de bloqueio típico. Os relés de bloqueio possuem uma boa quantidade de contatos NA (normalmente abertos) e NF (normalmente fechados) para poderem realizar as lógicas de contato. Nos relés digitais e nos IEDs, a função de bloqueio pode ser feita pelo próprio relé.

Relé de distância

Um relé de distância pode ter esta função desempenhada por um relé de impedância (ou ohm), admitância (ou mho – o contrário de ohm), reatância ou relés poligonais. Este relé utiliza este nome visto que, quando há uma falta em uma linha, a impedância da linha vista pelo relé muda e depende da distância onde foi a falta.

Função ANSI

O número da função ANSI que representa o relé de distância é o 21.

Polarização

A polarização é por corrente e tensão.

Conexão

Conforme esquema unifilar apresentado na Figura 7.

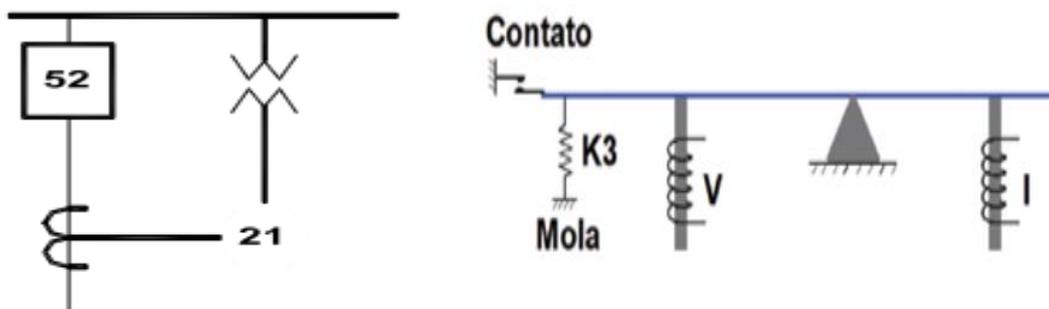


Figura 11: Esquema unifilar do relé 21 e o seu princípio de funcionamento.

Fonte: (Fascículo, 2023)

Principais pontos a serem considerados na aplicação de relés de distância

Apresenta-se a seguir alguns dos principais pontos a serem observados quando da aplicação de relés de distância:

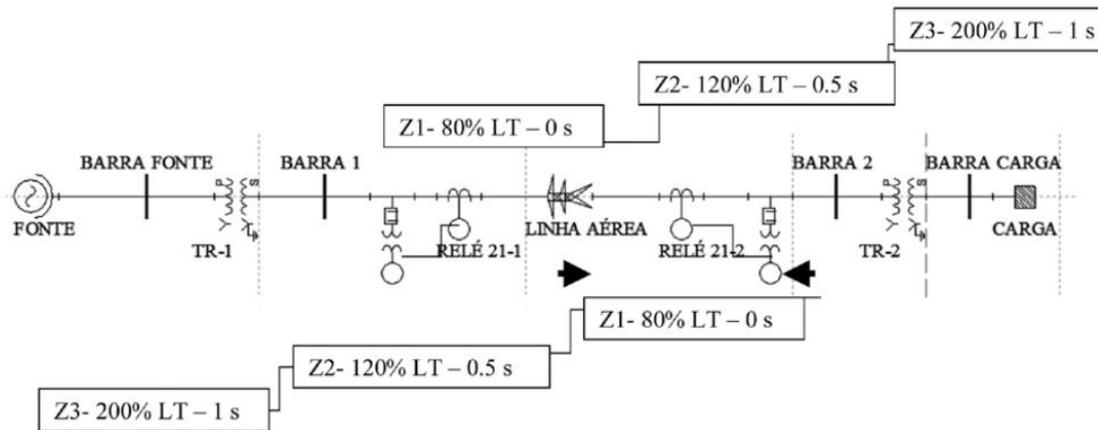


Figura 12: Proteção de distância típica

Fonte: (Fascículo, 2023)

Relé de frequência

São relés que operam quando a frequência do sistema cai (relé de subfrequência) abaixo ou ultrapassa (relé de sobrefrequência) um valor preestabelecido ou ajustado.

Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de frequência é o 81.

Polarização

A polarização do relé de frequência é por tensão.

Conexão

A conexão do relé de frequência é apresentada no esquema unifilar da Figura 9.

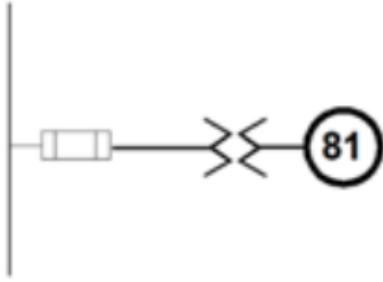


Figura 13: Esquema unifilar do relé de frequência

Fonte: (Fascículo, 2023)

Aplicação

A aplicação deste relé é feita em sistemas em que existe a possibilidade de haver a perda parcial de geração e ainda que estas perdas não possam ser toleradas por certo tempo. Outra aplicação desta proteção é feita em sistemas em que há a necessidade de rejeição de cargas (loadshedding), com o objetivo de descartar cargas de forma a recuperar a frequência do sistema.

Relé de Sobrecorrente

Os relés de sobrecorrente são o tipo de relé de proteção mais comumente usados. Estão disponíveis com várias características de temporização para coordenar com outros dispositivos de proteção e para proteger equipamentos específicos. Relé de sobrecorrente instantâneo não possuem retardo de tempo inerente e são usados para proteção rápida contra curto-circuito.

O nível de corte é definido pelo ajuste de tap, que geralmente é definido em amperes secundários no secundário do TC, mas pode ser definido em amperes no primário em alguns relés baseados em microprocessador.

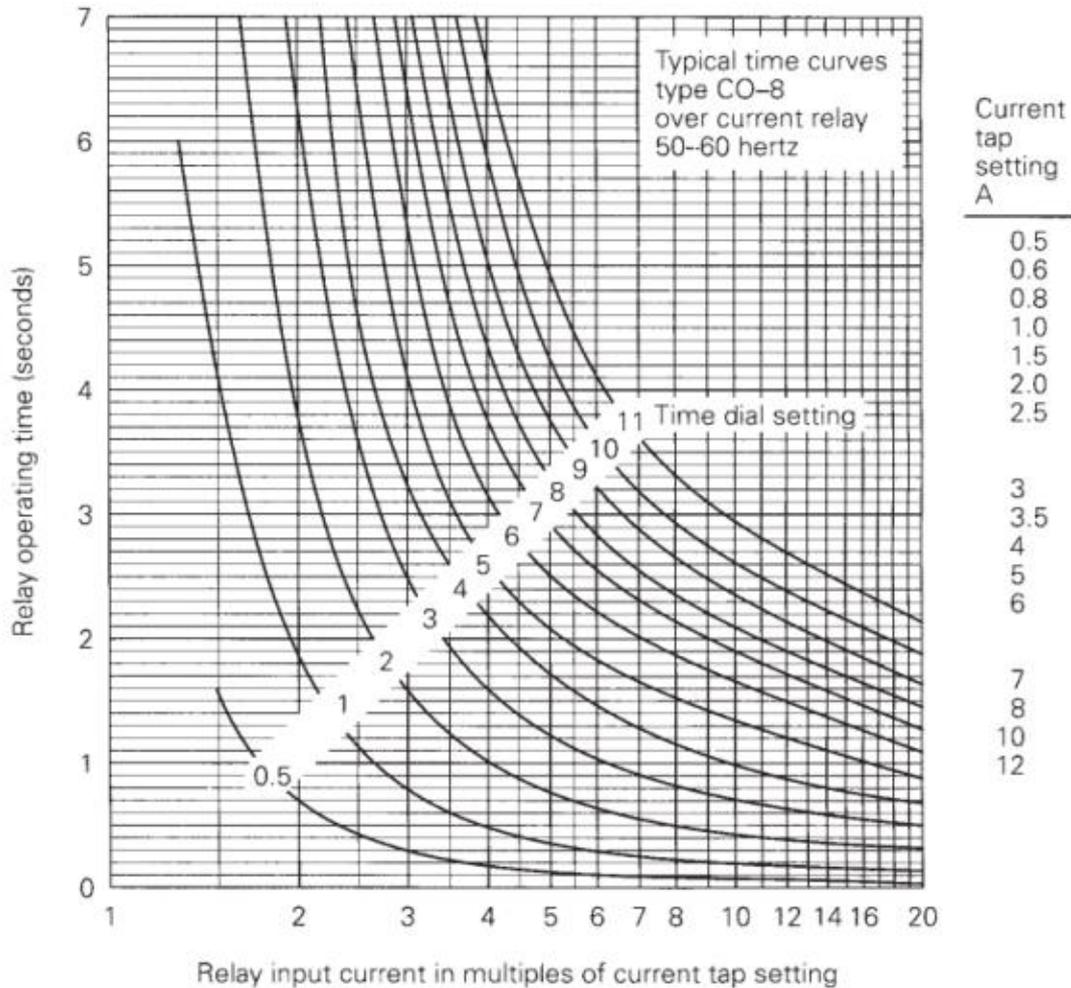


Figura 14: Características das curvas do Relé 50/51 segundo a ANSI

Fonte: Glover

Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de sobrecorrente é o 50/51.

Polarização

A polarização do relé de sobrecorrente é por corrente.

- c) **Dispositivos de interrupção** - com a função de eliminação de falha: disjuntores, interruptores com base fusível ou contadores com base fusível. Na maioria dos casos esta ação é executada pelo disjuntor.

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentados o problema e a proposta de resolução do mesmo. Este estudo centra-se na proteção que controla a linha de Transporte DL4-DL22 por forma a analisar até que ponto esta gere o Sistema de Transmissão de energia elétrica, garantindo a fiabilidade e continuidade de serviço da própria linha e de todo o sistema em geral.

Portanto, o que se pode constatar é que o relé que controla a DL4 também influencia na performance da DL22, isto significa que qualquer atuação da proteção ou alguma necessidade de manutenção da DL4 coloca condicionada a continuidade da DL22. Assim, este trabalho inicia com a análise da proteção da DL4 e culmina na inserção de um barramento que vai garantir com que os relés possam fazer uma leitura verdadeira da distância donde ocorreu a falta garantido assim a seletividade do Sistema. Visto que um dos maiores problemas da falta de seletividade é causado pelas derivações que existem nas linhas de transmissão elétrica.

Entretanto, pretende-se fazer um melhoramento do sistema, o qual deverá ser eficaz, atendendo que a rede deve operar com menos interrupções e sem a necessidade de reconfigurar a atualmente existente.

3.1 Descrição do Problema

O problema verifica-se quando no dia 21 de fevereiro de 2023, as 15h17min registou-se um disparo da DL4 que resultou na retirada de outras subestações como a da CTM, bem como a subestação elétrica 7.

O defeito foi provocado pelo condutor antigo da DL4A (comissionada em 1972) sobre a DL22 que durou cerca de 1 segundo na rede. Neste período de defeito, dispararam os relés das outras linhas em zonas diferentes.

Com os disparos acima mencionados, toda carga deste circuito foi tomada pela CTM Geração, que transitou de uma potência de 60MW para 95MW durante 1 segundo, o que culminou no disparo dos grupos geradores por funcionar de

baixo da frequência nominal (underfrequency) 1º estágio, interrompendo deste modo o fornecimento de energia às Subestações CTM, SE4, SE5, SE6 e SE7.

A linha DL4 outrora alimentava a SE INFULENE a partir da CTM, mas com o crescimento do consumo esta linha foi derivada e passou a alimentar uma nova SE chamada SE7. E com o passar do tempo os defeitos foram aumentando na rede e a performance das proteções baixou devido a esta configuração que não é ideal surgindo deste modo uma grande necessidade de melhorar o sistema de proteção neste troço.

3.2 A apresentação Atual da rede no troço

As linhas da Rede de Transporte Sul estão codificadas por letras que representam o nível de tensão destas. A rede elétrica da EDM tem as seguintes denominações:

Designação	Nível de Tensão
AL	400KV
BL	275KV
CL	110KV
DL	66KV
EL	33KV

As linhas em estudo fazem parte do grupo das linhas DL, denominadas por DL4 e a outra DL22. A linha DL4 que transmite potência a uma tensão trifásica de 66 kV, 50 Hz. Esta tem o seu início na SE Infulene e termina na SE CTM, com um comprimento igual a 7,5 Km com uma capacidade de 38 MVA, usando o condutor LEOPARD, construída com intuito inicial de abastecer bairros limítrofes a SE CTM. Porém esta função ficou alterada com o decorrer do tempo.

Em contrapartida foi construída uma DL22, que deriva da DL4 para SE7, com 7,9 Km, com uma capacidade de 50 MVA, usando o Condutor PANTHER, de onde foi derivada a 4,5 Km da DL4, no sentido SE Infulene para SE CTM, o qual este ponto encontrando-se junto a empresa 2M, no Bairro de Jardim. Neste ponto foi derivada a DL22 para a SE7.

O estudo terá ênfase no ponto em derivação que faz um cruzamento da DL4 e DL22, o onde está localizado na zona da empresa Cervejas de Moçambique, na Rua do Jardim, número 1329, no Bairro do Jardim. Analisar-se-á a atuação das proteções em função da configuração da linha que influencia no sentido do fluxo de potência.

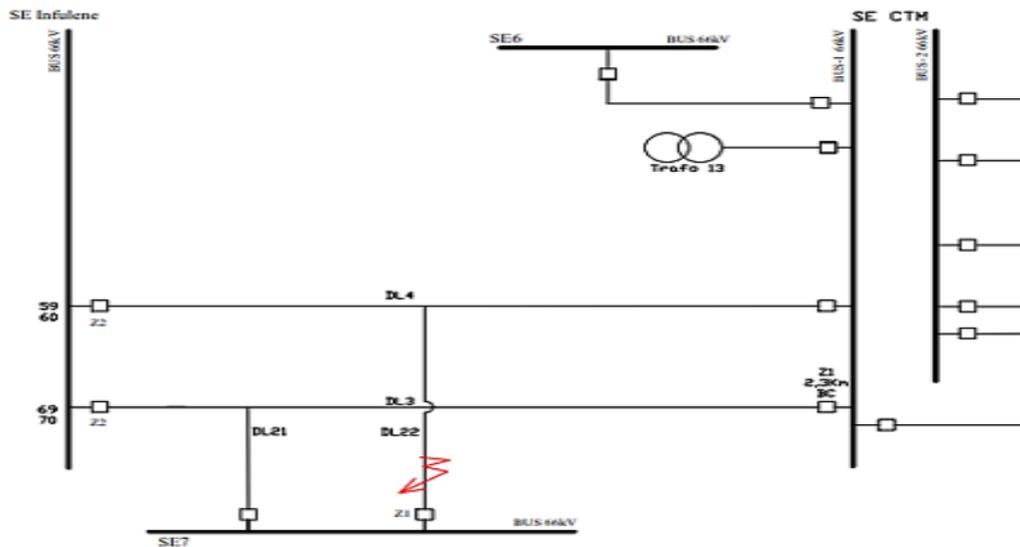


Figura 15: Situação Atual do sistema de proteção no trecho DL4-DL22

Fonte: Autor

3.2.1 Parâmetros Técnicos da DL4 – DL22

Os parâmetros técnicos característicos da Linha Principal (DL4) e da sua Linha Derivada (DL24) podem ser observados nas Tabelas subsequentes, que apresentam os parâmetros das linhas e características nos seus pontos de origem e de chegada.

Tabela 1: Parâmetros técnicos das Linhas DL4-DL22

Barramento			Un (kV)	Condutor	Secção (mm ²)	Comprimento (Km)	Capacidade (MVA)
Inicial	Final	Designação					
Infulene	CTM	DL4	66	Leopard	148,4	7,5	38
2M	SE7	DL22	66	Panther	261	7,9	50

Subestação	Designação	Nível de Tensão (kV)	Potência Instalada	
			Transformadores (MVA)	Condensadores (MVAR)
Central Térmica	CTM	66/33	60	72
Infulene	INF	274/110/66	372	75
SE7	SE7	66/11	30	

Tabela 2: Parâmetros Principais das Subestações EM Estudo.

Subestação	Designação	Nível de Tensão (kV)	Potência Instalada	
			Transformadores (MVA)	Condensadores (MVAR)
Central Térmica	CTM	66/33	60	72
Infulene	INF	275/110/66	560	75
SE7	SE7	66/11	30	

Tabela 3: Principais parâmetros dos Transformadores

Subestação	Designação	Tensão Nominal (kV)	Ucc	Potência (MVA)
CTM	TR13	60/30	12,5	30
Infulene	TR2	275/66	11	250
SE7	T1	66/11	8,13	30

Tabela 4: Tipo de Proteção da DL4-DL22

Tipo de Proteção da Linha	Relé de Proteção	Funções da Proteção da DL3
Cabo de Guarda	Relé 511	Relé de Defeito de Terra
		Relé de Distância
		Relé de Máxima Intensidade

Na Transmissão o requisito do investimento da proteção é muito elevado, por essa razão as linhas de transmissão usam redundância ou retaguarda das proteções, o que quer dizer que na falha de uma função de proteção a outra

função deve atuar, porque não se pode permitir que um defeito passe de uma linha para o sistema a montante. Contudo, na DL4 se pode encontrar uma proteção com 3 funções:

- **Função de Máxima Intensidade** - tem a ver com defeitos entre fases, sobrecarga ou curto-circuito, esta função controla correntes muito elevadas na linha;
- **Função de Defeito de Terra** - que serve para verificar falhas entre uma fase e a terra através de uma estrutura, árvore, ou fuga a terra que pode ser resistiva ou não, esta vê defeitos que geram correntes muito baixas na linha;
- **Função de Distância** – é também chamada por proteção de Mínima Impedância, esta lê uma alimentação em corrente (TI alimenta a proteção) e em tensão (o VT alimenta a proteção) e calcula a impedância. Este relé é programado de acordo com os parâmetros da linha em tensão, quando existir um defeito na linha a corrente vai aumentar e a impedância vai diminuir, então ele atua neste sentido. Este atua no sentido de dividir a linha em diferentes zonas. A zona 1 corresponde a 80% da linha, a zona 2 corresponde a 120% da linha, a zona 3 corresponde a muito além do objeto em proteção, e a zona 4 corresponde a zona retaguarda da linha.

A principal função deste relé é a função de Mínima Impedância, sendo que a função de Defeito de Terra e de Máxima Intensidade são funções secundárias. Geralmente na Transmissão, quando há um defeito na linha, a corrente sobe, então o TC (TI) sente a elevação da corrente envia um sinal ao relé, que por sua o relé vai ler este valor de corrente, e observado que este valor excede o valor regular, este manda uma ordem de disparo ao disjuntor, e desta forma o disjuntor atua abrindo o circuito retirando a linha em defeito.

Tabela 5: Características Técnicas do Disjuntor da DL4 – SE Infulene

Tipo	Fabricante	In (A)	Un (kV)	Tipo de Mecanismo	Isolamento	Nr. da Série	Icc (kA)	Poder de fecho	Tempo
------	------------	--------	---------	-------------------	------------	--------------	----------	----------------	-------

EDF SK 1-1	ABB	2500	72,5	FSA1-F	SF6	8382037	31,5	79 KA	Ab:0,3s/fec: 3min
------------------	-----	------	------	--------	-----	---------	------	-------	----------------------

3.2.2 Inconvenientes Da Configuração Atual

O fluxo de potência que é escoado pela SE INF na DL4 é debitado na SE7 e na SE CTM. Assim, considera o sentido SE INF – SE7 e SE INF - SE CTM como uma única linha, e isto causa as seguintes inconveniências:

- **Falta de seletividade** – significa que a proteção não está sendo capaz de retirar do sistema apenas o objeto em defeito, porque retira do sistema tanto a DL4 na sua totalidade assim como a DL22;
- **Limita a alimentação da SE7** – O facto de a DL22 estar conectada com este ramal também será abrangida na limitação da tensão, o que significa que a alimentação de alguns postos de transformação fica condicionada;
- **Ausência de fiabilidade da linha DL22** – a linha DL22 fica com a sua continuidade condicionada à estabilidade não só da própria linha como também de uma outra linha;
- **Dificuldade de identificação da zona de defeito** – uma vez que o relé de proteção com a função de distância verifica o defeito em zonas, e tratando-se da existência de linhas com sentidos diferentes, e o relé não da exatamente o ponto da ocorrência do defeito, mas apenas a zona de ocorrência, o que causa maiores desperdícios de custos de materiais na procura da zona exata da ocorrência do defeito.

3.3 Proposta de Melhoramento

Nota-se que em caso de manutenção da linha a alimentação pela Geração da CTM estará condicionada mediante a falta de um equipamento de corte da 2M. Assim, procura-se uma solução que alimente a SE7 de forma alternativa seja pela SE INF ou pela SE CTM, sem condicionar a sua alimentação com o funcionamento de outras linhas conectadas a mesma, atendendo e considerando os custos e o impacto ambiental do projeto. Portanto, as inconveniências são causadas pela existência da derivação, e para suprir a este

problema pretende-se fazer um dimensionamento de um barramento bem como os equipamentos de proteção e medição que permitirá comutação de carga de uma fonte de alimentação para a outra, garantindo a seletividade das proteções e melhoramento dos trabalhos de manutenção sem afetar pontos desnecessários.

Esquema da rede no trecho DL4/DL22

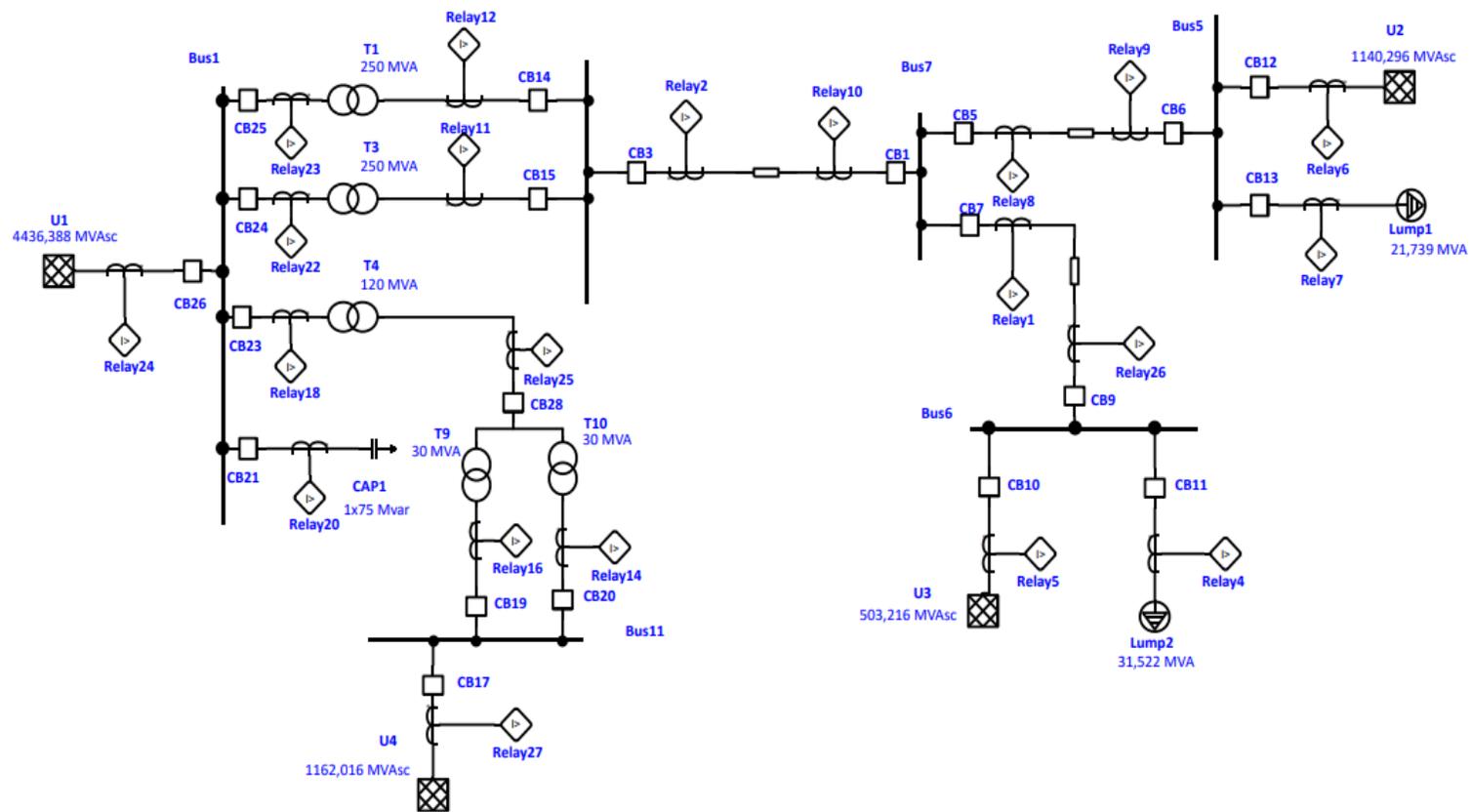


Figura 16: Esquema da rede no trecho DL4/DL22

Fonte: Autor

3.3.1 Simulação e Dimensionamento

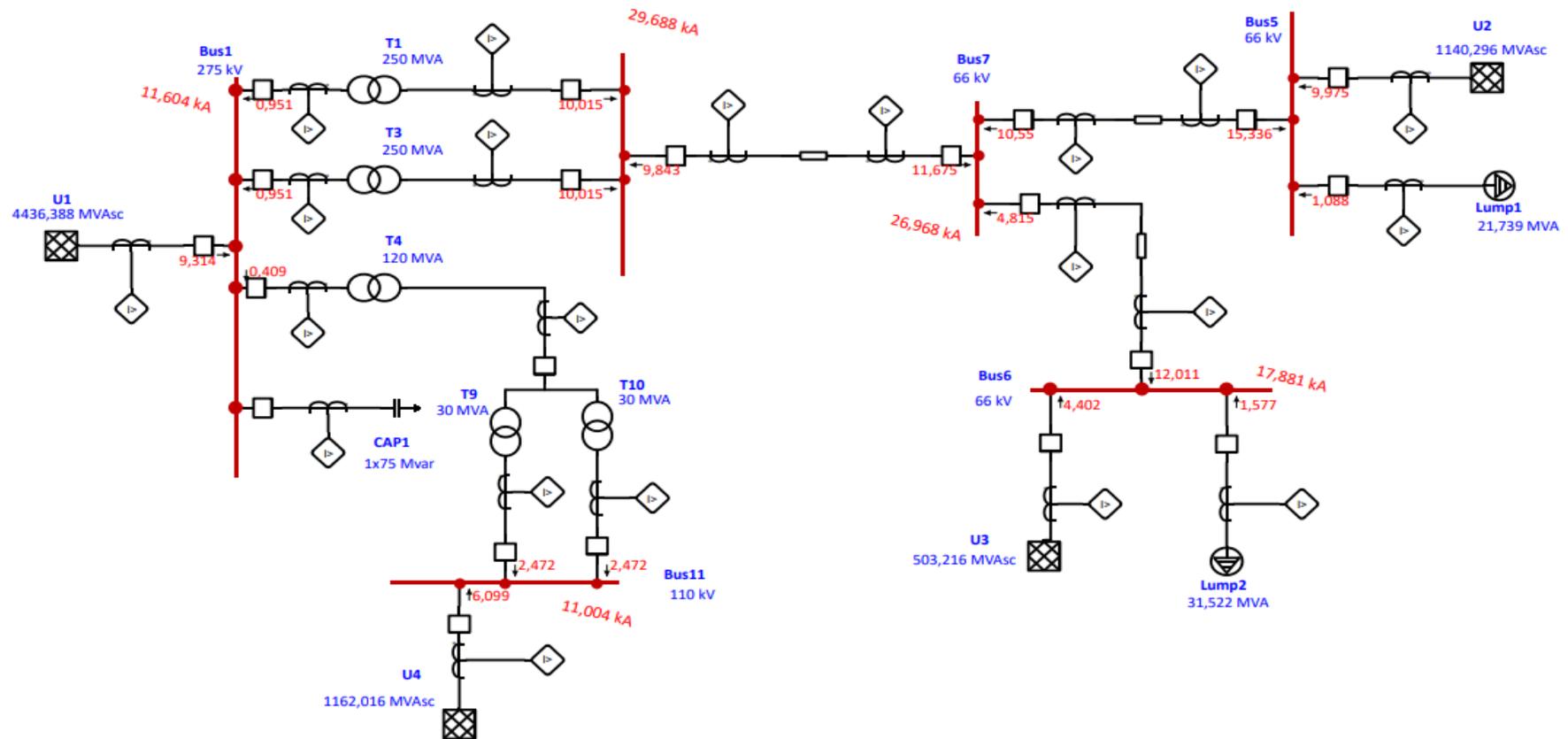


Figura 17: Simulação dos valores de curto circuito da rede

Fonte: Autor

3.3.2 Dimensionamento dos TCs

Tc 22 da Linha DL4 do lado do infulene

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I_n = \frac{38 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 66 \text{ kV}} = \frac{332,414 \text{ A}}{}$$

$$I_{CC} = 29,688 \text{ KA}$$

Condições:

$$I_p n \geq 1,3 * I_n$$

$$I_p n \geq 1,3 * 332,41 \text{ A}$$

$$I_p n \geq 432,14 \text{ A}$$

$$I_p n \geq \frac{I_{CC}}{20}$$

$$I_p n \geq \frac{29,688 \text{ kA}}{20}$$

$$I_p n \geq 1484,4 \text{ A}$$

Logo o Tc 22 deverá ser de 1500:1.

Tc 23 da Linha DL4 do lado da 2M

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I_n = \frac{38 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 66 \text{ kV}} = \frac{332,414 \text{ A}}{}$$

$$I_{CC} = 29,688 \text{ KA}$$

Condições:

$$I_p n \geq \frac{I_{CC}}{20}$$

$$I_p n \geq \frac{29,688 \text{ kA}}{20}$$

$$I_p n \geq 1484,4 \text{ A}$$

$$I_p n \geq 1,3 * I_n$$

$$I_p n \geq 1,3 * 332,41 \text{ A}$$

$$I_p n \geq 432,14 \text{ A}$$

Logo o Tc 23 deverá ser de 1500:1.

Para este troço a função de proteção contra sobrecorrente e curto circuito deverá atuar no seguinte tempo:

Primeiro calcular-se-á a corrente de ajuste do relé:

$$I_n = 332,414 \text{ A}$$

$$I_{Ajuste} = \frac{K_f \times I_n}{RTC} = \frac{1,2 \times 332,414}{1500} = 0,267 \text{ A}$$

Para esta corrente de ajuste, faz-se uma aproximação de ponderação até 1 A para garantir uma pequena tolerância na atuação do relé, pois quanto menor a corrente de ajuste, mais preciso é o relé.

Desta feita calcula-se o Múltiplo de corrente em que este constitui uma das coordenadas para a função de Múltiplo e curva para obtenção do tempo de atuação do relé.

$$M = \frac{I_{cc}}{RTC \times I_{Ajuste}} = \frac{29688}{1500 \times 1} = 19,792$$

$$t_{relé} f(M;0,5) = 0,001s$$

Através do gráfico da figura 14, faz se a correspondência para obtenção do tempo do relé e conclui se que este relé deverá atuar no tempo de 0.01s.

Tc 21 da Linha DL4 do lado da 2M

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I_n = \frac{50 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 66 \text{ kV}} = 437,39 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 26,968 \text{ KA}$$

Condições:

$$I_p n \geq 1,3 * I_n$$

$$I_p n \geq 1,3 * 332,41 \text{ A}$$

$$I_p n \geq 432,14 \text{ A}$$

$$I_p n \geq \frac{I_{CC}}{20}$$

$$I_p n \geq \frac{26,968 \text{ kA}}{20}$$

$$I_p n \geq 1348,4 \text{ A}$$

Logo o Tc 23 assim como o TC 38 do lado da CTM deverão ser de 1500:1.

TCs da Linha DL22 do lado da 2M e SE7

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I_n = \frac{50 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 66 \text{ kV}} = 437,39 \text{ A}$$

$$I_{CC} = 26,968 \text{ KA}$$

Condições:

$$I_p n \geq 1,3 * I_n$$

$$I_p n \geq 1,3 * 437,39 \text{ A}$$

$$I_p n \geq 568,603 \text{ A}$$

$$I_p n \geq \frac{I_{CC}}{20}$$

$$I_p n \geq \frac{26,968 \text{ kA}}{20}$$

$$I_p n \geq 1348,4 \text{ A}$$

Logo o Tc 20 assim como o TC 19 do lado da SE7 deverão ser de 1500:1

Para este troço a função de proteção contra sobrecorrente e curto circuito deverá atuar de forma análoga ao troço anterior:

Primeiro calcular-se-á a corrente de ajuste do relé:

$$I_n = 432,414 \text{ A}$$

$$I_{Ajuste} = \frac{K_f * I_n}{RTC} = \frac{1,2 * 432,414}{1500} = 0,349 \text{ A}$$

Para esta corrente de ajuste, faz-se uma aproximação de ponderação até 1 A para garantir uma pequena tolerância na atuação do relé, pois quanto menor a corrente de ajuste, mais preciso é o relé.

Desta feita calcula-se o Múltiplo de corrente em que este constitui uma das coordenadas para a função de Múltiplo e curva para obtenção do tempo de atuação do relé.

$$M = \frac{I_{cc}}{RTC \times I_{Ajuste}} = \frac{26,968}{1500 \times 1} = 17,98$$

$$t_{relé} f(M;0,5) = 0,1s$$

Através do gráfico da figura 14, faz se a correspondência para obtenção do tempo do relé e conclui se que este relé deverá atuar no tempo de 0.01s.

É de notar que o dimensionamento dos TCs foi feito tomando sempre em conta o maior valor de curto circuito possível na mesma zona. Isso para garantir a vida útil do próprio equipamento.

3.3.3 Especificações dos Transformadores de Potencial

Para os Tps ou VTs, já existem valores padronizados de acordo com o nível de tensão que se pretende fazer a medição dos quais pode se fazer menção através da tabela abaixo:

Tabela 6: Padronização dos Tps

Transformador de Potencial	15 kV
Transformador de Potencial	34,5 kV
Transformador de Potencial	72,5 kV
Transformador de Potencial	138 kV
Transformador de Potencial	230 kV

Para a rede em específico, tratando-se de um nível de tensão de 66kV escolhe-se o valor de tensão imediatamente acima que são 72,5 kV que por sua vez apresenta as seguintes características:

Tabela 7: Especificações dos Tps

Tensão primária nominal, kV	$66/\sqrt{3}$
Tensão mais alta para equipamentos, kV	$72.5/\sqrt{3}$
Frequência nominal, Hz	50
Tensão suportável de frequência de potência nominal, kV	140/160
Tensão nominal de impulso de raio, kV	325/350
Distância de flashover, mm	780
Carga mecânica, N	1250
Tensão secundária nominal, kV	$0.115/\sqrt{3}$ or $0.11/\sqrt{3}$
Marcas terminais secundárias	1a-1n
Classe de precisão	0.2
Saída nominal, VA	100

3.3.4 Dimensionamento do Barramento

O método de dimensionamento de barramentos adotado é o método sugerido “Manual de Instalações Eléctricas” da BBC – BROWN BOVERI estando este por sua vez de acordo com a norma CEI865-1, com algumas simplificações.

Para que se possa iniciar o procedimento relativo ao dimensionamento do barramento, é necessário, como é óbvio, definir as características tanto da subestação em causa como da rede elétrica. Os dados necessários ao cálculo, e que devem, portanto, ser conhecidos a priori, pois não dependem do perfil escolhido, são enumerados na Tabela:

Tabela 8: Parâmetros do Barramento

Parâmetro	Símbolo	Valor
Corrente de serviço	I_s	332,41 A
Corrente de curto-circuito	I_{cc}	26,968 kA
Frequência elétrica	f	50 Hz
Fator X	X	1,8
Fator I_{cc}/I_p	I_{cc}/I_p	1,5
Distância entre apoios	L	2,2 m
Distância entre fases	A	2 m

Tempo de atuação	T	0,5 s
Material do barramento		Cobre
Carga de segurança à flexão		1200kgf/cm ²

Corrente de serviço: é a máxima corrente que o barramento terá que transportar em regime permanente. Para o caso em específico a corrente de serviço é de 332,41 A calculado através da potência máxima de condução do cabo da linha de Transmissão.

Corrente de curto-circuito: trata-se do valor eficaz da corrente que o barramento terá que suportar em caso de curto-circuito. Este valor é calculado tendo em vista as impedâncias de curto-circuito tanto da rede como da subestação. Falando-se de curto circuitos em subestações, está-se a falar de algo que requer conhecimentos das características não só da subestação, mas também, e principalmente, da rede elétrica à qual a subestação se ligará no futuro. Partindo daqui existem certas características associadas a um eventual curto-circuito que possa ocorrer, que são conhecidas à partida, ou pelo menos os seus limites, isto é, até onde podem ir certos valores, o que ajuda a encontrar o pior caso. Para este caso a corrente de curto circuito simulada para este ponto de derivação da rede é de 26, 968 kA.

Frequência: é a frequência elétrica da instalação ou da rede. Normalmente 50Hz.

Fator χ : é um parâmetro da rede elétrica. Um fator que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito.

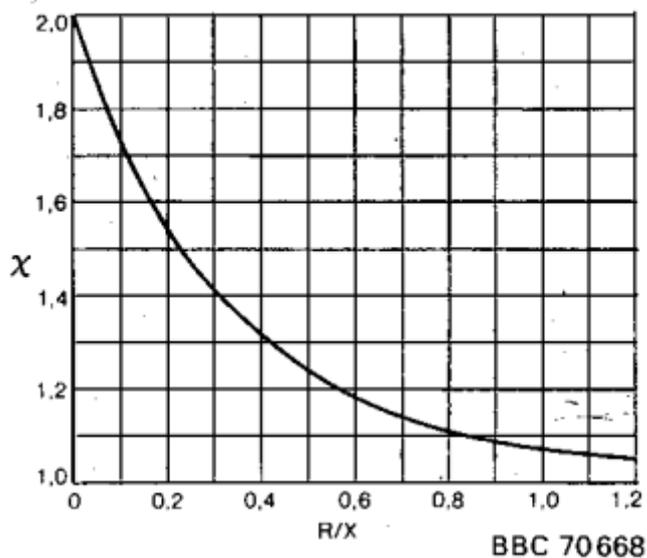


Figura 18: Ábaco BBC 70668 (Retirado do MIEBBC)

Pela simples observação do ábaco depreende-se que χ depende apenas da razão R/X , sendo R a resistência da rede e X a reactância da mesma. R/X irá assumir valores baixos, pois é sabido que em rede de AT ou MAT $X \gg R$. Isto irá fazer com que χ tome valores altos, perto de 2. Porém é sabido por experiência que, para este tipo de redes, χ raramente ultrapassa 1,8.

Fator $I_{cc''}/I_p$: Este fator é também um parâmetro da rede, mais concretamente a razão entre a componente inicial da corrente de curto-circuito - $I_{cc''}$ e o valor eficaz da corrente permanente de curto circuito – $I_{cc''}/I_p$ pode ser entendido como um fator análogo a χ , mas que por sua vez, quantifica o decréscimo da componente alternada da corrente de curto-circuito. Para o caso em específico tem-se $I_{cc''}/I_p=1,5$.

Estes dois fatores (χ e $I_{cc''}/I_p$) influenciam diretamente nos valores tomados pelos fatores **m** e **n**.

O fator **m**, que quantifica o efeito térmico da componente contínua da corrente de curto-circuito é influenciado por χ , sendo que, quanto maior for χ maior será a componente contínua, o que se traduzirá numa maior importância do seu efeito térmico.

Por sua vez o fator n , quantifica o efeito térmico da componente alternada da corrente de curto circuito e é influenciado por I_{cc}''/I_p , na medida em que quanto maior I_{cc}''/I_p menor será n e o efeito térmico produzido pela componente alternada da corrente de curto-circuito. Isto porque um maior valor de I_{cc}''/I_p significa que a corrente permanente de curto é pequena relativamente à corrente inicial, tendo assim menos “importância”.

Distância entre Apoios: distância entre dois apoios consecutivos que suportem o barramento. A figura 13 pode ver-se a distância entre dois apoios consecutivos no desenho da implantação de parte de uma subestação. Para este caso a distância entre fases será de 2.2m

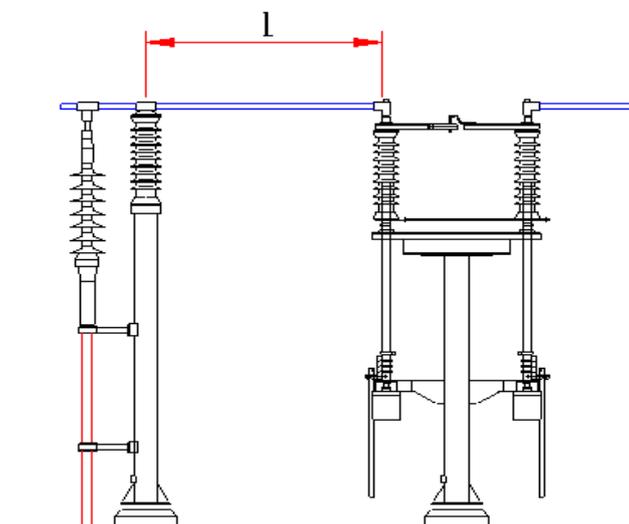


Figura 19: Troço de uma subestação visto em corte

Fonte: Autor

Distância entre fases: distância entre dois perfis de fases distintas. Na figura está representado o mesmo “troço” de uma subestação na figura 13, mas visto de cima, de modo a que se possa observar aquilo que é a distância entre fases. Para este caso a distância entre fases será de 2m.

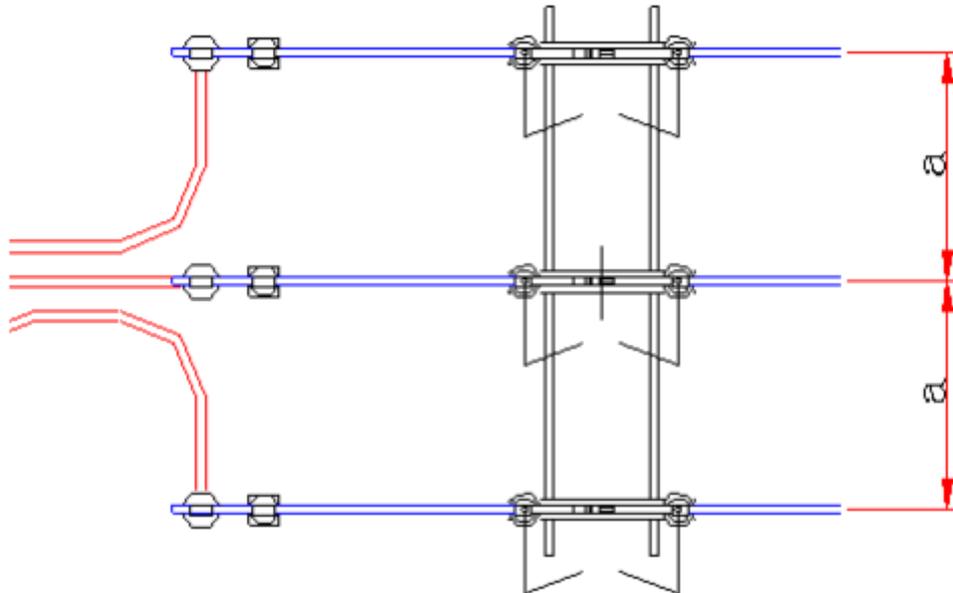


Figura 20: Troço de uma subestação visto de cima

Fonte: Autor

Tempo de atuação das proteções t : tempo que as proteções da subestação demoram a atuar em caso de defeito, extinguindo-o. Este tempo vai desde que ocorre o defeito até que os transformadores de intensidade detetam uma corrente de curto-circuito, "enviam" essa informação para os relés de proteção da subestação, estes por sua vez enviam a ordem de abertura ao disjuntor, e por fim o disjuntor abre extinguindo o curto circuito. Para o caso em particular o tempo de atuação é de 0,5s.

Material: Material escolhido para utilizar no barramento é de Cobre.

Carga de segurança à flexão: ou resistência até ao ponto limite de elasticidade é uma grandeza associada ao material escolhido para utilizar no barramento, que caracteriza o esforço de torção que determinado material pode suportar. Embora esteja associada ao material usado, este parâmetro não é fixo para um dado material, pois depende da dureza do mesmo, isto é, se se pretende dimensionar um barramento em cobre, por exemplo, este pode ser de cobre duro ou cobre macio, e possuirão caras de segurança à flexão diferentes. Para este usar-se-á 1200kg/cm². Consultado na tabela 6-35 do MIEBBC.

a) Condição de Aquecimento

Sendo a corrente de serviço da instalação 332,41 A consultando a tabela 6-35 do Manual BBC, (ANEXO 1), relativa às intensidades de corrente admissíveis em regime permanente para condutores de cobre de secção tubular, e escolhe-se o tubo que possa veicular essa corrente, nomeadamente o tubo 32 x 28 mm (corrente admissível = 668A).

b) Resistência Mecânica ao Curto-Circuito

Seguidamente calcula-se a corrente de choque I_{ch} , a força eletromagnética e o momento fletor.

I_{ch} , que é a máxima corrente que o barramento terá que suportar em caso de curto-circuito. É, portanto, o valor máximo instantâneo da corrente de curto-circuito, e que ocorre na sua fase inicial. É aquando da ocorrência deste pico de corrente que o barramento será sujeito a um maior esforço eletrodinâmico.

O cálculo de I_{ch} advém da expressão seguinte:

$$I_{ch} = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc}$$

Onde:

- I_{ch} – corrente de choque (A ou kA);
- χ - fator adimensional que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito;
- I_{cc} – Corrente de curto-circuito inicial (A ou kA).

$$I_{ch} = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc}$$

$$I_{ch} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 26968$$

$$I_{ch} = 68,649 \text{ kA}$$

Seguidamente calcula-se a força eletromagnética - F_e exercida entre os perfis, percorridos pela corrente de choque aquando da ocorrência de um curto-circuito.

O cálculo de F_e advém da expressão seguinte:

$$F_e = \frac{\mu_o}{2\pi} \times \frac{I_1 I_2}{a} \times l = 0,2 \times I_{ch}^2 \times \frac{l}{a}$$

Onde:

- Fe – força eletromagnética (N)
- Ich – corrente de choque (kA)
- l – Distância entre dois apoios (suporte dos barramentos) consecutivos (mesma unidade de a);
- a – Distância entre fases adjacentes (mesma unidade de l).

$$Fe = 0,2 \times Ich^2 \times \frac{l}{a}$$

$$Fe = 0,2 \times 68,65^2 \times \frac{2,2}{2}$$

$$Fe = 1036,82N \equiv 103,682kgf$$

Desta força resulta um momento fletor – mf dado por:

$$mf = \frac{Fexl}{16}$$

Onde:

- mf – momento fletor (kgf.cm);
- Fe – módulo de flexão (kgf);
- l – Distância entre dois apoios consecutivos (cm).

$$mf = \frac{103,682 \times 200}{16}$$

$$mf = 1296,025 \text{ kgf.cm}$$

A seguir efetua-se o cálculo do módulo de flexão W.

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

Onde:

- D- Diâmetro Exterior;
- d- Diâmetro interior.

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

$$W = \frac{\pi(32^4 - 28^4)}{32 * 32}$$

$$W = 1,331 \text{ cm}^3$$

O mesmo será dizer, uma vez que o momento fletor que atuará sobre o perfil foi já calculado e o material do perfil está já definido, que deve ser escolhido um perfil que respeite a seguinte condição:

$$W \geq \frac{mf}{\sigma}$$

Onde:

- W – módulo de flexão (cm³);
- mf – momento fletor (kgf.cm);
- σ – carga de segurança à flexão do material escolhido (kgf/cm²).

$$W \geq \frac{mf}{\sigma}$$

$$W \geq \frac{1296,025}{1200}$$

$$W \geq 1,08 \text{ cm}^3$$

$$1,331 \text{ cm}^3 \geq 1,08 \text{ cm}^3 \text{ condição verificada}$$

c) Esforços Térmicos devidos ao Curto-Circuito

O dimensionamento com vista aos esforços térmicos devidos ao curto-circuito é baseado no cálculo do tempo de fadiga térmica de um condutor, que é o tempo durante o qual o condutor pode suportar a corrente de curto-circuito. Esse valor é obtido através de:

$$S \text{ min} = \frac{I_{th} * \sqrt{t}}{k}$$

Onde:

- t – Tempo de fadiga térmica do condutor (s);
- K – Fator relativo às propriedades térmicas do condutor;
- S – Secção do condutor (mm²);
- I_{th} – Corrente térmica (A).

No entanto, um dos dados do problema de dimensionamento de barramentos, que são conhecidos a priori, é o tempo de atuação das proteções da subestação, proteções essas que irão extinguir o curto-circuito. Sendo assim, opta-se por assumir o tempo de fadiga térmica como sendo igual ou um pouco superior ao tempo de atuação das proteções e procura-se garantir que o condutor tem uma secção tal, que não entre em fadiga térmica antes de as proteções atuarem. Para este caso o tempo de atuação é de 0,5s tendo em conta que o disjuntor atua num tempo de 0,01s.

K é um fator adimensional que quantifica a rapidez com que o condutor entra em fadiga térmica, e cujos valores utilizados se encontram na Tabela 5.

Tabela 9: Fator K

Fator K	
Condutores nus em cobre	159
Condutores nus em Alumínio	104
Condutores nus em Ligas de Alumínio	97

A corrente térmica I_{th} é o valor da corrente instantânea que produz a mesma quantidade de calor, que a corrente real de curto-circuito, de componentes contínua e alternada, desde que acontece o defeito até que este se extingue. Esta depende dos parâmetros da rede e pode ser obtida através de:

$$I_{th} = I_{cc} \times \sqrt{m+n}$$

Onde:

- I_{th} – corrente térmica (A);
- I_{cc} – corrente de curto-circuito (A);
- m – Fator adimensional;
- n – Fator adimensional;

Os valores m e n são fatores que quantificam o efeito térmico da corrente de curto-circuito. O fator m traduz o efeito da componente contínua do curto-circuito e seu amortecimento. O fator n traduz o efeito da componente alternada da corrente de curto-circuito e seu amortecimento. Ambos os valores podem ser extraídos dos ábacos BBC736966 presentes no MIEBBC, ilustrados nas figuras 15 e 16.

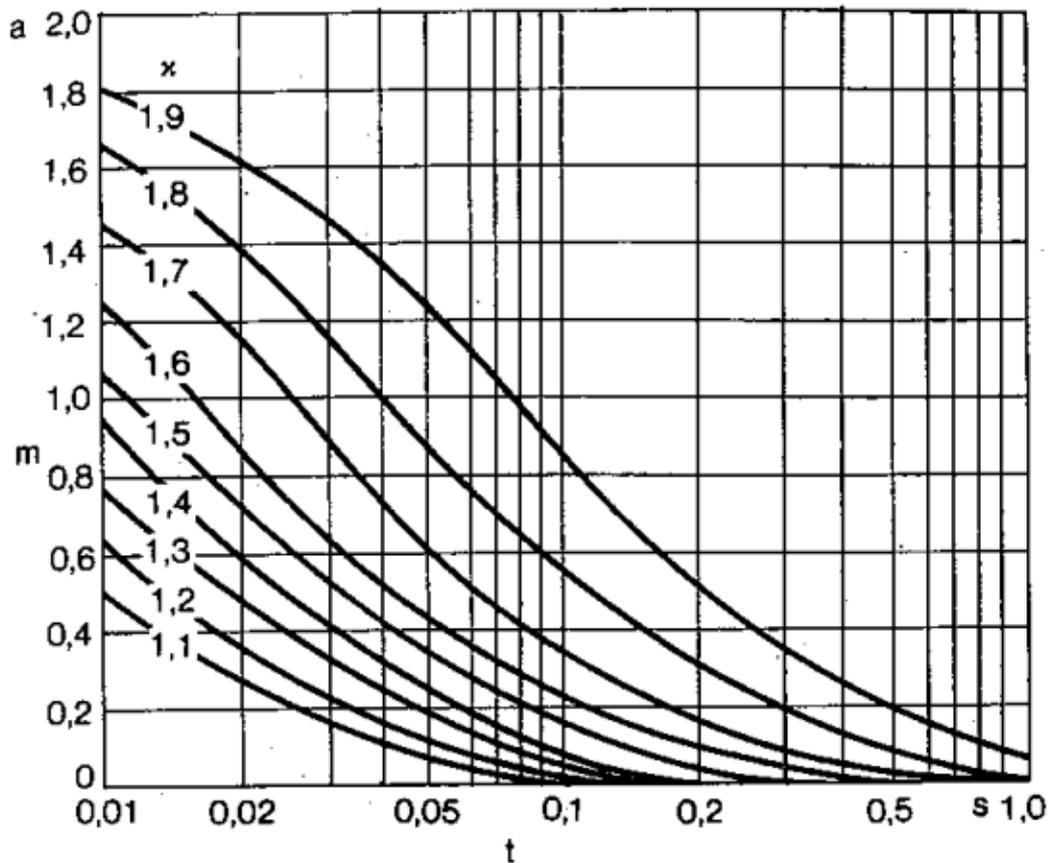


Figura 21: Fator m retirado do Ábaco BBC 736966

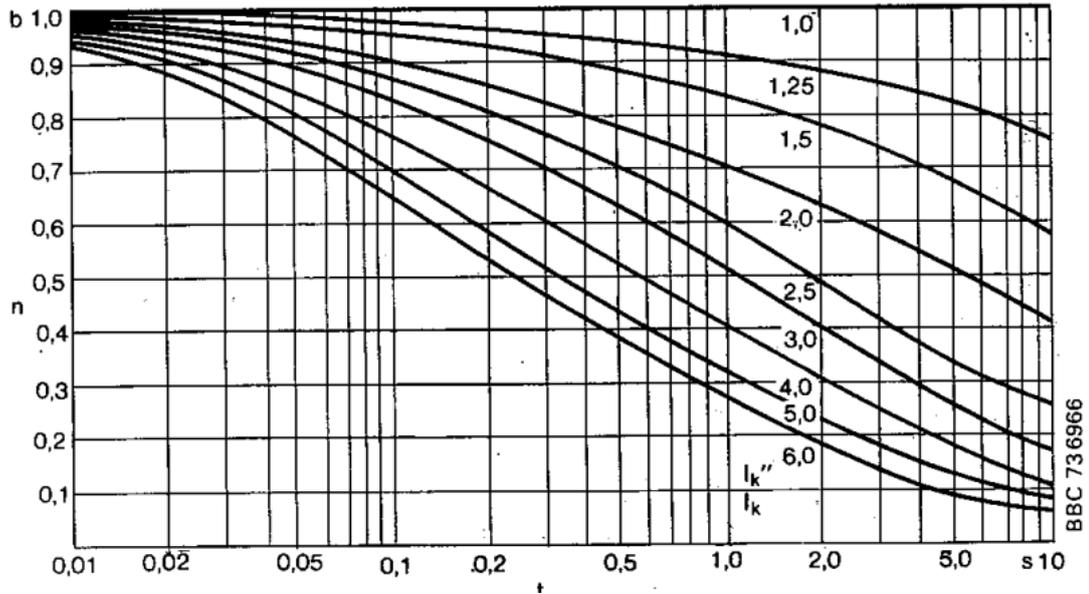


Figura 22: Fator n retirado do Ábaco BBC 736966

Efetuando o cálculo da corrente Térmica I_{th} temos:

$$I_{th} = I_{cc} \times \sqrt{m+n}$$

Através dos gráficos temos que:

$$\left. \begin{array}{l} \chi = 1,8 \\ t = 0,5 \end{array} \right\} m = 0,09$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{I_{cc}}{I_p} = 1,4 \\ t = 0,5 \end{array} \right\} n = 0,87$$

Assim vem:

$$I_{th} = I_{cc} \times \sqrt{m+n} \Rightarrow I_{th} = 26968 \times \sqrt{0,09+0,87} = 26423,135 \text{ A}$$

$$e \ S \min = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t}}{k} = \frac{26423 \cdot \sqrt{0,5}}{159} = 117,51 \text{ mm}^2$$

Consultando a tabela 6-35 do MIEBBC (ANEXO 1) – S=188 mm² - verifica-se que a secção do tubo escolhido é adequada.

d) Condição de Ressonância

Nesta condição procura-se garantir que, aquando da ocorrência de um curto-circuito, a frequência de ressonância própria do barramento, não se encontra perigosamente próxima da frequência elétrica da instalação. Um condutor rígido, quando apoiado em dois pontos relativamente afastados, está sempre sujeito a oscilações e vibrações, causadas por vários fatores, um dos quais, os esforços eletrodinâmicos. Enquanto em regime permanente, estes esforços eletrodinâmicos são de grandeza desprezável, porém, aquando da ocorrência de um curto-circuito, os esforços aumentam consideravelmente. No caso de a frequência própria de ressonância do barramento estar próxima da frequência elétrica da instalação ou dos seus múltiplos, as oscilações poderão aumentar perigosamente. Convém, portanto, garantir que tal não acontece. Para tal, começa-se por consultar três parâmetros inerentes ao barramento escolhido, até ao momento ainda não definidos:

- Módulo de Elasticidade - E;
- Momento de Inércia - J;
- Peso linear – p.

O módulo de elasticidade, ou Módulo de Young, representado pelo símbolo E, quantifica a rigidez de um material sólido. E, como é óbvio, depende do material utilizado no barramento, e assume os valores presentes na Tabela 6.

Tabela 10: Limite de elasticidade (Módulo de Young)

Limite de Elasticidade	
Cobre	110 000 N/mm ²
Alumínio	65 000N/mm ²
Pantal	70 000 N/mm ²

O momento de inércia é a grandeza que mede a distribuição da massa de um corpo em torno do seu eixo de rotação, bem como a tendência do mesmo para manter o movimento (ou ausência dele) que possui. Depende apenas da forma e dimensões do perfil escolhido.

O peso linear é o peso do perfil por unidade de comprimento e depende tanto da forma e dimensões do perfil escolhido como do material pelo qual é constituído,

mais concretamente, da sua densidade. Estas duas últimas grandezas podem ser consultadas em tabelas próprias para o efeito, mas podem também ser calculadas, o que por vezes pode ser útil.

$$E = 110\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(32^4 - 28^4)}{64} = 2,13 \text{ cm}^4$$

Determinados estes valores, está-se agora em condições de proceder ao cálculo da frequência própria de oscilação do barramento, através da expressão:

$$f_o = 112 \sqrt{\frac{ExJ}{\rho x l^4}}$$

- f_o – frequência de ressonância do barramento (Hz);
- E – Módulo de elasticidade do barramento (kg/cm²);
- J – Momento de inércia do barramento (cm⁴);
- ρ – peso linear do barramento (kg/cm);
- l – vão entre apoios consecutivos (cm).

$$f_o = 112 \sqrt{\frac{ExJ}{\rho x l^4}}$$

$$f_o = 112 \sqrt{\frac{11 \cdot 10^5 \times 2,13}{1,68 \cdot 10^{-2} \times 200^4}} = 33,067 \text{ Hz}$$

O valor resultante do cálculo de f_o deverá estar suficientemente afastado do valor da frequência elétrica da instalação e seus múltiplos. Por suficiente entende-se 10%. Por experiência, é sabido que para os valores praticados em subestações, a frequência de ressonância do barramento apenas se pode aproximar da frequência elétrica ou do seu dobro. Como tal, f_o , deve situar-se fora do intervalo:

$$[f-0,1f; f+0,1f] \cup [2f-0,1 \times 2f; 2f+0,1 \times 2f]$$

para $f=50\text{Hz} \Rightarrow [45;55] \cup [90;110]$.

A frequência de ressonância do tubo não se encontra próxima da frequência elétrica da instalação (50Hz) nem do seu dobro, isto é, está fora do intervalo, e como tal está excluído o perigo de o barramento oscilar entrando em ressonância. Isto conclui o dimensionamento do barramento; o tubo escolhido – 32x28mm em Cobre – é adequado à instalação.

4 CONCLUSÃO

O estudo de caso apresentado visou desenvolver conhecimentos vistos de forma não aprofundada nas disciplinas de licenciatura. Os resultados obtidos corresponderam às expectativas iniciais, tanto com relação à aplicação da proposta de melhoramento para garantir uma operação correta das proteções frente a falhas no sistema elétrico como ao desejo de aprendizado por parte do estudante na área de proteções e confiabilidade na operação de um sistema elétrico de potência.

Como um elemento de partida para o estudo de caso realizado, a apresentação da instalação e a descrição detalhada dos equipamentos que envolviam a proposta de melhoramento foi de extrema importância para o levantamento de parâmetros relevantes para o trabalho. Além disso, se mostrou essencial o entendimento do funcionamento do sistema atual o que ajudou bastante para propor o seu melhoramento.

As Derivações na rede causam limitações na continuidade de serviço, pois a proteção visualiza a linha principal e a sua Derivação como uma única linha, fazendo com que a proteção fique sensível a disparos causados por ambas, retirando do sistema as duas linhas do sistema, mesmo se o defeito tiver sido provocado por uma das linhas.

Enquanto, um Barramento visa fazer o transporte da carga de uma fonte de alimentação para a outra sem perturbar a proteção, separando assim as zonas de proteção e dando mais fiabilidade e seletividade ao sistema.

5 BIBLIOGRAFIA

Fascículo. (09 de Abril de 2023). Obtido de O Setor Eléctrico:
www.osetoreletrico.com.br

Guthmann, Otto and Pöhlmannm Rolf andSchmitt, Willi J. and Tettenborn, Wolfgang Helmut. (1982). Manual de Instalações Eléctricas,. Em *Manual de Instalações Eléctricas*, (p. p235). Porto-Portugal: BROWN BOVERI & CIE, ed.

INTERNATIONAL STANDARD. Short-circuit currents - Calculation of effects. (1993). *CEI 864-1*, 09.

Kinderman, G. (1997). *Curto-Circuito*. Porto Alegre: Clube de Editores de Rio Grande De Sul.

Moura, A. M., & Dos Santos, J. N. (2006). Apontamentos da disciplina de Distribuição de Energia I. Em *Apontamentos da disciplina de Distribuição de Energia I*. LEEC.

Paiva, J. P. (2011). *Redes De Energia Eléctrica*. IST Press.

STEVENSON, W. D. (1974). *Elementos de análise de sistemas de potência*. Brasil: São Paulo: MacGraw-Hill do .

MAMEDE, João Filho. “Instalações elétricas industriais”. Rio de Janeiro, 2012;

MAMEDE, João Filho; Daniel R., “Proteção de sistemas elétricos de potência”, Rio de Janeiro, 2011;

Kinderman, G. (2005), “Proteção de sistemas eléctricos de potência”, Florianópolis, Vol 1;

Prof. Doutora Eng^a. Marta Bravo de las Casas, Apontamentos de Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica I.

Anexos

Anexo 1. Tabela de Seção e corrente máxima do condutor

Tabela A 1-1: Condutores de cobre de seção tubular ambiente de 35°C, temperatura do condutor 65°C CA

Tabela 6-35

Condutores de cobre de seção tubular, temperatura ambiente de 35°C, temperatura do condutor 65°C; com corrente alternada, distância entre centros de fases $\geq 2,5 \times$ diâmetro exterior.

Diâmetro exterior mm	Espes-sura da parede mm	Seção mm ²	Peso ¹⁾ kg/m	Material ²⁾	Corrente permanente em A c.c. e c.a. até 60 Hz			
					no interior pintado	nú	no exterior pintado	nú
20	2	113	1.01	E-Cu F 37	384	329	460	449
	3	160	1.43	E-Cu F 37	457	392	548	535
	4	201	1.79	E-Cu F 30	512	438	613	599
	5	236	2.10	E-Cu F 30	554	475	664	648
	6	264	2.35	E-Cu F 25	591	506	708	691
32	2	188	1.68	E-Cu F 37	602	508	679	660
	3	273	2.44	E-Cu F 37	725	611	818	794
	4	352	3.14	E-Cu F 30	821	693	927	900
	5	424	3.78	E-Cu F 30	900	760	1020	987
	6	490	4.37	E-Cu F 25	973	821	1100	1070
40	2	239	2.13	E-Cu F 37	744	624	816	790
	3	349	3.11	E-Cu F 37	899	753	986	955
	4	452	4.04	E-Cu F 30	1020	857	1120	1090
	5	550	4.90	E-Cu F 30	1130	944	1240	1200
	6	641	5.72	E-Cu F 25	1220	1020	1340	1300
50	3	443	3.95	E-Cu F 37	1120	928	1190	1150
	4	578	5.16	E-Cu F 30	1270	1060	1360	1310
	5	707	6.31	E-Cu F 30	1410	1170	1500	1450
	6	829	7.40	E-Cu F 25	1530	1270	1630	1570
	8	1060	9.42	E-Cu F 25	1700	1420	1820	1750
63	3	565	5.04	E-Cu F 30	1390	1150	1440	1390
	4	741	6.61	E-Cu F 30	1590	1320	1650	1590
	5	911	8.13	E-Cu F 30	1760	1460	1820	1750
	6	1070	9.58	E-Cu F 25	1920	1590	1990	1910
	8	1380	12.3	E-Cu F 25	2150	1780	2230	2140
80	3	726	6.47	E-Cu F 30	1750	1440	1760	1690
	4	955	8.52	E-Cu F 30	2010	1650	2020	1930
	5	1180	10.5	E-Cu F 30	2230	1820	2230	2140
	6	1400	12.4	E-Cu F 25	2430	1990	2440	2340
	8	1810	16.1	E-Cu F 25	2730	2240	2740	2630
100	3	914	8.15	E-Cu F 30	2170	1770	2120	2020
	4	1210	10.8	E-Cu F 30	2490	2030	2430	2320
	5	1490	13.3	E-Cu F 30	2760	2250	2700	2580
	6	1770	15.8	E-Cu F 25	3020	2460	2950	2820
	8	2310	20.6	E-Cu F 25	3410	2780	3330	3180

Anexo 2. Estado atual da derivação feita no DL4

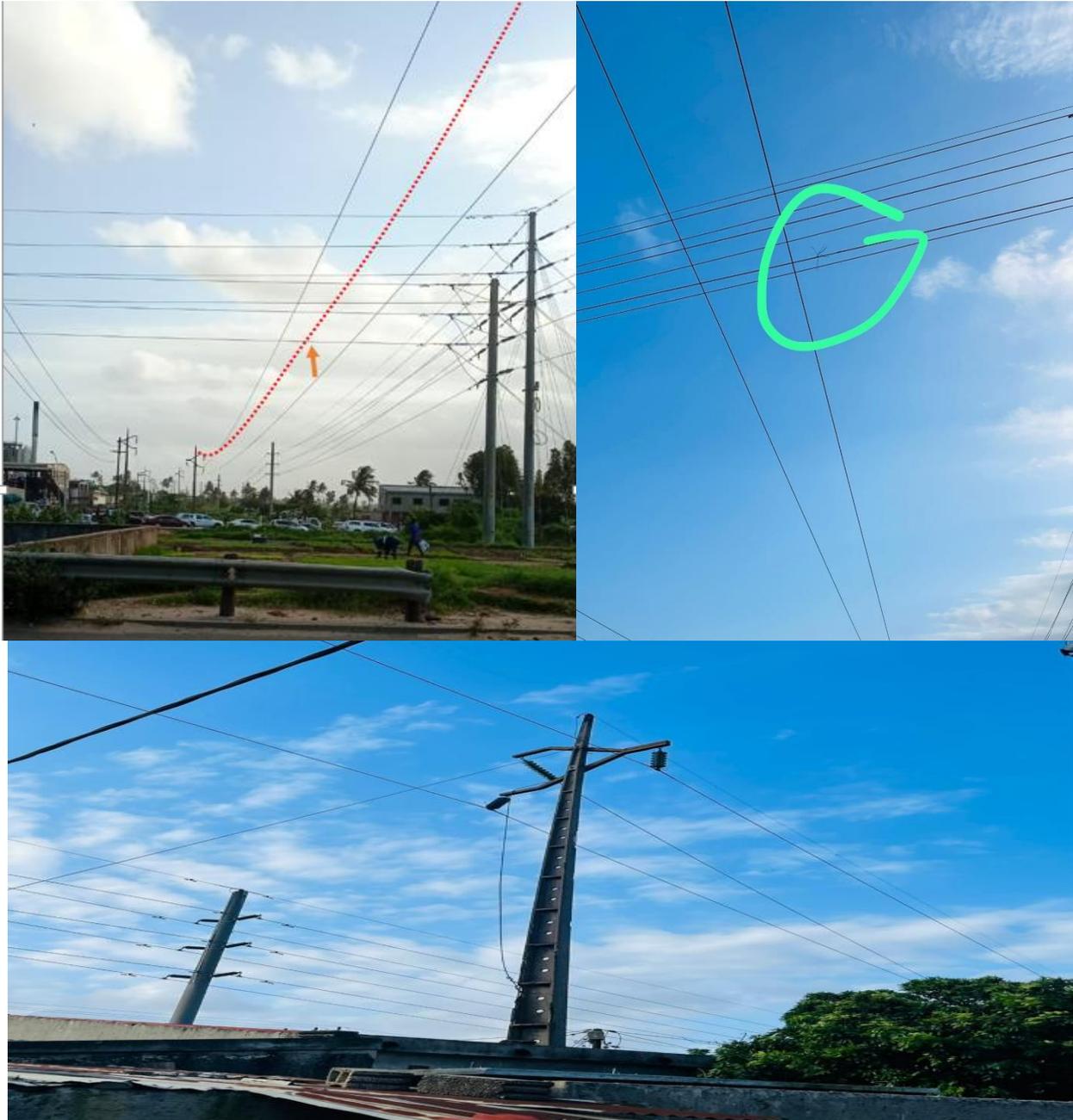


Figura A 2-2: Ponto de contato da Antiga

Fonte: EDM

Anexo 3. Condições do condutor da Antiga DL4



Figura A 3-1: Condutor rompido da Antiga DL4

Fonte: EDM

Anexo 4. Esquema da rede Sul

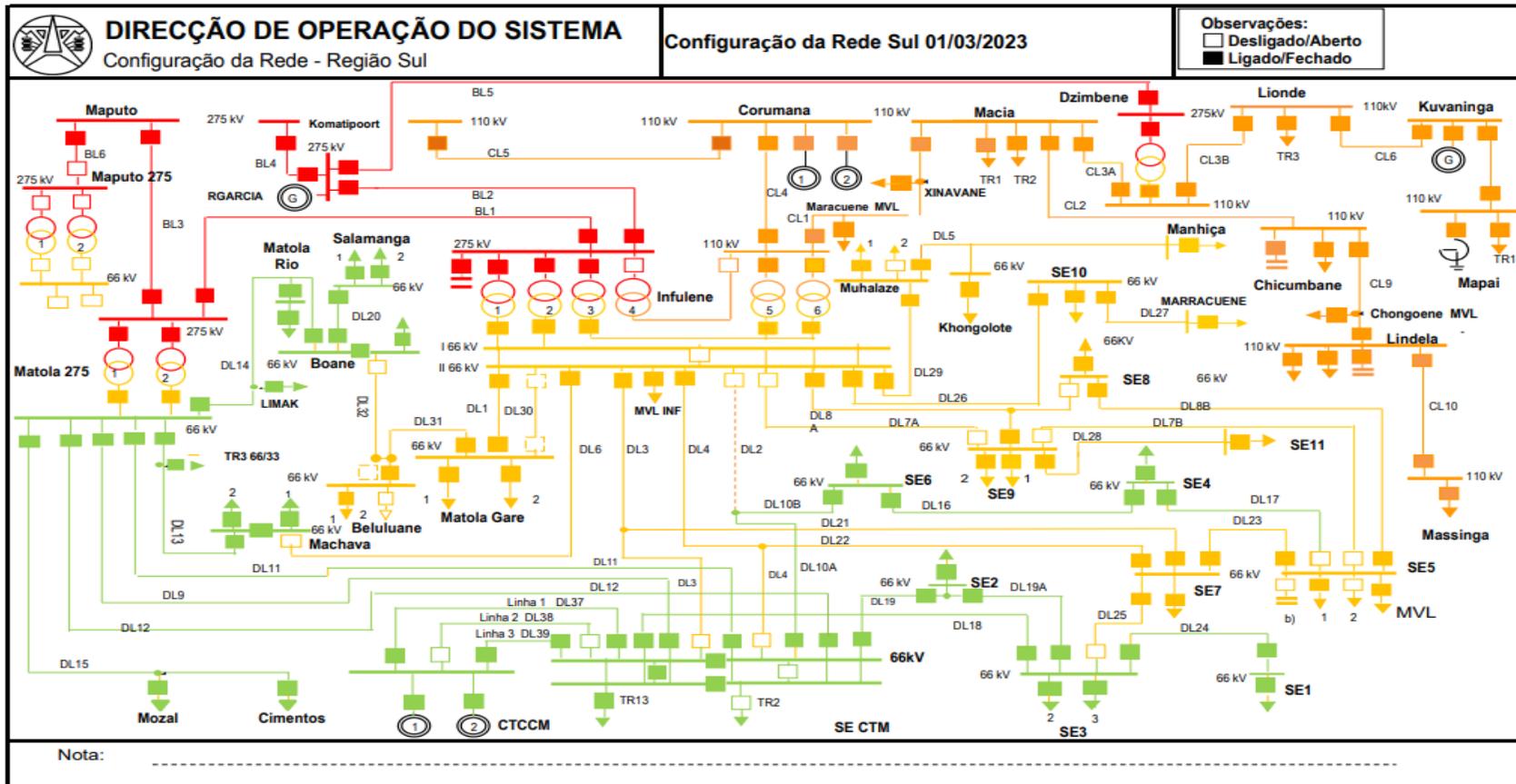


Figura A 4-1: Esquema da rede Sul

Fonte: EDM

Anexo 5. ACTA DE ENCONTROS



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA	2023ELEPD04
--------------------	-------------

DATA:	20/02/23
-------	----------

1. AGENDA:

Apresentação do TAT e discursão em torno do tema

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº Gerson Zango
Co-Supervisor	
Estudante	Albino Anosse Nhabomba
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

Correção do tema
Correção dos objetivos

4. RECOMENDAÇÕES

Utilizar outras fontes de proteções elétricas

5. OBSERVAÇÕES	
----------------	--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	29/03/2023
-----------------------------	------------

Anexo 6. ACTA DE ENCONTROS



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA	2023ELEPD04	DATA:	20/02/2023
--------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação das retificações sugeridas no tema e objetivos

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº Gerson Zango
Co-Supervisor	
Estudante	Albino Anosse Nhabomba
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

Verificação e Validação do TAT

4. RECOMENDAÇÕES

Olhar sempre pelo custo econômico e benefícios que advém do projeto

5. OBSERVAÇÕES	
----------------	--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	29/03/2023
-----------------------------	------------

Anexo 7. ACTA DE ENCONTROS



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA	2023ELEPD04
--------------------	-------------

DATA:	20/02/2023
-------	------------

1. AGENDA:

Revisão bibliográfica, Resultados, Análises e discussão

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng ^o Gerson Zango
Co-Supervisor	
Estudante	Albino Anosse Nhabomba
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

Apreciação geral de todo o trabalho feito

4. RECOMENDAÇÕES

Eliminar algumas suposições não possíveis de comprovar na prática
Retificar alguns aspetos relacionados com a escrita
Melhorar o resumo
Melhorar a conclusão

5. OBSERVAÇÕES	
----------------	--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	29/03/23
-----------------------------	----------

Anexo 8. ACTA DE ENCONTROS



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA	2023ELEPD04
--------------------	-------------

DATA:	20/02/23
-------	----------

1. AGENDA:

Verificação final do relatório

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº Gerson Zango
Co-Supervisor	
Estudante	Albino Anosse Nhabomba
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

Avaliação de todos os aspectos organizacionais do projecto

4. RECOMENDAÇÕES

Colocar de ordem alfabética a lista de abreviaturas
A partir da dedicatória até a lista de tabelas, a paginação deve estar em numeração romana
A parte do texto não pode exceder 60 páginas

5. OBSERVAÇÕES	
----------------	--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	
-----------------------------	--

Anexo 9. RELATÓRIO DE PROGRESSO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA

RELATÓRIO DE PROGRESSO

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD04
---------------------	-------------

ACTV	DATA	ESTÁGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1	15/03/23	60	Melhorar a introdução.	
	15/03/23	100	Pode avançar para bibliografia	
2	15/03/23	40	Selecionar os conceitos chaves	
	29/03/23	100	Pode avançar para parte prática	
3	29/03/23	80	Revisar os cálculos sobre dimensionamento dos Tcs e Relés	
	29/03/23	100	Melhorar as análises	
4	23/05/23	90	Melhorar a conclusão e Resumo do trabalho	

Anexo 10. GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO

Nome do estudante: Albino Anosse Nhabomba

Referência do tema: 2023ELEPD04 Data: 20/ 02/ 2023

Título do tema: PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO
DA LINHA DL4/DL22

1. Resumo					
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5
Secção 1 subtotal (max: 5)					

2. Organização (estrutura) e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal (max: 45)										

3. Argumentação										
3.1.Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2.Rigor	1	2	3	4	5					
3.3.Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4.Relação objectivos/métodos/resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5.Relevância	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal (max: 30)										

4. Apresentação e estilo da escrita					
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5
4.4.Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5
Secção 4 subtotal (max: 20)					

Total de pontos (max: 100)	
-----------------------------------	--

Nota (=Total*0,2)	
--------------------------	--

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica

Anexo 11. GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Nome do estudante: Albino Anosse Nhabomba

Referência do tema: 2023ELEPD04 Data: 20/ 02/ 2023

Título do tema: PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA DL4/DL22

1. Introdução										
1.1 Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 1 subtotal (max: 10)										
2. Organização e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3							
2.3. Metodologia	1	2	3	4						
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8		
Secção 2 subtotal (max: 25)										

3. Estilo da apresentação										
3. 1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5					
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5					
3.3. Uso e qualidade dos audiovisuais	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal (max: 15)										

4. Defesa										
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 3 subtotal (max: 50)										

Total de pontos (max: 100)		Nota (=Total*0,2)	
---------------------------------------	--	--------------------------	--

Anexo 12. FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F3 - FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

Nome do estudante: Albino Anosse Nhabomba

Referência do tema: 2023ELEPD04 Data: 20/ 02/ 2023

Título do tema: PROPOSTA DE MELHORAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA DL4/DL22 2023ELEPD04

AVALIADOR	NOTA OBTIDA	PESO (%)
Relatório escrito (F1)	N1=	A= 60
Apresentação e defesa do trabalho (F2)	N2=	B= 40

CLASSIFICAÇÃO FINAL $=(N1*A+N2*B)/100$

OS MEMBROS DO JURI:

	ASSINATURAS
O Presidente	
O Oponente	
Os Supervisores	

Maputo, 18 de Julho de 2023