



**Universidade Politécnica**  
**A POLICTÉCNICA**  
**Instituto Superior de Gestão Ciências e Tecnologias- ISGCT**  
**Licenciatura em Engenharia Eléctrica**

**Tema:**

Projecto de uma Linha de Transmissão de 400 kV para interligação da Subestação Moçambique-Matambo com finalidade de extensão da Rede Eléctrica para Malawi- Phombeya

**Discente:**

Feliciano Fernando Chabana

**Supervisor:**

Eng. José Bento Machiane

Maputo, Abril de 2025

# **Feliciano Fernando Chabana**

Projecto de uma Linha de Transmissão de 400 kV para  
Interligação da Subestação Moçambique-Matambo com finalidade de  
extensão da Rede Eléctrica para Malawi- Phombeya

Projecto de Monografia a ser submetido ao Departamento de Engenharias e Ciências Tecnológicas da Universidade Politécnica- A Politécnica, como requisito parcial para a conclusão da cadeira de Trabalho de Fim de Curso, no curso de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

**Supervisor:**

Eng. José Bento Machiane

Maputo, Abril de 2025

## **Agradecimentos**

É com maior prazer que expresso a minha gratidão a partir desta, a todos que apoiaram e ajudaram-me para que a realização deste curso fosse possível.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pois graças ao dom da vida e bênção que ele tem me concedido, pude ter o privilégio de contemplar mais momentos de aquisição de conhecimento e partilha de experiência profissional.

Em segundo lugar, agradeço imensamente aos meus progenitores Sr. Fernando Chabana e Sra. Atália Maló, pelo sacrifício empenho que me transmitiram, dando força na superação de quaisquer obstáculos e desafios da vida, igualmente agradecer a minha parceira e a todos colegas da faculdade desde o início da formação, fomos trocando ideias e experiências com vista a uma aprendizagem sólida, colectiva e construtiva.

E por fim agradecer o Eng. José Bento Machiane, por ter aceite ser meu tutor neste trabalho, agradecer também pela disponibilidade e paciência que sempre teve para atender todas as minhas solicitações.

## **Declaração do Supervisor**

Eu José Bento Machiana, Supervisor do trabalho de final do curso do estudante Feliciano Fernando Chabana, que tem como tema de pesquisa, projecto de uma linha de transmissão de 400 kV para interligação da subestação Moçambique-Matambo com finalidade de extensão da rede eléctrica para Malawi- Phombeya.

Apreciei o trabalho minuciosamente, não tendo assinalado inconformidades, pois foram observados os procedimentos metodológicos e normas regulamentares em vigor na Universidade Politécnica- A Politécnica para a obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica, desta forma, considero o presente trabalho do candidato apto para ser submetido a avaliação e defesa pública perante o júri nomeado para efeito.

Supervisor

---

(Eng<sup>o</sup>. José Bento Machiana)

Maputo, Abril de 2025

## **Declaração de Honra**

Feliciano Fernando Chabana, estudante do 5º nível do curso de Engenharia Eléctrica no Instituto Superior de Gestão, Ciências e Tecnologias (Universidade Politécnica- A politécnica), declara, que este trabalho é da sua autoria, sendo fruto dos conhecimentos adquiridos ao longo da sua formação, investigação pessoal e da orientação do supervisor. O conteúdo deste trabalho é original e todos os documentos consultados estão devidamente identificados nas referências bibliográficas.

Maputo, Abril 2025

---

Chabana, Feliciano Fernando

## Resumo

Este presente trabalho aborda o projecto de uma linha de transmissão de 400 kV para interligação da subestação Moçambique-Matambo com finalidade de extensão da rede eléctrica para Malawi- Phombeya. O trabalho surge pelo facto de Malawi enfrentar desafios significativos em sua capacidade e autonomia energética, o que limita suas oportunidades de impulsionar o desenvolvimento económico. Como resultado, o país depende principalmente de fontes de energia terciárias para garantir sua estabilidade energética. Além disso, Malawi gera cerca de 250 MW de energia eléctrica, contra os 352 MW necessários para alimentar de forma autónoma os seus consumidores, de salientar que Malawi para a geração da energia eléctrica, depende exclusivamente de geradores a gásóleo. Ao se fazer o estudo dos critérios necessários para a realização do projecto, serão dimensionados os componentes principais desta linha de transmissão de energia eléctrica. Serão analisados os parâmetros necessários para o melhor funcionamento deste tipo de sistema, em seguida será feita uma estimativa do custo para a concretização deste projecto. Os desenhos de algumas peças serão feitos recorrendo a ferramenta computacional (Autocad). Para a elaboração deste projecto serão usados métodos qualitativos que compreendem a revisão bibliográfica usando neste caso livros, artigos científicos, monografias, dissertações, teses, internet, registros da empresa Electricidade de Moçambique sob forma de documentos, fichas, relatórios ou arquivos em computador, entrevistas aos funcionários da empresa, com o objectivo de entrar em contacto directo com todo material já escrito e existente sobre o assunto da pesquisa para uma avaliação qualitativa do problema de modo a obter um conhecimento profundo sobre a linha de transmissão de energia eléctrica. Com este trabalho espera-se promover a cooperação e a integração regional do Malawi com os demais países da SADC, tornando-se membro da *Southern Power Pool (SAPP)*, entidade regional do sector eléctrico.

**Palavras – chave:** subestação eléctrica, linha de transmissão, rede eléctrica

## **Abstract**

This present work addresses the project of a 400 kV transmission line to interconnect the Mozambique- Matambo substation with the purpose of extending the electricity network to Malawi- Phombeya. The work comes as Malawi faces significant challenges to its energy capacity and autonomy, which limits its opportunities to drive economic development. As a result, the country mainly depends on tertiary energy sources to ensure its energy stability. Furthermore, Malawi generates around 250 MW of electrical energy, compared to the 352 MW needed to independently supply its consumers. It should be noted that Malawi, for the generation of electrical energy, depends exclusively on diesel generators. When studying the criteria necessary to carry out the project, the main components of this electrical energy transmission line will be dimensioned. The parameters necessary for the best functioning of this type of system will be analyzed, then an estimate of the cost to carry out this project will be made. The drawings of some parts will be made using a computational tool (Autocad). For the preparation of this project, qualitative methods will be used that include bibliographical review using in this case books, scientific articles, monographs, dissertations, theses, internet, records of the company Electricidade de Moçambique in the form of documents, files, reports or computer files, interviews to the company's employees, with the aim of coming into direct contact with all existing and written material on the subject of research for a qualitative assessment of the problem in order to obtain in-depth knowledge about the electrical power transmission line. This work is expected to promote cooperation and regional integration of Malawi with other SADC countries, becoming a member of the Southern Power Pool (SAPP), a regional entity in the electricity sector.

**Keywords:** electrical substation, transmission line, electrical network

## Índice de Figuras

Figura 1- Sistemas De Energia Eléctrica.....	6
Figura 2- Estrutura Básica De Um Sistema Eléctrico .....	7
Figura 3- Subestação de Manobra.....	9
Figura 4- Subestação Elevadora.....	9
Figura 5- Subestação Abaixadora .....	10
Figura 6- Rede Eléctrica Nacional .....	11
Figura 7- Cabos ACSR e ACAR.....	14
Figura 8- Condutor de alumínio com alma de aço .....	15
Figura 9- Cabos de guarda (linhas aéreas de MT) .....	17
Figura 10- Cabos Pára-Raios com Fibra Óptica.....	17
Figura 11- Cadeia dupla de isoladores de vidro .....	18
Figura 12- Isolador polimérico (Siklowatt – 2014).....	19
Figura 13- Cadeias de isoladores sujeitas a esforços Horizontais.....	20
Figura 14- Pára-Raios.....	20
Figura 15- Estrutura .....	23
Figura 16- Estrutura autoportante .....	23
Figura 17- Estrutura estaiada.....	24
Figura 18- Estrutura de suspensão .....	24
Figura 19- Estrutura de amarração ou ancoragem .....	25
Figura 20- Estrutura de ângulo.....	25
Figura 21- Estrutura de transposição.....	25
Figura 22- Chaves seccionadores em Subestações Eléctricas.....	26
Figura 23- Disjuntores de uma Subestação Eléctrica de alta tensão .....	27
Figura 24- Transformador de corrente .....	29
Figura 25- Transformador de potencial.....	29
Figura 26- Barramentos.....	30

## Índice de Tabelas

Tabela 1- Classificação dos níveis de tensão, comprimento e condições gerais de fornecimento .....	13
Tabela 2- Valores normalizados para a escolhas dos TC's.....	34
Tabela 3- Valores normalizados dos disjuntores MAT, AT e MT.....	36

## Índice de Anexos

Anexo A- Tabela de Condutores .....	71
ANEXO A.1: Modelo da Torre.....	72
Anexo B- Características e Imagem da Chave Seccionador .....	73
Anexo C- Características e imagem do Disjuntor .....	74
Anexo D- Distribuição Da Corrente.....	75
Anexo E- Tipos de apoios e nível de tensão .....	76
Anexo F- Relação entre o nível de poluição e a linha de fuga específica.....	76
Anexo G- Configuração da rede de transporte- Região Centro .....	77
Anexo H- Linha Matambo- Phombeya .....	78
Anexo I- Troço da linha de transmissão saindo da subestação de Matambo até a subestação de Phombeya.....	79
Anexo F: <i>MEGATRO TRANSMISSION LINE STEEL STRUCTURE</i> .....	80
Anexo K- Dados do Feixe dos Condutores .....	81

## Lista de Símbolos físicos

Símbolo Físico	Designação	Unidade	Abreviatura no S.I
R	Resistência eléctrica	$\Omega$	ohm
I	Intensidade da corrente eléctrica	A	ampére
U	Tensão eléctrica	V	volt
P	Potência activa eléctrica	W	watt
H	Altura	m	Metro
Z	Impedância	$\Omega$	ohm
S	Potencia aparente eléctrica	VA	volt-ampére
Z <sub>cc</sub>	Impedância de curto-circuito	p.u	Valor por unidade
I <sub>cc</sub>	A corrente de curto-circuito	p.u	Valor por unidade
I <sub>s</sub>	Corrente de serviço	A	ampére
S <sub>c</sub>	Secção do condutor	mm <sup>2</sup>	Milímetros ao quadrado
S <sub>inst</sub>	Potencia aparente instalada	VA	volt-ampére
T	Temperatura	°C	Graus celsius
L <sub>f</sub>	Linha de fuga	mm	Milímetros
N	Número de anos	----	A dimensional
L'	Indutância	$\Omega/Km$	ohm por metro
f	Frequência linear	Hz	hertz
R'	Resistência eléctrica por quilómetro	$\Omega/Km$	ohm por metro
UR	Tensão nominal do pára-raios	V	volt
$\rho$	Resistividade	$\Omega \cdot m$	ohm-metro
P <sub>s</sub>	Carga de segurança	Kg	Quilograma
$\alpha_s$	Coefficiente de segurança	-----	Adimensional
$\sigma_0$	Tensão de segurança	$Kg/m^2$	Quilograma por metros ao quadrado
A	Secção nominal do condutor	$m^2$	Metros quadrado
$\theta_v$	Temperatura na hipótese de verão	°C	Graus Celsius
$\theta_a$	Temperatura na hipótese de inverno	°C	Graus Celsius
$\delta$	Coefficiente de dilatação linear	$l/^\circ C$	Unidade por Grau Celsius
F	Peso aparente do condutor	$N/m * (m^2)$	newton por metro-metro quadrado
C	Coefficiente de forma	-----	admissional
Q	Pressão dinâmica do vento	Pa	pascal
$\phi$	Diâmetro do condutor	m	Metro
I <sub>pn</sub>	Corrente nominal no primário do trafo	A	ampére
I <sub>sn</sub>	Corrente nominal no secundário do trafo	A	ampére
P <sub>n</sub>	Potencia nominal activa eléctrica	W	watt
P <sub>c</sub>	Potência activa de carga	W	watt
P <sub>A</sub>	Potência actual activa	W	watt
S <sub>n</sub>	Potência nominal aparente	VA	Volt-ampére
S <sub>cc</sub>	Potência aparente de curto-circuito	P.U	Valor por unidade
S	Secção geométrica dos condutores	$m^2$	Metro quadrado
U <sub>L</sub>	Tensão eléctrica de linha	V	volt
$\Delta P$	Perda de energia eléctrica	W	watt
$\Delta V$	Queda de tensão	V	volt
D	Distância entre condutores	m	Metro
L	Comprimento máximo do condutor entre dois aterramento	m	Metros

## Lista de Abreviaturas e Siglas

Abreviaturas e siglas	Descrição das abreviaturas
ACAR	Alumínio Condutor Reforçado com liga de Alumínio
ACSR	Aluminum- Conductor Steel- Reinforced cable
AAAC	All Aluminum alloy cable
AT	Alta tensão
CC	Corrente continua
AC	Corrente alternada
DTCE	Direcção de Transmissão da Região Centro
DTCN	Direcção de Transmissão da Região Centro- Norte
DTNO	Direcção de Transmissão da Região Norte
EDM	Electricidade de Moçambique
kW	Quilowatt
kVA	Quilovolt-ampére
REN	Rede eléctrica nacional
MCCC	Método da Capacidade de Condução da Corrente
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão
MT	Media tensão
MAT	Muito alta tensão
LT	Linha de alta tensão
RM	Rádio de Moçambique
SAPP	Southern African Power Pool
TC	Transformador de corrente
TP	Transformador de potência

# ÍNDICE

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>ii</b>
<b>Declaração do Supervisor .....</b>	<b>iii</b>
<b>Declaração de Honra.....</b>	<b>iv</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tabelas.....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de Anexos.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Símbolos físicos .....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Abreviaturas e Siglas.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Delimitação do Tema.....	2
1.2. Problematização da pesquisa .....	2
1.3. Justificativa da pesquisa .....	3
1.4. Objectivos da pesquisa .....	4
1.4.1. Objectivo Geral.....	4
1.4.2. Objectivos Específicos.....	4
1.5. Hipóteses da pesquisa.....	4
1.6. Descrição das Características do Ambiente de Estudo.....	4
1.7. Estrutura do Trabalho .....	5
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Sistemas De Energia Eléctrica.....	6
2.2. Estrutura Básica De Um Sistema Eléctrico .....	6
2.3. Subestações De Energia Eléctrica .....	8
2.4. Classificação das subestações eléctricas.....	8
2.4.1. Quanto ao nível de tensão:.....	8
2.4.2. Quanto aos tipos de subestações:.....	8

2.5.	Rede Eléctrica Nacional .....	10
2.6.	Transmissão De Energia Eléctrica .....	11
2.7.	Linhas de transmissão de energia eléctrica.....	11
2.8.	Descrição das Linhas de Transmissão .....	12
2.9.	Classificação das linhas de transmissão .....	12
2.10.	Componentes de uma LT .....	13
2.10.1.	Condutores .....	13
2.10.1.1.	Características Dos Cabos Condutores .....	13
2.11.	Tipos de condutores usados para uma LT.....	15
2.11.1.	Condutores de Cobre .....	15
2.11.2.	Condutores de Alumínio e Alumínio e Aço.....	15
2.11.3.	Condutores em Ligas de Alumínio .....	16
2.11.4.	Condutores Alumoweld.....	16
2.11.5.	Condutores Expandidos .....	16
2.11.6.	Cabos de guarda (linhas aéreas) .....	16
2.12.	Isoladores .....	18
2.13.	Pára-Raios .....	20
2.14.	Ferragens e Acessórios .....	21
2.15.	Estruturas .....	21
2.16.	Materiais estruturais.....	22
2.16.1.	Estruturas de suporte.....	22
2.16.2.	Estrutura de Suspensão .....	23
2.16.3.	Estrutura de amarração ou ancoragem.....	23
2.16.4.	Estrutura de ângulo .....	24
2.16.5.	Estrutura de transposição .....	24
2.17.	Chaves Seccionadores .....	25
2.17.1.	Tipos de Chaves Seccionadores.....	25
2.17.2.	Características das Chaves Seccionadores.....	26
2.18.	Disjuntores .....	26

2.18.1.	Funções e Importância .....	27
2.18.2.	Tipos de Disjuntores .....	27
2.19.	Transformadores de medida.....	27
2.19.1.	Transformador de corrente .....	27
2.19.2.	Transformador de potencial.....	28
2.20.1.	Tipos de barramentos.....	29
2.21.	Dimensionamento da linha de transmissão de energia eléctrica.....	29
2.21.1.	Previsão de carga .....	29
2.21.2.	Corrente de serviço .....	30
2.21.3.	Teste de capacidade de condução da corrente .....	30
2.21.4.	Perdas eléctricas e queda de tensão na linha.....	31
2.21.5.	Escolha dos TC's (Transformadores de Corrente) .....	31
Tabela 2.	Valores normalizados para a escolhas dos TC's .....	32
2.21.6.	Dimensionamento dos pára-raios .....	32
2.21.7.	Escolha do disjuntor geral .....	33
2.21.8.	Escolha do Seccionador .....	34
2.21.9.	Dimensionamento dos isoladores .....	34
2.22.	Cálculos mecânicos.....	35
2.22.1.	Tensão máxima de tracção (daN) .....	35
2.22.2.	Distância média geométrica.....	35
2.22.3.	Distância entre condutores e o cabo de guarda.....	36
2.22.4.	Distância dos condutores às árvores .....	36
2.22.5.	Distância dos condutores aos edifícios .....	37
2.22.7.	Força do vento sobre o condutor .....	37
2.22.8.	Modelo da torre.....	38
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>	<b>39</b>
3.22.	Quanto à Abordagem .....	39
3.23.	Quanto à Natureza.....	39
3.24.	Quanto aos Procedimentos.....	40

3.25.	Técnicas de Recolhas de Dados .....	40
3.26.	Tratamento e Análise de Dados .....	41
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUÇÃO DE RESULTADO .....</b>	<b>42</b>
4.1.	Cálculo Eléctrico .....	42
4.2.	Previsão de carga .....	42
4.3.	Corrente de Serviço .....	43
4.4.	Cálculo das quedas de tensão e perdas eléctricas .....	43
4.5.	Transformador de Corrente .....	45
4.6.	Pára-raios .....	46
4.7.	Dimensionamento do Disjuntor .....	47
4.8.	Chave Seccionador .....	47
4.9.	Isoladores .....	47
4.10.	Cálculo Mecânico .....	48
4.11.	Tensão máxima de tracção (daN) .....	48
4.13.	Distância entre condutores e obstáculos diversos .....	50
4.14.	Distância dos condutores às árvores .....	50
4.15.	Distância dos condutores às estradas .....	50
4.16.	Distância dos condutores e edifícios .....	50
4.20.	Distância média geométrica .....	52
4.21.	Força do vento sobre o condutor .....	52
4.22.	Modelo da Torre .....	53
4.26.	Apresentação dos resultados .....	55
4.27.	Discussão dos Resultados .....	56
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>58</b>
5.1.	Conclusões .....	58
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE A: Orçamento para execução do Projecto .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

<b>ANEXO A: Tabela de Condutores .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A.1: Modelo da Torre .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO D: Distribuição Da Corrente.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO J: <i>MEGATRO TRANSMISSION LINE STEEL STRUCTURE</i> .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO K: DADOS DE FEIXE DA LINHA DE TRANSMISSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO L: DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO DE MATAMBO .....</b>	<b>77</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A energia eléctrica pode ser transformada, em outras formas de energia, tornando-a amplamente necessária para o desenvolvimento de qualquer país (BICHELS, 2018, p. 19).

Com o desenvolvimento da tecnologia, principalmente entre os séculos XIX e XX, a energia eléctrica adquiriu notória importância devido à capacidade que foi associada a ela de ser convertida em outras formas de energia tornando-a essencial em diversos processos industriais e em aspectos relacionados à qualidade de vida da população num geral. (GOMES, 2022 p. 7)

O processo de exportação de energia eléctrica entre dois países com baixas condições de vida, geralmente envolve um esforço conjunto para utilizar os recursos energéticos disponíveis de forma mais eficiente e benéfica para ambas nações. Em muitos casos, um país pode ter excedente de energia eléctrica devido a investimentos em infra-estruturas energéticas, enquanto outro país pode enfrentar escassez de electricidade devido a uma demanda crescente e infra-estrutura inadequada.

O Governo de Moçambique comprometeu-se a alcançar a meta do acesso universal à energia até 2030 e, para este efeito, a energia deve ser acessível e sustentável. Dotado de uma matriz energética diversa e vasta (hídrica, carvão mineral, gás natural, solar e eólica), necessária para satisfazer a procura interna nas próximas décadas, o país está em boas condições de fornecer soluções a baixo custo para a região. Ao longo da próxima década, a EDM lançará as bases para Moçambique aproveitar as oportunidades de exportação e tornar-se um polo regional de energia eléctrica. (EDM, 2018)

O presente trabalho tem como objectivo projectar uma linha de transmissão de 400 kV para interligação da subestação Moçambique-*Matambo* com finalidade de ampliar a rede eléctrica para Malawi- *Phombeya* com aproximadamente 218 Km, alimentado a carga de 352 MW no destino (subestação de Malawi- *Phombeya*). Visando alimentar a industrialização e crescimento nacionais, competências, interesses e investimento do sector privado, expandindo a EDM com a oportunidade para tornar-se um pólo regional de energia para aproveitar as oportunidades comerciais que o mercado regional de electricidade lhe oferece.

## 1.1 Delimitação do Tema

- **Espacial**

O presente projecto delimita-se no dimensionamento da linha de transmissão de 400 kV para a interligação de Moçambique e Malawi, com uma extensão de 218 Km com finalidade de ampliar a rede eléctrica nacional.

- **Temporal**

Este projecto decorreu desde o dia 28 Março até 31 de Junho do ano de 2024, para o desenvolvimento do trabalho teórico do dimensionamento eléctrico e mecânico.

## 1.2. Problematização da pesquisa

Moçambique detém um vasto potencial energético, reforçado pela sua localização geográfica estratégica, ao compartilhar fronteiras com seis países vizinhos. Esta posição privilegiada confere ao país condições propícias para emergir como um centro de geração de energia na região da África Austral. As projecções indicam um aumento substancial na demanda por electricidade na região até 2030, apresentando uma significativa oportunidade comercial para a EDM no fornecimento de energia. Nesse contexto, a EDM estabeleceu, como um dos seus três principais objectivos estratégicos, tornar-se um polo regional de energia, visando mais energia renovável, que incluem energia hidroeléctrica, solar, eólica, biomassa e geotérmica com um enorme potencial de geração.

O país tem um dos maiores potenciais de energia em África (o rio Zambeze sozinho é capaz de produzir 18.000 MW) e a Cahora Bassa é uma das maiores infra-estruturas em África, com uma capacidade instalada de 2.075 MW. Existem mais de 1.400 projectos identificados para aumentar a capacidade de geração do país – o projecto de *Mphanda Nkuwa* de 1.500 MW, sendo a principal prioridade para desenvolver ao longo dos próximos dez anos. (EDM, 2018).

A escassez de recursos voltados para a produção de energia eléctrica, essenciais para sustentar o crescimento de uma nação, tem sido uma preocupação persistente para os países em desenvolvimento. A electricidade desempenha um papel crucial na industrialização, comercialização e padrões de consumo, sendo um factor determinante para o progresso económico. Em comparação com Moçambique, o Malawi enfrenta desafios significativos em sua capacidade e autonomia energética, o que limita suas oportunidades de impulsionar o desenvolvimento económico. Como resultado, o país depende principalmente de fontes de energia terciárias para garantir sua estabilidade energética.

O Malawi conta com aproximadamente 17,7 milhões de habitantes que ainda não têm acesso à electricidade, este número representa um total de 86% da população malawiana sem

acesso a electricidade, o que representa um grande desafio para o desenvolvimento social e económico do país, o que coloca o país entre as 20 nações que poderão não cumprir o objectivo do desenvolvimento sustentável do Banco Mundial. (RM, 2023).

Actualmente Malawi gera cerca de 250 MW de energia eléctrica, contra os 352 MW necessários para alimentar de forma autónoma os seus consumidores, de salientar que Malawi para a geração da energia eléctrica, depende exclusivamente de geradores a gásóleo.

Em que medida a interligação Moçambique - Malawi, ajudará na minimização da escassez de energia eléctrica em Malawi e contribuirá para tornar Moçambique num polo regional no fornecimento de energia eléctrica?

### **1.3. Justificativa da pesquisa**

A construção de um sistema de transporte de energia eléctrica é uma das estratégias identificadas pela EDM para fornecer energia de qualidade, e, enquadra-se nos esforços do Governo de satisfazer a electrificação rural e para alimentar os projectos de desenvolvimento do país.

Para além do acima exposto, o sistema de transmissão Moçambique- Malawi 400 kV é identificado como sendo uma solução viável e competitiva com o aumento da disponibilização de energia para os projectos de interligação regional, o que poderá criar o impacto económico e social positivo no Programa do Governo de Moçambique designado Energia para Todos, com uma continuidade de fornecimento de energia de forma segura com qualidade e quantidade aceitável. (EDM, 2023).

Este projecto irá, sobremaneira, dar alento ao Malawi no uso de recursos energéticos em diversas circunstâncias, esta interligação irá reduzir a lacuna na procura e oferta deste recurso, bem como impactar na agricultura, manufactura e prestação de serviços. Vai potenciar o sistema eléctrico, diversificando várias fontes de energia e permitir que haja uma redundância nos sistemas de fornecimento de energia eléctrica no país.

A energia eléctrica é um factor determinante para um país em vias de crescimento, Moçambique, com a capacidade de entrega de uma potência estimada em 352 MW para Malawi, o retorno poderá gerar fundos significativos que podem ser direccionados para diversas áreas estratégicas dentro da EDM, desde a melhoria na gestão financeira, investimento em novas tecnologias e estratégias de expansão assim também como na melhoria da gestão, transformação, distribuição e consumo de energia eléctrica, desta forma o beneficio dos recursos financeiros, Moçambique poderá tornar-se uma nação mais iluminada e energeticamente independente, promovendo o crescimento económico e o bem-estar social em todo o país.

## 1.4. Objectivos da pesquisa

### 1.4.1. Objectivo Geral

Projectar uma linha de transmissão de 400 kV para o fornecimento de 352 MW à subestação de Phombeya (MALAWI).

### 1.4.2. Objectivos Específicos

- Estudar o funcionamento do sistema de distribuição de energia eléctrica;
- Especificar os elementos da linha de transmissão de alta tensão;
- Dimensionar a capacidade da linha de transmissão realizando os cálculos eléctricos e mecânicos da linha Matambo-Phombeya;

## 1.5. Hipóteses da pesquisa

- **Hipótese positiva (1):** O projecto de construção de uma linha de transmissão de 400 kV para fornecer 352 MW a Malawi irá garantir uma operação contínua no fornecimento de energia, considerando todos parâmetros mecânicos e eléctricos devidamente observados durante o dimensionamento.
- **Hipótese negativa (0):** O projecto de construção de uma linha de transmissão de 400 kV para fornecer 352 MW a Malawi pode não garantir uma operação contínua no fornecimento de energia devido a possíveis falhas técnicas imprevistas após os parâmetros mecânicos e eléctricos tiverem sido devidamente observados durante o dimensionamento.

## 1.6. Descrição das Características do Ambiente de Estudo

Moçambique, localizado na costa sudeste da África e banhado pelo Oceano Índico, abriga a região de Matambo situada na província de Tete, no oeste do país. Essa região é caracterizada por planícies, montanhas e vales, e é integrada ao sistema eléctrico nacional. Com uma população total de aproximadamente 30,5 milhões (Censo, 2021), apesar de ser menos densamente povoada, é estratégica para o desenvolvimento econômico e energético do país. A economia moçambicana está em crescimento, impulsionada por sectores como agricultura, mineração e gás natural, além de receber investimentos significativos em infraestrutura, como a linha de transmissão Moçambique- Malawi, essenciais para o seu progresso econômico.

Em 2021, apenas 40% (Censo, 2021), da população tinha acesso à electricidade, mas o país tem metas ambiciosas para expandir a capacidade instalada e novas conexões até 2030, sob a liderança da Empresa de Eletricidade de Moçambique (EDM).

Por sua vez, o Malawi, localizado no sul da África e sem saída para o mar, compartilha fronteiras com Moçambique, Zâmbia e Tanzânia, e a subestação de Phombeya faz parte de seu sistema eléctrico interconectado. Com uma população de aproximadamente 20,41 milhões (Censo, 2022) e um crescimento anual de 2,6%, a economia de Malawi é fortemente dependente da agricultura, enfrentando desafios como mudanças climáticas e restrições de liquidez. Apesar das dificuldades econômicas, com alta inflação média de 27,4% em 2024, o governo lançou a "Visão Malawi 2063" para transformar o país em uma nação industrializada e autossuficiente, focando na comercialização da agricultura, industrialização e urbanização, com parcerias estratégicas como o Banco Mundial.

## **1.7. Estrutura do trabalho**

- **Primeiro Capítulo**

Este capítulo enquadra o tema do trabalho, onde é apresentada a contextualização da problemática, o problema de pesquisa, justificativa e os objectivos deste (o geral e o específico), prosseguindo com a Justificativa.

- **Segundo Capítulo**

Este capítulo cinge-se na fundamentação teórica do trabalho, onde a revisão da literatura foi destacada, fazendo uma fusão de pesquisas bibliográficas, recolha de informações em artigos, revistas científicas, teorias aprendidas durante o curso, de modo a apresentar a visão geral do tema em estudo.

- **Terceiro Capítulo**

Este capítulo apresenta metodologia da realização do trabalho, onde serão abordados os procedimentos, técnicas e métodos aplicados para a realização do trabalho e fazendo a explicações do objectivo a atingir.

- **Quarto Capítulo**

Neste capítulo serão apresentados os resultados do estudo e a sua descrição, isto é, os resultados dos cálculos mecânicos e eléctricos, por forma a concretizar o estabelecimento da linha de transmissão de 400 kV para interligação da subestação Moçambique-Matambo com finalidade de ampliar a rede eléctrica para Malawi- Phombeya com aproximadamente 218 km, alimentado a carga de 352 MW no destino (subestação de phombeya).

- **Quinto Capítulo**

Neste capítulo será concluído o trabalho, serão apresentadas as recomendações de modo a permitir que projectos futuros baseados neste, sejam desenvolvidos com uma determinada base, tais recomendações podem ter como objectivo melhorar o presente trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Sistemas de Energia Eléctrica

Os sistemas de energia eléctricos são sistemas constituídos por centrais de produção de energia eléctrica, subestações de transformação e de interligação, linhas de transmissão e de distribuição, e cargas, que, ligadas electricamente entre si, são responsáveis por gerar, transmitir e distribuir energia eléctrica atendendo a determinados padrões. (Leão, 2009, p. 17)

Segundo Fuchs (1979, p. 3), os modernos sistemas de energia eléctrica possuem uma estrutura baseada na organização vertical e numa organização horizontal, conforme mostra a figura 1.

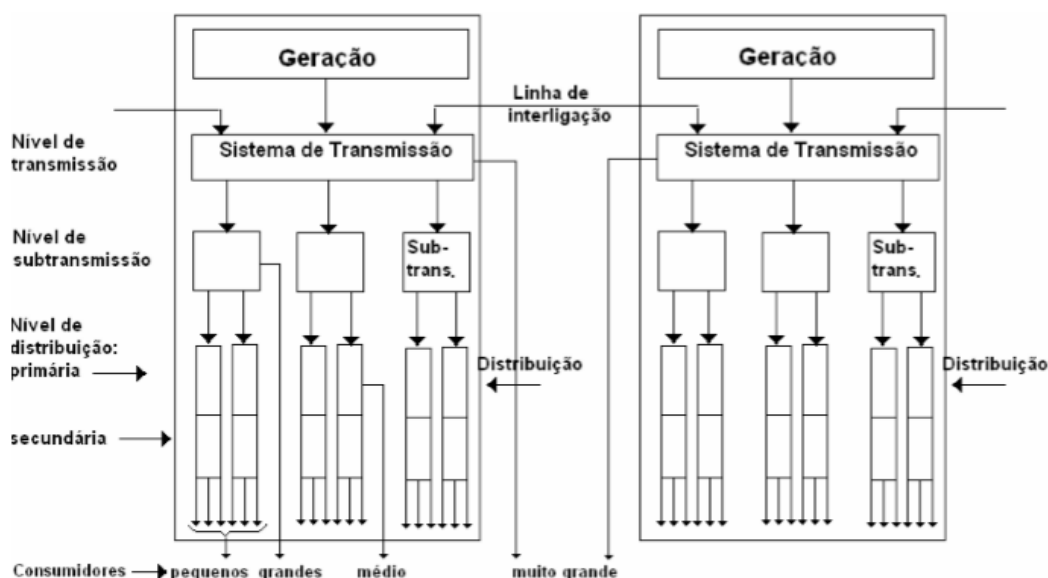


Figura 1. Sistemas De Energia Eléctrica

Fonte: FUCHS,1979, p. 3

A integração dos sistemas regionais e nacionais, através da interligação dos sistemas isolados, é considerada indispensável devido a diversos factores, que são:

- ✓ disponibilidades e necessidades diferenciadas;
- ✓ Possibilidade de se construírem centrais maiores e mais eficientes que seria economicamente inviável em qualquer um dos sistemas isolados;
- ✓ Aumento da capacidade de reserva global das instalações de gerações para casos de acidentes em alguma central dos sistemas que constituem o sistema interligado;
- ✓ Aumento da confiabilidade de abastecimento em situações anormais ou de emergência;

### 2.2. Estrutura básica de um sistema Eléctrico

Segundo (Carvalho, s.d, p.5), a electricidade é uma forma de energia crítica na nossa vida diária, na nossa sociedade e no mundo actual. No entanto, nem todos compreendem o

complexo processo que permite que a energia eléctrica chegue às nossas habitações, escritórios, fábricas e, de uma forma geral, a todos os locais em que é necessária. Os sistemas eléctricos de energia consistem em unidades de produção, onde a energia primária é convertida em energia eléctrica, nas redes de transmissão e distribuição, que transportam a energia eléctrica até aos locais de consumo, e nos equipamentos dos consumidores (também chamados de "cargas"), onde a energia é utilizada.

(Carvalho, s.d, p.5), afirma ainda que embora inicialmente a produção, transporte e consumo de energia eléctrica, se destinasse apenas alimentar pequenas regiões geográficas com sistemas de pequenas dimensões, actualmente esses sistemas regionais são interligados por linhas de transmissão de alta e muito alta tensão, formando sistemas complexos com redes fortemente interligadas que abrangem amplas áreas geográficas. A interligação das redes permite economias de escala, com uma utilização mais eficiente dos geradores, maior fiabilidade e um factor de carga mais elevado, ou seja, a relação entre a carga média e carga máxima devido à diversidade da carga, aumentando assim a capacidade de utilização das redes de energia. A interligação das redes também leva a um aumento da complexidade dos sistemas, e uma qualquer perturbação em uma parte do sistema pode ter um impacto muito negativo no sistema global interligado.

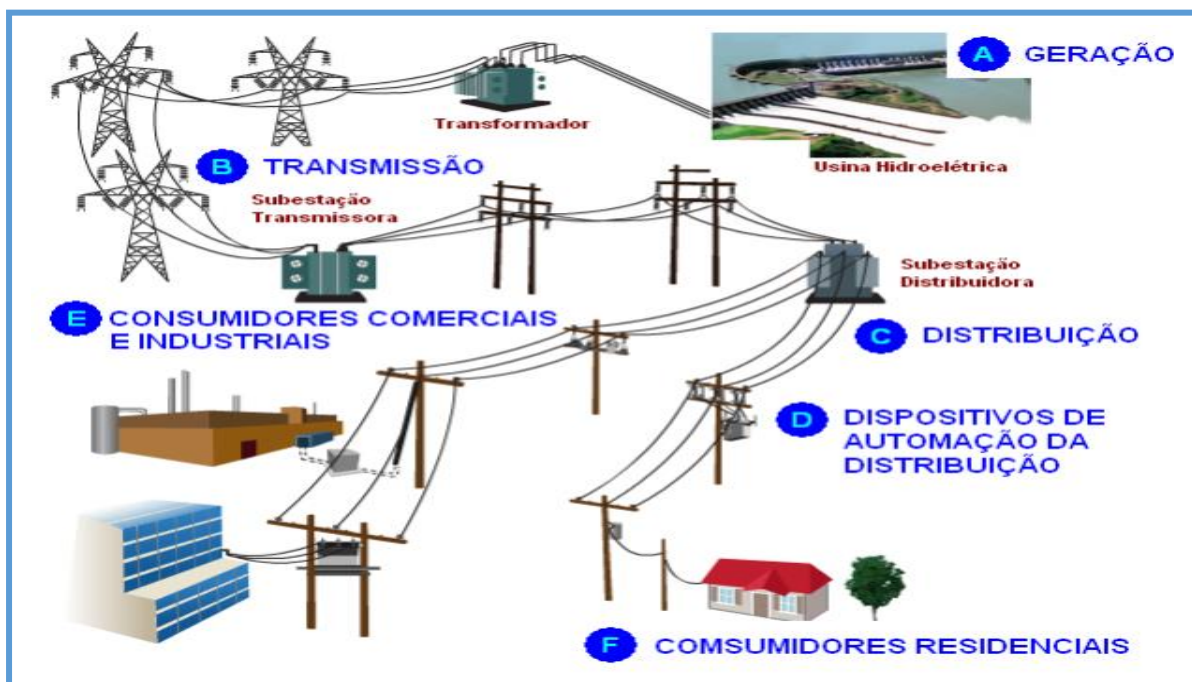


Figura 2. Estrutura Básica De Um Sistema Eléctrico

Fonte: <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.eletr.ufpr.br%2Fp%2>

### 2.3. Subestações de Energia Eléctrica

Subestação é um conjunto de equipamentos industriais interligados entre si com o objectivo de controlar o fluxo de potência, modificar tensões e alterar a natureza da corrente eléctrica assim como garantir a protecção do sistema eléctrico. Funciona como ponto de controlo e transferência em um sistema de transmissão eléctrica, direccionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais. (Muzy, 2012, p. 4)

Segundo o Eng<sup>o</sup>. e Mestre Chachaia (s.d, 2023), a subestação pode ser definida como sendo um conjunto de equipamentos destinados a transformar e regular as tensões geradas ou transportadas, permitir a operação segura das partes e componentes do sistema, eliminar ou reduzir as faltas e permitir o estabelecimento de alternativas para o suprimento (o mais continuo possível) da energia eléctrica, desta forma para que isso seja efectivado, ela é constituída por:

- Transformador de potência;
- Disjuntor extraível de média e alta tensão;
- Chave (seccionador, de aterramento, fusível, reversora);
- Banco de Capacitores;
- Pára-raios;
- Barramentos (variando com o nível de tensão);
- Conjunto de medição indirecta (Transformador de tensão VT e de Corrente TC).

### 2.4. Classificação das subestações eléctricas

#### 2.4.1. Quanto ao nível de tensão:

- **Baixa tensão:** utilizadas para subestações de níveis de tensão de  $0 \text{ kV} \leq U < 1 \text{ kV}$  ;
- **Média tensão:** utilizadas para subestações com níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV;
- **Alta tensão:** utilizadas para subestações com níveis de tensão entre 34,5 kV e 230 kV;
- **Extra- alta tensão:** utilizada para níveis maiores que 230 kV.

**N.B:** Estes níveis de tensão foram extraídos no *Boletim da República: Publicação Oficial da República de Moçambique*.

#### 2.4.2. Quanto aos tipos de subestações:

- **Subestação de Manobra**

É aquela que interliga circuitos de suprimento sob o mesmo nível de tensão, possibilitando sua multiplicação. É também adoptada para possibilitar o seccionamento de

circuitos, permitindo sua energização em trechos sucessivos de menores comprimentos. Na figura 3 pode-se ver uma foto de uma subestação de manobra.



Figura 3. Subestação de Manobra  
Fonte: Marques, S. (s.d.).

Encontra-se na saída das estações geradoras de electricidade

- **Subestação Elevadora**

É localizada na saída das estações geradoras de electricidade. Elevam as tensões para níveis de transmissão e subtransmissão, visando diminuir a corrente e, conseqüentemente, a secção dos condutores e as perdas. Esta elevação de nível de tensão é comumente utilizada para facilitar o transporte da energia, diminuição das perdas do sistema e melhorias no processo de isolamento dos condutores. Na figura 4 abaixo, pode-se observar uma foto de uma subestação elevadora.



Figura 4. Subestação Elevadora  
Fonte: (HM Sistemas, 2024)

- **Abaixadora**

Diminuem os níveis de tensão para transporta-las para mais próximo dos centros urbanos, e possuem a função de evitar inconvenientes para a população (rádio interferência, campos magnéticos intensos e faixas de servidão muito grandes). Na figura 5 é possível ver a ilustração dessa subestação próxima de uma vista urbana. (Muzy, 2012 p. 10)



Figura 5. Subestação Abaixadora  
Fonte: (Muzy, 2012 p. 10)

## 2.5. Rede Eléctrica Nacional

A Rede eléctrica nacional, actualmente está dividida em quatro regiões nomeadamente, Região Sul, Centro, Centro-Norte e Norte em que, para efeitos de gestão administrativa correspondem a Direcção de Transmissão Sul (DTSU), Direcção de Transmissão Centro (DTCE), Direcção de Transmissão Centro-Norte (DTCN) e a Direcção de Transmissão Norte (DTNO).

Antigamente possuía uma rede de transmissão de energia eléctrica em Alta Tensão composta por dois sistemas de transmissão independentes, uma na região sul do país e a outra nas regiões centro e norte. No entanto, no primeiro semestre de 2022 foi finalizada a construção da Linha de Transporte (LT) Casa Nova-Vilanculos, tornando a REN integrada. As tensões que compõem estes sistemas são de 400, 275, 220, 110 e 66 kV.

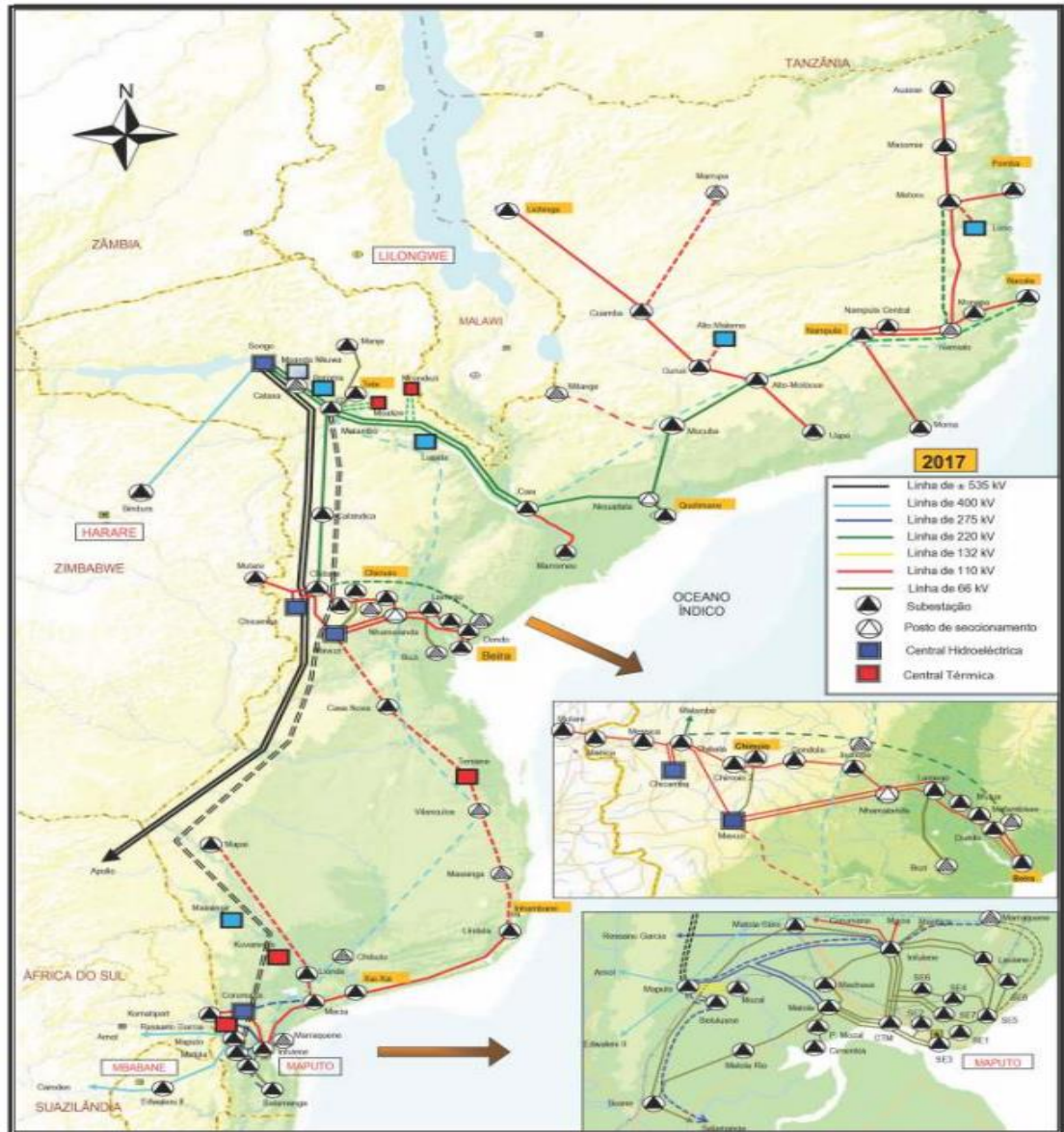


Figura 6. Rede Eléctrica Nacional

Fonte: (EDM, 2022)

## 2.6. Transmissão de Energia Eléctrica

O transporte de energia eléctrica é realizado em todos os níveis, diferenciando-se pelas tensões e quantidades de energia que é transportada por cada uma das linhas de transmissão aéreas e/ou cabos (que podem ser subterrâneos ou submarinos).

## 2.7. Linhas de transmissão de energia eléctrica

- **Linhas de transmissão**

Denominam-se linhas de transmissão as linhas que operam com as tensões mais elevadas do sistema e que transportam a energia eléctrica entre os centros geradores de energia e os centros consumidores. Em geral, as linhas de transmissão terminam nas subestações abaixadoras regionais, onde a tensão é reduzida para os níveis de subtransmissão. (FUCHS, 1979, p. 5)

- **Linhas de subtransmissão**

São as linhas que operam com níveis de tensão inferiores àqueles dos sistemas de transmissão. Estas linhas têm início nos barramentos das subestações regionais e terminam nas subestações abaixadoras locais. Em um sistema pode haver dois ou mais níveis de tensão de subtransmissão. (FUCHS, 1979, p. 5)

- **Linhas de distribuição primária**

São linhas em que a tensão possui um nível suficientemente baixo de modo que estas linhas possam ocupar vias públicas. No entanto, mesmo sendo relativamente baixo, o nível de tensão deve ser elevado o suficiente para assegurar boa regulação. (FUCHS, 1979, p. 6)

- **Linhas de distribuição secundária**

São linhas que operam com as tensões mais baixas do sistema e em geral seu comprimento não excedem 300 m. Sua tensão é apropriada para uso directo em máquinas eléctricas, aparelhos e lâmpadas. (FUCHS, 1979, p. 6)

## 2.8. Descrição das Linhas de Transmissão

Segundo CTEEP (2006), as linhas de transmissão aéreas são compostas por cabos metálicos, sustentados por torres através de cadeias de isoladores e ferragens e seguem pelas faixas de segurança.

Enquanto Leão (2023, p.1) defende linhas de Transmissão como condutores através dos quais energia eléctrica é transportada de um ponto transmissor a um terminal receptor.

## 2.9. Classificação das linhas de transmissão

Tabela 1. Classificação dos níveis de tensão, comprimento e condições gerais de fornecimento (Os níveis de tensão foram extraídos no Artigo 31 do Boletim *da República*)

<b>Quanto aos níveis de tensão</b>	
Transmissão	750 kV, 500 kV, 230 kV, 138 kV e 69 kV
Subtransmissão	138 kV, 69 kV e 34,5 kV
<b>Quanto ao comprimento da linha</b>	
Curtas	$L < 80 \text{ m}$
Médias	$80 \text{ m} < L < 249 \text{ m}$
Longas	$L > 249 \text{ m}$
<b>Quanto as condições gerais de fornecimento</b>	
Subgrupo A1	Tensão igual ou superior a 230 kV
Subgrupo A2	Tensão de 88 kV à 138 kV
Subgrupo A3	Tensão de 69 kV

**Fonte:** Autor do projecto

## **2.10. Componentes de uma LT**

Os componentes básicos de uma linha de transmissão aérea são:

- Condutores;
- Isoladores;
- Estrutura de Suporte; e
- Pára-raios.

### **2.10.1. Condutores**

É através de condutores eléctricos que as cargas eléctricas se deslocam, transmitindo a energia da geração até aos centros de consumo. O cobre foi a matéria-prima utilizada nas primeiras LTs devido a sua elevada condutividade, mas, actualmente, as linhas aéreas utilizam condutores compostos basicamente de alumínio, tanto em forma de liga ou em conjunto com o aço, o que se deve principalmente ao seu menor custo em relação ao cobre ou qualquer outro material condutor. (Menezes, 2015 p. 59)

#### **2.10.1.1. Características Dos Cabos Condutores**

Os cabos condutores utilizados em linhas de transmissão de energia eléctrica são elementos fundamentais para garantir a eficiência, segurança e confiabilidade do sistema eléctrico. Suas características técnicas variam de acordo com o nível de tensão da linha, o ambiente de instalação e as exigências normativas.

Os principais materiais condutores utilizados são o alumínio, o cobre e as ligas de alumínio, sendo o cabo do tipo ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) um dos mais utilizados em linhas de alta tensão, como as de 400 kV. Este tipo de cabo combina leveza e boa condutividade do alumínio com a resistência mecânica do aço.

Condutores ideais apresentam as seguintes características:

- Alta condutibilidade eléctrica – para que as perdas por efeito Joule possam ser mantidas, economicamente, dentro de limites aceitáveis;
- Baixo custo – o custo dos cabos condutores absorve parcela do investimento total de uma linha, influenciando, portanto, no custo do transporte da energia;
- Boa resistência mecânica – assegurar integridade mecânica à linha, garantindo continuidade de serviço e segurança às propriedades e às vidas;
- Baixo peso específico – as estruturas de suporte são dimensionadas para absorver os esforços mecânicos transmitidos pelos condutores, e um desses é seu peso. Por isso, quanto maior for seu peso, mais robustas e caras serão as estruturas;

- Alta resistência à oxidação e à corrosão por agentes químicos poluentes - a fim de que não venham a sofrer redução em sua secção com o decorrer do tempo, provocando redução na sua resistência mecânica e eventual ruptura.

Os condutores de alumínio nu com alma de aço (formados por um grupo de fios de alumínio dispostos concêntricamente em torno de um fio de aço), por apresentarem todas as características mencionadas no parágrafo a cima, são os mais utilizados nas linhas de transmissão em Moçambique.



Figura 7. Cabos ACSR e ACAR

Fonte: (Menezes, 2015 p. 60)

A figura 8 mostra um condutor de alumínio com alma de aço que tem o encordoado concêntrico composto de uma ou mais camadas (coroas) e o núcleo de aço. Pode ser constituído por um único fio de aço ou diversos fios de aço encordoados conforme a dimensão do cabo.



Figura 8. Conductor de alumínio com alma de aço

Fonte: (FUCHS, 1979)

## **2.11. Tipos de condutores usados para uma LT**

### **2.11.1. Condutores de Cobre**

O cobre é um dos materiais mais utilizados na fabricação de condutores eléctricos, devido às suas excelentes propriedades eléctricas e mecânicas. Apresenta elevada condutividade eléctrica, o que permite uma eficiente transmissão de corrente com menores perdas por efeito Joule. Além disso, possui boa resistência à corrosão, elevada maleabilidade e durabilidade, características que o tornam adequado tanto para instalações internas quanto para sistemas de potência. Devido à sua capacidade de conduzir corrente de forma eficaz, os condutores de cobre são frequentemente utilizados em circuitos onde se exige alta confiabilidade, como em subestações, painéis de controlo, conexões de aterramento e em trechos específicos de linhas de transmissão, especialmente em ambientes agressivos ou com altas exigências técnicas. Apesar do seu custo relativamente elevado em comparação com o alumínio, o cobre continua a ser uma escolha preferencial quando se prioriza a performance eléctrica, a estabilidade térmica e a vida útil do sistema. Ferreira, J. T. V. (2018)

### **2.11.2. Condutores de Alumínio e Alumínio e Aço**

Os condutores de alumínio são amplamente utilizados em sistemas de transmissão e distribuição de energia eléctrica, especialmente em linhas aéreas. Isso se deve à sua boa condutividade eléctrica, baixo peso específico e custo mais acessível em comparação ao cobre. Apesar de possuírem menor condutividade que o cobre, sua leveza permite o uso de vãos maiores entre torres, contribuindo para a redução do custo total das infra-estruturas. Entre os condutores de alumínio, destaca-se o tipo ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), conhecido como condutor de alumínio com alma de aço. Esse tipo de condutor é constituído por fios de alumínio dispostos em torno de um núcleo de aço galvanizado. A combinação proporciona ao cabo uma excelente condutividade (devido ao alumínio) e alta resistência mecânica (proporcionada pelo aço), sendo ideal para longas distâncias e regiões sujeitas a condições climáticas adversas.

Além disso, os condutores ACSR apresentam boa resistência à tracção, sendo adequados para suportar esforços mecânicos significativos, como os causados por ventos, gelo e grandes vãos. Por esses motivos, são amplamente utilizados em linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão, como as de 220 kV e 400 kV.

### **2.11.3. Condutores em Ligas de Alumínio**

Os condutores em ligas de alumínio representam uma evolução dos tradicionais condutores de alumínio puro, oferecendo melhorias significativas em termos de resistência mecânica e durabilidade. Essas ligas são compostas, geralmente, por alumínio com adições controladas de elementos como silício, magnésio e outros metais, que conferem ao material maior resistência à tração e à fluência térmica, mantendo, ao mesmo tempo, uma condutividade eléctrica aceitável.

Devido à sua maior robustez mecânica, esses condutores são especialmente indicados para linhas de transmissão que exigem maior resistência a esforços físicos, como em regiões com ventos fortes, grandes vãos ou ambientes com condições climáticas severas. Além disso, apresentam maior resistência à corrosão, tornando-se uma escolha vantajosa em zonas costeiras e industriais. Apesar de sua condutividade ser ligeiramente inferior à do alumínio puro, o bom desempenho mecânico e a maior durabilidade dos condutores em ligas de alumínio compensam essa diferença, permitindo projectos mais optimizados e com menor necessidade de manutenção. Esses condutores podem ser utilizados tanto em linhas de média quanto de alta e extra-alta tensão, sendo compatíveis com os critérios técnicos exigidos para sistemas modernos de transmissão de energia eléctrica.

### **2.11.4. Condutores Alumoweld**

Os filamentos destes cabos são obtidos pela extrusão de uma capa de alumínio sobre um fio de aço de alta resistência. O uso destes cabos, em linhas de transmissão, é limitado a situações especiais em que são necessárias pequenas seções de material condutor aliadas a elevadas resistências mecânicas. Estes condutores são aplicados como cabos pára-raios e também como condutor neutro em sistemas de distribuição, urbanos e rurais.

### **2.11.5. Condutores Expandidos**

São condutores constituídos de materiais diversos, designados como expandidos. A finalidade destes condutores é reduzir o gradiente de potencial em suas superfícies e com isso aumentar o valor da tensão crítica de corona (valor mínimo de tensão, a qual o condutor está submetido, para que tenha início a manifestação do efeito Corona).

### **2.11.6. Cabos de guarda (linhas aéreas)**

Segundo Ferreira (2018, p.21) os cabos de guarda definem-se como sendo elementos cuja função é proteger e blindar os condutores às descargas atmosféricas (as quais deverão resistir), ao permitir transportar a maior parte da corrente, em caso de contacto acidental,

reduzindo a corrente escoada para o solo através dos apoios. Os cabos de guarda são colocados acima dos condutores de uma linha aérea de MT, AT, e MAT e ligados à terra nos apoios (circuito de terra de protecção), terminando nas subestações extremas. Os cabos de guarda são igualmente utilizados para comunicações e telecomando, sendo para esse efeito utilizados condutores de alumínio, com fibra óptica no seu interior.

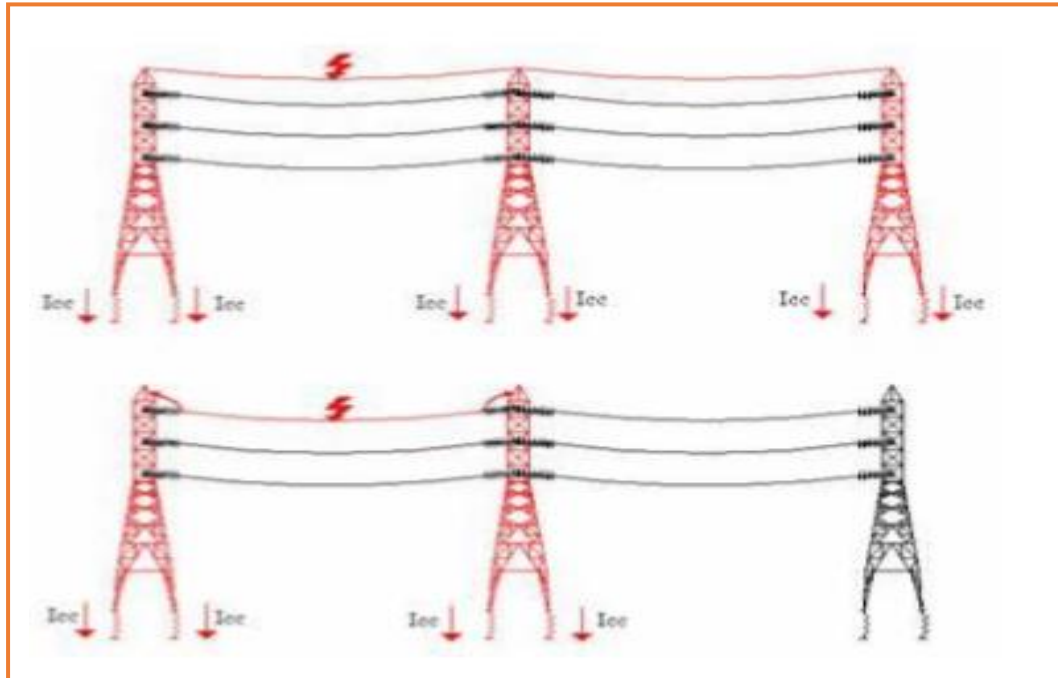


Figura 9. Cabos de guarda (linhas aéreas de MT)

Fonte: (Ferreira, 2018, p.22)

Localizados no topo da torre da linha, são usados como escudos (protecção) da linha, interceptando as descargas atmosféricas que do contrário incidiriam directamente sobre a linha. A grande vantagem dessa associação reside na alta confiabilidade na transmissão e recepção via fibra óptica e na quantidade potencial de canais disponíveis.



Figura 10. Cabos Pára-Raios com Fibra Óptica

Fonte: (Leão, 2023)

## 2.12. Isoladores

Segundo Menezes (2015), O desempenho das linhas de transmissão está directamente relacionado com o comportamento dos seus isoladores. Estes equipamentos têm a função de sustentar os cabos e mantê-los electricamente isolados das estruturas.

Em linhas aéreas, os cabos são suspensos e isolados da torre por cadeias de isoladores que estão sujeitas a forças verticais e horizontais. O número de isoladores por cadeia é determinado de acordo com a tensão da linha e o isolamento deve suportar tensões maiores que a tensão normal de operação, resistindo, inclusive, a descargas atmosféricas e surtos de manobras.

Podem ser fabricados em material cerâmico, como porcelana vitrificada ou vidro temperado, ou baseados em compostos poliméricos, como a borracha de silicone em torno de um núcleo de fibra de vidro. Ambos os materiais são dieléctricos e visam garantir a confiabilidade do sistema, tanto no isolamento entre os condutores e a estrutura, quanto na sustentação e fixação dos cabos, suportando os esforços mecânicos.

Actualmente os isoladores de vidro são os mais utilizados em linhas de transmissão de extra-alta tensão (EAT) devido ao seu menor custo de manutenção e experiência de funcionamento comprovada, conforme mostra a figura 11. Os isoladores de porcelana, apesar de serem bastante vistos em linhas de distribuição, possuem limitações de comprimento para uso em tensões muito elevadas.

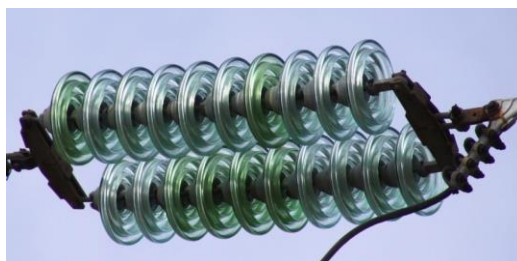


Figura 18. Cadeia dupla de isoladores de vidro

Fonte: (Menezes 2015 p. 58)

Os isoladores poliméricos são fabricados em uma só peça para qualquer classe de tensão. Apesar de serem mais leves (e, portanto, mais fáceis de manusear e transportar), além de possuírem um menor custo imediato em relação à cadeia completa de isoladores de vidro, ainda possuem elevado custo de manutenção, pois as técnicas de inspecção desses materiais são caras e ainda pouco confiáveis. Apesar disso, têm excelente desempenho tanto em áreas com níveis elevados de poluição quanto em regiões marítimas e são bastante utilizados em áreas susceptíveis a vandalismo. A figura 12 ilustra a composição de um isolador polimérico e suas ferragens associadas.

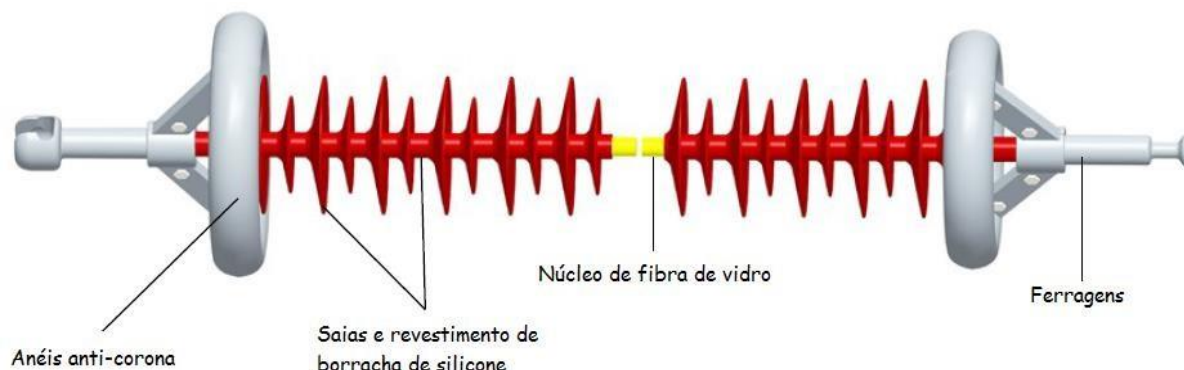


Figura 12. Isolador polimérico (Siklowatt – 2014)

Fonte: (Menezes 2015 p. 58)

Os isoladores também podem ser classificados quanto à sua forma de utilização, sendo divididos em suspensão e ancoragem. As cadeias de suspensão sustentam o peso do condutor e podem ser observadas na forma de “I” ou “V”, enquanto as cadeias de ancoragem, além de suportarem o peso do condutor, resistem às forças de tracção do cabo, tolerando fortes deflexões. Os isoladores são equipamentos frágeis e qualquer dano físico à sua estrutura pode gerar fuga de energia ou, no pior dos casos, o rompimento da isolação. Por isso, devem ser tomados cuidados especiais tanto no armazenamento quanto no transporte e montagem destes materiais. (Menezes, 2015 p.59)

Os isoladores devem oferecer uma alta resistência para correntes de fuga de superfície e ser suficientemente espesso para prevenir ruptura sob as condições de tensão que devem suportar. Para aumentar o caminho de fuga e, portanto, a resistência de fuga, os isoladores são construídos com curvas e saias.

**Com relação aos condutores, os isoladores têm a função de:**

- Suspensão;
- Ancoragem (fixar);
- Separação.

**Os isoladores são sujeitos a solicitações mecânicas e eléctricas.**

**Solicitações Mecânicas:**

- Forças verticais pelo peso dos condutores;
- Forças horizontais axiais para suspensão;
- Forças horizontais transversais pela acção dos ventos;



Figura 13. Cadeias de isoladores sujeitas a esforços Horizontais

Fonte: (Prado Filho, H. 2020).

### 2.13. Pára-Raios

As linhas de transmissão e redes aéreas de distribuição urbanas e rurais são extremamente vulneráveis às descargas atmosféricas que, em determinadas condições, podem provocar sobretensões no sistema (sobretensões de origem externa), ocasionando a queima de equipamentos, tanto os da companhia concessionária como os aparelhos do consumidor de energia eléctrica. (Filho, 2013 p. 29)

Sua localização nas estruturas, em relação aos cabos condutores, é fundamental no grau de protecção oferecido à linha, sendo inclusive alvo de estudos específicos de coordenação de isolamento de linhas de transmissão para indicar qual a configuração óptima para a instalação.

Normalmente são utilizados cabos de aço que são conectados à torre através das ferragens de fixação e, deste modo, as eventuais descargas atmosféricas circulam pelo cabo de aço, pela torre e pelo sistema de aterramento (cabo contrapeso). Porém, nos últimos anos, diversas transmissoras têm adoptado a estratégia de substituir um dos cabos pára-raios por caboOPGW (Optical Ground Wires).



Figura 14. Pára-Raios

Fonte: (ABB suger arresters, 2015)

## 2.14. Ferragens e Acessórios

Segundo Menezes (2015), as ferragens das linhas de transmissão são constituídas de elementos metálicos, como o aço e o alumínio e são projectadas tanto para resistir aos esforços electromecânicos como para reduzir efeitos eléctricos, como rádio interferência (RIV) e corona. Os grampos realizam a interligação mecânica entre a cadeia de isoladores e a estrutura, além de transmitirem cargas distintas às torres. São utilizados tanto nas cadeias de suspensão como nas de ancoragem e, de acordo com o engate, podem ter as extremidades em formato de bola, concha, elo, gancho, garfo ou olhal.

As ferragens nas cadeias de suspensão, além de sustentarem os condutores, transmitem à estrutura o peso dos cabos e das cargas devidas ao vento, em uma disposição vertical e em forma de “I” ou “V”. Já as ferragens de ancoragem, através de uma disposição horizontal, transmitem para a estrutura a carga de tracção dos cabos, além das cargas devidas ao vento.

Na construção e manutenção de linhas de transmissão a escolha e implementação adequadas dos componentes são essenciais para garantir a confiabilidade, eficiência e segurança do sistema. Alguns acessórios e ferragens duma LT:

- **Suportes e braços:** englobam suportes para isoladores, braços metálicos, estruturas de ancoragem, pórticos e cruzetas;
- **Ferragens de fixação:** incluem grampos de suspensão e ancoragem, além de parafusos e porcas de alta resistência;
- **Componentes de conexão:** contemplam terminais de compressão e conectores de linha e aterramento;
- **Ferragens para cabos:** como tensores, mordentes e esticadores;
- **Acessórios de segurança:** barreiras de protecção, placas de sinalização e dispositivos anti- trepidação;
- **Protecção adicional:** capas protectoras para isoladores e espanta-pássaros;
- **Acessórios para Instalação e manutenção:** rolamentos e polias para instalação de cabos, equipamentos de teste e medição;
- **Ferramentas de manutenção:** ferragens de suporte adicional, ganchos de suporte, estribos e travessas;
- **Amortecedores:** amortecedores de vibração e amortecedores de espaçamento.

## 2.15. Estruturas

As dimensões e formas de estruturas de LT's dependem:

- Disposição dos condutores (triangular, horizontal, vertical);
- Distância entre condutores;

- Dimensões e forma de isolamento;
- Número de circuitos.

## 2.16. Materiais estruturais

São usadas estruturas metálicas de aço revestido com zinco (aço galvanizado), protecção que atende à maioria das condições de agressividade atmosférica. O revestimento é obtido através de imersão em banho de zinco e as suas principais características (espessura, uniformidade e aderência) dependem da preparação superficial, temperatura e composição do banho, tempo de imersão, velocidade de remoção da peça e composição do aço. As torres de transmissão são solidamente aterradas.



Figura 15. Estrutura

Fonte: <https://www.steeltowerchn.com/wp-content/uploads/2018/01/lattice-tower-1.jpg>

### 2.16.1. Estruturas de suporte

As estruturas de linhas de transmissão são um dos elementos mais visíveis do sistema de transmissão eléctrico.



Figura 16. Estrutura autoportante

Fonte: [https://pt.made-in-china.com/co\\_cntianyicool/product\\_Electric-Transmission-Line-Tower-Angular-Lattice-Power-Steel-Tower\\_ysihehniiy.html](https://pt.made-in-china.com/co_cntianyicool/product_Electric-Transmission-Line-Tower-Angular-Lattice-Power-Steel-Tower_ysihehniiy.html)



Figura 17. Estrutura estaiada

Fonte: (Moura, de Moura & da Rocha, 2019 p. 83)

### 2.16.2. Estrutura de Suspensão

É a mais comum, inclusive por ser a mais simples e a mais econômica. Tem por função apoiar os cabos condutores e pára-raios, mantendo-os afastados do solo e entre si.

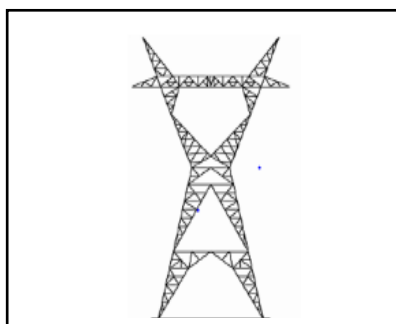


Figura 18. Estrutura de suspensão

Fonte: (Moura, de Moura & da Rocha, 2019 p. 84).

### 2.16.3. Estrutura de amarração ou ancoragem

Diferentemente das estruturas de suspensão, ela secciona mecanicamente as linhas de transmissão, servindo de ponto de reforço e abertura eventual em situações específicas, como mostrado na figura 19.



Figura 19. Estrutura de amarração ou ancoragem

Fonte: INCOPOSTES, 2013

#### 2.16.4. Estrutura de ângulo

É utilizada caso seja necessária uma derivação em um ponto da linha, como mostrado na figura 20.



Figura 20. Estrutura de ângulo

Fonte: <https://www.researchgate.net/profile/AndrePinheiro15/publication/338215859/figure/fig2/AS:841197400645632@1577568497396/Fiua-2-Torre-autoportante-de-suspensao>.

#### 2.16.5. Estrutura de transposição

É destinada a facilitar a execução das transposições nas linhas de transmissão, como mostrado na figura 21.

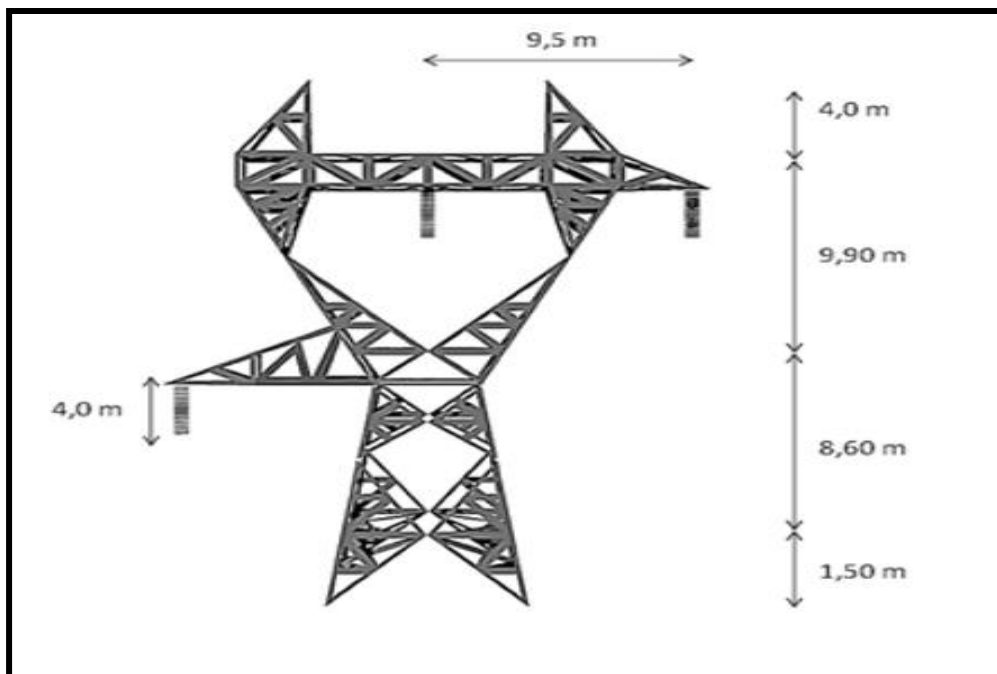


Figura 21. Estrutura de transposição

Fonte: (Moura, de Moura & da Rocha, 2019 p. 85)

## 2.17. Chave seccionadora

Segundo a International Electrotechnical Commission. (2021), A chave seccionadora é um dispositivo utilizado em sistemas eléctricos, especialmente em subestações, para separar circuitos de forma segura, garantindo uma interrupção visível do circuito durante a manutenção ou operação. Ela é projectada para desconectar um trecho de linha ou equipamento sem causar interrupções no sistema de energia. Sua principal função é garantir a segurança dos trabalhadores e permitir a inspecção, manutenção ou reparo dos componentes da rede eléctrica, sem perturbar o funcionamento do resto do sistema.



Figura 22. Chave Seccionadora

Fonte: <https://www.eletrafo.com.br/chave-seccionadora-tripolar-15kv-630a-160mm-np9015-american-fuse-14560014/p>

### 2.17.1. Tipos de chaves Seccionadoras

- a) **Chave Seccionadora Manual:** Feita manualmente, o operador gira a alavanca ou accionamento mecânico para abrir ou fechar a chave. Aplica-se em subestações de baixa tensão;
- b) **Chave Seccionadora Automática:** É accionada automaticamente em função de eventos no sistema, como falhas de corrente ou mudanças na carga. Aplica-se em subestações de alta tensão ou em locais onde a automação é necessária.
- c) **Chave Seccionadora de Alta Tensão (AT):** as suas características são projectadas para suportar grandes tensões e correntes. Geralmente, é utilizada em sistemas de alta tensão e inclui mecanismos de isolamento a gás, óleo ou vácuo.
- d) **Chave Seccionadora de Baixa Tensão (BT):** as suas características são projectadas para circuitos de menor tensão, e normalmente tem uma operação mais simples e directa.
- e) **Chave Seccionadora Fusível:** este tipo tem a função de seccionar o circuito e proteger o sistema contra sobre correntes, utilizando fusíveis para cortar a corrente em caso de falha.

### 2.17.2. Construção e características das Chaves Seccionadoras

As chaves seccionadoras são compostas principalmente por:

- **Contactores:** Dispositivos que realizam o contacto físico para fechar ou abrir o circuito.
- **Mecanismo de accionamento:** Pode ser manual ou automático, dependendo do modelo.
- **Mecanismo de isolamento:** Em alguns modelos, um mecanismo adicional de isolamento é incorporado para garantir que não haja contacto com partes energizadas quando a chave estiver em posição aberta.
- **Indicadores de posição:** Muitos modelos incluem sinais visíveis (como luzes ou marcadores) para indicar se a chave está aberta ou fechada.

### 2.18. Disjuntores

Segundo McDonald, J. D. (2012). Disjuntores são dispositivos essenciais em subestações eléctricas, desempenhando um papel crucial na protecção e controlo do sistema eléctrico. Eles são responsáveis por interromper a corrente eléctrica em caso de falhas, evitando danos aos equipamentos e garantindo a segurança dos operadores.



Figura 23. Disjuntores de uma Subestação Eléctrica de alta tensão

Fonte: Siemens (2022)

### 2.18.1. Funções e Importância

- **Protecção:** os disjuntores protegem os circuitos eléctricos contra sobrecargas e curtos-circuitos, interrompendo a corrente eléctrica automaticamente quando detectam uma falha.
- **Isolamento:** permitem o isolamento de partes do sistema para manutenção ou em caso de falha.
- **Controlo:** ajudam no controlo do fluxo de energia, podendo ser operados manualmente ou automaticamente.
- **Segurança:** garantem a segurança de pessoas e equipamentos ao interromper a corrente em situações perigosas.

### 2.18.2. Tipos de Disjuntores

Os principais tipos de disjuntores são:

- Disjuntores a óleo;
- Disjuntores a vácuo;
- Disjuntores a ar comprimido e
- Disjuntores a SF<sub>6</sub>.

## 2.19. Transformadores de medida

### 2.19.1. Transformador de corrente

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e protecção funcionar adequadamente sem que seja necessário possuir correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples, eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é, na maioria dos casos, igual a 5 A. (Filho 2013 p.387)

As características dos transformadores de corrente e tensão como, número de secundários, relações de transformação, carga, exactidão, devem satisfazer as necessidades dos sistemas de protecção e de medição das grandezas eléctricas e medição de facturamento, quando aplicável (Frontin, 2013).



Figura 24. Transformador de corrente

Fonte: Autor

### 2.19.2. Transformador de tensão

Segundo Filho (2013 p.387) os transformadores de tensão são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e protecção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados.

Na sua forma mais simples, os transformadores de tensão possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115 V. Dessa forma, os instrumentos de protecção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolação. Os transformadores de tensão são equipamentos utilizados para suprir aparelhos que apresentam elevada impedância, tais como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia.



Figura 25. Transformador de tensão

Fonte: Autor

## 2.20. Barramentos

Segundo *Stoft* (2002), os barramentos em uma subestação eléctrica são componentes cruciais que desempenham o papel de distribuir energia eléctrica de um ponto de entrada (geração ou transmissão) para vários pontos de saída.

A função do barramento é interligar os circuitos e os equipamentos existentes na subestação. A sua composição física deve atender às especificações técnicas do circuito e suportar os esforços de tracção impostos pela estrutura da subestação.



Figura 26. Barramentos

Fonte: *Stoft* (2002)

### 2.20.1. Tipos de barramentos

- Barramento Simples;
- Barramento Duplo (com chaves de transferência);
- Barramento Principal e de Transferência; e
- Barramento em Anel.

## 2.21. Dimensionamento da linha de transmissão de energia eléctrica

O dimensionamento de uma linha de transmissão de energia eléctrica é eficaz para melhorar e elevar a qualidade da energia para as subestações, reduzir as perdas de energia por efeito Joule reduzindo deste modo a resistência a passagem da corrente eléctrica, e muito mais. Para o dimensionamento de uma linha de transmissão de energia eléctrica, temos que considerar os seguintes cálculos:

### 2.21.1. Previsão de carga

A previsão de carga é importante para determinar a potência aparente instalada prevista para a subestação a alimentar.

Para o cálculo da previsão de carga, usaremos as seguintes equações:

$$P_c = P_A x (1 + a)^n \quad \text{Equação 2.1}$$

**Onde:**

$P_c$ - Potência activa na carga (kW);

$P_A$ - Potência activa actual (kW);

$a$ - Factor de crescimento de carga anual;

$n$ - Período de avaliação de crescimento de carga (em anos)

$$P_n = 1,25 x P_c \quad \text{Equação 2.2}$$

**Onde:**

$P_n$ - Potência nominal activa (kW).

$$S_n = \frac{P_n}{\cos\phi} \quad \text{Equação 2.3}$$

**Onde:**

$S_n$  - Potência nominal aparente (kVA)

$\cos\phi$  - Factor de potência

### 2.21.2. Corrente de serviço

É possível calcular a corrente de serviço através da seguinte fórmula:

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} x U_{linha}} \quad \text{Equação 2.4}$$

**Onde:**

$I_s$ - é a corrente de serviço (A);

$S_n$ - é a potência nominal aparente da linha (kVA);

$U_{linha}$ - é a tensão composta de linha (kV).

### 2.21.3. Teste de capacidade de condução da corrente

A corrente de serviço conduzida deve ser menor ou igual a corrente admissível (capacidade de condução da corrente).

Segundo o Método de Capacidade de Condução da Corrente, a secção do condutor eléctrico para transportar a demanda requerida é determinada pondo a corrente que passará por ele, de modo que o condutor a escolher seja capaz de suportar os efeitos térmicos causados por esta corrente em condições de funcionamento normal. E também esta deve ter secção suficiente para não causar quedas de tensão que ultrapassam os estabelecidos pelas normas de

RSLEAT (Regulamento de Segurança das Linhas Eléctricas de Alta Tensão) e para reduzir os custos que possam advir por sobredimensionamento do cabo.

A equação 2.5 ilustra a expressão matemática deste enunciado.

$$I_s \leq I_n \leq I_z \quad \text{Equação 2.5}$$

**Onde:**

$I_z$  – Corrente admissível do condutor (A);

$I_s$  – Corrente de serviço (A);

$I_n$  – Corrente nominal (A)

#### **2.21.4. Perdas eléctricas e queda de tensão na linha**

A queda de tensão máxima da linha e as perdas de transmissão são determinadas com base nas expressões seguintes:

$$\Delta P = 3xRxI_s^2 \quad \text{Equação 2.6}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_s * (R * \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad \text{Equação 2.7}$$

**Onde:**

$\Delta P$ : é a perda de potência eléctrica activa de energia ao longo da linha (kW);

$\Delta U$ : é a queda de tensão eléctrica (kV);

R - é a resistência ohmica eléctrica ( $\Omega$ );

A queda de tensão pode ser convertida em valores percentuais através da equação seguinte:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} * 100 \quad \text{Equação 2.8}$$

**Onde:**

$\Delta U$ - Queda de tensão determinada pela equação 2.7

$\Delta U\%$ - Queda de tensão percentual

U- Tensão nominal da linha

#### **2.21.5. Escolha dos TC's (Transformadores de Corrente)**

O dimensionamento dos transformadores de corrente é indispensável para fornecer informação adequada às funções de protecção e medição, relativa às correntes que circulam

na LT. Os transformadores de corrente devem fazer a transformação de forma precisa e sem entrar em saturação.

A escolha dos TC's deve obedecer os seguintes critérios básicos:

- a) TC deve funcionar adequadamente em condição normal de operação (corrente de longa duração)

$$I_p (nom TC) \geq k * I_p (nom linha) \quad \text{Equação 2.9}$$

**Onde:**

k é um factor de sobrecarga variável de empresa para empresa

- b) TC não deve saturar sob condições de falta máxima

$$I_p (nom TC) * 20 \geq I_{cc max} \quad \text{Equação 2.10}$$

**Onde:**

$I_{cc max}$  - é a corrente máxima de curto-circuito (A);

k - é um factor de sobrecarga variável de empresa para empresa;

$I_p$  - é a corrente primária (A)

Tabela 2. Valores normalizados para a escolhas dos TC's

**(a) Corrente primaria nominal (Ipn)**

5-10-15-20-25-30-40-50-60-75-100-125-150-200-250-300-400-500-600-800-1000-1200-1500-2000-3000-4000-5000-6000-8000.
--

**Fonte:** autor do projecto

### 2.21.6. Dimensionamento dos pára-raios

Ao escolher os pára-raios, temos que tomar em consideração os cálculos dos seguintes factores:

**Fórmula do cálculo da tensão nominal**

$$U_{max} = 1,1 * U_n \quad \text{Equação 2.11}$$

**Onde:**

$U_{max}$  - é a tensão máxima (V);

$U_n$  - é a tensão nominal (V).

**Tensão máxima do equipamento**

$$U_{fase} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 2.12}$$

**Onde:**

$U_c$  - é a tensão máxima do equipamento (V);

$U_{max}$  - é a tensão máxima (V).

#### **Tensão máxima de operação contínua**

$$MCOV = 0,8 * U_R \quad \text{Equação 2.13}$$

**Onde:**

$U_R$  - é a tensão nominal do para-raios (V);

MCOV - é a tensão máxima de operação contínua (V).

#### **Capacidade Temporária de Tensão de Operação:**

• Para 1 segundo:  $TOV = 1,16 * U_R$       Equação 2.14

• Para 10 segundos:  $TOV = 1,1 * U_R$       Equação 2.15

**Onde:**

$U_R$  - é a tensão nominal do para-raios (V);

TOV - é o tempo de operação da tensão (s).

### **2.21.7. Escolha do disjuntor geral**

A classificação dos níveis de tensão difere de país para país, razão pela qual devem ser referidos os valores das tensões normalizadas, de acordo com a Norma IEC standard voltages (citado por Bolotinha, 2018, p.1), que correspondem aos valores máximos de tensão suportados pelos equipamentos e que se indicam na Tabela 3, onde indicam-se também os valores normalizados para os disjuntores MAT, AT e MT.

#### **As características dos disjuntores são os seguintes:**

- Tensão estipulada;
- Intensidade estipulada.;
- Poder de corte estipulado;
- Frequência (50 Hz ou 60 Hz).

Tabela 3. Valores normalizados dos disjuntores MAT, AT e MT

<b>Valores estipulados normalizados</b>	<b>MAT e AT</b>	<b>MT</b>
<i>Tensão (kV)</i>	72,5; 123; 170; 245; 300; 420; 550; 800	7,2; 12; 17,5; 24; 36
<i>Intensidade (A)</i>	2000; 2500; 3150; 4000; 5000	400; 630; 800; 1250; 1600
<i>Poder de corte estipulado (kA)</i>	31,5; 40; 50; 63; 80	12,5; 16; 20; 25

Fonte: Bolotinha, 2018 p. 14

Para escolher o disjuntor adequado devemos considerar as características acima mencionadas tendo em conta que existem alguns parâmetros a seguir para a selecção do poder de corte do disjuntor. Devemos considerar a corrente máxima a possivelmente percorrer a linha e a corrente de choque. Esses parâmetros nos ajudarão a escolher o poder de corte adequado para o disjuntor de acordo com a tensão da linha.

Para calcular o poder de corte do disjuntor, usaremos a seguinte equação:

$$I_{ch} = \sqrt{2} * I_{cc} * \chi \quad \text{Equação 2.16}$$

**Onde:**

$I_{cc}$  : Corrente de curto-circuito (A)

$\chi$  : Factor que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito

$I_{ch}$  : Corrente de choque

#### **2.21.8. Escolha do Seccionador**

Para a selecção da chave seccionadora deve ser observadas as características eléctricas e as condições climática em que o mesmo será submetido.

- Deve suportar uma tensão de zero à 550 kV, em relação a tensão da linha;
- Suportar uma corrente nominal de até 63 kA (rms) ou 4000 A;
- Fácil instalação e manutenção;
- Certificação IEC/ANSI;
- Resistência a fenómenos sísmicos.

#### **2.21.9. Dimensionamento dos isoladores**

Os isoladores escolhidos nesse projecto deverão suportar tanto os esforços eléctricos como mecânicos da linha. Deve-se determinar alguns parâmetros importantes como:

**Comprimento mínimo da linha de fuga:**

$$L_f \geq L_{fe} * U_{max} \quad \text{Equação 2.17}$$

**Onde:**

$L_f$ - Linha de fuga mínima (mm);

$L_{fe}$ - Linha de fuga específica (mm/kV);

$U_{max}$ - Tensão estipulada (kV).

### Tensão mínima de contornamento sob chuva

$$U_{ch} = 2,45 * U_{max} \quad \text{Equação 2.18}$$

#### Onde:

$U_{ch}$ - tensão de contornamento sob chuva (kV);

$U_{max}$ - Tensão estipulada (kV)

### Distância de fuga necessária (em metros).

$$d = L_{fe} \cdot V \quad \text{Equação 2.19}$$

#### Onde:

$L_{fe}$ - Linha de fuga específica (mm/kV);

$V$ - Tensão estipulada (kV);

$d$ - Distância de fuga (m).

## 2.22. Cálculos mecânicos

Depois de se analisar o estado mecânico da linha de transmissão deverão ser determinados os parâmetros que garantem a estabilidade das linhas e as distâncias mínimas de segurança. Isso ajudará a determinar os apoios a utilizar, vãos, flecha e a verificação da suportabilidade dos cabos quando submetidos a esforços.

### 2.22.1. Tensão máxima de tracção (daN)

A tensão de ruptura (ou força de ruptura) de um condutor é uma especificação importante que indica a força máxima que o condutor pode suportar antes de falhar.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R}{2,5} \quad \text{Equação 2.20}$$

$$\sigma^*_m = \frac{\sigma_R}{2,5 * S} \quad \text{Equação 2.21}$$

#### Onde:

$\sigma_m$ - Tensão máxima de tracção (daN);

$\sigma_R$ - Tensão de rotura do condutor (daN);

$S$ : Secção efectiva dos condutores (  $mm^2$  ).

### 2.22.2. Distância média geométrica

$$D_{mg} = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{13}} \quad \text{Equação 2.22}$$

**Onde:**

$D_{mg}$ - É a distância média geométrica entre os condutores, em metros (m).

$D_{12}, D_{23}, D_{13}$ - Distâncias entre os condutores.

**2.22.3. Distância entre condutores e o cabo de guarda**

Para determinar a distância desejada, deve-se recorrer ao Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T), conforme descrito no artigo 32º, ponto 1. Este artigo estipula que a distância entre os condutores nus e o cabo de guarda, próximo à fixação dos suportes, não deve ser inferior à distância entre os próprios condutores, a qual é de 1,27 metros. Além disso, o R.S.L.E.A.T., em seu artigo 33º, estabelece que, para condutores em repouso, a distância mínima é determinada pela equação abaixo:

$$D = 0,10 + 0,0065 \times U \quad \text{Equação 2.23}$$

**Onde:**

D - Distância (m);

U - Tensão nominal da linha (kV)

Para condutores nus desviado pelo vento, a distância mínima é dada da pela equação abaixo:

$$D = 0,0065 \times U \quad \text{Equação 2.24}$$

**Onde:**

D - Distância (m);

U - Tensão nominal da linha (kV)

**2.22.4. Distância dos condutores às árvores**

Segundo RSLEAT (artigo 28º p.32), entre os condutores nus das linhas, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, e as árvores deverá se observar uma distância D, em metros, arredondada ao décímetro não inferior à dada expressão:

$$D = 2,0 + 0,0075 * U \quad \text{Equação 2.25}$$

**Onde:**

U- Tensão nominal da linha em kV.

D - Distância (m).

**Nota:** O valor de D não deverá ser inferior a 2,5 m.

### 2.22.5. Distância dos condutores aos edifícios

Em relação às coberturas, chaminés e todas as partes salientes susceptíveis de ser normalmente escaladas por pessoas, os condutores nus deverão ficar, desviados ou não pelo vento, a uma distância D, em metros, arredondada ao decímetro, não inferior à dada expressão (RSLEAT, art. 29º p.33):

$$D = 3,0 + 0,0075 * U \quad \text{Equação 2.26}$$

**Onde:**

U- Tensão nominal da linha em kV;

D - Distância (m).

**Nota:** O valor de D não deverá ser inferior a 4 m.

### 2.22.6 Distância entre os condutores na torre

$$D = K\sqrt{f + d} + \frac{U}{150} \quad \text{Equação 2.27}$$

- f: em metros (m), é a flecha máxima dos condutores;
- d: em metros (m), é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha;
- U, em quilovolts (kV), é a tensão nominal da linha;
- k, é um coeficiente dependente da natureza dos condutores e cujo valor é i. 0,6, para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço; e ii. 0,7, para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

### 2.22.7. Força do vento sobre o condutor

Segundo a RSLEAT (art. 10º p.22), no cálculo das linhas aéreas, o vento deverá considerar-se actuando numa direcção horizontal e a força proveniente da sua acção considerar-se-á paralela àquela direcção e será determinada pela expressão:

$$F = \alpha * c * q * d \quad \text{Equação 2.28}$$

**Onde:**

$\alpha$  - Coeficiente de redução (extraído do RSLEAT, art. 14º)

c – Coeficiente de forma (extraído do RSLEAT, art. 15º)

q- Pressão dinâmica do vento (extraído do RSLEAT, art. 13º)

d - Diâmetro do condutor (extraível na tabela de condutores)

### 2.22.8. Modelo da torre

Nas linhas de transmissão de energia eléctrica em alta tensão, utilizam-se predominantemente torres metálicas treliçadas, também conhecidas como torres autoportantes. Esses modelos são projectados para suportar grandes esforços mecânicos e eléctricos, garantindo estabilidade estrutural, segurança e eficiência na condução da energia. As torres variam conforme a tensão da linha (normalmente acima de 110 kV) e podem ser classificadas em tipos como: torres de suspensão, torres de ancoragem e torres de transposição, cada uma com função específica no trajecto da linha.

#### Carga de tracção do condutor

$$F_t = \sigma_m * S \quad \text{Equação 2.29}$$

#### Carga do Vento

$$F_w = C_d * A_f * p_w \quad \text{Equação 2.30}$$

#### Onde:

$A_f$  - Área frontal de 15 m<sup>2</sup> (típica para uma torre de 400 kV)

$P_w$  - Pressão do vento de 900 N/m<sup>2</sup> (valor típico para linhas de transmissão)

$C_d$  - é o coeficiente de arrasto (geralmente 1.2 para estruturas de treliça)

De salientar que a mesma expressão pode nos ajudar a determinar a força do vento na hipótese de estação fria e vento reduzido bem como na estação quente e vento máximo. Dependendo do valor da pressão em cada estação.

### **3. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Para o alcance dos objectivos, propõe-se a pesquisa:

#### **3.22. Quanto à Abordagem**

##### **Pesquisa Quantitativa**

A pesquisa quantitativa é um método de pesquisa que utiliza a quantificação nas modalidades de colecta de informações e no seu tratamento, mediante técnicas estatísticas, tais como percentual, média, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, entre outros. (Gil, 2010).

A pesquisa quantitativa é caracterizada pelo parágrafo anterior de acordo com o autor GIL, considerando o tipo de variáveis em estudo (potência necessária, carga total por alimentar, e os demais parâmetros quantitativos de linha por dimensionar) para o problema identificado pelo autor quantitativas, isto é, mensuráveis.

A pesquisa quantitativa é caracterizada pelo parágrafo anterior de acordo com o autor GIL, considerando o tipo de variáveis em estudo potência necessária, carga total por alimentar, e demais parâmetros quantitativos. Essas variáveis mensuráveis são fundamentais para garantir a eficiência, segurança e confiabilidade do sistema. Parâmetros como a potência necessária e a carga total a ser alimentada determinam a capacidade dos geradores, transformadores e fontes de alimentação. A mensuração e o controle desses de forma quantitativa são indispensáveis para determinar o ponto da otimização (resultados aceitáveis dos cálculos) do desempenho da linha de transmissão durante o dimensionamento.

#### **3.23. Quanto à Natureza**

##### **A pesquisa aplicada**

Abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades e que os pesquisadores vivem. Embora duas categorias correspondam a pesquisas quem tem propósitos muito diferentes nada impede que pesquisas básicas sejam utilizadas com a finalidade de contribuir para a solução de problemas e de ordem pratica. Da mesma forma, pesquisas aplicadas podem contribuir para a ampliação do conhecimento científico e sugerir novas questões a serem investigadas (Gil, 2019).

Para o presente projecto esta consistirá na melhoria em termos de prover serviços de energia eléctrica para os seus consumidores internos preocupasse com a eficiência e independência no que tange aos recursos materiais para uma boa qualidade de serviço.

### **3.24. Quanto aos Procedimentos**

**Pesquisa bibliográfica:** A presente pesquisa envolverá o processo de revisão, consulta em artigos científicos, livros e em fontes de informações relevante relativamente a área da redundância de transformadores.

**Pesquisa de campo:** procura o aprofundamento de uma realidade específica. É basicamente realizada por meio da observação directa das actividades do grupo estudado e de entrevistas com os participantes do meio para captar as explicações e interpretações do que ocorre naquela realidade. (GIL, 2022).

O dimensionamento da linha de transmissão de alta tensão para o fornecimento de 400 kV para Malawi, será conduzida por meio da observação directa das actividades relacionadas ao projecto. Isso proporcionará subsídios sobre a implementação prática da solução proposta.

Além disso, serão realizadas entrevistas com os participantes do meio, visando captar suas explicações e interpretações sobre as práticas adoptadas no contexto do dimensionamento da linha de transmissão. A interacção directa com profissionais e especialistas no campo permitirá uma análise mais contextualizada e uma compreensão aprofundada dos desafios e benefícios associados ao domínio específico do fornecimento de energia para Malawi.

### **3.25. Técnicas de Recolhas de Dados**

#### **Observação**

Segundo (Prodanov & Freitas, 2013), é o conjunto de métodos e pormenores práticos que se aplicam ao processo de obtenção de dados essenciais da realidade para à pesquisa. Das diversas técnicas adoptou-se as mais cruciais para obtenção de dados que torna a seguinte pesquisa exequível.

No contexto específico do dimensionamento de uma linha de transmissão de alta tensão para o fornecimento de uma determinada quantidade de energia para Malawi, é crucial adoptar as técnicas mais cruciais e apropriadas para obter os dados relevantes. Isso pode incluir métodos de medição precisos para determinar a carga eléctrica ou demandada, análise de dados geoespaciais

para planeamento da rota da linha de transmissão, avaliação de condições climáticas e topográficas para garantir a eficiência e segurança da infra-estrutura, entre outras técnicas especializadas.

Portanto, a aplicação adequada dessas técnicas de pesquisa é essencial para garantir que o dimensionamento da linha de transmissão seja realizado com precisão e que os dados colectados sejam confiáveis para suportar as decisões e o planeamento relacionados ao fornecimento de energia para Malawi.

## **Entrevista**

Será um método de colecta de dados a serem usados para obter informações relativas ao local de estudo, e a natureza técnica da subestação, o tipo de enrolamento, tipo de conexão, tensão nominal, manutenção, tipo de enrolamentos, etc., de modo a desenhar a solução com precisão.

O método de colecta de dados adoptado para este estudo de análise e proposta de solução será fundamental na obtenção de informações cruciais relacionadas ao local de estudo, bem como às especificações técnicas da subestação em questão.

### **3.26. Tratamento e Análise de Dados**

A análise dos dados é uma das fases mais importantes da pesquisa, pois, a partir dela, é que serão apresentados os resultados e a conclusão da pesquisa, conclusão essa que poderá ser final ou apenas parcial, deixando margem para pesquisas posteriores. (MARCONI & LAKATOS, 1996) A partir da análise dos dados, o autor poderá identificar padrões, tendências e relações entre as variáveis envolvidas no dimensionamento da linha de transmissão, como o nível de procura de energia, as características geográficas e climáticas da região, a capacidade de carga da linha e os custos associados à sua construção e manutenção. Essas análises permitirão aos pesquisadores apresentarem conclusões sólidas sobre a viabilidade e eficácia da implementação da linha de transmissão de alta tensão para atender às necessidades de energia de Malawi.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUÇÃO DE RESULTADO

### 4.1. Cálculo Eléctrico

A linha de transmissão a ser dimensionada deve apresentar uma tensão de 400 kV para interligação da subestação de Matambo- Moçambique com a extensão de 218 km para alimentar a carga de 352 MW (subestação de *phombeya- Malawi*).

Considerando parâmetros como tensão, distância, carga, e perdas de transmissão, o dimensionamento visa garantir eficiência na transmissão de energia, minimizando perdas e assegurando a estabilidade do sistema eléctrico.

O transformador que irá alimentar a linha de transmissão Moçambique- Malawi apresenta as seguintes características:

- 1 x Transformador trifásico elevador 220/400 kV, com uma potência de 600 MVA e uma impedância de 12%.

### 4.2. Previsão de carga

Segundo a EDM, o factor de crescimento anual na rede é de 7% em um período de avaliação de crescimento de carga 5 anos.

Para o cálculo da previsão de carga, usaremos a equação 2.1.

$$P_C = P_A \times (1 + \alpha)^n$$

#### Dados

- ✓  $P_C = ?$
- ✓  $P_A = 352 \text{ MW}$ ;
- ✓  $\alpha = 0,07$ ;
- ✓  $n = 5$ .

$$P_C = 352 \cdot 10^6 \times (1 + 0,07)^5$$

$$P_C = 493,698 \text{ MW}$$

Para o cálculo da demanda total usaremos a equação 2.2

$$P_n = 1,25 \times P_C$$

Considerando o factor de segurança de 25%, temos:

$$P_n = 1,25 \times 493,698$$

$$P_n = 617,122 \text{ MW}$$

Para a potência nominal aparente de instalação usou se a equação 2.3

$$S_n = \frac{P_n}{\cos\phi}$$

$$S_n = \frac{617,122 \cdot 10^6}{0,8} = 771,403 \text{ MVA}$$

### 4.3. Corrente de Serviço

Considerando que a linha a ser projectada parte da região Centro de Moçambique, que a mesma tem registado elevadas temperaturas, é importante escolher um condutor capaz de operar dentro das condições climáticas por onde a linha irá atravessar. Portanto, para a escolha do condutor a ser utilizado, serão considerados os seguintes cálculos:

Considerando a equação 2.4.

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_L}$$

$$I_s = \frac{771,403 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \times 400 \cdot 10^3} = 1113,424 \text{ A}$$

Segundo a equação 2.5, a corrente admissível do condutor deve ser maior que a corrente de serviço, ( $I_z \geq I_s$ ), temos que  $I_s = 1113,424 \text{ A}$ , desta forma a corrente determinada é de  $I_z = 1143 \text{ A}$ . O valor de  $I_z$  é apresentado na tabela do anexo A. O condutor seleccionado é do tipo AAAC *Butte Standard ASTM B 399*, o tipo específico do condutor a ser usado para o projecto de linha é o *Butte*, com a secção total de  $685 \text{ mm}^2$  normalizados, capaz de suportar uma temperatura máxima de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 4.4. Cálculo das quedas de tensão e perdas eléctricas

Para o cálculo das quedas de tensão e perdas eléctricas, serão considerados os valores de resistência e reactância a  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ . Logo, considerando as equações 2.6 e 2.7 temos:

#### 4.4.1 Indutância

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{Dmg}{2r}\right)$$

$$d = 3,18 \text{ mm} \\ r = 1,59 \text{ mm}$$

✓ **Dados**

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \\ r \approx 1,59 \text{ mm} \\ Dmg = 5,76 \text{ m}$$

$$L = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} \ln\left(\frac{5,76}{2 * 1,59}\right)$$

$$L = 1.188 * 10^{-7} \text{ H}$$

#### 4.4.2 Reactância indutiva

$$XL = 2\pi fL$$

✓ **Dados**

$$f = 50 \text{ HZ}; \\ L = 1.188 * 10^{-7} \text{ H}$$

$$XL = 2\pi * 50 * 1.188 * 10^{-7} \\ 3.73 * 10^{-5} \text{ ohms.}$$

$$X = XL * l$$

$$X = 3.73 * 10^{-5} \frac{\Omega}{\text{Km}} * 218 \text{ Km}$$

$$X = 0.00813 \Omega$$

Considerando os parâmetros calculados anteriormente temos que:

$$R = 0,0596 \Omega$$

$$X = 0.00813 \Omega$$

$$\Delta P = 3 \cdot 0,0596 \cdot 1113,424^2 = 0,221 \text{ MW}$$

$$\varphi = \text{actg}\left(\frac{X}{R}\right) = \text{artg}\left(\frac{0,00813}{0,0596}\right) = 7,768^\circ$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_s * (R * \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 1113,424 \times [0,0596 \times \cos(7,768^\circ) + 0.00813 \times \sin(7,768^\circ)]$$

$$\Delta U = 116 \text{ V}$$

Pela norma RSLEAT, o valor da queda de tensão para zonas rurais não deve superar 8 % da tensão nominal.

Considerando a equação 2.8, teremos:

$$\Delta U\% = \frac{116}{400000} * 100 = 0,029\%$$

#### 4.5. Transformador de Corrente

TC Deve Suportar  $I_P = 20 * I_{pn}$

**Dados:**

$$U = 400 \text{ kV}$$

$$S_n = 771,403 \cdot 10^6 \text{ VA}$$

$$Z = 12\%$$

#### Corrente Nominal

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U} = \frac{771,403 \cdot 10^6}{\sqrt{3} * 400 \cdot 10^3} = 1113,424 \text{ A}$$

#### Corrente de Curto-circuito

$$I_{cc} = \frac{I_n}{12\%} = \frac{1113,424}{0,12} = 9278,536 \text{ A}$$

O factor de sobrecarga considerado pela EDM é de  $K = 1,2$ . O valor de K pode variar, dependendo de empresa.

Considerando as equações 2.9 e 2.10, teremos:

$$I_{pn}(T) \geq K * I_{pn}(PT)$$

$$20 * I_{pn}(TCC) \geq I_{cc}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{pn}(TC) \geq K * I_{pn}(TP) \geq 1,2 * 1113,424 = 1336,109 \text{ A} \\ I_{pn}(TC) \geq \frac{I_{cc}}{20} \geq \frac{9278,536}{20} = 463,927 \text{ A} \end{array} \right.$$

De acordo com a norma ASA (actual ANSI), a corrente nominal do TC é de 3000 A no primário e 1A no secundário (Tabela 2).

#### 4.6. Pára-raios

$$U_r = U_n = 400 \text{ kV}$$

Para o cálculo da tensão máxima de transmissão, usamos a equação 2.11

$$U_L = 1.1 \times U_n$$

$$U_L = 1.1 \times 400 \text{ kV}$$

$$U_L = 440 \text{ kV}$$

Para a tensão máxima de equipamento, usamos a equação 2.12

$$U_{fase} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{440 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 254.034 \text{ kV}$$

Para a tensão máxima de operação contínua, usamos a equação 2.13

$$MCOV = 0.8 \times U_r$$

$$MCOV = 0.8 \times 400 \text{ kV}$$

$$MCOV = 320 \text{ kV}$$

#### Capacidade temporária de tensão de operação

Para 1 segundo, usamos a equação 2.14

$$TOV = 1.16 \times U_r$$

$$TOV = 1.16 \times 400 \text{ kV}$$

$$TOV = 464 \text{ kV}$$

Para 10 segundo, usamos a equação 2.15

$$TOV = 1.1 \times U_r$$

$$TOV = 1.1 \times 400 \text{ kV}$$

$$TOV = 440 \text{ kV}$$

#### 4.7. Dimensionamento do Disjuntor

Para a escolha do disjuntor, serão considerados os cálculos da intensidade da corrente e poder de corte respectivamente. Logo, temos:

$$I_{pn}(\Delta) \geq K * I_{pn}(TP) \geq 1,2 * 1113,424 = 1336,109 \text{ A}$$

Usando a equação 2.16, teremos:

$$I_{ch} = \sqrt{2} * 9278,536 * 1,8 = 23619,297 \approx 23,62 \text{ kA}$$

Segundo a tabela 2, as características do disjuntor a ser escolhido são: intensidade de 2000 A, poder de corte de 40 kA e uma tensão máxima de 420 kV.

#### 4.8. Chave Seccionadora

Para a escolha da chave seccionadora, serão considerados os parâmetros da linha. O ANEXO B, apresenta as características e imagem da chave seccionadora.

#### 4.9. Isoladores

A linha será instalada numa zona classificada como zona de poluição fraca, segundo o R.S.L.E.A.T. o coeficiente para o cálculo da linha de fuga mínimo para esta zona deve ser  $L_{fe} = 16 \text{ mm/kV}$ .

Considerando a equação 2.17 para o comprimento mínimo da linha de fuga, teremos:

$$L_f \geq L_{fe} * U_{max}$$

$$L_f \geq 16 * 440 \geq 7040 \text{ mm}$$

Tensão mínima de contornamento sob chuva será calculada com base na equação 2.18

$$U_{Ch} = 2,45 * 440 \text{ kV} = 1078 \text{ kV}$$

$d$  é a distância de fuga necessária em metros e será calculada com base na equação 2.19

$$d = L_{fe} \cdot V$$

**Dados**

$$L_{fe} = 16 \text{ mm/kV}$$

$$U = 400 \text{ kV}$$

**Resolução:**

$$d = 16 \text{ mm/kV} \cdot 400 \text{ kV}$$

$$d = 6.4 \text{ m}$$

**4.10. Cálculo Mecânico****4.11. Tensão máxima de tracção (daN)**

Para o condutor *Butte* força de ruptura é 19894 kgf, e em (daN), temos: 19505.69 daN  
Usando a equação 2.20, teremos:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R}{2,5}$$

**Dados:**

$$\sigma_R: 19505.69 \text{ daN}$$

$$\sigma_m = \frac{19505.69}{2,5} = 7802.28 \text{ daN}$$

Considerando a equação 2.21, teremos:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_m}{2,5 * S}$$

**Dados**

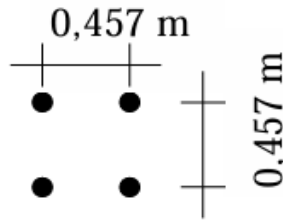
$$S = 685 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_R: 19505.69 \text{ daN}$$

$$\sigma^* = \frac{19505.69}{2,5 * 685} = 11.39 \text{ daN/m}^2$$

**4.12. Distância entre os condutores na torre**

A distância entre torres de transmissão de energia eléctrica, conhecida como **vão**, depende de vários factores, como a tensão da linha, o tipo de condutor, as condições topográficas e climáticas da região. Para linhas de alta tensão, como as de **400 kV**, o vão médio entre torres varia geralmente entre **300 a 500 metros**, podendo ser maior em terrenos planos e menores em áreas montanhosas ou com obstáculos. Essa distância é cuidadosamente projectada para garantir a segurança eléctrica, a estabilidade mecânica dos condutores e a eficiência do sistema de transmissão.



Considerando a equação 2.22, teremos:

$$D = K\sqrt{f + d} + \frac{U}{150}$$

**Onde:**

- $f$ - é a flecha máxima dos condutores, em metros (m);
- $d$ : em metros (m), é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha;
- $U$ , em quilovolts (kV), é a tensão nominal da linha;
- $k$ , é um coeficiente dependente da natureza e o tipo dos condutores e cujo valor é 0,7 por ser de alumínio.

Segundo a nomenclatura da norma Regulamento de Segurança das Linhas Eléctricas de alta tensão, para determinação da flecha segue – se as seguintes prescrições:

- Entre os cabos isolados das linhas, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento e o solo, deve manter-se uma distância não inferior a 6 m;
- Em locais de difícil acesso, a distância referida no número anterior pode ser reduzida de 1 m.

**Dados:**

$$k = 0,7$$

$$f = 1 \text{ m}$$

$$U = 400 \text{ kV}$$

$$d = 6.4 \text{ m (Determinado na equação 2.19)}$$

**Resolução:**

$$D = K\sqrt{f + d} + \frac{U}{150}$$

$$D = 0,7\sqrt{1 + 6.4} + \frac{400}{150} = 4,57 \text{ m}$$

#### 4.13. Distância entre condutores e obstáculos diversos

Usando a equação 2.23, teremos:

$$D = 0,10 + 0,0065 \times U$$
$$D = 0,10 + 0,0065 \times 400$$
$$D = 2,70 \text{ m}$$

Para condutores nus desviados pelo vento, a distância mínima é dada pela equação 2.24:

$$D = 0,0065 \times U$$
$$D = 0,0065 \times 400$$
$$D = 2,6 \text{ m}$$

#### 4.14. Distância dos condutores às árvores

A região em que a linha será instalada contém árvores ao longo da linha, por isso é necessário determinar uma distância entre as árvores e a linha com vista a evitar qualquer falha no funcionamento da linha. Para determinar a distância dos condutores às árvores usaremos a equação 2.25:

$$D = 2,0 + 0,0075 * 400 = 5 \text{ m}$$

#### 4.15. Distância dos condutores às estradas

As distâncias mínimas dos condutores as estradas não devem ser inferiores a 7 m, conforme calculado na expressão

$$D' = 6,3 + 0,01 \times U$$
$$D' = 6,3 + 0,01 \cdot 400$$
$$D' = 10,3 \text{ m}$$

#### 4.16. Distância dos condutores e edifícios

As distâncias mínimas dos condutores e os edifícios não devem ser inferiores a 7m, conforme calculado na expressão

$$D = 3,0 + 0,0075 * U$$
$$D = 3,0 + 0,0075 * 400$$
$$D = 6 \text{ m}$$

#### **4.17. Distâncias dos condutores aos teleféricos**

De acordo com o Artigo 95 do Boletim da República (2.º Suplemento, I Série, Número 45), em Moçambique, estabelece-se que os condutores nus devem manter distâncias mínimas de segurança em relação aos teleféricos, considerando as condições mais desfavoráveis. Essas distâncias visam garantir a segurança operacional tanto das instalações eléctricas quanto dos sistemas de transporte por cabo. Os condutores nus, nas condições mais desfavoráveis, devem manter em relação às instalações dos teleféricos uma distância D, em metros, arredondada ao décimo metro, não inferior à dada pela expressão:

- O valor de D não deve ser inferior a 4 m.

$$D = 3,3 + 0,01 U = 3,3 + 0,01 * 400 = 7,3 \text{ m}$$

#### **4.18. Distância dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados**

Conforme as normas em vigor, deve ser mantida uma distância mínima de segurança entre os condutores eléctricos e os carris nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados. Essa medida visa garantir a segurança das operações ferroviárias e prevenir riscos de acidentes causados por aproximação ou eventual queda de condutores sobre a via-férrea. Os condutores nus, nas condições mais desfavoráveis, devem manter em relação às instalações dos teleféricos uma distância D, em metros, arredondada ao décimo metro, não inferior à dada pela expressão:

- O valor de D não deve ser inferior a 7 m.

$$D = 6,3 + 0,01 U = 6,3 + 0,01 * 400 = 10,3 \text{ m}$$

#### **4.19. Distância dos condutores aos cursos de água não navegáveis**

A legislação moçambicana estabelece distâncias mínimas de segurança entre condutores eléctricos e edificações, com o objectivo de prevenir acidentes, garantir a segurança pública e preservar as estruturas próximas às linhas eléctricas. Essas distâncias variam conforme o tipo de condutor (nu ou isolado), a tensão da linha e as características das construções próximas. Os

condutores nus, nas condições de flecha máxima, devem manter em relação ao mais alto nível das águas uma distância D, em metros, arredondada ao décimo, não inferior a dada pela expressão:

- O valor de D não deve ser inferior a 7 m.

$$D = 6,0 + 0,005 U = 6,0 + 0,005 \cdot 400 = 12 \text{ m}$$

#### 4.20. Distância média geométrica

Considerando que é uma linha com feixe de 4 subcondutores, a distância média geométrica a equação 2.22, é reduzida para fórmula:

Linhas de 400 kV em áreas rurais ou de baixa densidade populacional:

- ✓ Distância mínima: 6 a 8 metros.
- ✓ Distância máxima: 10 a 12 metros.

Linhas de 400 kV em áreas urbanas ou de alta densidade populacional:

- ✓ Distância mínima: 7 a 8 metros.
- ✓ Distância máxima: 12 a 15 metros.

**Dados:**

$$D_{12} = 4,57 \text{ m};$$

$$D_{23} = 4,57 \text{ m};$$

$$D_{13} = 9,14 \text{ m};$$

$$D_{mg} = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{13}}$$

$$D_{mg} = \sqrt[3]{4,57 \times 4,57 \times 9,14} = 5,76 \text{ metros}$$

#### 4.21. Força do vento sobre o condutor

Considerando que a linha está localizada em zonas com ventos médios, devemos ter uma previsão da força do vento de acordo com cada estação. De seguida faremos o cálculo da força do vento pela equação 2.27 de seguinte modo:

- Cálculo da força do vento na hipótese de estação fria e vento reduzido

**Dados:**

$$\alpha = 0,6$$

$$c = 1$$

$$q = 360 \text{ N/m}^2$$

$$d = 23,55 \text{ mm}$$

Então

$$F = 0,6 * 1 * 36 * 23,55 * 10^{-3} = 0,50868 \text{ daN/m}$$

- Cálculo da força do vento na hipótese de estação quente e vento máximo

**Dados:**

$$\alpha = 0,6$$

$$c = 1$$

$$q = 900 \text{ N/m}^2$$

$$d = 23,55 \text{ mm}$$

Então:

$$F = 0,6 * 1 * 90 * 23,55 * 10^{-3} = 1,2717 \text{ daN/m}$$

#### 4.22. Modelo da Torre

Na escolha do tipo de torre é importante tomar em consideração das especificações das seguintes componentes como o nível de tensão e a potência a ser transmitida. Para o presente projecto foi usado as torres do tipo MEGATRO TRANSMISSION LINE STEEL STRUCTURE e quanto as suas classificações do material estrutural são de estrutura autoportante, estrutura de suspensão e estrutura de transposição, e os seus detalhes das características se encontram nas figuras 16.a), b), 18 e 21. Do presente projecto.

#### 4.23. Força de tracção do condutor

Para determinar a carga de tracção do condutor, usaremos a equação 2.28

$$\sigma * m = 11.39 \text{ daN/m}^2$$

$$S = 685 \text{ mm}^2$$

$$F_t = \sigma * S$$

$$F_t = 11.39 * 685 = 7,804.15 \text{ daN}$$

#### 4.24. Carga do Vento

Para determinar a carga do vento, usaremos a equação 2.29

$$F_w = C_d * A_f * p_w$$

**Onde:**

$A_f$  - Área frontal de 15 m<sup>2</sup> (típica para uma torre de 400 kV)

$P_w$  - Pressão do vento de 900 N/m<sup>2</sup> (valor típico para linhas de transmissão)

$C_d$  - é o coeficiente de arrasto (geralmente 1.2 para estruturas de treliça)

$$F_w = 1.2 * 15 * 90 = 1650 \text{ daN}$$

Para uma linha de transmissão de 400 kV, a torre deve ser capaz de suportar cargas mecânicas e eléctricas significativas. Será considerada uma torre do tipo treliça de aço, que é comumente usada para linhas de alta tensão.

#### 4.25. Distância entre as torres e quantidade de torres

Para uma linha de transmissão de alta tensão a distância entre as torres varia entre 400 a 500 m, para a linha em causa, a distância entre as torres será de 500 m.

Para determinar o número de torres, toma-se em consideração o comprimento total da linha, sendo que para o projecto temos da subestação Moçambique-Matambo a subestação de Malawi- Phombeya uma distância de 218 km.

**Dados**

$x_{linha} = 218 \text{ km}$ .

$x_{torre} = 500 \text{ m}$

$n_{torres} = ?$

$$n_{torres(U)} = \frac{218 * 1000}{500} = 436$$

#### **4.26. Apresentação dos resultados**

Subestação de Matambo, localizada em Songo na província de Tete, actualmente apresenta uma capacidade instalada de 665 MVA, dispõe de (três) 3 transformadores, onde (dois) 2 x transformadores são abaixadores de 220/66/33 kV e (um) 1 x Transformador é trifásico elevador de 220/400 kV, apresenta também um barramento trifásico Duplo de 220 kV. A SE- Matambo é alimentada por duas linhas de 220 kV, designadamente: B01 e B02 e as duas partes da subestação de Songo.

O transformador trifásico elevador de 220/400 kV com uma potência de 600 MVA, será responsável por alimentar a linha de transmissão Moçambique- Malawi, que a mesma apresenta uma extensão de 218 km, isso desde o ponto de partida na SE- Matambo, até a sua chegada na SE- Phombeya.

Subestação de Phombeya, localizada em Phombeya- Malawi, actualmente apresenta uma potência instalada de 250 MVA, contra 352 MVA necessários para suprir a demanda energética em Malawi, a SE- phombeya dispõe de (um) 1 x Barramento simples de 400 kV e 1 x Transformador abaixador de 400/132 kV.

O projecto previu uma evolução de carga para os próximos cinco anos, considerando um crescimento anual de 7%, resultou em uma demanda final de 617,122 MW, para a qual foi calculada uma potência nominal de 771,403 MVA. A corrente de serviço necessária foi determinada em 1113,424 A.

A caracterização da geologia, geomorfologia, solos e topografia dos distritos por onde a linha irá atravessar, foi baseada em revisão bibliográfica e análise de imagens de satélite.

Os resultados dos cálculos mecânicos e eléctricos para o projecto da linha de transmissão, são fundamentais para avaliar a viabilidade técnica e operacional do empreendimento, pois oferecem uma visão profunda das implicações técnicas e práticas do projecto, permitindo uma análise abrangente dos desafios e oportunidades associados.

#### 4.27. Discussão dos Resultados

Após o estudo detalhado e dimensionamento da linha de transmissão de 400 kV, conectando a subestação Moçambique- Matambo à subestação de Phombeya em Malawi, será dimensionada para uma extensão de 218 km, com uma capacidade de atender a uma carga de 352 MW em Phombeya. O dimensionamento da corrente de serviço resultou em 1113,424 A, correspondente a uma capacidade nominal de transmissão de 771,403 MVA, e o condutor escolhido, *AAAC Butte Standard ASTM B 399 com 685 mm<sup>2</sup>*, suporta uma corrente admissível de 1143 A, atendendo às especificações.

Relativamente aos cálculos eléctricos, a determinação da capacidade de transmissão, corrente de serviço e perdas de energia, como resistência, indutância e capacitância, oferece dados sobre o desempenho da transmissão de energia ao longo da distância prevista, a avaliação contínua dos dispositivos de protecção, como seccionadores e disjuntores, é crucial para garantir a operação segura do sistema em caso de falhas ou sobrecargas, a capacidade de carga e a resistência mecânica dos condutores e torres influenciam directamente a vida útil e a confiabilidade do sistema ao longo do tempo.

As distâncias necessárias para uma linha de 400 kV suportar altas velocidades de vento e manter uma separação segura entre os condutores e diversos obstáculos, como árvores, estradas, edifícios, teleféricos, carris de caminhos-de-ferro não electrificados, cursos de água e entre os próprios condutores nas torres, são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência do projecto. Essas distâncias, que não podem ser inferiores a 2 metros, são críticas para prevenir riscos significativos, como arcos eléctricos, curtos-circuitos, e incêndios, que poderiam comprometer a operação segura da linha e causar danos a infra-estruturas próximas, como torres de telefonia móvel.

As torres seleccionadas para a linha de 400 kV entre Matambo e Phombeya desempenham um papel crucial nesse contexto, pois sua robustez e *design* permitem manter os condutores em posições seguras, mesmo sob ventos fortes. A distância mínima de 2,70 metros entre os condutores e obstáculos diversos, é viabilizada pela altura e estrutura dessas torres, que são projectadas para suportar não apenas a carga dos cabos, mas também as forças geradas por ventos intensos. As distâncias de 5 metros entre os condutores e árvores, e de 10,3 metros em travessias de estradas e

ferrovias, reflectem a capacidade dessas torres de manter os cabos a uma altura segura, prevenindo contactos indesejados que poderiam resultar em interrupções no fornecimento de energia eléctrica.

Os cálculos de parâmetros eléctricos, como resistência, indutância e capacitância, foram realizados para assegurar a eficiência e a estabilidade operacional. Utilizou-se a configuração de condutores AAAC *Butte Standard ASTM B 399*, que oferece alta resistência mecânica e boa condutividade eléctrica, factores cruciais para minimizar perdas e garantir a confiabilidade da transmissão, segundo as exigências da torre seleccionada para o projecto.

Considerando a possível alteração dos valores da linha, como capacitância, resistência e indutância, é crucial monitorar o sistema para garantir seu desempenho aceitável, especialmente em face de condições operacionais variáveis e eventos imprevistos, como falhas de linha ou sobretensões.

Desta forma a interligação entre Moçambique e Malawi, os resultados dos cálculos mecânicos e eléctricos têm implicações directas no sucesso do projecto e em seu impacto no desenvolvimento económico e social da região.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

O projecto de uma linha de transmissão de 400 kV para interligação entre a subestação Moçambique-Matambo e a subestação Malawi-Phombeya visa mitigar a escassez de energia eléctrica no Malawi e promover a integração regional no sector eléctrico da África Austral.

O dimensionamento da linha de transmissão, envolveu a previsão de carga para os próximos cinco anos, considerando um crescimento anual de 7%, resultou em uma demanda final de 617,122 MW, para a qual foi calculada uma potência nominal de 771,403 MVA. A corrente de serviço necessária foi determinada em 1113,424 A, e o condutor escolhido, *AAAC Butte Standard ASTM B 399 com 685 mm<sup>2</sup>*, suporta uma corrente admissível de 1143 A, atendendo às especificações.

A transmissão da energia eléctrica será realizada em corrente alternada através de uma linha de transmissão aérea de 400 kV (trifásicos), como uma capacidade nominal de transmissão de 771,403 MVA, tendo como o ponto de partida na subestação de Matambo em Moçambique e a chegada a subestação de Phombeya em Malawi. Considerou-se um feixe de 4 subcondutores correspondentes a 4x125 mm<sup>2</sup> *AAAC Butte Standard ASTM B 399* por cada fase, os mesmos estão dispostos em uma geometria regular, com uma distância de separação entre os subcondutores de 0.457 m. A linha apresenta uma extensão de 218 km, assim sendo foram consideradas 436 torres do tipo *MEGATRO TRANSMISSION LINE STEEL STRUCTURE* como uma distancia de separação de 500 m entre as torres.

As quedas de tensão e perdas eléctricas calculadas asseguram que a queda de tensão ao longo da linha é de apenas 0,03%, bem abaixo do limite de 8% estabelecido pela norma R.S.L.E.A.T. O transformador trifásico elevador, com potência de 600 MVA e impedância de 14%, foi adequado para o projecto, e o dimensionamento dos transformadores de corrente (TC) garantiu que eles suportem correntes de curto-circuito de até 9278,536 A. Os pára-raios e isoladores foram projectados para suportar tensões máximas de operação e contornamento sob chuva, garantindo a protecção contra descargas atmosféricas.

O cálculo mecânico das torres considerou cargas de tracção e força do vento, com uma distância média geométrica de 5,76 m entre condutores e distâncias de segurança conforme as normas. A distância entre torres foi calculada como 500 m, necessitando de 436 torres ao longo da linha. O projecto, com todos os parâmetros e distâncias de segurança atendidos, assegura a robustez do sistema e a continuidade do fornecimento de energia de forma eficiente e segura.

A escolha dos materiais, equipamentos e a análise das quedas de tensão, foi orientada para atender às normas e garantir uma transmissão de alta qualidade e confiável em caso de implementação de projecto, pois, os requisitos para os parâmetros de uma rede de transmissão foram observados.

## **5.2.Recomendações**

- Garantir um sistema de aterramento eficiente e confiável, atendendo valores de resistência abaixo de  $5 \Omega$ , usando materiais duráveis, resistentes mecanicamente e de alta condutividade, de modo a reduzir ou mitigar certas falhas eléctricas e ou operacionais na linha de transmissão.
- Realizar estudos mais detalhados sobre as condições climáticas e topográficas ao longo da rota da linha de transmissão para uma compreensão mais abrangente dos desafios e oportunidades relacionados à infraestrutura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Barros de Almeida, S. A. (2005). Análise de Grandes Perturbações na Rede Eléctrica Nacional. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores.

- BECHERA, R. (2010). Análise de falhas de transformadores de potência. São Paulo: Universidade de São Paulo.

- BICHELS, Arlei. (2018). Sistemas Elétricos de Potência.

-Carta Moçambique. (2024). EDM exporta energia para o Malawi. Recuperado de: <https://www.cartamz.com/~cartamzc/index.php/economia-e-negocios/item/1576-edm-exporta-energia-para-o-malawi>.

-Carvalho, J. A. B. (s.d.). Estrutura, organização e funcionamento dos sistemas eléctricos de energia. Neutroaterra. Recuperado em 6 de Agosto de 2024, de [www.neutroaterra.blogspot.com](http://www.neutroaterra.blogspot.com) .p.5

-EDM. (2023). Plano de Negócios 2020-2024: Para a Consideração do Instituto de Gestão das Empresas Públicas de Moçambique (IGEPE).

-EDM. (s.d.). Interligação Moçambique-Malawi vai para implementação. Recuperado de <https://www.edm.co.mz/pt/website-mobile/article/news/interligação-moçambique-malawi-vai-para-implementação>.

-edisciplinas (2024). SEL 329 – CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA. Recuperado em 9 Janeiro de 2024, de: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4417412/mod\\_resource/content/3/Aula05\\_perdas\\_2018.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4417412/mod_resource/content/3/Aula05_perdas_2018.pdf).

-Electricidade de Moçambique, E.P. (2018). Estratégia da EDM 2018-2028: Iluminando a Transformação de Moçambique.

- Ferreira, J. T. V. (2018). *Redes de distribuição de energia eléctrica de média e baixa tensão – Estágio na Helenos, S.A.* [Relatório de estágio, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra].

-FUCHS, R. D. (1979). Transmissão de energia eléctrica: linha aéreas; teoria das linhas em regime permanente. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

-GIL, A. C. (2010). Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas.

-GIL, A. C. (2022). Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas.

-JÚNIOR, R. G. S. (2022). *Análise da Aplicabilidade de Chaves Sincronizadoras em Manobras Associadas a Transformadores no Sistema Eléctrico de Potência*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Elétrica, Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

-Portal do Governo de Moçambique. (s.d.). Projecto de interconexão de energia eléctrica Moçambique-Malawi pronto até 2026. Portal do Governo de Moçambique. Recuperado em 20 Maio de 2024, de:<https://www.portaldogoverno.gov.mz/index.php/por/Imprensa/PR-recebe-primeira-ministra-da-Italia-Giorgia-Meloni/Projecto-de-interconexao-de-energia-electrica-Mocambique-Malawi-pronto-ate-202>

-*International Electrotechnical Commission. (2021). IEC 62271-102: High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches. Retrieved from [IEC website] (<https://webstore.iec.ch/publication/6555>).*

-Kurokawa, S. (2003). Parâmetros longitudinais e transversais de linhas de transmissão calculados a partir das correntes e tensões de fase. Universidade Estadual de Campinas.

-McDonald, J. D. (2012). *Electric power substations engineering* (3rd ed.). CRC Press. ISBN 978-1-4398-5637-5.

-MegaWhat. (2024). Interrupção de Fornecimento de Energia Eléctrica. Recuperado em 20 Maio de 2024, de: <https://megawhat.energy/verbetes/345/interruptao-do-atendimento-de-de-energia-electrica>.

-Menezes, V. P. (2015). Linhas de Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos. Rio de Janeiro.

-Moura, A. P. de, de Moura, A. A. F., & da Rocha, E. P. (2019). Engenharia de Sistemas de Potência: transmissão de energia elétrica em corrente alternada.

-Muzy, G. L. C. O. (2012). Subestações Elétricas. Rio de Janeiro.

-Pradonov, C. C. (2013). Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho científico. Novo Hamburgo: Universidade Feevale.

-RM. (2023). Malawi com 86% da população sem acesso a eletricidade. Recuperado em 9 Maio de 2024, de: <https://www.rm.co.mz/malawi-com-86-da-populacao-sem-acesso-a-electricidade/>.

- República de Moçambique. (2011, 11 de novembro). *Boletim da República: Publicação Oficial da República de Moçambique* (2.º Suplemento, I Série, Número 45), Artigo 31: Distância entre condutores de uma linha. Imprensa Nacional de Moçambique, E.P.

-Stoft, S. (2002). Power System Economics: Designing Markets for Electricity. IEEE Press.

-Tavares, T. N. (2003). Avaliação do impacto causado na proteção pela interligação de produtores independentes no sistema de distribuição de energia. Florianópolis.

SIEMENS. Circuit Breakers Accessories. Siemens Energy, 22 Setembro 2022. Disponível em: Acesso em: 21 Setembro 2022

ABB Surge Arresters Edição 5, 2004- 10 eletrônico: [arresters.div@se.abb.com](mailto:arresters.div@se.abb.com)

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: Orçamento para execução do Projecto

	Produto	Qtd	Preço (MZN)	
			Unitário	Total
1	Torre megatro transmission de 38x15x19m	486	412.000,00	200.232.000
2	Ferragens e acessórios	24300	38.000,00	923.400.000
3	Cadeias de Isoladores	2640	12.190,00	32.181.600
4	Pára-raios 440 kV	6	18.397,16	110.382,96
5	Eléctrodos de terra	490	2645,14	1.296.118,6
6	Condutor de liga de Al AAAC 685 mm <sup>2</sup>	450500	2689,00	1.211.394.500
7	Transformador de corrente (TI) de alta tensão montagem exterior 440 kV/3000:1A	6	250.000,00	1.500.000
8	Transformador de potencial (TP) de alta tensão montagem exterior 440 kV/110 V	6	300.000,00	1.800.000
9	Aço para Aterramento Da Torre	580	856,36	496.688.8
10	Disjuntor de Alta tensão externo 440 kV/40 kA	2	860.000,00	1.720.000
11	Condutor de cobre nu 50 mm <sup>2</sup>	200	550,16	100.032
12	Seccionadores de alta tensão uso exterior 550 kV/600A	2	563.000,00	1.126.000

13	Maciço	880	42.084,00	37.033.920
	Subtotal 1			2.388.440.627.4

<b>Mão-de-obra</b>					
	Especificação	Qtd	Meses	Salário/mês	Total
	Engenheiro	6	12	540.000,00	6.480.000
	Técnico	18	12	1.080.000,00	12.960.000
	Auxiliares	110	12	3.300.000,00	39.600.000
	Oficiais	9	12	135.000,00	1.620.000
Subtotal 2					60.660.000
<b>Transporte</b>					
	Especificação	Qtd	Horas	Salário/hora	Total
	Camião	14	1600	1.200	26.880.000
	Grua	8	1440	1356	15.621.120
	Guincho	4	800	1000	3.200.000
Subtotal 3					45.701.120
Custo total	Custo total= subtotal 1 + subtotal 2 + subtotal 3				2.494.801.747.4

## APÊNDICE B: Cronograma de Atividades

ATIVIDADES	2024																							
	Abril				Maio				Junho				Junho-Julho				Agosto				Setembro- Novembro			
Entrega do Projeto	■	■	■	■																				
Revisão bibliográfica					■	■																		
Elaboração dos instrumentos de coleta									■	■	■													
Coleta dos dados primários													■	■	■									
Análise de Dados																	■	■	■					
Conclusão e referência Bibliográfica																					■	■	■	
Resumo																							■	■
Entrega da Primeira versão do trabalho																							■	■
Entrega do documento final e defesa																							■	■

# ANEXOS

## ANEXO A: Tabela de Condutores

Conductor size		Size and stranding of ACSR equivalent	Wires	Wire diameter		Cable diameter		Mass		Rated strength		Nominal D.C.		Ampacity		
				mm	mils	mm	in	kg/km	lb/kft	kgf	kips	Resistance at 20 °C		Sun no wind	Sun and wind	No sun and wind
kcmil	mm <sup>2</sup>	AWG or kcmil										W/km	W/kft	A*		
30,58	15,5	6	7	1,68	66,1	5,04	0,198	42,5	28,6	502	1,107	2,161	0,6588	62	107	111
48,69	24,7	4	7	2,12	83,4	6,36	0,25	67,7	45,5	799	1,762	1,358	0,4138	85	143	150
77,47	39,2	2	7	2,67	105,2	8,02	0,316	107,7	72,4	1272	2,804	0,853	0,2601	119	191	201
123,3	62,4	1/0	7	3,37	132,7	10,1	0,398	171,4	115,2	1939	4,275	0,536	0,1635	164	256	271
155,4	78,6	2/0	7	3,78	149	11,4	0,447	216,1	145,2	2445	5,390	0,425	0,1297	192	296	315
195,7	99,3	3/0	7	4,25	167,2	12,7	0,502	272,1	182,8	3079	6,787	0,338	0,1030	226	342	365
246,9	125	4/0	7	4,77	187,8	14,3	0,563	343,2	230,7	3884	8,563	0,268	0,0816	265	395	424
312,8	159	266,8	19	3,26	128,3	16,3	0,642	434,8	292,2	4767	10,508	0,211	0,0644	313	460	495
394,5	200	336,4	19	3,66	144,1	18,3	0,721	548,5	368,6	6013	13,256	0,168	0,0511	368	532	575
465,4	236	397,5	19	3,98	156,5	19,9	0,783	647	434,8	7092	15,636	0,142	0,0433	413	590	640
559,5	284	477	19	4,36	171,6	21,8	0,858	777,9	522,8	8527	18,798	0,118	0,0360	468	663	720
652,4	331	556,5	19	4,71	185,3	23,5	0,927	907	609,6	9943	21,920	0,101	0,0309	520	729	795
740,8	375	636	37	3,59	141,5	25,2	0,991	1030	692,2	11048	24,356	0,089	0,0272	566	790	863
927,2	470	795	37	4,02	158,3	28,1	1,11	1289	866,3	13827	30,483	0,071	0,0217	660	908	996
1077,4	547	954	61	3,38	132,9	30,4	1,2	1498	1007	15891	35,032	0,061	0,0187	733	998	1099
1165,1	590	1033,5	61	3,51	138,2	31,6	1,24	1620	1089	17183	37,882	0,057	0,0173	771	1045	1153
1259,6	638	1113	61	3,65	143,7	32,8	1,29	1751	1177	18578	40,958	0,052	0,0160	812	1096	1211
1348,8	685	1192,5	61	3,78	148,7	34	1,34	1875	1260	19894	43,857	0,049	0,0149	850	1143	1265
1439,2	729	1272	61	3,9	153,6	35,1	1,38	2001	1345	21226	46,795	0,046	0,0140	886	1187	1315

ANEXO A.1: Modelo da Torre

Tower Design	Bundle Designation	Conductor System	Nominal Rated Temperature (°C)
L4 132 kV	L4 (M)	1 x 175 mm <sup>2</sup> ACSR	50
L7 132 kV	L7 (C)	2 x 175 mm <sup>2</sup> ACSR	50
L3 275 kV	L3/1	1 x 700 mm <sup>2</sup> AAAC	50
	<i>L3/2*</i>	<i>2 x 300 mm<sup>2</sup> AAAC</i>	<i>50</i>
L66 275 kV	L66/1	1 x 700 mm <sup>2</sup> AAAC	50
	<i>L66/2*</i>	<i>2 x 300 mm<sup>2</sup> AAAC</i>	<i>50</i>
L2 400 kV	L2/2	2 x 500 mm <sup>2</sup> AAAC	75
	L2/6	2 x 620 mm <sup>2</sup> GZTACSR	170
	<i>L2/4*</i>	<i>2 x 570 mm<sup>2</sup> AAAC</i>	<i>75</i>
L8 400 kV	L8/2	2 x 500 mm <sup>2</sup> AAAC	75
	L8/6	2 x 620 mm <sup>2</sup> GZTACSR	170
	<i>L8/4*</i>	<i>2 x 570 mm<sup>2</sup> AAAC</i>	<i>75</i>
L6 400 kV	L6/2	2 x 700 mm <sup>2</sup> AAAC	75
	L6/3	2 x 500 mm <sup>2</sup> AAAC	75
	L6/4	2 x 850 mm <sup>2</sup> AAAC	75
	L6/5	3 x 700 mm <sup>2</sup> AAAC	50

## ANEXO B: Características e Imagem da Chave Seccionadora

- Up to 550 kV
- Up to 63 kA (rms)/3150 A
- Easy installation and maintenance
- IEC/ANSI certification
- Seismic-resistant
- Ice-resistant

IEC ANSI	Rated voltage	Rated permanent current	Test pulse voltage		Power frequency withstand voltage				Rated withstand current		Switching impulse withstand voltage		
			To earth and between poles	Across the isolating distance	To earth and between poles		Across the isolating distance		Short-time	kAp kA (rms)	RIV test HV (1 MHz)	To earth and between poles	Across the isolating distance
					Dry	Rain	Dry	Rain					
Type	(kVrms)	(AMPS)	(kVp)	(kVp)	(kVrms)		(kVrms)				(kVp)	(kVp)	
SP-420	420 262	up to 3150 A	1425 1050	1425 1050	620 545	620 545	620 545	620 545	50 50	120 130	2500 500	1050 900 (+245)	
SP-550	550 550	up to 3150 A	1550 1550	1550 (+315)	1705 620 710	620 800 781	620				μV μV	1175 900 (+450)	
Dimensions mm													
Model	SP-420				SP-550								
A	2547				3213								
B	3310				3510								
C	705				705								
D	4000				5330								

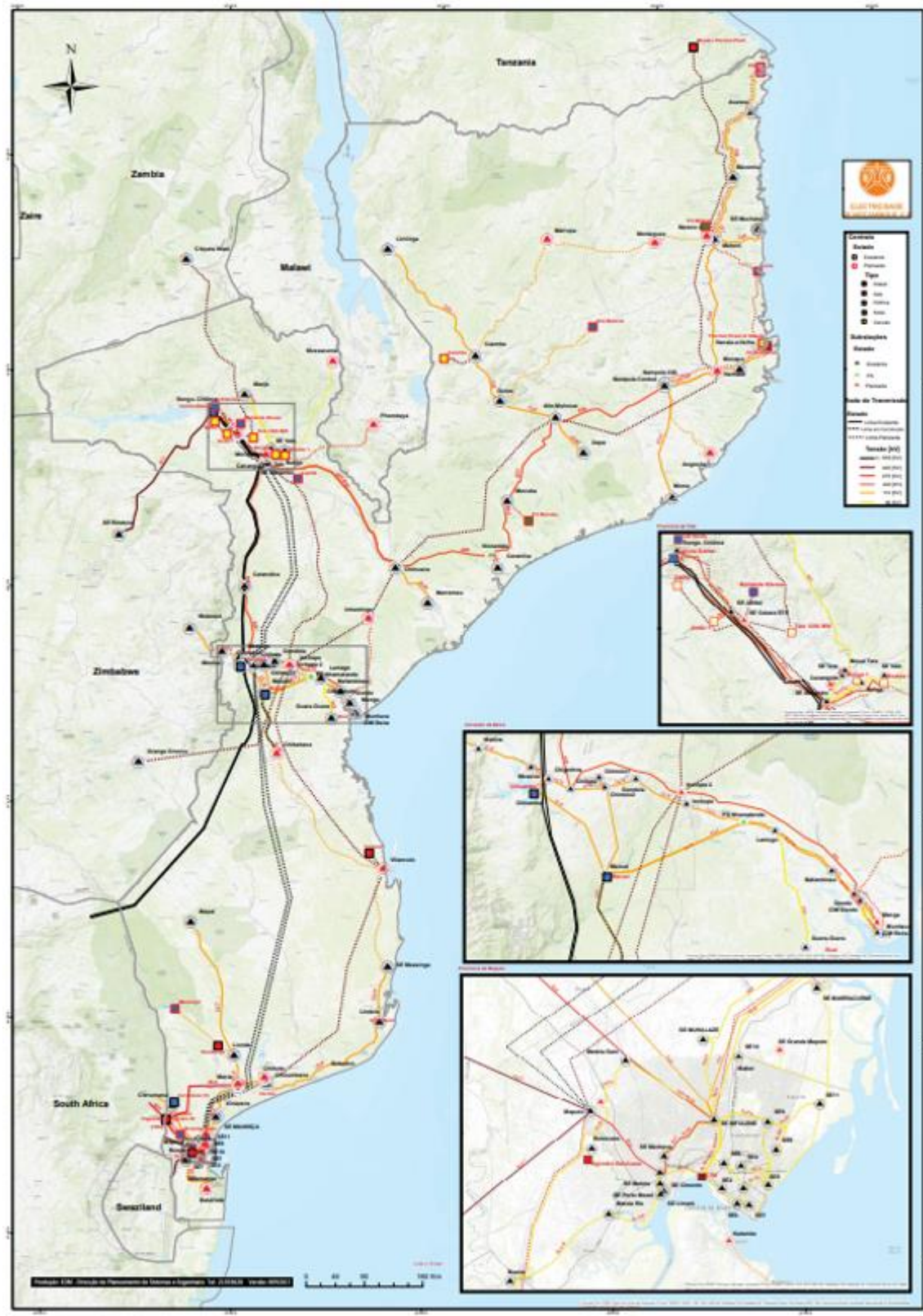


## ANEXO C: Características e imagem do Disjuntor

Rated current	400A UPTO 4000A
Power	3.3KV UPTO 400KV
Poles Number	3 Pole
Rated short circuit breaking capacity	13.1KA UPTO 40KA
Classification	Type C, Type D, EREVA ABB CROMPTON SCHNEIDER SIEMENS L&T, Type B



# ANEXO D: Distribuição Da Corrente



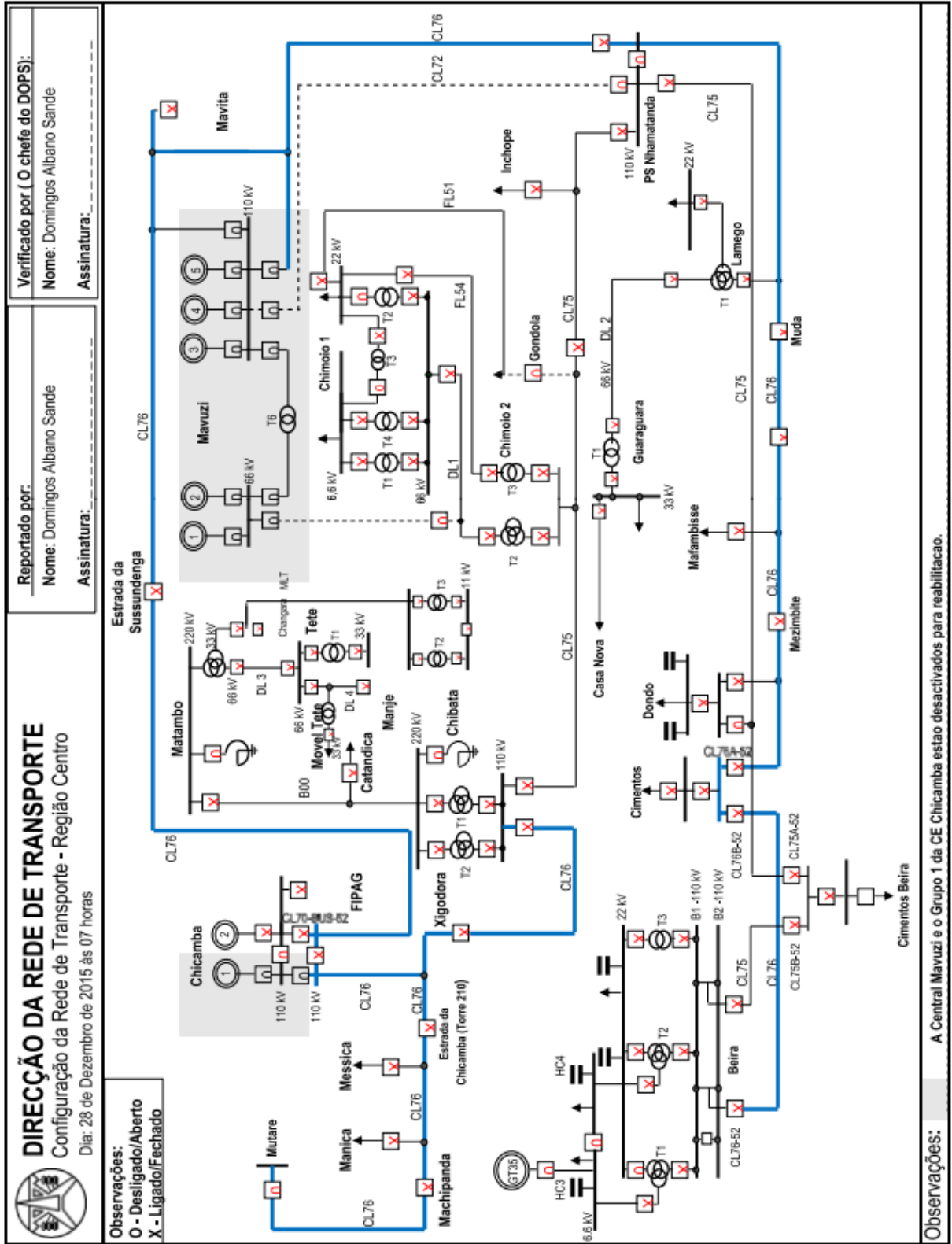
## ANEXO E: Tipos de apoios e nível de tensão

	Apoios de Madeira:	Para baixa e media tensão (até 15 KV)
	Apoios de betão:	Para baixa e média tensão/alta tensão (até 60KV)
	Apoios metálicos:	Para altas e muito altas tensões (60KV, 110KV, 220KV ,400KV)

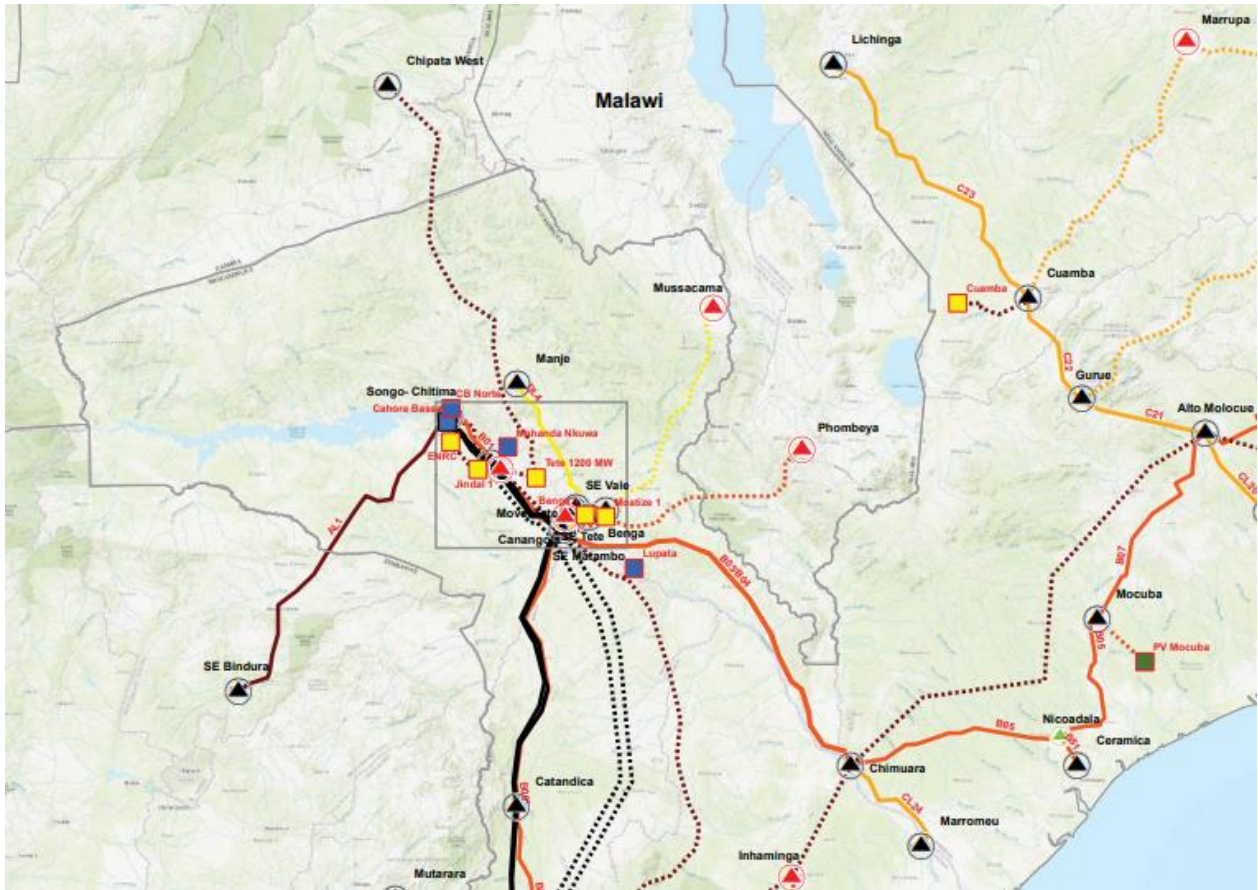
## ANEXO F: Relação entre o nível de poluição e a linha de fuga específica

NÍVEL DE POLUIÇÃO	EXEMPLO DE AMBIENTES TÍPICOS	LINHA DE FUGA NOMINAL ESPECÍFICA MÍNIMA ENTRE FASE E TERRA (1) (mm / kV) (2)
Fraca	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Zonas sem indústria e com fraca densidade de habitações equipadas com instalações de aquecimento.</li> <li>— Zonas com fraca densidade industrial ou de habitações, submetidas frequentemente a ventos e/ou a chuvas.</li> <li>— Regiões agrícolas.</li> <li>— Regiões montanhosas.</li> <li>— Qualquer destas zonas deve estar situada entre 10 a 20 km do mar e não deve estar exposta a ventos provenientes directamente do mar (3).</li> </ul>	16
Média	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Zonas com indústrias que não produzam fumos particularmente poluentes e/ou com densidade média de habitações equipada com instalações de aquecimento.</li> <li>— Zonas com forte densidade de habitações e/ou de indústrias submetidas frequentemente a ventos e/ou a queda de chuvas não contaminadas por elementos poluentes.</li> <li>— Zonas expostas a ventos, não muito próximas da costa (afastadas de alguns quilómetros) (3).</li> </ul>	20
Forte	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Zonas de grande densidade de indústrias e subúrbios de grandes cidades com elevada densidade de instalações de aquecimento poluentes.</li> <li>— Zonas situadas próximo do mar ou expostas a ventos marítimos relativamente fortes (3).</li> </ul>	25

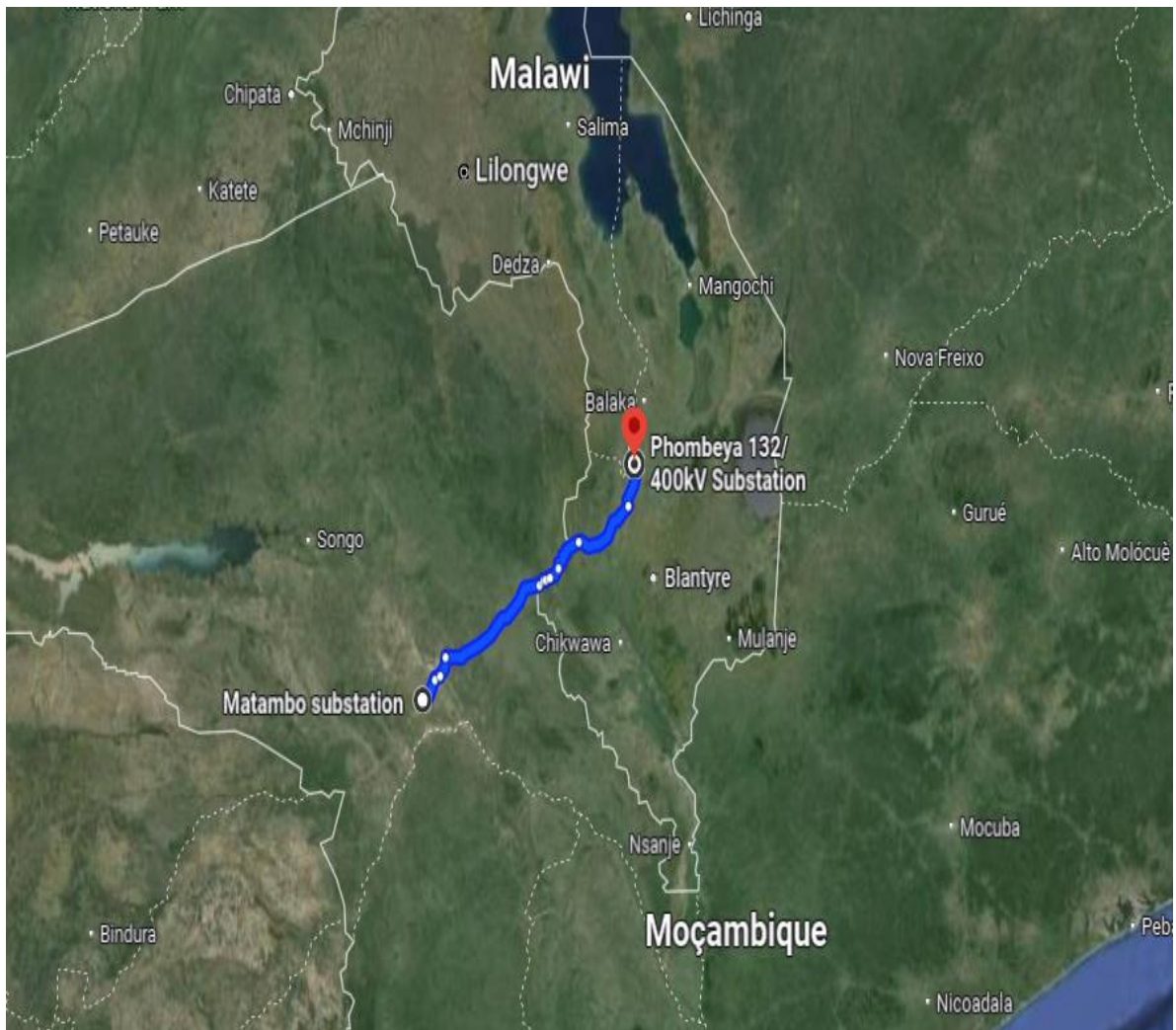
# ANEXO G: Configuração da rede de transporte- Região Centro



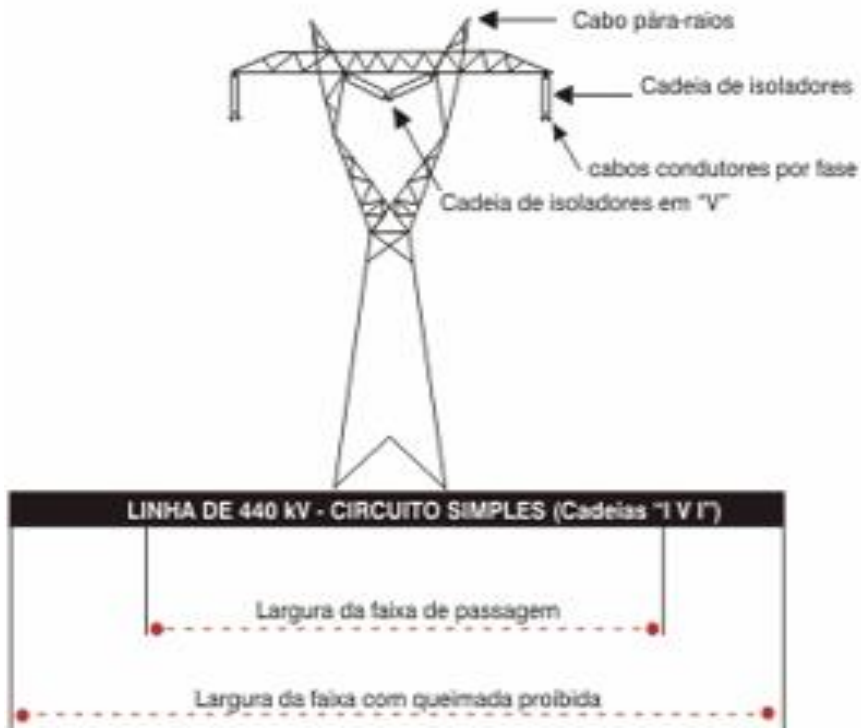
## ANEXO H: Linha Matambo- Phombeya



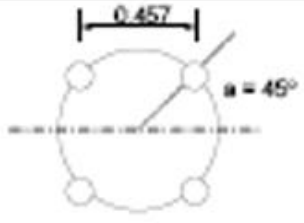
**ANEXO I: Troço da linha de transmissão saindo da subestação de Matambo até a subestação de Phombeya**



**ANEXO J: MEGATRO TRANSMISSION LINE STEEL STRUCTURE**



**ANEXO K: DADOS DE FEIXE DA LINHA DE TRANSMISSÃO**

<b>Dados dos cabos da Linha 500 kV</b>	
<b>Condutor de fase tipo: Rail</b>	
<b>Nº de condutores em feixe.</b>	4
<b>Distância dos feixes (m)</b>	
<b>Diâmetro do condutor externo (m).</b>	0,02959
<b>Diâmetro do condutor interno (m).</b>	0,00739
<b>Resistência a 60 Hz (<math>\Omega/\text{km}</math>)</b>	0,0594
<b>Temperatura (°)</b>	75
<b>Permeabilidade magnética relativa</b>	1
<b>Permissividade Relativa</b>	1
<b>Flecha a meio vão (m)</b>	13,43

## **ANEXO L: DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO DE MATAMBO**