



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

Faculdade De Engenharia

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Engenharia Eléctrica

Estágio Profissional

**Substituição dos cabos subterrâneos por linha aérea de média tensão de 11 KV que interligam a subestação de aeroporto ao PS12 do Bairro Aeroporto a Chamankulo.**

Nome:

Nhalugume, Edson Carlos

Coordenador:

Eng: Anacleto Albino

Supervisor:

Eng. José Chissico

Supervisor da empresa:

Eng. Daniel Nhancale.

Maputo, 25 de Novembro de 2022

Edson Carlos Nhalugume

Estágio profissional

Referência do tema: 2022ELEPD32

**Substituição dos cabos subterrâneos por linha aérea de média tensão de 11 KV que interligam a subestação de aeroporto ao PS12 do Bairro Aeroporto a Chamankulo.**

Trabalho de estágio profissional de fim do curso para obtenção do Grau de licenciatura em Engenharia Eléctrica pela Faculdade de Engenharia – UEM.

Coordenador: Eng: Anacleto Albino.

Supervisor: Eng: Jóse Chissico.

Maputo, 25 de Novembro de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

Em princípio agradeço a Deus por essa enorme graça que me concede todos os dias, que é a vida. E por tudo o que tem feito na minha vida.

Um dos grandes pilares da vida é a família e é com muita satisfação que dedico esse enorme abraço de agradecimento pelo apoio que me tem dado nesses longos anos de vida, sem ela nada teria sido possível, em especial minha mãe Glória Nhameleque e meu irmão Crisaldo Malatisse. Também a minha família em geral que apoia e vem dando forças para que continue nessa jornada.

Ao corpo docente e a faculdade de engenharia em geral meu muito obrigado pela formação e transmissão de conhecimento sem vocês nada disso teria sido possível. Foi onde aprendi o melhor da vida e como ser uma pessoa melhor e um profissional ainda mais qualificado.

A minha enorme satisfação e agradecimento à Electricidade de Moçambique, E.P. pela oportunidade a mim cedida para estagiar com uma equipe de trabalho satisfatório e muito competente para resolver prontamente os problemas; Meu Obrigado.

Palavras me faltam para agradecer muito ao Doutor Agostinho do Hospital Militar e Doutor Fidélito Sitefane, Doutor Artur Júnior, Doutora Aurélia António e a todo corpo funcional do Instituto de Coração (ICOR) que tem vindo apoiar-me nesses últimos anos. Os meus eternos agradecimentos.

Não dá para esquecer aos amigos e conhecidos que directamente e indirectamente dão uma ajuda sou grato por tê-los.

## RESUMO

De modo a achar soluções para o fornecimento de sem interrupções de energia eléctrica aos seus consumidores sem interrupções a EDM vem procurando maneira mais eficaz. Neste presente trabalho retrata a implementação de uma linha área como solução mais viável para a distribuição e fornecimento de energia em circuitos de média tensão, o objectivo descrever os aspectos constitucionais e técnicos usados na criação de redes aéreas. Deste modo é necessário conhecer as vantagens e desvantagens proporcionadas pela rede aérea durante o funcionamento normal, período de manutenção e tempo de vida útil em comparação com os cabos subterrâneos existentes.

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado com a ajuda de manuais obtidos durante o curso e informações oferecida pela Electricidade de Moçambique.

A proposta de substituição dos cabos subterrâneos existentes é devido as constantes avarias ao longo do circuito que necessitam de reposição e manutenção constante. Entretanto o novo circuito deve trazer melhorias a rede em aspectos de desempenho e custos de implementação. Por sua vez para projectar esse circuito foi necessário recorrer se ao dimensionamento eléctrico que lida com parâmetros de funcionamento da linha e o dimensionamento mecânico que estuda os esforços criados pelos cabos e factores atmosféricos sobre os apoios. Com recurso a plataforma topográfica *online Google earth* foi possível demonstrar o troco que a linha percorre respeitando a segurança de pessoas e bens.

## INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

A Electricidade de Moçambique, E.P é uma empresa pública de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia eléctrica de Moçambique.

### **Histórico**

A EDM foi criada em resultado da privatização da empresa estatal Electricidade de Moçambique, E.E., a qual havia sido criada em 1977 pelo governo da República Popular de Moçambique, dois anos depois da independência. Quando foi criada em 1977, a empresa surgia da fusão de vinte e cinco unidade de produção e/ou distribuição dispersas pelo território de Moçambique.

### **Missão**

Produzir, transportar, distribuir e comercializar energia eléctrica de boa qualidade, de forma sustentável, para iluminar e potenciar a industrialização do país;

### **Visão**

Transformar a EDM numa Utilidade Inteligente e Sustentável, que dá acesso à energia eléctrica de qualidade a cada moçambicano e exerce liderança no Mercado Regional;

### **Valores**

- Integridade;
- Transparência;
- Igualdade;
- Competitividade e
- Espírito de Equipa.

## **Lema**

Iluminando a transformação de Moçambique;

Objectivos Estratégicos até 2030:

- ❖ Alcançar o acesso universal à energia eléctrica;
- ❖ Transformar Moçambique num pólo regional de energia eléctrica; e
- ❖ Alcançar a igualdade do género

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>ÍNDICE</b>                                    |             |
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....                      | <b>ii</b>   |
| <b>RESUMO</b> .....                              | <b>iii</b>  |
| <b>INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA</b> .....         | <b>iv</b>   |
| <b>ÍNDICE</b> .....                              | <b>vi</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b> .....    | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....                    | <b>xi</b>   |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....                    | <b>xii</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                        | <b>1</b>    |
| 1.1 Objectivos.....                              | 2           |
| 1.1.1 Objectivo geral.....                       | 2           |
| 1.1.2 Objectivos específicos.....                | 2           |
| 1.2 Estrutura do projecto .....                  | 3           |
| <b>2 CABO SUBTERRÂNEO</b> .....                  | <b>4</b>    |
| 2.1 Alma condutora .....                         | 5           |
| 2.1.1 Composição e forma da Alma Condutora.....  | 6           |
| 2.2 Camada Isolante .....                        | 7           |
| 2.2.1 Materiais termoplásticos.....              | 8           |
| 2.2.2 Elastómeros e polímeros reticuláveis ..... | 8           |
| 2.2.3 Camadas semi-condutoras.....               | 8           |
| 2.2.4 Polietileno (PE).....                      | 9           |
| 2.2.5 Polietileno reticulado (XLPE).....         | 9           |
| 2.2.6 Policloreto de vinilo (PVC).....           | 10          |
| 2.3 Revestimentos metálicos.....                 | 10          |
| 2.3.1 Blindagem ou écran metálico .....          | 10          |
| 2.3.2 Armadura.....                              | 11          |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.3.3    | Revestimentos não metálicos (bainhas).....  | 11        |
| 2.4      | Acessórios para instalação de cabos subterrâneos .....                                  | 13        |
| 2.4.1    | Caixas de junção .....  | 13        |
| 2.4.2    | Caixas de derivação .....   | 14        |
| 2.4.3    | Caixas de terminais .....   | 15        |
| 2.5      | Causa de avarias em cabos subterrâneos .....  | 16        |
| 2.6      | Técnicas de colocação dos cabos.....  | 16        |
| 2.7      | Profundidade de colocação .....   | 17        |
| <b>3</b> | <b>LINHAS AÉREAS .....</b>  | <b>18</b> |
| 3.1      | Condutor nu.....  | 18        |
| 3.2      | Apoio .....   | 19        |
| 3.3      | Isoladores .....  | 20        |
| 3.4      | Armações .....  | 21        |
| 3.5      | Vantagens e desvantagens de uso de linhas aéreas em relação aos cabos subterrâneos..... | 22        |
| <b>4</b> | <b>CÁLCULO ELÉCTRICO .....</b>  | <b>24</b> |
| 4.1      | Intensidade de corrente nominal .....   | 24        |
| 4.2      | Parâmetros eléctricos .....   | 25        |
| 4.2.1    | Resistência eléctrica.....  | 25        |
| 4.2.2    | Coeficiente de auto-indução .....   | 26        |
| 4.2.3    | Reactância.....   | 27        |
| 4.3      | Perdas de energia .....   | 27        |
| 4.4      | Quedas de tensão .....  | 27        |
| 4.5      | Intensidade máxima da corrente de curto-circuito admissível .....                       | 28        |
| <b>5</b> | <b>CÁLCULO MECÂNICO .....</b>   | <b>29</b> |
| 5.1      | Tensões mecânicas máximas .....   | 29        |

|          |  |                 |
|----------|--|-----------------|
| 5.2      | Acções que afectam as linhas.....                | 30              |
| 5.3      | Acções variáveis.....                            | 30              |
| 5.4      | Forças que actuam nos condutores .....           | 30              |
| 5.5      | Estado atmosférico mais desfavorável .....       | 32              |
| 5.6      | Coeficientes de sobrecarga .....                 | 32              |
| 5.7      | Vão crítico.....                                 | 33              |
| 5.8      | Equação dos estados atmosféricos.....            | 33              |
| 5.9      | Flecha máxima .....                              | 34              |
| 5.10     | Seleccção dos isoladores.....                    | 35              |
| 5.11     | Distâncias de segurança Estabelecidas .....      | 35              |
| 5.12     | Fundações dos apoios .....                       | 38              |
| 5.13     | Ligação à terra dos apoios de betão armado ..... | 38              |
| 5.14     | Escolha dos pára-raios.....                      | 39              |
| <b>6</b> | <b>PROJECTO ELÉCTRICO .....</b>                  | <b>40</b>       |
| 6.1      | Avaliação da extensão da linha .....             | 41              |
| 6.2      | Apresentação dos cálculos para o projecto.....   | 42              |
| 6.2.1    | Cálculo eléctrico .....                          | 42              |
| 6.2.2    | Cálculo mecânico .....                           | 43              |
| <b>7</b> | <b>Estimativa de custo.....</b>                  | <b>51</b>       |
| <b>8</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                           | <b>53</b>       |
| <b>9</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>          | <b>54</b>       |
|          | <b>ANEXOS .....</b>                              | <b>A11 - 55</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### Lista de abreviaturas

|        |  |
|--------|--|
| AAAC   | Condutor de liga de alumínio                                 |
| AAC    | Condutor de alumínio   |
| AT     | Alta tensão  |
| EDM    | Electricidade de Moçambique                                  |
| HRFSC  | Esteira horizontal de função de reforço em alinhamento       |
| MT     | Média tensão   |
| PE     | Polietileno  |
| PT     | Poste de transformação                                       |
| PVC    | Policloreto de vinilo  |
| RSLEAL | Regulamento de segurança de linhas eléctricas de alta tensão |
| XLPE   | Polietileno reticulado                                       |

### Lista de símbolos

|   | Unidade                         |
|---|---------------------------------|
| $c$ - Coeficiente de forma                        | sem unidade                     |
| $d$ - Diâmetro do condutor                        | [ $m$ ]                         |
| $E$ - Módulo de elasticidade                      | $\left[\frac{daN}{mm^2}\right]$ |
| $f_{max}$ – Flecha máxima                         | [ $m$ ]                         |
| $F_v$ - Força proveniente da ação do vento        | [ $daN/m$ ]                     |
| $F_x$ - Solicitação mecânica transversal à linha  | [ $daN$ ]                       |
| $F_y$ - Solicitação mecânica longitudinal à linha | [ $daN$ ]                       |
| $F_z$ - Solicitação mecânica vertical à linha     | [ $daN$ ]                       |
| $S$ - Comprimento do vão                          | [ $m$ ]                         |
| $L_{cr}$ - Vão crítico                            | [ $m$ ]                         |

|   |                        |
|---|------------------------|
| $L_{eq}$ - Vão equivalente                                  | [m]                    |
| $m_i$ - Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico | sem unidade            |
| $\beta_1$ – Ângulo  | [grados]               |
| $S_c$ - Seção do condutor                                   | [mm <sup>2</sup> ]     |
| $\Delta U$ - Queda de tensão                                | [V]                    |
| $\alpha$ - Coeficiente de dilatação térmica                 | [1/°C]                 |
| $W_v$ - Peso específico linear do condutor                  | [daN]                  |
| $\theta_i$ - Temperatura no estado mais desfavorável        | [°C]                   |
| $\theta_2$ - Temperatura no estado de Verão                 | [°C]                   |
| $\theta_1$ - Temperatura no estado atmosférico de Inverno   | [°C]                   |
| $T_{max}$ - Tensão montagem máxima da linha                 | [daN/mm <sup>2</sup> ] |

| <b>LISTA DE FIGURAS</b>  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1 - cabo monopolar. [2].....  | 4           |
| Figura 2 - cabo tripolar. [2].....   | 4           |
| Figura 3 - cabo com alma circular. [10] .....  | 6           |
| Figura 4 - cabos com alma sectorial. [10].....   | 7           |
| Figura 5 - Cabo subterrâneo de Média Tensão.....                                       | 12          |
| Figura 6 - constituição de um cabo subterrâneo.....                                    | 12          |
| Figura 7 - caixa de junção monopolar. [6].....   | 14          |
| Figura 8 - caixa de terminais. ....  | 15          |
| Figura 9 - Cabo enterrado directamente no solo. [10] .....                             | 16          |
| Figura 10 - condutor nu: (a) alumínio (b) Ligas de alumínio. [15] .....                | 19          |
| Figura 11 - Poste de betão (a) vista frontal (b) vista lateral .....                   | 20          |
| Figura 12 - Tipos de isoladores: (a) em cadeia, (b) para acoplamento, (c) rígido. .... | 21          |
| Figura 13. - Amarração tipo esteira horizontal.....                                    | 21          |
| Figura 14 - Implantação de apoio (a) normal (b) para reforço .....                     | 22          |
| Figura 15 - Fluxograma do estado mais desfavorável.....                                | 32          |
| Figura 16 - Representação do vão e flecha. [15].....                                   | 34          |
| Figura 17 - Perfil do sistema de aterramento.....                                      | 38          |
| Figura 18 - linha de MT que interliga a SE4 ao PS12.....                               | 41          |
| Figura 19 - Representação dos esforços exercidos em apoios em ângulo. [7] .....        | 46          |

## LISTA DE TABELAS

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - características físicas, eléctricas e mecânicas. [10] .....            | 5  |
| Tabela 2 - comparação de cabos subterrâneos e linhas aéreas de MT. ....           | 22 |
| Tabela 3 - Densidade da corrente económica. ....                                  | 25 |
| Tabela 4 – Valores de coeficientes de termoresistividade e de resistividade. .... | 25 |
| Tabela 5 - Constantes para cada tipo de material condutor k1 e k2. ....           | 28 |
| Tabela 6 - Valores da pressão em função do vento. [4] .....                       | 30 |
| Tabela 7 - Coeficiente de forma. [4] .....  | 31 |
| Tabela 8 - Temperaturas para os estados de inverno e primavera. [4] .....         | 33 |
| Tabela 9 - Condições para obtenção da flecha máxima na linha. [4] .....           | 34 |
| Tabela 10 - Características do condutor AAAC – ASTER 228. ....                    | 43 |

# 1 INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia eléctrica em média tensão é responsável por realizar a distribuição da energia eléctrica recebida da rede nacional de transporte para os consumidores, é a etapa crucial no fornecimento de energia aos consumidores. Nesse sentido, a energia eléctrica é em primeiro lugar, transportada em longas distâncias pela rede de transporte. Isto ocorre em linhas de alta tensão (AT) que alimentam as subestações, de seguida, a electricidade é entregue à rede de distribuição em média tensão, que a transporta em distâncias menores, até chegar às instalações dos consumidores. [16]

Entretanto, de modo a garantir maior fiabilidade no fornecimento de energia é necessário que a rede de distribuição ofereça segurança, eficiência e qualidade para que não haja interrupção do fornecimento durante varias horas, causadas por descargas atmosféricas ou falhas eléctricas de uma linha, ou durante o período de manutenção da mesma.

Durante o processo de concepção e projecção de linhas eléctricas analisam se vários factores até a selecção do melhor tipo de linha a implementar nesse território, durante essa selecção pode-se escolher uma linha subterrânea ou aérea. Os factores que definem a escolha de uma em vez da outra serão desenvolvidos ao longo deste trabalho.

Na saída da subestação do aeroporto foram instalados três cabos subterrâneos monopolares para distribuição e alimentação de postos de transformação e outras cargas, onde ao longo do circuito têm-se registado avarias frequentes entre eles defeito no isolamento ao longo do cabo, rompimento ou fuga de correntes nas caixas de junção. Esses problemas têm resultado em custos para a empresa e por vezes em interrupção no fornecimento de energia aos consumidores.

Os cabos subterrâneos de distribuição apresentam vantagens sobre a rede de distribuição aérea consideráveis que habilitam sua instalação em todos os locais do mundo. Sua estrutura principal se mantém enterrada, mantendo níveis de segurança e confiabilidade altíssimos.

O que torna este tipo de projecto insustentável é devido ao custo de implementação que é altíssimo em comparação a condutores nus, constituindo assim um dos principais motivos de escolha de linhas aéreas. As linhas aéreas apresentam baixo custo de implementação e facilidade de detectar avarias na mesma.

Este trabalho tem como finalidade substituir os cabos subterrâneos de média tensão (MT) de 11 KV que interligam o SE4 e o ponto de distribuição PS12, com vista a reduzir os problemas de interrupção e manutenção constante sobre o circuito, garantindo assim qualidade, continuidade e eficiência na distribuição de energia.

## **1.1 Objectivos**

### **1.1.1 Objectivo geral**

Substituir a linha subterrânea por uma linha aérea de média tensão de 11 KV.

### **1.1.2 Objectivos específicos**

- ❖ Definir e caracterizar linhas subterrâneas e aéreas;
- ❖ Mencionar os tipos de matérias usados em cada linha;
- ❖ Analisar as vantagens e desvantagens dos dois tipos de linhas eléctricas;
- ❖ Avaliar a extensão da linha e suas perdas eléctricas;
- ❖ Dimensionar e especificar os parâmetros da nova linha.

## **1.2 Estrutura do projecto**

Este documento encontra-se estruturado em sete capítulos, sendo o primeiro capítulo o presente.

No capítulo 2 descreve-se as características dos cabos, analisando-se as várias camadas da estrutura de um cabo e seus materiais e acessórios de instalação para cabos subterrâneos numa rede eléctrica, suas funções e objectivos.

No Capítulo 3 é retratado sobre a constituição de uma linha aérea de MT onde fala-se dos condutores nus, isoladores, tipos de amarrações e apoios.

No capítulo 4 são apresentados os parâmetros de cálculo eléctricos de uma linha aérea.

No capítulo 5 é o cálculo mecânico de linha aérea em média tensão, de modo a garantir a estabilidade da linha nos apoios. Estes procedimentos de cálculo serão em seguida implementados na aplicação fazendo referência às respectivas normas.

No penúltimo capítulo serão apresentados os resultados dos cálculos eléctricos e mecânicos da linha projectada de modo a garantir segurança e qualidade de funcionamento.

No último Capítulo serão apresentadas as principais conclusões da dissertação e referidas perspectivas futuras para o trabalho desenvolvido.

## 2 CABO SUBTERRÂNEO

As três partes essenciais constituintes de um cabo são:

- ❖ A alma condutora, que transporta a energia;
- ❖ O isolamento, que permite isolar os condutores nus uns dos outros, e dos seus envolventes;
- ❖ A protecção exterior, para proteger contra acções mecânicas, químicas e electrolíticas, o fogo e qualquer outro tipo de influências externas que possam ser prejudiciais.

O nome de condutor é usado para designar a alma condutora em conjunto com a camada isolante. No caso de se ter um condutor com um revestimento exterior temos um cabo monopolar, como é exemplo

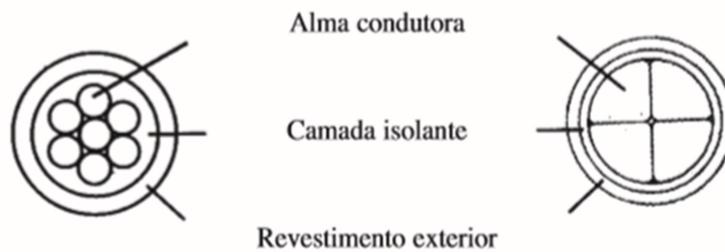


Figura 1 - cabo monopolar. [2]

Um cabo multipolar é formado por vários condutores electricamente distintos e mecanicamente solidários. A designação de cabo multicondutor é, em geral, usada para cabos com mais de três condutores.

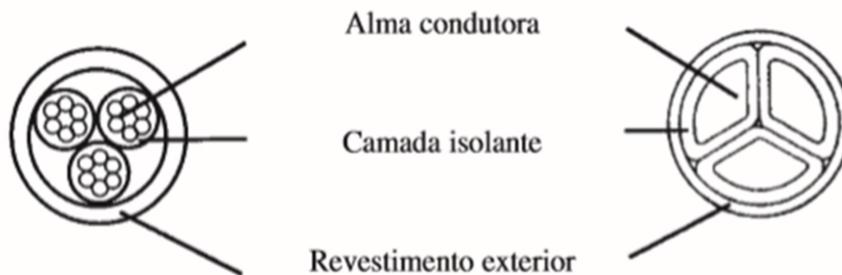


Figura 2 - cabo tripolar. [2]

## 2.1 Alma condutora

A alma condutora pode-se caracterizar essencialmente pela:

Natureza do metal condutor,

Secção nominal,

Composição e forma.

Quanto à natureza a alma condutora

Pode ser em cobre recozido ou estanhado, em alumínio 3/4 duro ou em ligas de alumínio que aumentam a sua resistência mecânica.

Tabela 1 - características físicas, eléctricas e mecânicas. [10]

| Características               | Unidades             | Cobre                 | Alumínio              | Liga                  | ACS                   | Aço                   |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Massa específica              | Kg/dm <sup>3</sup>   | 8,89                  | 2,703                 | 2,703                 | 6,59                  | 7,78                  |
| Coefficiente dilatação linear | °C <sup>-1</sup>     | 17,0x10 <sup>-6</sup> | 23,0x10 <sup>-6</sup> | 23,0x10 <sup>-6</sup> | 13,0x10 <sup>-6</sup> | 11,5x10 <sup>-6</sup> |
| Modulo de elasticidade        | Kg/mm <sup>2</sup>   | 12700                 | 7000                  | 7000                  | 16200                 | 20700                 |
| Resistividade a 20°C          | Ω.mm <sup>2</sup> /m | 0,017774              | 0,028264              | 0,0305 a<br>0,0325    | 0,0848                | 0,1916                |
| Condutividade a 20°C (%)      | I.A.C.S.             | 97,0                  | 61,0                  | 52,5                  | 20,3                  | 9,0                   |
| Cof. Temp. a 20°C             | °C <sup>-1</sup>     | 0,00381               | 0,00403               | 0,00360               | 0,00360               | -                     |
| Calor específico a 20°C       | Kcal/Kg°C            | 0,092                 | 0,215                 | 0,215                 | 0,136                 | 0,110                 |

A tabela acima apresenta as principais características do cobre e do alumínio utilizados nos condutores e nos cabos. Devem estar dentro de certas tolerâncias em relação aos materiais tipo definidos por vários documentos nacionais e internacionais.

Poder-se-á observar, nestas características, que em igualdade de resistência eléctrica um condutor de alumínio tem uma secção 1,6 vezes superior à de um condutor em cobre, para uma massa sensivelmente igual a metade, o que explica independentemente, das

vantagens económicas, o sucesso crescente do alumínio no seio dos utilizadores. No entanto, em casos particulares, o uso do cobre permanece o mais indicado, em virtude das suas características mecânicas (flexibilidade) ou do seu diâmetro inferior para a alma condutora.

### 2.1.1 Composição e forma da Alma Condutora

Em relação à composição da alma condutora, dependendo da secção nominal e da flexibilidade pretendida, ela poderá ser maciça ou multifilar.

Sendo maciça, é constituída por apenas um condutor sólido e geralmente a sua utilização destina-se às secções não muito elevadas.

Sendo multifilar, é constituída por diversos fios cableados, e que em princípio, confere uma maior flexibilidade. Os fios estão dispostos em hélice numa ou mais camadas distintas, e o sentido do cableamento é sucessivamente total de fios é dado pela expressão

$$N^{\circ} \text{ total de fios} = 1 + 3n(n + 1)$$

Quanto à forma da alma conduta, ela é habitualmente circular ou sectorial

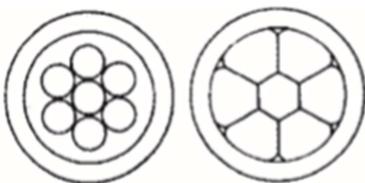


Figura 3 - cabo com alma circular. [10]

As almas condutoras circulares são constituídas por camadas concêntricas. Para secções muito elevadas (geralmente acima dos 800 [mm<sup>2</sup>), podem ser segmentada, ou seja, composta por vários elementos cableados, com forma sectorial, e que podem ser ligeiramente isolados entre eles. A finalidade desta constituição é a redução tanto do efeito de proximidade com do efeito peculiar, e conseqüentemente a redução da resistência óhmica em corrente alternada, o que vai permitir um maior aproveitamento da secção útil.

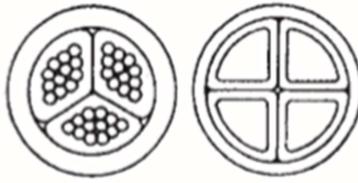


Figura 4 - cabos com alma sectorial. [10]

Normalmente a forma sectorial é aplicada em cabos de 3 ou 4 condutores, pois permite uma melhor ocupação do espaço, o que provoca uma diminuição das suas dimensões e conseqüentemente o seu peso também irá decrescer.

Outra forma de reduzir as dimensões e pesos do cabo é compactar as almas condutoras.

## 2.2 Camada Isolante

Antigamente a camada isolante era feita a papel impregnado a óleo, mas com a descoberta de isolantes sintéticos com melhores propriedades, esse tipo de isolação foi caindo em desuso.

Hoje em dia é feita exclusivamente de isolantes sintéticos, também conhecidos como isolantes secos, pois estes suplantam em muito, a camada isolante a papel impregnado a óleo, tanto a nível de instalação como de exploração. Temperaturas de funcionamento mais elevadas, maior capacidade de transporte de energia, para secções iguais, maior simplicidade na execução de acessórios, menor probabilidade de avaria simultânea nos três condutores, são algumas das vantagens do uso de isolantes sintéticos, que conferem uma maior fiabilidade da instalação. No entanto, ainda há muitos cabos, instalados na rede subterrânea, com isolamento a papel impregnado a óleo, pois não é economicamente viável a sua substituição, sem mais nenhuma justificação.

Os diferentes isolantes sintéticos podem ser divididos em dois grandes grupos:

- ❖ Materiais termoplásticos;
- ❖ Elastómeros e polímeros reticuláveis.

### **2.2.1 Materiais termoplásticos**

Têm como característica a variação de plasticidade, de uma maneira reversível, que é provocada pela temperatura. Os mais usados são o policloreto de vinilo (PVC) e o polietileno (PE).

### **2.2.2 Elastómeros e polímeros reticuláveis**

Têm como característica a elasticidade, que confere uma grande capacidade de deformação. Depois da sua extrusão precisam de passar por uma operação de vulcanização ou de reticulação, com a finalidade de lhes estabelecer ligações transversais entre as cadeiras moleculares de forma irreversível.

Os mais usados são o polietileno reticulado (PEX), borracha etil-propílica e borracha de silicone. Convém realçar que quanto maior for a tensão de funcionamento do cabo, maior é a exigência relativa à qualidade dieléctrica da cama isolante.

### **2.2.3 Camadas semi-condutoras**

As camadas semi-condutoras, habitualmente, só são utilizadas acima da média tensão, geralmente acima dos 10 kV, com o objectivo de criar uma transição perfeita entre a alma condutora e a camada isolante, e entre a camada isolante e o écran metálico.

Para tal, usualmente, utiliza-se o polietileno com um aditivo como o carbono. Essa alteração das suas características vai permitir-lhe alguma condutividade, obtendo-se assim um condensador perfeito. Sem a aplicação destas camadas semi-condutoras, tal não era possível, por causa das irregularidades das almas condutoras multifilares e da textura dos ecrãs metálicos. Geralmente ambas as camadas semicondutoras, em conjunto com a camada isolante, são aplicadas num processo de tripla extrusão simultânea, de modo a assegurar uma adesão perfeita entre as três camadas.

### **Características dos isolantes sintéticos mais comuns**

Os isolantes sintéticos mais comuns são:

- ❖ Polietileno (PE)
- ❖ Polietileno reticulado (XLPE)
- ❖ Policloreto de vinilo (PVC)

#### **2.2.4 Polietileno (PE)**

O polietileno é obtido por polimerização a alta pressão do etileno gasoso com um elevado grau de pureza. Ele pode ser dividido em dois grupos, o polietileno de baixa densidade (PEBD), com uma densidade entre 0,91 e 0,93, muito utilizado no isolamento dos cabos de alta tensão, e o polietileno de alta densidade (PEAD), com uma densidade entre 0,94 e 0,96.

O polietileno tem excelentes qualidades dieléctricas, das quais se destacam o pequeno factor de perdas e a baixa permitividade dieléctrica relativa, independentemente da temperatura. Ainda de realçar a elevada resistência de isolamento e de rigidez dieléctrica. As suas qualidades mecânicas também são muito boas, pois para além de ter uma boa resistência aos choques, tem também uma certa flexibilidade. Apresenta ainda uma elevada resistência à maioria dos agentes químicos assim como dos agentes atmosféricos. A sua grande desvantagem é a fraca resistência à propagação da chama, apesar de não libertar gases corrosivos durante a combustão. Deste modo, a sua utilização fica praticamente limitada ao isolamento. A conjugação de todos estes factores, faz com que o polietileno seja o escolhido para isolante no fabrico de cabos de alta e muito alta tensão.

#### **2.2.5 Polietileno reticulado (XLPE)**

O polietileno reticulado tem boas características dieléctricas, apesar de estas não atingirem os níveis das do polietileno. Porém, face à sua reticulação, as características mecânicas e estabilidade térmica são consideravelmente melhores. Deste modo permite temperaturas máximas de 90° C em regime permanente, de 110° C a 130° C em sobrecarga e 250° C em curto-circuito. A sua combustão não liberta gases corrosivos e a sua resistência à propagação da chama pode ser melhorada, através de uma composição especial. Apesar da sua reticulação, o seu comportamento ao frio não vai ser alterado.

O polietileno reticulado apresenta um maior interesse quando as condições do meio envolvente são desfavoráveis a nível térmico, ou em regimes de sobrecarga temporários. O polietileno reticulado é essencialmente utilizado como isolante para cabos de baixa tensão, média tensão e alta tensão.

## **2.2.6 Policloreto de vinilo (PVC)**

O policloreto de vinilo é obtido através da polimerização do cloreto de vinilo, e incorporação de plastificantes, estabilizantes, cargas. A utilização de corantes específicos, permite-lhe dispor de uma variada gama de cores. Apesar de apresentar boas características dieléctricas como é o caso do elevado valor da resistência de isolamento e da rigidez dieléctrica, apresenta elevadas perdas dieléctricas, devido ao seu elevado factor de perdas, que podem ser críticas na média tensão. Além disso a sua permissividade dieléctrica e capacidade linear são muito elevadas. As suas características mecânicas são geralmente boas, como são os casos da carga de ruptura, resistência ao desgaste, compressão e choque.

Contudo a sua flexibilidade é reduzida o que se traduz numa pequena utilização em instalações móveis. Apresenta uma boa resistência ao envelhecimento térmico, e com as habituais misturas permitem uma temperatura máxima de 70° C em regime permanente. Existem certas misturas que permitem um aumento da temperatura até 105° C. Ele oferece também uma boa resistência à água e à maioria dos agentes químicos, e uma muito boa resistência à propagação da chama, contudo, durante a sua combustão liberta gases nocivos. O PVC é bastante usado como isolante em cabos de baixa tensão e de média tensão mas apenas até 10 kV, devido ao elevado factor de perdas. A sua utilização como bainha exterior está também largamente generalizada.

## **2.3 Revestimentos metálicos**

Os revestimentos metálicos estão divididos em dois tipos, que diferem na sua função e localização, e são eles:

- ❖ Écran metálico;
- ❖ Armadura.

### **2.3.1 Blindagem ou écran metálico**

Regra geral, o écran metálico é ligado à terra.

Função:

- ❖ Garantir a protecção das pessoas no caso de o cabo ser perfurado por um corpo condutor exterior;
- ❖ Permite o escoamento das correntes capacitivas e das correntes de curto-circuitos;
- ❖ Possibilita também criar uma superfície equipotencial, e deste modo orientar as linhas de força do campo eléctrico, que pode dar origem a cabos de campo radial e a cabos de campo não radial.

### **2.3.2 Armadura**

Objectivo assegurar a protecção mecânica do cabo, quando esse é submetido a esforços significativos, quer transversais como a compressão e os choques, quer longitudinais como a tracção, ou ainda durante a colocação e exploração.

Eventualmente a armadura também, poderá ser utilizada com a função de écran metálico, perante determinadas disposições no plano eléctrico.

A armadura mais comum em cabos multipolares é composta por duas fitas de aço, enroladas em hélice, de modo a que nenhum intervalo seja visível. Desde que não haja esforços longitudinais ou condições específicas de flexibilidade ou corrosão, este tipo de armadura satisfaz todas as situações.

No caso de se exigir uma grande flexibilidade é usada uma armadura composta por uma camada de fios de aço cruzados (tranca). No caso de haver elevados esforços a armadura deve ser composta por duas camadas de fios de aço enrolados em hélice.

Não são usadas armaduras em aço nos cabos monopolares, pois as suas características magnéticas reduzem significativamente a capacidade de transporte de condutor. Em alternativa pode-se usar armaduras de alumínio em dupla fita enroladas em hélice. Outra hipótese é utilizar um tubo como protecção mecânica exterior, substituindo assim a armadura.

### **2.3.3 Revestimentos não metálicos (bainhas)**

Os revestimentos não metálicos são conhecidos por bainhas, e podem ser divididos em:

- ❖ Bainhas interiores;
- ❖ Bainhas exteriores.

### 2.3.3.1 As bainhas interiores

Função:

- ❖ Assegurar a estanquidade do cabo, ou seja, não permitir que a camada isolante entre em contacto com a água ou qualquer agente químico exterior ao cabo.

Geralmente são utilizados materiais sintéticos, dos quais os mais comuns são o PVC e o Polietileno. Estas bainhas têm também como função preencher os espaços vazios entre os condutores, para lhes conceder uma determinada geometria, habitualmente cilíndrica. Ou seja, desempenham um papel de enchimento.

### 2.3.3.2 As bainhas exteriores

Função:

- ❖ Assegurar a protecção exterior mecânica e química do cabo.

Para tal utilizam-se materiais sintéticos, que podem variar conforme a aplicação pretendida, e deve ter em conta alguns factores como resistência mecânica quer na colocação, quer na exploração, resistência aos agentes químicos, resistência a diferentes temperaturas, estanquidade, flexibilidade. Os mais utilizados são o PVC e o polietileno.

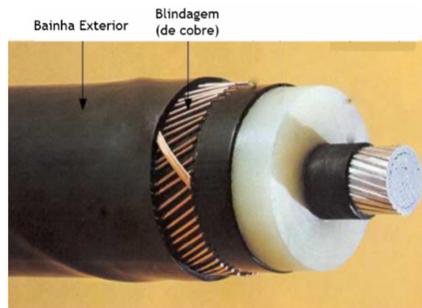


Figura 5 - Cabo subterrâneo de Média Tensão.

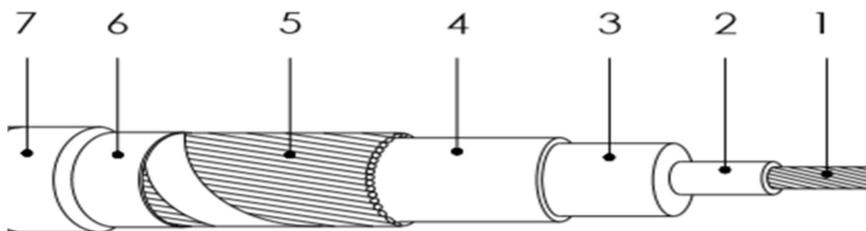


Figura 6 - constituição de um cabo subterrâneo.

- 1 - Condutor;
- 2 - Ecrã sobre o condutor;
- 3 - Isolação do condutor;
- 4 - Ecrã sobre a isolação;
- 5 - Blindagem;
- 6 - Barreira de estanquidade longitudinal;
- 7 - Bainha exterior (de protecção)

## **2.4 Acessórios para instalação de cabos subterrâneos**

Os cabos subterrâneos são fornecidos com um comprimento limitado de forma a permitir que as suas bobinas de enrolamento sejam fáceis de transportar e tenham cómodo manuseamento. Desta forma, as instalações que precisem de um grande comprimento de cabo subterrâneo, vão necessitar de fazer várias ligações entre os diferentes troços de cabo.

Normalmente são necessárias 2 a 4 junções por quilómetro de cabo. Para tal, existem as caixas de junção. Por vezes é necessário derivar dum cabo principal, um ou mais cabos secundários, regra geral com secção inferior, e para isso são utilizadas as caixas de derivação. Também pode existir a necessidade de fazer a ligação entre um cabo subterrâneo e uma linha aérea, ou um barramento de condutores nus no exterior, ou até mesmo no interior de um edifício, e para isso são usadas as caixas terminais.

### **2.4.1 Caixas de junção**

O objectivo das junções consiste em estabelecer a continuidade eléctrica ao nível do condutor entre dois troços de cabo. No que diz respeito à blindagem, a junção pode garantir a continuidade eléctrica da mesma ou a sua interrupção. A junção deverá garantir o desempenho e fiabilidade da ligação.

Assim, as junções devem permitir:

- ❖ A ligação (conexão) dos condutores através de um conector de união;
- ❖ A reconstituição da isolação do cabo, bem como dos diferentes elementos que o constituem;

- ❖ O controlo da distribuição do campo eléctrico, para evitar a concentração localizada de linhas de campo, evitando-se, dessa forma, a perfuração eléctrica da junção;
- ❖ A continuidade eléctrica da blindagem e, quando solicitado, a ligação desta à terra;
- ❖ A protecção (dos seus componentes interiores e do próprio cabo) em relação ao meio ambiente que as rodeia. Nomeadamente, devem assegurar a impermeabilidade (estanquidade) à água e ser resistentes à corrosão do solo.

A fiabilidade da junção não deve ser inferior à do cabo, pelo que deve ser dada especial atenção aos gradientes eléctricos garantidos ao nível das blindagens sobre o condutor e sobre a isolação, pelo cabo.

A ligação à terra deve ser feita de modo a não prejudicar a impermeabilidade à água da junção e do cabo e de preferência sem interferir com a execução do trabalho.



Figura 7 - caixa de junção monopolar. [6]

### 2.4.2 Caixas de derivação

#### Objectivo

Efectuar ramificações secundárias a partir de um cabo principal, para permitirem distribuir a alimentação por vários cabos.

As caixas de derivação podem ter uma ou duas derivações:

No caso de ter uma derivação são normalmente designadas por caixas em T, pois a derivação faz um ângulo recto. Se a derivação não for feita segundo um ângulo de 90°, então deve-se usar uma caixa de derivação em Y.

No caso de ter duas derivações, e são normalmente designadas por caixas em cruz, isto no caso de as derivações fazerem um ângulo recto. Se as derivações não forem feitas segundo um ângulo de 90°, então deve-se usar uma caixa de derivação em duplo Y. Tal como nas caixas de junção, as caixas de derivação são pontos débeis das redes subterrâneas.

### 2.4.3 Caixas de terminais

Dispositivo colocado no fim do cabo para assegurar a ligação eléctrica com outras partes do sistema para garantir a isolação do cabo até ao ponto de ligação.

As terminações devem permitir:

- ❖ A ligação (conexão) do condutor por intermédio de um terminal;
- ❖ A selagem do cabo contra a possível entrada de água ou de humidade;
- ❖ A ligação da blindagem à terra.

A protecção do material da isolação contra as radiações ultravioletas, os agentes atmosféricos e, em todo o caso, o ambiente envolvente;



Figura 8 - caixa de terminais.

A terminação (de uso no) exterior é destinada a ser utilizada em locais expostos às radiações solares ou aos agentes atmosféricos (intempéries) ou aos dois. As caixas terminais, do ponto de vista eléctrico, são consideradas pontos delicados das canalizações eléctricas, visto serem colocadas no limite de circuitos com impedâncias diferente, o que facilita o aparecimento de sobretensões.

No caso destas caixas, efectuem a ligação de uma linha aérea com um cabo subterrâneo, há que ter em consideração a ocorrência de sobretensões atmosféricas. Logo é preciso estudar a necessidade de se reforçar o isolamento, para evitar que possam ocorrer danos devido a sobretensões.

## 2.5 Causa de avarias em cabos subterrâneos

As redes subterrâneas são mais seguras e melhor transportam a corrente sem muitos riscos e não sofrem acções atmosféricas pois estão enterrados. Dados que ajudam no funcionamento e na estética de uma certa região. As avarias mais frequentes dos cabos subterrâneos são devido a seguintes aspectos: defeito de fabricação, métodos incorrecto de colocação, envelhecimento do cabo (tempo de vida útil para cabo seco é de 30-40 anos e o de um cabo óleo é de mais de 40 anos), número de caixa de junções e factores externos tais como danos em trabalhos de escavação ou movimentações de terra. Por tanto percebe-se que as falhas de fornecimento de energia em cabos subterrâneos são devidos a um conjunto de factores.

## 2.6 Técnicas de colocação dos cabos

No contexto dos cabos isolados de baixa e media tensão subterrâneos, existem diferentes métodos para a sua instalação, sendo que normalmente eles se separam por:

- ❖ No solo, directamente enterrados;
- ❖ No solo, em calreira;
- ❖ No solo, em tubos;
- ❖ Ao ar (em galeria).



Figura 9 - Cabo enterrado directamente no solo. [10]

Os cabos que constituem as canalizações subterrâneas devem ser protegidos contra as deteriorações resultantes do abatimento de terras, do contacto com corpos duros, do

choque com ferramentas metálicas manipuladas pelo homem e, se tal tiver lugar, da acção química causada pelos elementos do solo.

## **2.7 Profundidade de colocação**

Deverá ser determinada em função das condições locais e da tensão de serviço da canalização. Considera-se uma profundidade mínima de colocação dos cabos no solo:

- ❖ 0,60 a 0,70 m, em terreno normal;
- ❖ 1 metro, sob vias de comunicação,

### 3 LINHAS AÉREAS

As linhas aéreas de MT são construídas usando os seguintes materiais: condutores, isoladores, ferragens para amarrações, apoios e outros elementos das linhas, que seguem a lei disposto no Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão.

#### 3.1 Condutor nu

Os elementos condutores são os principais responsáveis pelo trânsito de energia eléctrica, sendo construídos com materiais de elevada condutividade eléctrica, como o cobre ou o alumínio. Actualmente, a solução adoptada em redes aéreas MT, AT e MAT passa pelo uso de condutores de alumínio com alma de aço ou ligas de alumínio, em detrimento do cobre, sendo que a sua constituição contempla uma alma de fios de aço envolvidos por camadas consecutivas de fios de alumínio. O número de camadas, tanto dos fios de aço como dos de alumínio, é ainda determinado pela secção do condutor, sendo que, se o primeiro tem apenas função de garantir resistência mecânica ao cabo, o segundo é mesmo o elemento responsável pela condução da corrente eléctrica.[13]

A utilização de condutores de alumínio ou suas ligas relativamente aos de cobre, tendo em conta uma comparação entre condutores com a mesma resistência eléctrica, apresenta as seguintes vantagens:

- ❖ Maior diâmetro, que permite reduzir efeito de coroa;
- ❖ Maior resistência mecânica, que possibilita utilização de tensões máximas de tracção maiores e, conseqüentemente, uma redução nas flechas;
- ❖ Tem um custo mais reduzido.

O condutor de alumínio apresentar uma condutividade equivalente à do cobre é necessário que a sua secção seja 1,6 vezes superior, e como resultado, o peso do condutor de alumínio terá 48% do peso do condutor de cobre. [1]

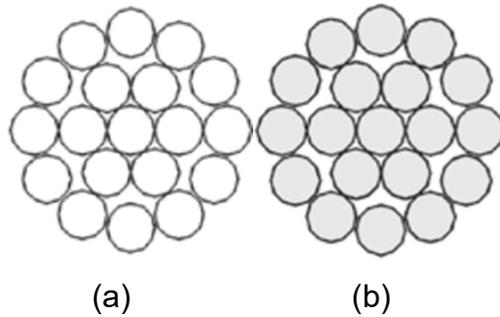


Figura 10 - condutor nu: (a) alumínio (b) Ligas de alumínio. [15]

Como se trata de um cabo constituído por condutores multifilares, garante-se uma maior flexibilidade, facilitando assim o seu manuseamento.

### 3.2 Apoio

O apoio de uma linha aérea de MT é constituído por um poste de betão, metálico ou madeira e tem como função suportar os condutores, os isoladores e os acessórios.

Os apoios devem ser dimensionados em função das alturas mínimas definidas regularmente, dos esforços mecânicos a que estão sujeitos, quer por acção do peso dos condutores e quer devido às condições atmosféricas, e do acesso ao local de implantação.

Os apoios em uma linha aérea desempenham papéis diferentes que definem as suas classificações da seguinte forma: [4]

- ❖ **Apoio de Alinhamento** – destinado a garantir a continuidade da linha.
- ❖ **Apoio de Ângulo** – colocado quando pretende-se criar um ângulo da linha;
- ❖ **Apoios de Derivação** – encontrado em pontos que deve-se derivar uma linha, no mínimo possui três vãos.
- ❖ **Apoio Fim de Linha** – pode ser o primeiro ou o último apoio na linha, deve ser capaz de suportar a totalidade dos esforços que os condutores lhe transmitem de um só lado da linha;
- ❖ **Apoio de Reforço** – serve de ponto de alívio ou redução dos esforços da linha, o apoio. Suporta os esforços exercidos ao longo da linha.

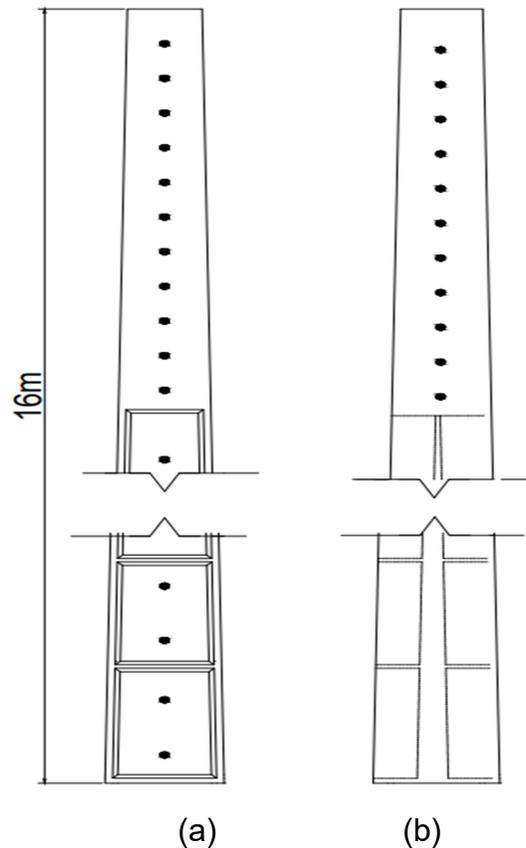


Figura 11 - Poste de betão (a) vista frontal (b) vista lateral

### 3.3 Isoladores

Os isoladores das linhas aéreas são constituídos por material dielétrico (vidro, porcelana e outros materiais, não susceptíveis de deterioração) que desempenham funções eléctricas e mecânicas. Do ponto de vista mecânico, os isoladores devem fixar os condutores às estruturas do apoio, enquanto, do ponto de vista eléctrico, têm a funcionalidade de evitar a passagem de corrente do condutor para os apoios e armações.[7]

A principal função dos isoladores é evitar a passagem de corrente eléctrica do condutor para as ferragens, para o apoio e para o solo. Os isoladores são escolhidos de acordo com a tensão eléctrica a que vão ser expostos e às tensões mecânicas que terão de suportar, por isso, devem apresentar dimensões e formas apropriadas ao ambiente em que serão utilizados.

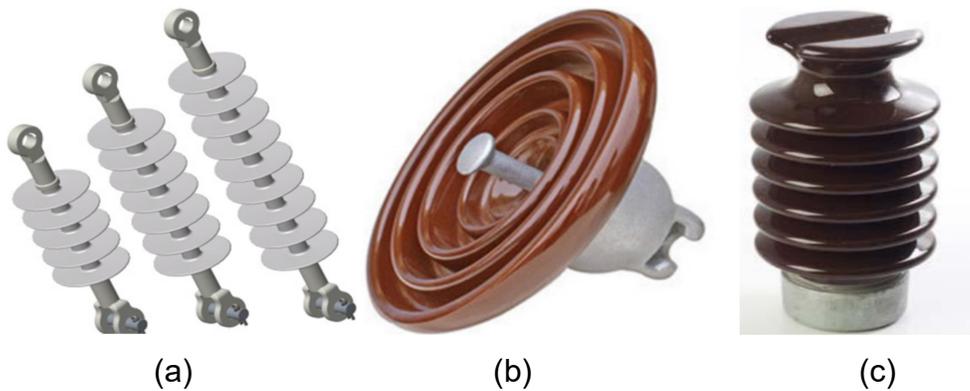


Figura 12 - Tipos de isoladores: (a) em cadeia, (b) para acoplamento, (c) rígido.

### 3.4 Armações

As armações são ferragens colocadas a um distancia abaixo do topo do apoio de modo a assegurarem os esforços exercidos pelos isoladores provenientes da linha. As amarrações desempenham um papel importante na linha pois é nas amarrações onde garante-se o distanciamento entre os condutores. Dependendo da função do apoio, escolhe-se a armação mais conveniente, capaz de suportar os esforços mecânicos. [1]

Abaixo estão apresentadas os maiores grupos de amarrações existentes:

- ❖ Esteira horizontal;
- ❖ Esteira Vertical;
- ❖ Triângulo;
- ❖ Galhardete;
- ❖ Pórtico.

Nos últimos anos para linhas de Média tensão a EDM vem usando as amarrações do tipo esteira horizontal, visto que esse garante mais a altura útil, controle de flecha máxima e melhor definição na separação de condutores.

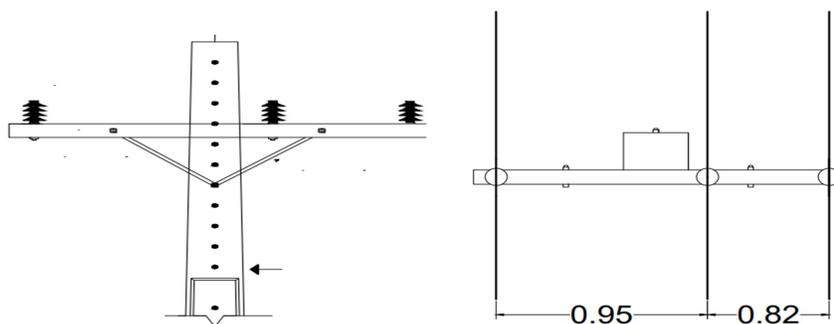


Figura 13. - Amarração tipo esteira horizontal

A forma como o apoio de betão armado é implantado indica a função que cada apoio desempenha no circuito.

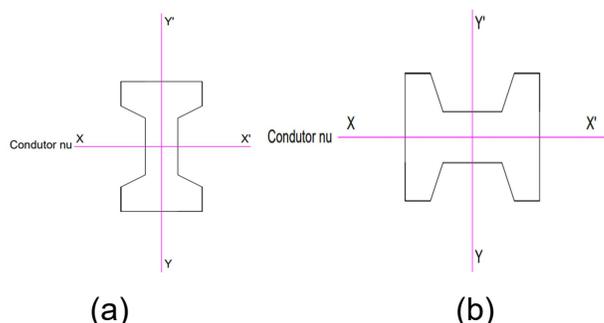


Figura 14 - Implantação de apoio (a) normal (b) para reforço

### 3.5 Vantagens e desvantagens de uso de linhas aéreas em relação aos cabos subterrâneos

De modo geral, a distribuição de energia eléctrica em rede aérea ganhou muito espaço no fornecimento de energia aos consumidores, devido ao seu baixo custo de implementação. Contudo esse tipo de rede apresenta um baixo nível de confiabilidade devido a sua vulnerabilidade e exposição as condições climáticas.

Tabela 2 - comparação de cabos subterrâneos e linhas aéreas de MT.

| Descrição                             | Cabos subterrâneos  | Linhas aéreas  |
|---------------------------------------|---|--|
| <b> Protecção contra intempéries </b> | Não sofrem pois suas implementação esta directamente enterrada                                | São mais afectados por ficam permanentemente expostos as condições climáticas    |
| <b>Riscos de queda de energia</b>     | Menos riscos  | Por conta de certas condições climáticas, podem cair e causar a queda de energia |
| <b>Menor manutenção</b>               | Não necessitam de reparos constantes, mas um pessoal qualificado para a reparação de avarias. | Estão sujeitos ao acúmulo de poluição e exposição às intempéries                 |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Elementos da linha</b>   | Poucas matérias para construção de um circuito: cabo isolado, mangas termorretrácteis, caixas de junção e caixa de terminais. | As linhas aéreas são compostas por vários elementos tais como: apoios, condutores nus, isoladores, ferragens galvanizadas, pára-raios e espias.                                   |
| <b>Custo de implementação</b>   | Altíssimo   | Baixo   |
| <b>Confiabilidade e eficiência no fornecimento de energia eléctrica</b> | Uma vez que não são afectados por condições atmosféricas o seu fornecimento é quase perfeito                                  | Baixos e vulneráveis a condições climáticas. Sujeitos a danos e rompimentos causados por acções naturais como ventos fortes, chuvas, desgastes por exposição e quedas de árvores. |
| <b>Eficiência na distribuição de energia</b>                            | Devido a admissão de cabos com secções maiores  | Reduzido pois o condutores estão suspensões em apoios que apresentam um limite de estabilidade.   |
| <b>Poluição visual</b>  | Inexistente   | Pouco confortável   |

## 4 CÁLCULO ELÉCTRICO

A fase do cálculo eléctrico é essencial e uma das partes mais importante para a realização de um projecto de uma linha aérea, uma vez que a sua finalidade é garantir que as limitações técnicas impostas pelos condutores não são excedidas.

É nessa etapa onde irá determinar-se a secção dos condutores da linha a projectar. Para o projecto em curso a tensão nominal da linha já é conhecida, sendo esse um projecto de substituição. Conhecidos os parâmetros anteriormente citados, irá calcular-se as características eléctricas da linha respectivamente: resistência eléctrica, coeficiente de auto-indução, intensidade de corrente máxima admissível, perdas de energia e quedas de tensão.

### 4.1 Intensidade de corrente nominal

A intensidade de corrente nominal de uma linha aérea de MT pode ser calculada pela expressão:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}xU} \quad (4.1)$$

Onde:

$S_n$  – Potência aparente transmitida pela linha [VA];

$U$  – Tensão nominal da linha [V];

Através do valor da corrente é possível determinar-se a densidade de corrente, por fase, usando a lei de Kelvin o cálculo da secção económica para as linhas de distribuição tem-se a equação (4.2):

$$S_{económica} = \frac{I_n}{\varepsilon} \quad (4.2)$$

Onde:

$I_n$  – Intensidade de corrente nominal [A];

$S_{económica}$  – Secção económica dos condutores [mm<sup>2</sup>].

$\varepsilon$  – Densidade de corrente [A/mm<sup>2</sup>]

Tabela 3 - Densidade da corrente económica.

| Condutores               | Valor da $\varepsilon$ para linha de segunda classe |
|--------------------------|---|
| Nus de cobre             | 1,9   |
| Nus de Ligas de alumínio | 1,3   |
| Nus de alumínio-aço      | 0,9   |

## 4.2 Parâmetros eléctricos

### 4.2.1 Resistência eléctrica

A resistência eléctrica de uma linha é o parâmetro que determina as perdas por efeito de Joule, e o seu valor é dado pela equação:

$$R_s = \frac{\rho x L}{S} [\Omega] \quad (4.3)$$

Onde:

$\rho$  – Resistividade do condutor [ $\Omega/\text{km}$ ];

$L$  – Comprimento do condutor [ $\text{km}$ ];

$S$  – Secção do condutor [ $\text{mm}^2$ ].

O condutor terá variações de temperatura, o que significa que, para temperaturas diferentes de  $20^\circ\text{C}$ , a resistividade do condutor se obtém pela seguinte equação:

$$R_\theta = R_{20}x[1 + \beta x(\theta - 20)] [\Omega/\text{km}] \quad (4.4)$$

Onde:

$\rho_\theta$  – É a resistividade à temperatura  $\theta$  [ $\Omega/\text{km}$ ];

$\rho_{20}$  - Resistividade a  $20^\circ\text{C}$  [ $\Omega/\text{km}$ ];

$\beta$  - Coeficiente de temperatura do condutor [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ].

O valor Coeficientes de termoresistividade depende do tipo de material do condutor utilizado, como se verifica na tabela abaixo:

Tabela 4 – Valores de coeficientes de termoresistividade e de resistividade.

| Material condutor | Coeficiente de termoresistividade $\beta$ - [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ] | Resistividade do Condutor $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ |
|-------------------|---|--|
|-------------------|---|--|

|                         |                       |        |
|-------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Cobre</b>            | $3,95 \times 10^{-3}$ | 0.0175 |
| <b>Alumínio</b>         | $3,80 \times 10^{-3}$ | 0,0287 |
| <b>Liga de Alumínio</b> | $3,80 \times 10^{-3}$ | 0,0328 |

Depois de determinar os valores da intensidade de serviço e da resistência linear do condutor é possível determinar a potência de perdas.

$$P = 3xRxI_s^2 [W] \quad (4.5)$$

Onde:

- $P$  - Potência de perdas [W];
- $R$  - Resistência linear [ $\Omega/\text{Km}$ ];
- $I_s$  - Intensidade de serviço [A].

#### 4.2.2 Coeficiente de indução

O valor da indutância é calculado tendo em conta o tipo de amarração a usar, porque o tipo de amarração define as distâncias dos condutores.

A expressão que permite determinar a indutância é dada pela seguinte expressão:

$$L = \left[ \frac{\mu}{2n} + 4,6 \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \right] \times 10^{-4} [H/km] \quad (4.6)$$

Onde:

- $\mu$  - Permeabilidade do condutor
- ❖ Condutor de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos de alumínio-aço é igual a 1;
- ❖ Condutor de aço galvanizado é igual a 200.
- $n$  - Número de condutores por fase;
- $D$  - Distância equivalente entre condutores;
- $r'$  - Raio fictício definido por:

$$r' = \sqrt[m]{nrR^{m-1}} \quad (4.7)$$

Sendo:

- $r$  - O raio do condutor;
- $R$  - O raio da circunferência que passa pelos condutores que formam a fase.

Assim, no caso de fase simples vem:  $m = 1$  e  $r' = r$ , logo o coeficiente de auto-indução é:

$$L = [0,5 + 4,6 \ln(\frac{D}{r})] \times 10^{-4} [H/km] \quad (4.8)$$

### 4.2.3 Reactância

Considerando como forma de simplificação dos cálculos, em que as linhas são percorridas por correntes trifásicas equilibradas e de sequência directa, alimentadas por um sistema de tensões trifásicas equilibradas e de sequência directa, poder-se-á então determinar o valor da reactância indutiva dada pela equação.

$$X = 2\pi \times f \times L [H] \quad (4.9)$$

Onde:

$X$  = Reactância da Condutor [H];

$f$  = Frequência da rede [Hz];

$L$  = Indutância do condutor em [H/Km];

### 4.3 Perdas de energia

As perdas de energia ou efeito joule são as perdas de calor, causadas pela passagem da corrente eléctrica no condutor. É dada pela expressão (4.9):

$$P = 3 \times R \times I_s^2 \quad (4.9)$$

### 4.4 Quedas de tensão

$$\Delta U = U_0 - UI = \sqrt{3} \times I \times [R \times \cos(\theta) + X \times \sin(\theta)] [V] \quad (4.10)$$

Onde:

$R$  = Resistência do condutor ( $\Omega$ );

$X$  = Reactância do conduto ( $\Omega$ );

$\Delta U$  = Queda de tensão (V);

$U_0$  = Tensão inicial (V);

$UI$  = Tensão final (V);

$\cos(\theta) = 0,85$ ;

$\sin(\theta) = \sin(\arcsin(0.85))$

$\theta$  é positivo para situações indutivas.

#### 4.5 Intensidade máxima da corrente de curto-circuito admissível

No cálculo da intensidade máxima da corrente de curto-circuito admite-se que os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras e que a duração do curto-circuito é baixa. [12]

A consideração destas hipóteses permite tomar o valor eficaz da corrente permanente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito no cálculo da intensidade máxima admissível. Esta simplificação é inteiramente admissível tratando-se de curto-circuitos em linhas de distribuição de 30 kV equipadas com condutores de secções não muito elevadas.

$$I_{ccm\acute{a}x} = \frac{S_c}{K_1 \times K_2 \times \sqrt{t}} \quad (4.11)$$

Onde:

$I_{ccm\acute{a}x}$  - Valor eficaz máximo admissível da corrente de curto-circuito [KA]

$S_c$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ]

$K_1$  - Constante que depende do material condutor

$K_2$  - Constante que depende da variação de temperatura do condutor

$t$  - Tempo de duração de curto-circuito [s]

Tabela 5 - Constantes para cada tipo de material condutor  $k_1$  e  $k_2$ .

| Material do condutor | $K_1$<br>[ $\frac{mm^2}{KA}$ ] | $K_2$<br>[ $\frac{mm^2}{KAS^2}$ ] | Temperatura final |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Cobre                | 4,419                          | 1,685                             | 170               |
| Alumínio – aço       | 6,902                          | 1,732                             | 160               |
| Ligas de alumínio    | 6,902                          | 1,809                             | 160               |

## 5 CÁLCULO MECÂNICO

O cálculo mecânico de uma linha de transmissão de energia tem como objectivos. [6]

- ❖ Determinar a tensão mecânica de montagem a aplicar na linha, conforme as condições climatéricas que se verifiquem nesse momento. De modo a garantir que quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar, os condutores nunca sejam solicitados por tensões mecânicas superiores à sua tensão de segurança;
- ❖ Determinar a altura dos apoios de modo a garantir que os condutores não ultrapassem as distâncias regulamentares, quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar;
- ❖ Dimensionamento dos apoios, verificação da estabilidade dos tipos de apoios escolhidos.

### 5.1 Tensões mecânicas máximas

A definição dos valores de tracção máxima a aplicar nos vãos da linha é algo importante, uma vez que vai condicionar todo o restante projecto.

O valor da tensão máxima dos condutores representa a tensão máxima de tracção específica resultante da força que o vento e a chuva exercem sobre os condutores quando estes estão sujeitos as condições atmosféricas adversas. [15]

Segundo o R.S.L.E.A.T. a tensão máxima de tracção é obtida pela seguinte expressão:

$$T_{seg} = \frac{T_r}{2,5} \left[ \frac{daN}{mm^2} \right] \quad (5.1)$$

$$t_{max} = \frac{T_r}{5x2,5} \left[ \frac{daN}{mm^2} \right] \quad (5.2)$$

Onde:

$T_{seg}$  - Tensão máxima de serviço  $\left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$

$T_r$  - Tensão de ruptura dos condutores  $\left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$

A tensão a fixar como máxima para os condutores será geralmente inferior à de segurança, geralmente a etapa da escolha de tracção máxima sofrida pelos cabos deve ser minuciosa por influência directamente na dimensionamento, estabilidade dos apoios, tamanho das flechas e distância entre os condutores da linha e esse valor é de 7 ou 9 daN/mm<sup>2</sup>.

- ❖ Quanto menor for a tensão mecânica  $T_m$ , maior será a flecha;
- ❖ Quanto maior a tensão mecânica  $T_{max}$ , maiores os esforços mecânicos solicitados aos apoios.

## 5.2 Acções que afectam as linhas

De acordo com a sua variação no tempo as acções são classificadas da seguinte forma:

- ❖ Acções permanentes – Acções horizontais devidas às componentes horizontais das tracções máximas a que os condutores estão sujeitos, e às acções verticais devidas ao seu peso próprio
- ❖ Acções variáveis - Acções do vento e das variações de temperatura que ocorrem ao longo do dia e de estação para estação

## 5.3 Acções variáveis

Na concepção de uma linha aérea deve ter-se em conta a acção dos agentes atmosféricos. São definidos três estados atmosféricos:

- ❖ **Inverno** - caracteriza-se pela temperatura mais baixa previsível, vento reduzido.
- ❖ **Verão** - caracteriza-se pela ausência de vento e temperatura máxima, provocando a dilatação elástica nos condutores e com consequência a flecha máxima.

## 5.4 Forças que actuam nos condutores

As principais forças actuantes em um condutor são o seu próprio peso, força do vento e o peso do gelo, caso seja uma zona propensa a acumulação de gelo nos condutores.

Tabela 6 - Valores da pressão em função do vento. [4]

| Altura acima do solo (m) | Pressão dinâmica do vento (Pa) |                |
|--------------------------|--------------------------------|----------------|
|                          | Vento máximo habitual          | Vento reduzido |
| Até 30                   | 750                            | 300            |
| De 30 a 50               | 900                            | 360            |
| Acima de 50              | 1050                           | 420            |

O vento ao colidir com os condutores encontra uma resistência que se manifesta sob a forma de pressão, sendo esta proporcional à velocidade do vento. A sua força é perpendicular ao eixo longitudinal dos cabos sendo transferida para a estrutura.

A força resultante da pressão do vento é dada por:

$$F = q \times d \times c \times \alpha \tag{5.3}$$

Onde:

$F$  - Força proveniente da acção do vento [N];

$q$  - Pressão dinâmica do vento [Kgf/m];

$d$  - Diâmetro dos cabos [m];

$\alpha$  - Coeficiente de redução

❖ Condutores e nos cabos de guarda são iguais a 0,6;

❖ Apoio, nas travessas e nos isoladores é igual a 1.

$c$  - Coeficiente de forma.

Os valores do coeficiente de forma são definidos conforme a tabela abaixo:

Tabela 7 - Coeficiente de forma. [4]

| Elemento de linha                    | Diâmetro [mm]        | Coeficiente de forma |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Condutores nus e cabos de guarda     | Até 12,5             | 1,2                  |
|                                      | Acima de 12,5 a 15,8 | 1,1                  |
|                                      | Acima de 15,8        | 1,0                  |
| Cabos isolados e feixe (torçada)     | .....                | 1,3                  |
| Cabos auto-suportados e cabos tipo 8 | .....                | 1,8                  |
| Isoladores                           | ....                 | 1,0                  |

## 5.5 Estado atmosférico mais desfavorável

A determinação do estado mais desfavorável faz com que sejam levantada todas as hipóteses prejudiciais a linha dependendo da estação do ano que decorre, essas estações fazem referência a valores de temperatura e actuação do vento máximo e mínimo habitual que varia de região a região. Na figura 15 encontram-se  $m1$  corresponde ao coeficiente de sobrecarga do estado de inverno e  $m2$  corresponde ao estado de verão,  $L_{eq}$  corresponde ao comprimento do vão equivalente e  $L_{cr}$  ao vão crítico.

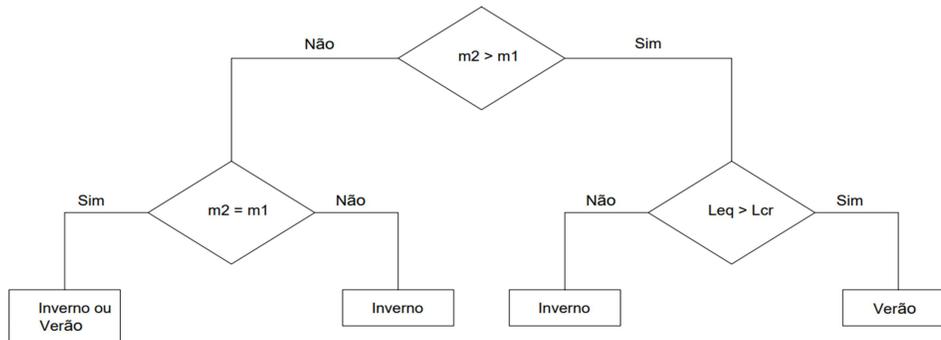


Figura 15 - Fluxograma do estado mais desfavorável.

## 5.6 Coeficientes de sobrecarga

O coeficiente de sobrecarga representa o peso dos condutores adicionando uma parcela que representa o vento e o gelo, ou seja representa as acções que os agentes atmosféricos exercem nos condutores. [11]

$$m = \frac{\sqrt{(W_v + W_g \times \frac{\pi}{4} \times [dt^2 - d^2])^2 + F^2}}{W_v} \quad (5.4)$$

Onde:

$m$  - Coeficiente de sobrecarga

$W_g$  - Peso específico do gelo

$W_v$  - Peso específica volumétrico do condutor (kg/m);

$dt$  - Diâmetro Total

$$dt = dc + 2 \times e \quad [mm^2] \quad (5.5)$$

$e$  - Espessura da Manga de Gelo;

$dc$  - Diâmetro do condutor (mm2);

$F$  - Força proveniente da acção do vento (N);

## 5.7 Vão crítico

Chama-se vão crítico  $L_{cr}$ , relativo a uma dada tensão  $t$ , ao vão para qual os condutores, supostos esticados e fixados sob essa tensão, num dos dois estados atmosféricos Inverno ou verão, adquirem a mesma tensão  $t$  quando ficam sujeitos às condições do outro desses dois estados.[14]

$$L_{cr} = \frac{S \times t_{max}}{\omega} \times \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}} [m] \quad (5.6)$$

Onde:

$S$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ];

$t_{max}$  - Tensão máxima de serviço [ $daN/mm^2$ ],

$p$  - Peso condutor [ $kgf/m$ ];

$\alpha$  - Coeficiente de dilatação do condutor em  $^{\circ}C^{-1}$ ;

$\theta_2$  e  $\theta_1$  - São as temperaturas do estado de inverno e de verão respectivamente;

$m_1$  e  $m_2$  - São os coeficientes de sobrecarga no estado de inverno e primavera, respectivamente.

Tabela 8 - Temperaturas para os estados de inverno e primavera. [4]

|          | Inverno          | Primavera        |
|----------|------------------|------------------|
| Com gelo | - 10 $^{\circ}C$ | ----             |
| Sem gelo | - 5 $^{\circ}C$  | - 15 $^{\circ}C$ |

## 5.8 Equação dos estados atmosféricos

O objectivo da equação de estados é a determinação da tensão de montagem a aplicar aos condutores de um dado vão. A tensão de montagem é a tensão mecânica que assegura que, qualquer que seja a condição meteorológica como o vento, o gelo e a temperatura, no momento da montagem da linha, a tensão máxima dos condutores não é ultrapassada. [5]

Para o cálculo da tensão de tracção são consideradas  $\theta_1 = 50^{\circ}C$  e  $m_1 = 1$  que representam o estado do verão. As condições atmosféricas da zona em estudo apresentam duas épocas sendo época do verão e inverno.

$$\theta_1 + \frac{t_1}{\alpha \times E} - \frac{m_1^2 \times \omega^2 \times L_{eq}^2}{24 \times \alpha \times S^2 \times t_1^2} = \theta_i + \frac{T_{max}}{\alpha \times E} - \frac{m_i^2 \times \omega^2 \times L_{eq}^2}{24 \times \alpha \times S^2 \times T_{max}^2} \quad (5.7)$$

$$T_m = t_1 \times S_c \quad (5.8)$$

Tabela 9 - Condições para obtenção da flecha máxima na linha. [4]

| Classe da linha | Nível de tensão                   | $\theta_1$ | $m_1$ |
|-----------------|-----------------------------------|------------|-------|
| 2 <sup>a</sup>  | $1 < U_n < 40 \text{ Kv}$         | +50°C      | 1     |
| 3 <sup>a</sup>  | $40 \leq U_n \leq 100 \text{ KV}$ | +65°C      | 1     |
| 3 <sup>a</sup>  | $U_n \geq 100 \text{ KV}$         | +75°C      | 1     |

### 5.9 Flecha máxima

A flecha máxima de um condutor em cada vão, depende crucialmente dos seguintes factores como a velocidade do vento, tensão máxima de serviço e da temperatura. A equação (5.09) é usada para cálculo da flecha máxima em patamar, isto é, considerando que a superfície entre os apoios é igual.

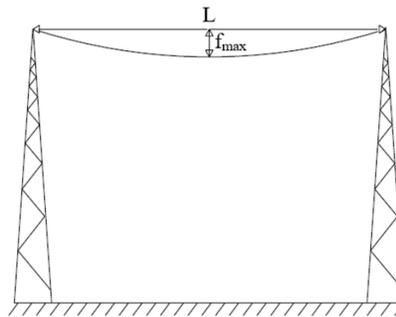


Figura 16 - Representação do vão e flecha. [15]

A definição da flecha máxima esta directamente ligada a variação de temperaturas, pois esse decorre essencialmente devido a dilatação dos condutores na época de verão onde há registo de temperaturas altas.

$$f_{max} = \frac{L_{eq}^2 \times W_v}{8 \times T_m} [m] \quad (5.9)$$

Para caso em que a superfície entre os apoios não seja igual, temos a seguinte equação para o cálculo.

$$f_{max} = \frac{L_{eq} \times L_1 \times W_v}{8 \times T_m} [m] \quad (5.10)$$

## 5.10 Selecção dos isoladores

Como tenhamos mencionado em 3.3 principal função dos isoladores é evitar a passagem de corrente eléctrica do condutor para as ferragens, para o apoio e para o solo, para que esse seja acontece é necessário apontar factores que contribuem para a selecção dos isoladores, entre eles encontra-se a tensão de serviço, função do apoio e a poluição do ambiente (ANEXO 6).

A linha de fuga mínima de uma cadeia de isoladores é dada pela tensão de serviço e linha de fuga nominal específica mínima seguindo a equação (5.11):

$$L_{fT} = U_n \times L_{fe} \quad (5.11)$$

Onde:

$L_{fe}$  - Linha de fuga nominal específica mínima [mm/kv]

$L_{fT}$  - Linha de fuga mínima de uma cadeia de isoladores [mm]

Os isoladores em cadeia podem ser para tensão de 11KV, são associadas em uma série de 2 isoladores por cadeia. Esse dado também pode ser calculado seguindo a equação (5.12):

$$N_{isoladores} = \frac{L_{fT}}{L_{fisol}} \quad (5.12)$$

Onde:

$N_{isoladores}$  – Número de isoladores em série

$L_{fisol}$  - Linha de fuga nominal mínima do isolador [mm]

Os isoladores de cadeia e os isoladores rígidos devem ter uma força de rotura mínima à flexão de 2,5 vezes superior à solicitação mecânica máxima a que estarão sujeitos pelos condutores. [15]

## 5.11 Distâncias de segurança Estabelecidas

Segundo RSLEAT propõe distâncias mínimas seguras de modo a reduzir os riscos de acidentes do tipo contacto entre os elementos em volta da linha. Abaixo estão definidas as distâncias mínimas entre os diferentes elementos e objecto de modo que não haja

acidentes. Entendem-se esses elementos e objectos como sendo as seguintes: árvores, edifícios, linhas aéreas já existentes, entre outros. [4]

$U$  – Tensão nominal da linha de maior tensão [kV];

### **Distância entre Condutores**

Essa é uma das distâncias mais importante na concepção de uma linha, pois ela influencia no funcionamento permanente e pode causar sérios danos na rede, em situações em que existam oscilações na linha causadas pelo vento, podendo em caso de contacto originar um curto-circuito fase-fase, afectando o fornecimento contínuo de energia eléctrica aos consumidores.

$$D = 0.75 \times K \times \sqrt{f + d} + U/200 \text{ [m]} \quad (5.13)$$

Onde:

$f$  – Flecha máxima do condutor [m];

$k$  – Coeficiente dependente da natureza dos condutores:

- ❖ Condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço –  $k = 0,6$ ;
- ❖ Condutores de alumínio e de ligas de alumínio –  $k = 0,7$ .

$d$  – Comprimento da cadeia de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha:

- ❖ Cadeias de Amarração –  $d = 0$  m;
- ❖ Cadeias de Suspensão –  $d = 1,2$  m.

$U$  – Tensão nominal da linha [kV];

### **Distância dos Condutores ao Solo**

A distância entre os condutores das linhas aéreas e o solo são consideradas a partir da flecha máxima que as linhas podem formar e devido a actuação do vento, são factores que influenciam directamente as linhas, a distância admitida é mostrada na equação (5.14):

$$D = 6,0 + 0,005 \times U \text{ [m]} \quad (5.14)$$

- ❖  $D$  não deve ser inferior a 7 m.

### **Distancia dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados**

Os condutores nus, nas condições de flecha máxima, deverão manter em relação aos carris uma distância  $D$ :

$$D = 6,3 + 0,01 \times U \text{ [m]} \quad (5.15)$$

❖  $D$  não deve ser inferior a 7 m.

### **Distância entre Linhas Aéreas**

No cruzamento com linhas de MT ou AT a distância não deve ser inferior à obtida abaixo:

$$D = 1,5 + 0,01 \times U + 0,005 \times L \text{ [m]} \quad (5.16)$$

$U$  – Tensão da linha com maior tensão [KV].

$L$ - Distancia entre o ponto do cruzamento e o ponto mais próximo da linha superior.

❖  $D$  não deve ser inferior a 2 m.

### **Distância dos Condutores a Obstáculos Diversos**

Entende-se por obstáculos diversos os terrenos de declives muito acentuados, falésias, construções não acessíveis a pessoas, bem como partes salientes dos edifícios não susceptíveis de serem normalmente escaladas por pessoas, como por exemplo, pára-raios, aparelhos de iluminação exterior.

$$D = 2,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (5.17)$$

❖  $D$  não deve ser inferior a 3 m.

### **Distância dos Condutores a edifício**

A distância recomendada é da linha com edifício dever ser segundo a equação em (5.18):

$$D = 2,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (5.18)$$

❖  $D$  não deve ser inferior a 4 m.

## 5.12 Fundações dos apoios

Os postes serão implantados directamente no solo ou consolidados por fundações adequadas de modo a ficar assegurada a estabilidade correspondente as solicitações actuantes e à natureza do solo.

Para determinar a profundidade dos apoios é prevista pelo R.S.L.E.A.T o uso da equação abaixo:

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \quad (5.19)$$

$H_p$  – Profundidade das fundações dos apoios [m]

$H$  – Altura total do apoio [m]

Para apoios iguais ou superiores a 15 metros a profundidade mínima não deve ser inferior a 2 metros.

## 5.13 Ligação à terra dos apoios de betão armado

Segundo os R.S.I.E.A.T os apoios de betão armado deverão ser individualmente ligados à terra por intermédio de um eléctrodo de terra, a ligação dos eléctrodos de terra ao condutor deve ser ligados usando soldaduras adequadas ou fixados por meio de rebiteagem ou ainda por meio de aperto mecânico de construção robusta, é importante garantir que os a ligação dos eléctrodos deve garantir que não seja afectados pela corrosão.

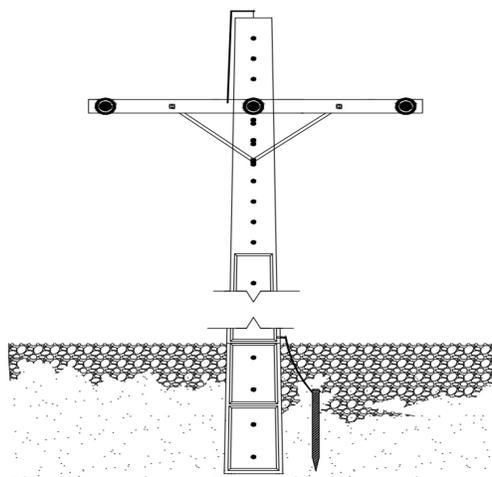


Figura 17 - Perfil do sistema de aterramento.

A ligação a terra será realizada por meio de um condutor de cobre de  $35\text{mm}^2$  que vai ser conectado na parte inferior do apoio e ligado a um eléctrodo enterrado no solo através de um ligador de eléctrodo de terra. Os postes de betão armado são construídos com um condutor embutido internamente previsto para receberem o aterramento, o mesmo começa do topo do poste até a parte inferior do mesmo. A ferragem que constitui a amarração deve ser ligada a terra por meio de fio de cobre de  $16\text{mm}^2$  nos pontos de ligação à terra, existentes em todas as ferragens. Depois de interligar todas as ferragens, o fio de cobre de  $16\text{mm}^2$  deve ligar ao terminal de terra no topo do poste.

Os tubos e os perfilados deverão ficar enterrados verticalmente no solo a uma profundidade tal que entre a superfície do solo e a parte superior do eléctrodo haja uma distância mínima de 0.80 m.

#### **5.14 Escolha dos pára-raios**

A tensão nominal dos pára-raios a instalar num posto de transformação ou na transição de linhas de aéreo para subterrâneo deve ser em função do nível de tensão da rede. A capacidade dos pára-raios a instalar é no geral de 10KA.

A EDM disponibiliza os pára-raios da marca ASE, tipo XBE, este será o tipo de pára-raios usado no circuito em projectado, no após de fim de linha com a tensão nominal de rede de 11 KV.

A ligação dos pára-raios à linha de média tensão, deve ser feita com o mesmo tipo e tamanho de secção do condutor da linha. A ligação a terra deve ser feita com condutor de cobre de  $16\text{mm}^2$  ligado ao topo do ponto do aterramento do poste de betão e ligado ao eléctrodo de terra.

## 6 PROJECTO ELÉCTRICO

Na elaboração de um projecto eléctrico de linha de MT deve analisar-se a linha em duas fases nomeadamente: cálculo eléctrico – com objectivo de achar aos parâmetros eléctricos da rede e cálculo mecânico que faz um levantamento dos esforços que a linha exerce sobre os apoios e a escolha dos mesmos.

No cálculo eléctrico deve achar os seguintes parâmetros:

- ❖ Intensidade da corrente de serviço;
- ❖ Perdas de energia;
- ❖ Corrente máxima admissível;
- ❖ Queda de tensão.

Para a fase do cálculo mecânico é focada em achar os seguintes dados

- ❖ Tensão de montagem dos condutores;
- ❖ Cálculo das flechas de regulação;
- ❖ Distância que asseguram segurança da linha, pessoas e bens;
- ❖ Esforços exercido pelos condutores;
- ❖ Selecção dos apoios.

A EDM na cidade de Maputo apresenta uma rede em anel de 11 KV composta por 7 subestações que estão localizadas em vários pontos ao longo da cidade, que são diferenciadas segundo suas numerações SE1, SE2, SE3, SE4, SE5, SE6 SE7, do modo a assegurar o funcionamento contínuo de energia eléctrica. Essa conexão foi feita através de redes aéreas e subterrâneas.

Nas saídas das linhas das subestações por meio de cabos subterrâneos ou linhas aéreas que alimentam pontos de seccionamentos (PS) esses por sua vez são responsáveis pela distribuição da energia para alimentação de postes de transformação.

O circuito da interliga a SE4 e PS12 através de cabos subterrâneos monoplares de alumínio, que por sua vez vem causando muito defeitos e como consequência a falta de fornecimento de energia aos clientes, pois essa torna-se uma linha com pouca fiabilidade devido aos problemas que vem apresentado. Deste modo o presente projecto propõe a substituição dos cabos subterrâneos por uma linha aérea com vista a reduzir os problemas acima apresentado.

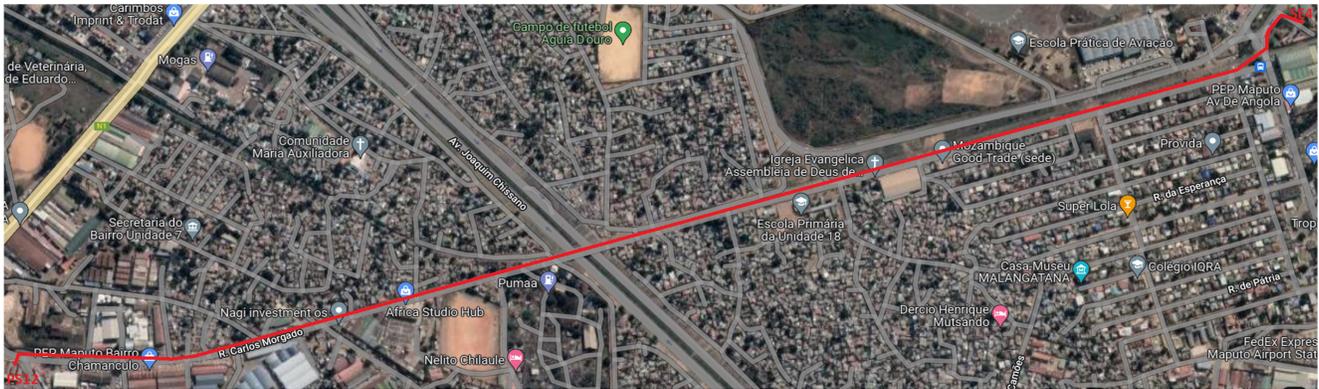


Figura 18 - linha de MT que interliga a SE4 ao PS12.

## 6.1 Avaliação da extensão da linha

O circuito do da subestação do aeroporto até posto de seccionamento 12 apresenta alguns factos bastante interessante no que diz respeito a projecção de uma linha eléctrica. A linha transporta uma potência de 4023197 VA a uma distância de 2,5 Km de extensão até chegar ao ponto de alimentação de cargas.

Ao longo do traçado vem se como maior problema a localização do aeroporto internacional de Maputo que esta próximo a linha, desde modo, devem ser tomadas medida de modo a evitar a possível acidente aeronáutico. Há existência de uma linha feira que cruza a linha também é um dos problemas que merece bastante atenção para a projecção do mesmo.

Para aspecto de composição da linha, encontra-se dos tipos de cabos, nomeadamente cabos subterrâneos e aéreas em casos excepcional como saída da linha da subestação de Aeroporto (SE4) com comprimento de 70 metros e entrada do circuito ao ponto de seccionamento (PS12) com 20 metros. Para o efeito está previsto 1 cabo tripolar de alumínio com isolamento em XLPE com secção equivalente a secção dos condutores aéreas, enterrados no solo colocado dentro de tubos.

Uma das maiores transições de que deve haver é devido a divisão da ponte na Av. Joaquim Chissano, de modo a garantir mais segurança e maior estabilidade entre os cabos, serão implementados apoios do tipo reforço em alinhamento, para assegurar maior estabilidade e menor flecha no vão.

O restante do circuito é composto por uma linha aérea, com apoio em betão, visto que esses oferecem maiores esforços de suporte de linhas e mais tempo de vida.

## 6.2 Apresentação dos cálculos para o projecto

### 6.2.1 Cálculo eléctrico

#### ❖ Corrente de serviço

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}xU} \rightarrow I_n = \frac{4023197}{\sqrt{3}x11000} = 211.016A$$

$$\varepsilon = 1,3 A/mm^2 \quad (\text{Ver Tabela 3})$$

$$S_{económica} = \frac{I_n}{\varepsilon} \rightarrow S = \frac{211,016}{1,3} = 162,32mm^2$$

#### ❖ Resistência eléctrica

$$\rho = 0,028264\Omega mm^2/m$$

$$L_{linha} = 2,5 km \rightarrow 2500 m$$

$$R = \frac{\rho}{S} = \frac{32,8 \times 10^{-3}}{227,80} \times 2500 = 0,3599\Omega$$

$$R_{40} = 0,3599 \times [1 + 3,80 \times 10^{-3} \times (40 - 20)] = 0,386\Omega$$

$$P = 3 \times 0,386 \times 211,016^2 = 51563,3 W$$

As perdas por efeito joule equivalem a 1,282% da potência transmitida pela linha, o que torna as mesmas desconsideráveis.

#### ❖ Intensidade máxima admissível

A intensidade máxima admissível de curto-circuito em 2 segundos, por sua vez é usado para o dimensionamento da protecção do circuito.

$$I_{ccmáx} = \frac{S_c}{K_1 \times K_2 \times \sqrt{t}} \rightarrow I_{ccmáx} = \frac{227.80}{6,902 \times 1,809 \times \sqrt{2}} = 12,901 KA$$

#### ❖ Indutância

$$D_{12} = 0.95m ; D_{23} = 0,82; D_{13} = 1.113m$$

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{13}} = 1,113 m$$

$$r' = 0,0098 m \rightarrow 0,0000098 Km$$

$$D = 1,887m \rightarrow 0,001887 Km$$

$$L = [0,5 + 4,6 \ln(\frac{1,113 \times 10^{-3}}{0,0098 \times 10^{-3}})] \times 10^{-4} = 0,502 H/km \rightarrow L = 1,255 H$$

❖ Reactância

$$X = 2\pi \times 50 \times 1,255 = 15,771 \frac{\Omega}{km} \rightarrow 39,428 \Omega$$

❖ Queda de tensão

$$\Delta U = U_0 - UI = \sqrt{3} \times 211,016 \times [0,386 \times \cos(0,9) + 39,428 \times \sin(0,9)] = 367,413 V$$

$$(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100 \rightarrow (\%) = \frac{367,413}{11000} \times 100 = 3,340\%$$

Tabela 10 - Características do condutor AAAC – ASTER 228.

| Descrição                   | Valor                | Unidade             |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|
| Secção do condutor          | 227,80               | mm <sup>2</sup>     |
| Diâmetro do condutor        | 0.0196               | m                   |
| Peso específico do condutor | 0.6276               | Kg/m                |
| Carga de rotura             | 7404                 | daN                 |
| Modelo de elasticidade      | 5700                 | daN/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente de dilatação   | 2,3x10 <sup>-5</sup> | °K <sup>-1</sup>    |
| Tensão de segurança         | 11.71                | daN/mm <sup>2</sup> |

### 6.2.2 Cálculo mecânico

Em Moçambique há duas principais épocas que decorrem nomeadamente: verão e inverno.

❖ Estado de verão

A ocorrência de vento máximo habitual de 750Pa é registada na época de verão com uma temperatura critica considerada de 60°C.

$$F_2 = 75 \times 0.0196 \times 1.0 \times 0,6 = 0,882 \text{ daN/m}$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{0,616^2 + 0,882^2}}{0,616} = 1,747 \text{ m}$$

❖ Estado de inverno

Durante o inverno há ocorrência de vento mínimo habitual de 300Pa e uma temperatura crítica de 5°C.

$$F_1 = 30 \times 0.0196 \times 1.0 \times 0.6 = 0,353 \text{ daN/m}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{0,616^2 + 0,353^2}}{0,616} = 1,153 \text{ m}$$

❖ Vão crítico

$$L_{cr} = \frac{227,80 \times 9}{0,616} \times \sqrt{\frac{24 \times 1,9 \times 10^{-5} \times (60-5)}{1,747^2 - 1,153^2}} = 441,849 \text{ m}$$

❖ Vão equivalente

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{108,32^3 + 105,98^3 + 107,32^3 + 109,5^3 + 91,82^3}{108,32 + 105,98 + 107,32 + 109,5 + 91,82}} = 105,333 \text{ m}$$

Baseando no diagrama dos estados atmosférico mais desfavorável é possível verificar que o estado mais desfavorável é o Inverno.

❖ Tensão de montagem

O valor da tensão mecânica de montagem é o valor em que os condutores ficam sujeitos na situação de flecha máxima.

$$50 + \frac{t_1}{1,9 \times 10^{-5} \times 5700} - \frac{1^2 \times 0,616^2 \times 105,333^2}{24 \times 2,3 \times 10^{-5} \times 235,10^2 \times t_1^2} =$$

$$5 + \frac{9}{1,9 \times 10^{-5} \times 5700} - \frac{1,153^2 \times 0,616^2 \times 105,333^2}{24 \times 2,3 \times 10^{-5} \times 235,10^2 \times 9^2}$$

$$t_1 = 3,992 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_m = 3,992 \times 227,8 = 909,378 \text{ daN}$$

❖ Flecha máxima

$$f_{max} = \frac{105,333^2 \times 0,616}{8 \times 909,378} = 0,939 \text{ m}$$

❖ Distâncias de segurança estabelecidas

a) Distância entre Condutores

$$D = 0,75 \times 0,7 \times \sqrt{1,212 + 0} + \frac{11}{200} = 0,633 \text{ m}$$

b) Distância dos Condutores ao Solo

$$D = 6,0 + 0,005 \times 11 = 6,055 \text{ m}$$

c) Distância dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados

$$D = 6,3 + 0,01 \times 11 = 6,41 \text{ m} \rightarrow D = 7 \text{ m}$$

d) Distância entre Linhas Aéreas

$$D = 1,5 + 0,01 \times 66 + 0,005 \times 4 = 2,18 \text{ m}$$

e) Distância dos Condutores a Obstáculos Diversos

$$D = 2,0 + 0,0075 \times 11 = 2,0825 \text{ m} \rightarrow D = 3 \text{ m}$$

f) Distância dos Condutores a edifício

$$D = 2,0 + 0,0075 \times 11 = 4 \text{ m}$$

#### ❖ **Seleção dos isoladores**

Considera-se nível de poluição baixo (ANEXO 6 : A6-1)

$$L_{fT} = U_n \times L_{fe} \rightarrow L_{fT} = 11 \times 16 = 176 \text{ mm}$$

$$N_{isoladores} = \frac{176}{295} = 0,597 \rightarrow \text{Dois isoladores por cadeia.}$$

O isolador escolhido é o U 70 BS que apresenta uma tensão de ruptura de 7000 daN e a tensão máxima de tracção do condutor seleccionado é de 2050,10 daN.

#### ❖ **Estabilidade dos apoios**

Os esforços a que os apoios estão sujeitos dividem-se em três principais componentes:

$F_y$  - Solicitação transversal – devido aos esforços causados pelo vento perpendicularmente aos cabos.

$F_x$  - Solicitação longitudinal – afectados pelo tamanho do vão;

$F_z$  - Solicitação vertical – são basicamente afectados pelo peso dos isoladores, pesos das amarrações e pelo peso dos cabos.

$$\text{Peso unitário do condutor} - W' = \frac{W_c}{2}$$

$$\text{Tensão de montagem} - T_{max} = 9 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{Tracção máxima da linha} - T_1 = S_c \times T_{max} [\text{daN}]$$

$$\text{Força do vento} - F_v = \frac{q \times \alpha \times c \times d}{2} \times 0,981 \left[ \frac{daN}{m} \right]$$

Comprimento do vão -  $S_i$  [m]

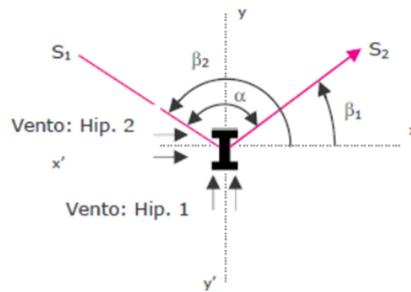


Figura 19 - Representação dos esforços exercidos em apoios em ângulo. [7]

$$\beta_1 = \frac{200 - \alpha}{2} [\text{grados}]$$

$$\beta_2 = \alpha + \beta_1 [\text{grados}]$$

### Cálculos essenciais

$$F_v = \frac{1 \times 0,6 \times 75 \times 0,0196}{2} \times 0,981 = 0,433 \text{ daN}$$

$$W' = \frac{W_c}{2} = \frac{0,6276}{2} = 0,314 \text{ daN/m}$$

$$T_1 = T_2 = 9 \times 227,80 = 2050,2 \text{ [daN]}$$

### Cálculos dos esforços sobre os apoios

#### a) Apoio de fim de linha

##### Apoio 22

$$\text{Comprimento do vão} - S_1 = 85,88 \text{ m}$$

**Hipótese 1** (considerando a presença do vento)

$$F_y = 3 \times F_v \times S_1 = 3 \times 0,433 \times 85,88 = 111,558 \text{ daN}$$

$$F_x = 3 \times T_1 = 3 \times 2050,2 = 6150,6 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times S_1 = 3 \times 0,314 \times 85,88 = 80,899 \text{ daN}$$

## **b) Apoio de alinhamento**

### **Apoio 20**

Comprimento do vão anterior –  $S_1 = 119,48$  m

Comprimento do vão seguinte –  $S_2 = 103,76$  m

### **Hipótese 1** (considerando a presença do vento)

$$\begin{aligned} F_y &= 3 \times F_v \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,433 \times (119,48 + 103,76) = 210,292 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (119,48 + 103,76) = 169,492 \text{ daN} \end{aligned}$$

### **Hipótese 2** (sem influencia do vento)

$$F_x = \frac{1}{5} \times F_y = \frac{289,989}{5} = 173,993 \text{ daN}$$

## **c) Reforço de alinhamento**

### **Apoio 10**

### **Hipótese 1** (considerando a presença do vento)

$$\begin{aligned} F_y &= 3 \times F_v \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,433 \times (105,05 + 127,3) = 301,823 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (105,05 + 127,3) = 218,874 \text{ daN} \end{aligned}$$

### **Hipótese 2** (sem influencia do vento)

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{1}{3} \times T_1 \\ &= \frac{1}{3} \times 2050,2 = 4100,4 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (105,05 + 127,3) = 218,874 \text{ daN} \end{aligned}$$

#### d) Apoio em ângulo

##### Apoio 2

$$\alpha = 168,83 \text{ grados} \rightarrow \beta_1 = \frac{200 - \alpha}{2} = \frac{200 - 141}{2} = 15,583 \text{ grados} \rightarrow 14,028^\circ$$
$$\beta_2 = \alpha + \beta_1 = 141 + 29,5 = 184,415 \text{ grados} \rightarrow 165,990^\circ$$

Comprimento do vão anterior –  $S_1 = 103,47 \text{ m}$

Comprimento do vão seguinte –  $S_2 = 1105,5 \text{ m}$

##### Hipótese 1 (considerando a presença do vento)

$$F_y = 3 \times [(F_v \times \cos^2 \beta_1 \times S_1 + F_v \times \cos^2 \beta_2 \times S_2) + |T_1 \times \sin \beta_1 + T_2 \times \sin \beta_2|]$$
$$= 3 \times [0,433 \times \cos^2 (14,028) \times 103,47 + 0,433 \times \cos^2 (165,99) \times 110,5) +$$
$$|2050,1 \times (\sin(14,02) + \sin (165,99))|]$$
$$= 3241,431 \text{ daN}$$

$$F_x = 3 \times (T_1 \times \cos \beta_1 + T_2 \times \cos \beta_2)$$
$$= 3 \times 2050,2 \times [\cos(14,028) + \cos(165,99)] = 0,460 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times (S_1 + S_2)$$
$$= 3 \times 0,314 \times (103,47 + 110,5) = 201,560 \text{ daN}$$

##### Hipótese 2 (sem influencia do vento)

$$F_x = \frac{1}{5} \times 3 \times [F_v \times \cos^2 \beta_1 \times S_1 + F_v \times \cos^2 \beta_2 \times S_2]$$
$$= \frac{3}{5} \times 0,433 \times [\cos^2 (14,028) \times 103,47 + \cos^2 (165,99) \times 110,5) ] = 52,327 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times (S_1 + S_2)$$
$$= 3 \times 0,314 \times (103,47 + 110,5) = 201,560 \text{ daN}$$

#### ❖ Escolha dos apoios

A escolha dos apoios é feita conforme a obedecer as equações em (6.1) e (6.2), tendo os valores dos esforços calculados anteriormente e os denominadores são consultados

nas tabelas em ANEXOS 3, o apoio escolhido deve ser capaz de aguentar os esforços solicitados conforme os do vento principal e vento secundário.

Hipótese 1 (vento principal)

$$\frac{F_x}{S_{750}} + \frac{F_y}{F_{750}} < 1 \quad (6.1)$$

Hipótese 2 (vento secundário)

$$\frac{F_x}{S'_{750}} + \frac{F_y}{F'_{750}} < 1 \quad (6.2)$$

## Escolha do apoio 2

Hipótese 1

$$\frac{6150,6}{1800} + \frac{111,558}{4000} < 1 \text{ (Condição não satisfeita)}$$

Assim vamos escolher um apoio mais robusto para equilibrar os esforços solicitados.

➤ Escolha do apoio: 18M9000

## Escolha do apoio 10

Hipótese 1

$$\frac{0}{1600} + \frac{301,823}{3500} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{1230,121}{1282} + \frac{0}{2804} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

➤ Escolha do apoio: 16M3500

## Escolha do apoio 20

Hipótese 1

$$\frac{0,46}{1600} + \frac{210,2921}{2750} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{173,993}{1017} + \frac{0}{2152} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

➤ Escolha do apoio: 16M2750

## Escolha do apoio 22

Hipótese 1

$$\frac{0}{1300} + \frac{3241,431}{2750} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{0,46}{1017} + \frac{173,993}{2152} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

➤ Escolha do apoio: 16M3500

### ❖ Fundações dos apoios

As fundações do circuito apresentam as seguintes profundidades para os dois tipos de apoios, para o apoio de 18 metros e os de 16 metros respectivamente:

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \rightarrow H_p = 0,1 \times 18 + 0,5 = 2,3 \text{ m}$$

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \rightarrow H_p = 0,1 \times 16 + 0,5 = 2,1 \text{ m}$$

## 7 ESTIMATIVA DE CUSTO

| Descrição do material   | Unidad<br>e | Quantidad<br>e | Preço<br>por<br>Unidade | Preço Total<br>[MZN] |
|---|-------------|----------------|-------------------------|----------------------|
| Poste de Betão de 18 metros   | un          | 2              | 25655                   | 51309.8              |
| Poste de Betão de 16 metros   | un          | 20             | 21578                   | 431563               |
| Condutor  | m           | 7500           | 313.25                  | 2349375              |
| Prato de espia de MT  | un          | 6              | 2840.5                  | 17043                |
| Âncora M16x240cm  | un          | 6              | 3556.8                  | 21340.8              |
| Regulador de espia  | un          | 6              | 1568.2                  | 9409.2               |
| Parafuso galvanizado M20x80mm<br>com uma porca, uma anilha de<br>chapa e uma anilha de mola | un          | 100            | 228.3                   | 22830                |
| Filaça para espia da MT   | un          | 50             | 1003.2                  | 50160                |
| Cabo de aço 5/16" (m)   | m           | 80             | 246.24                  | 19699.2              |
| Isolador de espia de MT   | un          | 6              | 277.55                  | 1665.3               |
| Ferro gancho M16x300mm com<br>duas anilhas de chapa circulares e<br>duas porcas             | un          | 100            | 471.2                   | 47120                |
| Pinça de amarração 4*50+25mm  | un          | 100            | 601.92                  | 60192                |
| Porca olhal M16   | un          | 50             | 419.52                  | 20976                |
| Perfil galvanizado L<br>75x75x8x2400mm (T1)   | un          | 22             | 8365                    | 184030               |
| Filaça do condutor AAAC   | m           | 50             | 1453.1                  | 72656                |
| Cruzetas de 840 mm  | un          | 44             | 7632.2                  | 335816.8             |
| Perno longo M16   | un          | 50             | 2413.8                  | 120688               |
| Anilha de chapa circular<br>15x28x2.5mm   | un          | 80             | 212.8                   | 17024                |
| Para-raios  | un          | 2              | 9202.1                  | 18404.16             |
| Ligadores paralelos Al/Al 16-<br>235mm <sup>2</sup>   | un          | 30             | 638.4                   | 19152                |

|   |    |    |         |                    |
|---|----|----|---------|--------------------|
| <b>Eléctrodos de terra M16x 2400mm</b>  | un | 22 | 1702.4  | 37452.8            |
| <b>Ligadores de eléctrodo de terra</b>  | un | 22 | 282.72  | 6219.84            |
| <b>Condutor nu de cobre de 35mm (m)</b> | m  | 50 | 539.68  | 26984              |
| <b>Condutor nu de cobre de 16mm (m)</b> | m  | 50 | 160.68  | 8034               |
| <b>Pinça de amarração</b>               | un | 24 | 1900    | 45600              |
| <b>Tubo VD 16mm (m)</b>                 | m  | 50 | 76      | 3800               |
| <b>Isolador rígido de MT</b>            | un | 42 | 5468.2  | 229666.08          |
| <b>Isolador de cadeia de MT</b>         | un | 24 | 3486    | 83663.52           |
| <b>Caixa de terminal de MT</b>          | un | 2  | 3564.62 | 7129.24            |
| <b>TOTAL [MZN]</b>                      |    |    |         | <b>4,327,332.7</b> |

## 8 CONCLUSÃO

Os trabalhos que foram realizados durante o estágio permitiram desenvolver novas habilidades práticas e confrontar com os conhecimentos que adquiri durante o curso, com mais ideias e pequena experiência no ambiente do trabalho. Assim, ao decorrer do trabalho foi abordado e desenvolvido um projecto eléctrico de média tensão como solução para reduzir os problemas que os cabos subterrâneos apresentam no circuito em questão.

A realização do trabalho foi muito importante sob medida de melhor perceber como são caracterizados e constituídos os cabos subterrâneos de média tensão e quais problemas apresentam. Este trabalho permitiu entender que a eficiência de distribuição de energia eléctrica usando cabos subterrâneos não é totalmente perfeita, uma vez que os cabos podem apresentar problemas relacionados ao fabrico e problemas relacionados ao contacto com o homem, entre eles no momento de montagem dos cabos no solo e devidos a movimentação de terras realizadas em diferentes tipos de actividades.

Devido problemas apresentados no circuito que interliga a subestação do aeroporto e ao posto de seccionamento da junta foi projectado uma linha aérea com apoios de betão armado e condutores de ligas de alumínio como solução viável e com menos custos.

Primeiramente foi realizado o levantamento topográfico, e utilizado a ferramenta *online Google earth* para apresentar o percurso da linha e também dar uma visão mais clara dos pontos de implementação dos postos e facilitando assim a função em que cada apoio desempenha ao longo do traçado cumprindo com todas exigências impostas pelo regulamento de segurança de linhas eléctrica de alta tensão.

As linhas aéreas interagem e dependem das características atmosféricas da região em estudo, o que faz com que o cálculo mecânico assuma um papel extremamente importante no dimensionamento de uma linha por ser a que lida com a estabilidade de todos os elementos da linha e esta directamente ligada ao parâmetro técnico-económico.

Considerando os resultados obtidos na elaboração do projecto, entende-se que para correntes acima de 200A em linhas de distribuição em média tensão o uso de linhas aéreas não é a melhor escolha pois com uma corrente muito elevada a secção dos condutores fica muito grande o que influencia a estabilidade e por sua vez exige apoios muito robustos e por sua vez mais caros, reduzindo o factor principal de escolha desse tipo de rede.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANTUNES, Jorge; *Conceção de Redes de Média e Baixa Tensão*; Coimbra; 2012.
- [2] CARDOSO, Rafael; *Cálculo automático para projecto linha aérea até 30 KV*; Lisboa;
- [3] CRUZ, Pedro; *Linha MT- Aspectos construtivos, Projecto e Manutenção*; FEUP, 2010
- [4] DGE, *Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão*, 1993.  
Dezembro de 2016.
- [5] E. Distribuição, *Evolução QS da rede de distribuição MT em Portugal continental e próximos desafios*; in Ordem dos Engenheiros - Região Centro Ciclo Sessões técnicas, Coimbra, 2012.
- [6] FERREIRA, Hugo; *Estudos da rede*; Tomar; 2017.
- [7] GALVÃO, Cláudio; *Redes eléctricas de média e baixa tensão – Aspecto de projecto, licenciamento e exploração no contexto operacional*; FEUP; Junho de 2010
- [8] General Cable, *Ligações à terra em circuitos de Alta Tensão*; ICAT 2005 CO/VAR/PRO/ICA/080/022, 2005.
- [9] General Cable.; *Cabos de Média Tensão*; Brasil, Maio de 2016
- [10] *Guia Técnico*, Solidal Condutores Eléctricos S.A., 2007
- [11] MATEUS, Luis.; *Projecto de Linha Subterrânea de Alta Tensão Subestação Maia - Subestação Gueifães* , FEUP, Junho de 2016.
- [12] MOREIRA, Ricardo - *Operações em Redes de Distribuição*; FEUP; 2009.
- [13] TAVARES, George. *Proposta de substituição da rede de distribuição eléctrica aérea, por subterrânea no campus marco zero do equador da UNIFAP*; Macapá, 2019.
- [14] VALE, Almeida e MACHADO, António, *Cabos Subterrâneos*, FEUP, 1975.
- [15] VIEIRA, João; *Ferramenta computacional para projecto de linhas aéreas de média tensão*; Lisboa, Dezembro de 2017
- [16] <https://goldenergy.pt/glossario/rede-distribuicao-energia-eletrica/>, 22 de Julho de 2022

# ANEXOS

## ANEXO 1

A1-1 - Tabela de Características técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio.

| Designação | Área (mm <sup>2</sup> ) | Nº de fios | Diâmetro (mm) |       | Massa por unidade de comprimento (kg/km) | Carga de Ruptura Nominal (kN) | Resistência Elétrica máxima a 20°C (Ω/km) | Módulo de Elasticidade Final N/mm <sup>2</sup> | Coeficiente linear de expansão 1/K | Capacidade Nominal <sup>(1)</sup> | Peso de massa protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) <sup>(2)</sup> |        |        |        |
|------------|-------------------------|------------|---------------|-------|--|-------------------------------|---|--|------------------------------------|-----------------------------------|--|--------|--------|--------|
|            |                         |            | fios          | Cond. |  |                               |   |  |                                    |                                   | Caso 1   | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 |
| Nova       | Antiga                  |            |               |       |  |                               |   |  |                                    | A                                 |  |        |        |        |
| 22-AL4     | ASTER 22                | 22,0       | 7             | 2,00  | 6,00                                     | 60,0                          | 7,15                                      | 1,4989   | 62.000                             | 23,0E-6                           | 125  |        | 4,4    | 0,7    |
| 34-AL4     | ASTER 34,4              | 34,4       | 7             | 2,50  | 7,50                                     | 93,8                          | 11,17                                     | 0,9593   | 62.000                             | 23,0E-6                           | 166  |        | 6,8    | 1,1    |
| 55-AL4     | ASTER 54,6              | 54,6       | 7             | 3,15  | 9,45                                     | 148,9                         | 17,73                                     | 0,6042   | 62.000                             | 23,0E-6                           | 225  |        | 10,8   | 1,7    |
| 76-AL4     | ASTER 75,5              | 75,5       | 19            | 2,25  | 11,25                                    | 207,4                         | 24,55                                     | 0,4388   | 60.000                             | 23,0E-6                           | 275  | 5,5    | 16,6   | 9,1    |
| 117-AL4    | ASTER 117               | 117,0      | 19            | 2,80  | 14,00                                    | 321,2                         | 38,02                                     | 0,2833   | 60.000                             | 23,0E-6                           | 366  | 8,5    | 25,7   | 14,0   |
| 148-AL4    | ASTER 148               | 148,1      | 19            | 3,15  | 15,8                                     | 406,5                         | 48,12                                     | 0,2239   | 60.000                             | 23,0E-6                           | 426  | 10,8   | 32,5   | 17,8   |
| 182-AL4    | ASTER 181,6             | 181,6      | 37            | 2,50  | 17,5                                     | 500,3                         | 59,03                                     | 0,1831   | 57.000                             | 23,0E-6                           | 486  | 20,5   | 41,0   | 28,3   |
| 228-AL4    | ASTER 228               | 227,8      | 37            | 2,80  | 19,6                                     | 627,6                         | 74,04                                     | 0,1460   | 57.000                             | 23,0E-6                           | 580  | 25,7   | 51,4   | 35,4   |
| 288-AL4    | ASTER 288               | 288,3      | 37            | 3,15  | 22,1                                     | 794,3                         | 93,71                                     | 0,1154   | 57.000                             | 23,0E-6                           | 656  | 32,5   | 65,1   | 44,8   |
| 366-AL4    | ASTER 366               | 366,2      | 37            | 3,55  | 24,9                                     | 1008,9                        | 115,36                                    | 0,0908   | 57.000                             | 23,0E-6                           | 766  | 41,3   | 82,7   | 57,0   |
| 570-AL4    | ASTER 570               | 570,2      | 61            | 3,45  | 31,1                                     | 1576,0                        | 185,33                                    | 0,0585   | 54.000                             | 23,0E-6                           | 1020   | 78,1   | 130,1  | 99,4   |
| 851-AL4    | ASTER 851               | 850,7      | 91            | 3,45  | 38,0                                     | 2360,7                        | 276,47                                    | 0,0394   | 52.500                             | 23,0E-6                           | 1320   | 130,1  | 195,2  | 157,9  |
| 1144-AL4   | ASTER 1144              | 1143,5     | 91            | 4,00  | 44,0                                     | 3173,4                        | 360,22                                    | 0,0293   | 52.500                             | 23,0E-6                           | 1600   | 174,9  | 262,4  | 212,3  |
| 1596-AL4   | ASTER 1600              | 1595,9     | 127           | 4,00  | 52,0                                     | 4427,5                        | 502,72                                    | 0,0210   | 50.500                             | 23,0E-6                           | 1990   | 262,4  | 367,4  | 308,5  |



ANEXO 3

A3-1 - Tabela de verificação dos esforços de utilização dos apoios.

| <b>H(m)</b> | <b>F<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>F'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>Tipo</b> |
|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 14          | 400                          | 220                          | 195                           | 107                           | 14M400      |
| 16          | 400                          | 220                          | 146                           | 80                            | 16M400      |
| 18          | 400                          | 220                          | 90                            | 49                            | 18M400      |
| 16          | 600                          | 320                          | 334                           | 178                           | 16M600      |
| 18          | 600                          | 320                          | 275                           | 147                           | 18M600      |
| 20          | 600                          | 320                          | 211                           | 112                           | 20M600      |
| 22          | 600                          | 320                          | 160                           | 85                            | 22M600      |
| 14          | 800                          | 420                          | 554                           | 291                           | 14M800      |
| 16          | 800                          | 420                          | 499                           | 262                           | 16M800      |
| 18          | 800                          | 420                          | 434                           | 228                           | 18M800      |
| 20          | 800                          | 420                          | 365                           | 191                           | 20M800      |
| 22          | 800                          | 420                          | 309                           | 162                           | 22M800      |
| 16          | 1000                         | 520                          | 665                           | 346                           | 16M1000     |
| 18          | 1000                         | 520                          | 596                           | 310                           | 18M1000     |
| 20          | 1000                         | 520                          | 521                           | 271                           | 20M1000     |
| 22          | 1000                         | 520                          | 461                           | 240                           | 22M1000     |
| 14          | 1200                         | 560                          | 878                           | 410                           | 14M1200     |
| 16          | 1200                         | 560                          | 807                           | 376                           | 16M1200     |
| 18          | 1200                         | 560                          | 726                           | 339                           | 18M1200     |
| 20          | 1200                         | 560                          | 639                           | 298                           | 20M1200     |
| 22          | 1200                         | 560                          | 569                           | 265                           | 22M1200     |
| 24          | 1200                         | 560                          | 471                           | 219                           | 24M1200     |
| 26          | 1200                         | 560                          | 365                           | 170                           | 26M1200     |
| 28          | 1200                         | 560                          | 271                           | 126                           | 28M1200     |
| 16          | 1400                         | 650                          | 970                           | 450                           | 16M1400     |
| 22          | 1400                         | 650                          | 717                           | 333                           | 22M1400     |
| 24          | 1400                         | 650                          | 613                           | 284                           | 24M1400     |
| 26          | 1400                         | 650                          | 502                           | 233                           | 26M1400     |
| 28          | 1400                         | 650                          | 403                           | 187                           | 28M1400     |
| 30          | 1400                         | 650                          | 280                           | 130                           | 30M1400     |
| 14          | 1600                         | 740                          | 1214                          | 561                           | 14M1600     |
| 16          | 1600                         | 740                          | 1133                          | 524                           | 16M1600     |
| 18          | 1600                         | 740                          | 1041                          | 481                           | 18M1600     |
| 22          | 1600                         | 740                          | 865                           | 400                           | 22M1600     |
| 24          | 1600                         | 740                          | 755                           | 349                           | 24M1600     |
| 26          | 1600                         | 740                          | 639                           | 295                           | 26M1600     |
| 28          | 1600                         | 740                          | 536                           | 247                           | 28M1600     |
| 30          | 1600                         | 740                          | 407                           | 188                           | 30M1600     |
| 14          | 2250                         | 1000                         | 1770                          | 786                           | 14M2250     |
| 16          | 2250                         | 1000                         | 1673                          | 743                           | 16M2250     |
| 18          | 2250                         | 1000                         | 1564                          | 695                           | 18M2250     |
| 20          | 2250                         | 1000                         | 1449                          | 644                           | 20M2250     |
| 22          | 2250                         | 1000                         | 1358                          | 603                           | 22M2250     |
| 24          | 2250                         | 1000                         | 1230                          | 546                           | 24M2250     |
| 26          | 2250                         | 1000                         | 1096                          | 487                           | 26M2250     |

| <b>H(m)</b> | <b>F<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>F'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>Tipo</b> |
|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 28          | 2250                         | 1000                         | 976                           | 434                           | 28M2250     |
| 30          | 2250                         | 1000                         | 829                           | 368                           | 30M2250     |
| 14          | 2750                         | 1300                         | 2250                          | 1063                          | 14M2750     |
| 16          | 2750                         | 1300                         | 2152                          | 1017                          | 16M2750     |
| 18          | 2750                         | 1300                         | 2043                          | 965                           | 18M2750     |
| 20          | 2750                         | 1300                         | 1927                          | 911                           | 20M2750     |
| 22          | 2750                         | 1300                         | 1836                          | 868                           | 22M2750     |
| 24          | 2750                         | 1300                         | 1710                          | 808                           | 24M2750     |
| 26          | 2750                         | 1300                         | 1577                          | 745                           | 26M2750     |
| 28          | 2750                         | 1300                         | 1459                          | 689                           | 28M2750     |
| 30          | 2750                         | 1300                         | 1314                          | 621                           | 30M2750     |
| 14          | 3500                         | 1600                         | 2922                          | 1336                          | 14M3500     |
| 16          | 3500                         | 1600                         | 2804                          | 1282                          | 16M3500     |
| 18          | 3500                         | 1600                         | 2680                          | 1225                          | 18M3500     |
| 20          | 3500                         | 1600                         | 2549                          | 1165                          | 20M3500     |
| 22          | 3500                         | 1600                         | 2411                          | 1102                          | 22M3500     |
| 24          | 3500                         | 1600                         | 2267                          | 1036                          | 24M3500     |
| 26          | 3500                         | 1600                         | 2116                          | 968                           | 26M3500     |
| 28          | 3500                         | 1600                         | 1959                          | 896                           | 28M3500     |
| 14          | 4000                         | 1800                         | 3403                          | 1531                          | 14M4000     |
| 16          | 4000                         | 1800                         | 3289                          | 1480                          | 16M4000     |
| 18          | 4000                         | 1800                         | 3162                          | 1422                          | 18M4000     |
| 22          | 4000                         | 1800                         | 2923                          | 1315                          | 22M4000     |
| 24          | 4000                         | 1800                         | 2777                          | 1250                          | 24M4000     |
| 26          | 4000                         | 1800                         | 2625                          | 1181                          | 26M4000     |
| 14          | 5000                         | 2350                         | 4379                          | 2058                          | 14M5000     |
| 16          | 5000                         | 2350                         | 4262                          | 2003                          | 16M5000     |
| 18          | 5000                         | 2350                         | 4133                          | 1942                          | 18M5000     |
| 20          | 5000                         | 2350                         | 3997                          | 1878                          | 20M5000     |
| 22          | 5000                         | 2350                         | 3891                          | 1829                          | 22M5000     |
| 24          | 5000                         | 2350                         | 3745                          | 1760                          | 24M5000     |
| 26          | 5000                         | 2350                         | 3592                          | 1688                          | 26M5000     |
| 16          | 7500                         | 3400                         | 6724                          | 3048                          | 16M7500     |
| 18          | 7500                         | 3400                         | 6589                          | 2987                          | 18M7500     |
| 20          | 7500                         | 3400                         | 6446                          | 2922                          | 20M7500     |
| 22          | 7500                         | 3400                         | 6335                          | 2872                          | 22M7500     |
| 24          | 7500                         | 3400                         | 6181                          | 2802                          | 24M7500     |
| 26          | 7500                         | 3400                         | 6020                          | 2729                          | 26M7500     |
| 16          | 9000                         | 4000                         | 8130                          | 3613                          | 16M9000     |
| 18          | 9000                         | 4000                         | 7980                          | 3547                          | 18M9000     |
| 20          | 9000                         | 4000                         | 7824                          | 3477                          | 20M9000     |
| 22          | 9000                         | 4000                         | 7702                          | 3423                          | 22M9000     |
| 24          | 9000                         | 4000                         | 7533                          | 3348                          | 24M9000     |
| 26          | 9000                         | 4000                         | 7358                          | 3270                          | 26M9000     |
| 12          | 1750                         | 700                          | 1360                          | 544                           | 12TP2       |

A3-2 - Tabela de verificação dos esforços de utilização dos apoios – Apoio de fim de linha

| <b>H(m)</b> | <b>F<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>F'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>S'<sub>750</sub> (daN)</b> | <b>Tipo</b> |
|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 14          | 1750                         | 700                          | 1272                          | 508                           | 14TP2       |
| 12          | 2250                         | 900                          | 1798                          | 719                           | 12TP4       |
| 14          | 2250                         | 900                          | 1699                          | 679                           | 14TP4       |

## ANEXO 4

A4-1 - Tabela de tensão máxima de montagem e flecha máxima

| Vão entre apoios | Tensão de montagem [daN] | Comprimento do vão [m] | Flecha máxima [m] |
|------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 e 2            | 904,822                  | 103,47                 | 0,911             |
| 2 e 3            | 927,602                  | 110,5                  | 1,014             |
| 3 e 4            | 899,81                   | 101,33                 | 0,879             |
| 4 e 5            | 885,686                  | 97,05                  | 0,819             |
| 5 e 6            | 919,4                    | 109,5                  | 1,004             |
| 6 e 7            | 952,86                   | 123,5                  | 1,233             |
| 7 e 8            | 901,86                   | 102,2                  | 0,892             |
| 8 e 9            | 915,528                  | 107,9                  | 0,979             |
| 9 e 10           | 907,555                  | 105,05                 | 0,936             |
| 10 e 11          | 960,86                   | 127,3                  | 1,299             |
| 11 e 12          | 919,4                    | 109,5                  | 1,004             |
| 12 e 13          | 826,458                  | 71,13                  | 0,471             |
| 13 e 14          | 904,822                  | 103,45                 | 0,911             |
| 14 e 15          | 914,845                  | 108,35                 | 0,988             |
| 15 e 16          | 910,972                  | 105,98                 | 0,949             |
| 16 e 17          | 914,161                  | 107,32                 | 0,97              |
| 17 e 18          | 915,756                  | 108,00                 | 0,981             |
| 18 e 19          | 875,663                  | 91,50                  | 0,736             |
| 19 e 20          | 942,864                  | 119,48                 | 1,166             |
| 20 e 21          | 919,856                  | 109,76                 | 1,008             |
| 21 e 22          | 908,239                  | 104,88                 | 0,933             |
| 22 e 23          | 900,267                  | 101,54                 | 0,882             |

## ANEXO 5

A5-1 - Tabela de esforços dos condutores e referência dos apoios seleccionados.

| Apoio | Função do apoio        | Ângulo $\alpha$ [grados] | Vão anterior [m] | Vão seguinte [m] | Esforço principal Fy [daN] |   | Esforço secundário Fx [daN] |        | Esforço secundário Fz [daN] |        | Referência do apoio |
|-------|------------------------|--------------------------|------------------|------------------|----------------------------|---|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|---------------------|
|       |                        |                          |                  |                  | Hipótese                   |   | Hipótese                    |        | Hipótese                    |        |                     |
|       |                        |                          |                  |                  | 1                          | 2 | 1                           | 2      | 1                           | 2      |                     |
|       |                        |                          |                  |                  |                            |   |                             |        |                             |        |                     |
| 1     | Fim de Linha           | 0                        | -----            | 103,47           | 134,408                    | 0 | 6150,6                      | 0      | 67,469                      | 0      | 18M4000             |
| 2     | Ângulo                 | 168.83                   | 103,47           | 110,5            | 3241.43                    | 0 | 0.468                       | 52.33  | 201,56                      | 201,56 | 18M3500             |
| 3     | Alinhamento            | 0                        | 110.5            | 101,13           | 274,907                    | 0 | 0                           | 164,94 | 199,36                      | 0      | 16M2750             |
| 4     | Alinhamento            | 0                        | 101,13           | 97,05            | 257,436                    | 0 | 0                           | 154,46 | 186,69                      | 0      | 16M2750             |
| 5     | Alinhamento            | 0                        | 97,05            | 109,5            | 268,31                     | 0 | 0                           | 160,99 | 194,57                      | 0      | 16M2750             |
| 6     | Reforço de Alinhamento | 0                        | 109,5            | 123,5            | 302,67                     | 0 | 0                           | 1230,1 | 219,49                      | 219,49 | 16M3500             |
| 7     | Alinhamento            | 0                        | 123,5            | 102,2            | 293,184                    | 0 | 0                           | 175.09 | 212.61                      | 0      | 16M2750             |
| 8     | Alinhamento            | 0                        | 102,2            | 107,9            | 272,92                     | 0 | 0                           | 163.75 | 197.9                       | 0      | 16M2750             |
| 9     | Alinhamento            | 0                        | 107,9            | 105,05           | 276,62                     | 0 | 0                           | 165,97 | 200,6                       | 0      | 16M2750             |
| 10    | Reforço de Alinhamento | 0                        | 105,05           | 127,3            | 301,82                     | 0 | 0                           | 1230,1 | 218,87                      | 218,87 | 16M3500             |

|           |                        |        |        |        |         |   |        |        |        |        |         |
|-----------|------------------------|--------|--------|--------|---------|---|--------|--------|--------|--------|---------|
| <b>11</b> | Alinhamento            | 0      | 127,3  | 109,5  | 307,60  | 0 | 0      | 184,56 | 223,07 | 0      | 16M2750 |
| <b>12</b> | Alinhamento            | 0      | 109,5  | 71,13  | 234,64  | 0 | 0      | 140,78 | 170,15 | 0      | 16M2750 |
| <b>13</b> | Reforço de Alinhamento | 0      | 71,13  | 103,45 | 229,78  | 0 | 0      | 1230,1 | 164,45 | 0      | 16M3500 |
| <b>14</b> | Reforço de Alinhamento | 0      | 103,45 | 108,35 | 275,13  | 0 | 0      | 4110,4 | 199,52 | 0      | 16M3500 |
| <b>15</b> | Alinhamento            | 0      | 108,35 | 105,98 | 278,41  | 0 | 0      | 167,05 | 201,9  | 0      | 16M2750 |
| <b>16</b> | Alinhamento            | 0      | 105,98 | 107,32 | 277,08  | 0 | 0      | 166,25 | 200,93 | 0      | 16M2750 |
| <b>17</b> | Alinhamento            | 0      | 107,32 | 109,5  | 234,64  | 0 | 0      | 140,78 | 170,15 | 0      | 16M2750 |
| <b>18</b> | Reforço de Alinhamento | 0      | 91,82  | 119,48 | 274,48  | 0 | 0      | 1230,1 | 216,16 | 216,16 | 16M3500 |
| <b>19</b> | Alinhamento            | 0      | 108,00 | 91,50  | 259,15  | 0 | 0      | 155,49 | 187,93 | 0      | 16M2750 |
| <b>20</b> | Alinhamento            | 0      | 119,48 | 104,88 | 289,99  | 0 | 0      | 173,99 | 210,29 | 0      | 16M2750 |
| <b>21</b> | Ângulo                 | 155,86 | 104,88 | 109,76 | 4425,62 | 0 | 202,83 | 0      | 49,49  | 202,83 | 16M3500 |
| <b>22</b> | Alinhamento            | 0      | 109,76 | 101,54 | 246,34  | 0 | 0      | 147,8  | 178,64 | 0      | 16M2750 |
| <b>23</b> | Fim de Linha           | 0      | 101,54 | -----  | 111,56  | 0 | 6150,6 | 0      | 80,89  | 0      | 16M4000 |

## ANEXO 6 – Isoladores

A6-1 - Tabela de relação entre o nível de poluição e a linha de fuga específica.

| <b>Nível de poluição</b> | <b>Linha de fuga nominal específica mínima<br/>[mm/ kV]</b> |
|--------------------------|---|
| <b>Baixa</b>             | 16  |
| <b>Média</b>             | 20  |
| <b>Forte</b>             | 25  |
| <b>Muito forte</b>       | 31  |

A6-2 - Tabela de características dos isoladores.

| <b>Referência<br/>do elemento<br/>da cadeia</b> | <b>Diâmetro da<br/>parte isolante<br/>[mm]</b> | <b>Passo<br/>nominal<br/>[mm]</b> | <b>Linha de fuga<br/>nominal mínima<br/>[mm]</b> | <b>Força de<br/>ruptura<br/>[daN]</b> | <b>Peso<br/>[kg]</b> |
|---|--|-----------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------|
| <b>U 40 B</b>                                   | 175  | 110                               | 190  | 4000                                  | 1,7                  |
| <b>A 40</b>                                     | 200  | 110                               | 210  | 4000                                  | 2,6                  |
| <b>U 70 BS</b>                                  | 255  | 127                               | 295  | 7000                                  | 3,5                  |
| <b>U 100 BS</b>                                 | 280  | 127                               | 295  | 10000                                 | 3,9                  |
| <b>U 160 BS</b>                                 | 280  | 146                               | 315  | 16000                                 | 6,2                  |
| <b>U 40 BP</b>                                  | 175  | 110                               | 295  | 4000                                  | 2,4                  |
| <b>U 100 BLP</b>                                | 280  | 146                               | 445  | 10000                                 | 5,6                  |

## ANEXO 7

**Peças desenhadas dos apoios consoante a função**

## ANEXO 7 - ACTA DE ENCONTROS REGULARES



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### **ACTA DE ENCONTROS**

|                     |             |       |            |
|---------------------|-------------|-------|------------|
| REFERÊNCIA DO TEMA: | 2022ELEPD32 | DATA: | 08.08.2022 |
|---------------------|-------------|-------|------------|

| DATA   | ACTIVIDADES   | OBSERVAÇÕES  |
|--|---|--|
| 18.09.2022                                   | Apresentação do tema e definição de objectivos                            | Rectificar a gramática dos artigos e redefinir os objectivos               |
| 05.10.2022                                   | Seleção dos manuais e metodologia a usar                                  |  |
| 05.10.2022                                   | Desenvolvimento da revisão bibliográfica                                  |  |
| 14.10.2022                                   | Organização da referência bibliográfica e análise da topografia da região | Colocar em sequencia alfabética as referências bibliográficas              |
| 02.11.2022                                   | Composição da conclusão e resumo.   |  |
|  | Submissão dos de cálculos eléctricos e mecânicos                          | Analisar os parâmetros eléctricos e esforços da linha.                     |
| 18.11.2022                                   | Etapa de organização do trabalho e últimas correcções                     | Melhorar a contextualização do trabalho nas partes de introdução e resumo. |
| 24.11.2022                                   | Ultima submissão com trabalho completo                                    | Anexar os anexos de classificação e declaração de honra                    |
| Supervisor: Eng <sup>a</sup> . José Chíssico |   | Assinatura:  |
| Estudante: Edson Nhalugume                   |   | Assinatura:  |

## ANEXO 8 - RELATÓRIO DE PROGRESSO



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA: 2022ELEPD32

#### 1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

| ACTIVIDADE  | PRAZO PREVISTO |
|---|----------------|
| Organização e selecção dos assuntos chaves.                     | 05.10.2022     |
| Levantamento de cargas por alimentar                            | 12.10.2022     |
| Escolha do trajecto da linha e tipos de protecções necessárias. | 19.10.2022     |
| Verificação e correcção de cálculos eléctricos e mecânicos.     | 02.11.2022     |
| Revisão e melhoramento do trabalho.                             | 16.11.2022     |

#### 2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

| ACTV. | DATA       | ESTÁGIO (%) | OBSERVAÇÕES  | RÚBRICA |
|-------|------------|-------------|--|---------|
| 1     | 10.10.2022 | 75          | Melhorar introdução e resumo, com contextualização clara               |         |
| 2     | 14.10.2022 | 100         | Dados de transportada pelos cabos subterrâneos fornecidos pela EDM     |         |
| 3     | 23.10.2022 | 15          | Uso de <i>Online Google Earth</i>                                      |         |
|       | 28.10.2022 | 100         | Apresentação do melhor trajecto  |         |
| 4     | 02.11.2022 | 75          | Colocação dos dados numa tabela para facilitar a compreensão do leitor |         |
| 5     | 14.11.2022 | 50          | Correcções autográficas e melhoramento dos textos                      |         |
|       | 18.11.2022 | 60          | Rectificação do resumo e apresentação de conclusões                    |         |
|       | 24.11.2022 | 100         | Ultima revisão e classificação do supervisor                           |         |

**ANEXO PARA CLASSIFICAÇÃO**

**(Segundo o regulamento)**

## ANEXO 10

### GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

#### **F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO**

Nome do estudante: \_\_\_\_\_

Referência do tema: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Título do tema: \_\_\_\_\_

|   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|
| <b>1. Resumo</b>  |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
| 1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo<br>(clareza, organização, correlação com o apresentado) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |  |  |  |  |  |
| <b>Secção 1 subtotal (max: 5)</b>   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |

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

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

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

|                                   |  |                          |  |
|-----------------------------------|--|--------------------------|--|
| <b>Total de pontos (max: 100)</b> |  | <b>Nota (=Total*0,2)</b> |  |
|-----------------------------------|--|--------------------------|--|

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

## ANEXO 11

### GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA (PELO JÚRI)



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

#### **F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**

Nome do estudante: \_\_\_\_\_

Referência do tema: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Título do tema: \_\_\_\_\_

| <b>1. Introdução</b>  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução<br>(Contexto e importância do trabalho) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <b>Secção 1 subtotal(max: 10)</b>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

| <b>2. Organização e explanação</b>                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 2.1. Objectivos  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2.3. Metodologia   | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |   |   |   |    |
| 2.4. Resultados, sua análise e discussão                   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |
| <b>Secção 2 subtotal(max: 25)</b>                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

| <b>3. Estilo da apresentação</b>           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 3.1. Uso efectivo do tempo                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |   |   |   |   |    |
| 3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |   |   |   |   |    |
| <b>Secção 3 subtotal(max: 15)</b>          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

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

|                                   |  |                          |  |
|-----------------------------------|--|--------------------------|--|
| <b>Total de pontos (max: 100)</b> |  | <b>Nota (=Total*0,2)</b> |  |
|-----------------------------------|--|--------------------------|--|

## ANEXO 12

### FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE (PELO SUPERVISOR)



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE

(Auxiliar para o supervisor)

Nome do estudante: \_\_\_\_\_

Referência do tema: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Título do tema: \_\_\_\_\_

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

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

**Total de pontos (max: 35)** \_\_\_\_\_

**Nota (=Total\*20/35)** \_\_\_\_\_

## ANEXO 13

### FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

#### **F3 - FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL**

Nome do estudante: \_\_\_\_\_

Referência do tema: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Título \_\_\_\_\_ do \_\_\_\_\_ tema:  
\_\_\_\_\_

| <b>AVALIADOR</b>                       | <b>NOTA OBTIDA</b> | <b>PESO(%)</b> |
|--|--------------------|----------------|
| Relatório escrito (F1)                 | N1=                | A= 60          |
| Apresentação e defesa do trabalho (F2) | N2=                | B= 40          |

|  |  |
|--|--|
| <b>CLASSIFICAÇÃO FINAL <math>=(N1 * A + N2 * B) / 100</math></b> |  |
|--|--|

OS MEMBROS DO JURI:

|                 |  |
|-----------------|--|
| O Presidente    |  |
| O Oponente      |  |
| Os Supervisores |  |
|                 |  |
|                 |  |
|                 |  |
|                 |  |
|                 |  |