



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

TEMA:

**MITIGAÇÃO DOS DISPAROS NA LINHA DE ALTA TENSÃO DE 110KV
CL4**

(INFULENE-CORRUMANA)

Autor:

Chuva, Catarino Armindo Longo

Supervisores:

Eng. Fernando Chachaia (UEM)

Eng. Manuel Telles (co-supervisor UEM)

Eng. Deular Mabecua (Empresa)

Maputo, Outubro de 2021

Chuva, Catarino Armindo Longo

**MITIGAÇÃO DOS DISPAROS NA LINHA DE ALTA TENSÃO DE 110KV
CL4
(INFULENE-CORRUMANA)**

Relatório a ser entregue ao Departamento de Engenharia Electrotécnica, Faculdade de Engenharia da UEM como requisito para Obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

DEDICATÓRIA

Este trabalho dedico em especial aos meus pais Armino Chuva e Maria Da Conceição Chicote, ao meu filho Jessuell Catarino Aleixo Chuva e meus irmãos

AGRADECIMENTOS

A todos os que contribuíram presto os meus maiores agradecimentos. Entretanto, não seria justo e, muito menos correcto, deixar passar esta oportunidade de agradecer á aquelas que particularmente contribuíram para a sua realização. Que passo a manifestar o meu agradecimento a todos e de uma forma particular:

- ❖ Agradeço em primeiro aos meus pais Armindo Chuva e Maria Da conceição Chicote.
- ❖ Agradeço ao meu filho Jessuell Catarino Aleixo Chuva e aos meus irmãos, por sempre me terem apoiado na decisão de qual caminho tomar e por sempre estarem demonstrando vosso amor e carinho para comigo.
- ❖ Agradeço ao corpo docente da faculdade de engenharia que influenciaram na minha formação até ao presente momento.
- ❖ Agradeço aos colegas directos e indirectos pelo apoio
- ❖ Aos colegas de serviço que fizeram de tudo durante o estagio profissional para que fosse possivel lograr a minha graduacao

.

RESUMO

Este trabalho consiste em mitigar os disparos na linha de alta tensão de 110kv CL4 (**Infulene-Corrumana**).

O cabo de guarda foi a solução encontrada porque permite a protecção dos cabos condutores contra a incidência directa de descargas atmosféricas, diminuindo o número de desligamentos provocados por sobretensões atmosféricas. O dimensionamento do cabo de guarda é realizado considerando cálculos mecânicos e a estabilidade dos apoios.

Neste contexto, este trabalho discute questões relativas aos cálculos mecânicos do cabo OPGW, estabilidade dos apoios que permitira a colocação de cabo de guarda OPGW, visto que, os apoios foram concebidos sem terem em conta a colocação de cabo de guarda, a avaliação de riscos da CL4.

Nesta circunstância, a aplicação da metodologia proposta proporciona a redução do custo das obras e da possibilidade de ocorrências de curtos-circuitos fase-terra provocados por descargas atmosféricas.

Também é feita uma abordagem sobre os impactos que este tipo de projectos tem no meio ambiente em que estão inseridos, bem como as medidas de prevenção e minimização.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	VII
ABREVIATURAS E UNIDADES.....	VIII
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	2
1.1. Introdução.....	2
1.2. Formulação do Problema	2
1.3. Justificativa	2
1.5. Metodologia	3
1.6. Organização do trabalho	3
2.1. Estrutura de um sistema eléctrico de potência	5
2.2. Elementos constituintes das linhas	7
2.2.2. Características de cabo de guarda	9
3.1 Características da Linha Aérea	13
3.2. Características do Cabo de Guarda.....	14
3.2.1.6.1. Distância dos condutores ao solo.....	20
3.2.1.6.2. Distância entre condutores.....	21
CAPITULO V. AVALIAÇÃO DE RISCO NA LINHA INFULENE Á CORRUMANE...	28
5.1. Análise de Informação Estatística	28
5.2. Avaliação de riscos	29
5.3. Cálculo do risco de falha.....	30
5.4. Medidas de mitigação do risco.....	31
CAPITULO VI. IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	32
CAPITULO VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	34
7.1. Conclusões.....	34

7.2. Recomendações	34
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35
Anexo 1	B
ESPECIFICAÇÕES DO MATERIAL.....	B
ACESSÓRIOS DE CABO DE GUARDA OPGW.....	B

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS 1: ESTRUTURA BÁSICA DE UM SISTEMA DE POTÊNCIA	5
FIGURAS 2: SECÇÃO TRANSVERSAL DO CABO ACSR) [13].....	9
FIGURAS 3: CABO OPGW.	10
FIGURAS 4: CABO OPGW – CONSTITUIÇÃO.	10
FIGURAS 5: MODELO ELETROGEOMÉTRICO[4]	12
FIGURAS 6: TIPOS DE APOIO USADOS NA CL4.....	13
FIGURAS 7: MAPA DA REDE SUL 110KV	14
FIGURAS 8: LIGAÇÃO DA REDE DE TERRA AO APOIO.....	26
FIGURAS 9: MAPA DE DENSIDADE DE DESCARGAS - ÁFRICA	28

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, ELÉTRICAS E MECÂNICAS DO CABO DE GUARDA OPGW AS/AA/32/113[15]	14
TABELA 2: TENSÕES MÁXIMAS DE SERVIÇO [4]	15
TABELA 3: VALORES DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO, EM FUNÇÃO DA ALTURA ACIMA DO SOLO [05]	16
TABELA 4: VALORES DE COEFICIENTE DE REDUÇÃO [05]	17
TABELA 5: VALORES DO COEFICIENTE DE FORMA [05]	17
TABELA 6: TEMPERATURA A CONSIDERAR PARA O ESTADO DE VERÃO [5]	20

ABREVIATURAS E UNIDADES

ACS	<i>Aluminium Cladded Steel</i>
ACSR	<i>Aluminium Cable Steel Reinforced</i>
AGS	<i>Armour Grip Suspension</i>
AT	Alta Tensão
MT	Media Tensão
BT	Baixa Tensão
EDM	Electricidade de Mocambique
OPGW	<i>Optical Ground Wire</i>
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão
SE	Subestação
SEE	Sistema Elétrico de Energia

UNIDADES

°C	Grau Celsius
A	Ampere
daN	DecaNewton
kA	Quiloampere
kg	Quilograma
kV	Quilovolt
kW	Quilowatt
m	Metro
mm	Milímetro

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A energia eléctrica é uma das formas de energia que a humanidade mais utiliza, graças a sua facilidade de transporte, baixo índice de perdas energéticas durante conversões. Esta energia eléctrica pode ser obtida principalmente através de centrais termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas, fotovoltaicos e outras fontes de geração.

Os centros de geração de energia eléctrica geralmente encontram-se distantes dos centros de consumo, sendo por essa razão necessário realizar-se o seu transporte.

Para realizar esse transporte de energia eléctrica dos centros de produção para os consumidores são utilizadas as linhas de transporte de energia eléctrica, sendo em **AT**, **MT** e **BT** para o caso em particular as linhas aéreas de alta tensão, porém estas devem estar protegidas contra as descargas atmosféricas que estas encontram-se sujeitas.

A protecção destas descargas atmosféricas, consegue-se com a colocação de cabos de guarda, **OPGW** (que também permitem a comunicação entre subestações), evitando deste modo que as linhas estejam sempre sujeitas a disparos aquando da ocorrência das descargas. Com este trabalho pretende-se mitigar os efeitos dos disparos nas linhas de alta tensão de 110 KV CL4 (Caso em estudo INFULENE-CORRUMANA), tendo em conta o dimensionamento das protecções que devem fazer parte da linha incluindo o dimensionamento do cabo de guarda, visto que as tores existentes nesta linha não estava previsto a protecção de cabo de guarda.

1.2. Formulação do Problema

As linhas de alta tensão, são sem sobra de dúvidas de elevada importância pós são responsáveis pelo transporte de energia eléctrica das centrais geradoras até aos consumidores. Pela sua relevância, quando estes entram em defeito (avaria) trazem grandes prejuízos, sendo estes problemas criados maioritariamente pela inexistência do cabo de guarda (que possui a função de impedir que as descargas atmosféricas atinjam os condutores de fase, reduzindo deste modo as possibilidades de ocorrência de interrupção no fornecimento da mesma). Com este problema da inexistência do cabo de guarda, que causa danos económicos e materiais, traz-se a seguinte questão:

O que fazer com vista a mitigação dos disparos nas linhas de alta tensão de 110 KV?

1.3. Justificativa

Regularmente as linhas de alta tensão (a partir de valores iguais ou superiores a 100 KV) devem conter a protecção do cabo de guarda, com vista a prevenir estas da ocorrência das descargas atmosféricas garantindo deste modo a segurança das instalações e do pessoal, não só

aumentando de algum modo o tempo de exploração das mesmas. A escolha deste tema em particular vem com o objectivo de garantir um fornecimento de energia eléctrica de qualidade, assim como reduzir o impacto das descargas atmosféricas sobre as linhas de alta tensão do caso em estudo através da colocação do cabo de guarda e do dimensionamento correcto das protecções da linha em ca

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

- Dimensionar o cabo de guarda para a linha de alta tensão de 110 KV (INFULENE-CORRUMANA);

1.4.2. Objectivos Específicos

- Apresentar os dados do troço da linha em causa;
- Fazer avaliação de risco na linha (INFULENE-CORRUMANA);
- Avaliar o impacto económico trazido pelas interrupções do fornecimento da energia eléctrica no troço em causa.

1.5. Metodologia

Para se alcançar os objectivos acima traçados, será necessário o uso de:

- Levantamento de dados da linha no terreno;
- Consultar os profissionais no sector e ao corpo docente sobre o tema em estudo;
- Pesquisa Bibliográfica;
- Consulta de catálogos, regulamentos e normas.

1.6. Organização do trabalho

O trabalho está organizado em capítulos, sendo que este é constituído por:

CAPÍTULO I: considerações iniciais, neste capítulo faz-se uma breve apresentação do trabalho, a parte introdutória, apresenta-se a formulação do problema, a justificativa da escolha do tema, os objectivos do trabalho e a respectiva metodologia usada para a realização do presente relatório.

CAPÍTULO II: revisão da literatura, aqui faz-se a descrição e fundamentação teórica dos componentes que fazem parte do sistema a ser projectado, assim como os conceitos dos elementos envolvidos na elaboração do relatório.

CAPÍTULO III: dimensionamento, constitui a base do projecto, onde se apresentam os cálculos efectuados nos dimensionamentos.

CAPÍTULO IV: Neste capítulo faz-se a Implantação de apoios mistos para o reforço nas torres existentes para o cabo de guarda

CAPÍTULO V: neste capítulo faz-se avaliação de risco na linha infulene á corrumane

CAPÍTULO VI: neste capítulo faz-se avaliação do impacto ambiental no acto de implementação e depois implementação.

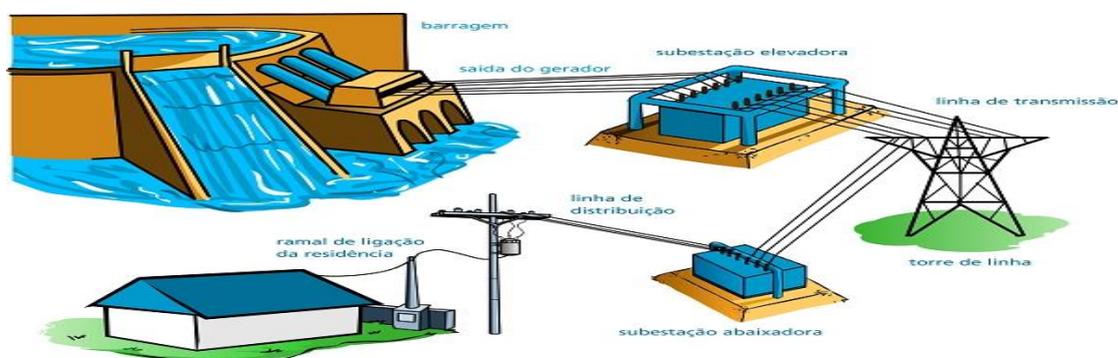
CAPÍTULO VII: considerações finais, neste ponto são apresentadas as conclusões tiradas, recomendações.

Anexos, são apresentados peças desenhadas, , assim como algumas especificações técnicas dos materiais e sua montagem

CAPÍTULO II. REVISÃO LITERÁRIA

2.1. Estrutura de um sistema eléctrico de potência

Sistemas eléctricos de potência (SEP) são grandes sistemas de **energia** que englobam a geração, transmissão e distribuição de **energia eléctrica**. A geração de energia eléctrica faz-se em Centrais localizadas em função de suas características próprias. Centrais hídricas, que usam a força das águas dos rios e lagos através de represas, são localizadas nos pontos dos rios e lagos considerados mais eficientes para o armazenamento do volume de água ideal. Centrais a Gás localizam-se junto aos gasodutos ou conduta de transporte (Central de Temane e de Ressano Garcia) Centrais térmicas podem ser localizadas em pontos mais convenientes para a transmissão e controle. Geradores eólicos são localizados em pontos com maior volume de ventos. [1].



Figuras 1: Estrutura básica de um sistema de Potência

O objectivo de um SEP é gerar, transmitir e distribuir energia eléctrica atendendo a determinados padrões de fiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e custos, com o mínimo impacto ambiental e o máximo de segurança pessoal. [1].

2.1.1. Geração de energia eléctrica

Geração de energia eléctrica uma tensão alternada é produzida, a qual é expressa por uma onda sinusoidal, com frequência fixa e amplitude que varia conforme a modalidade do atendimento em baixa, média ou alta tensão. Essa onda sinusoidal propaga-se pelo sistema eléctrico mantendo a frequência constante e modificando a amplitude à medida que trafega por transformadores. Os consumidores ligam-se ao sistema eléctrico e recebem o produto e o serviço de energia eléctrica. [1].

2.1.2. Linha de transporte de alta tensão

Transmissão de energia eléctrica é o processo de transportar **energia** entre dois pontos. O transporte é realizado por **linhas de transmissão** de alta **potência**, a rede de transmissão de energia é dividida em duas faixas: a transmissão propriamente dita, para potências mais elevadas e ligando grandes centros, e a distribuição, usada dentro de centros urbanos. Em geral apenas poucos consumidores com um alto consumo de energia eléctrica são conectados às redes de transporte onde predomina a estrutura de linhas aéreas. Cada linha de transmissão possui um nível de tensão nominal, onde encontramos valores até de 750 **kV**, sendo que para o caso de Moçambique o nível máximo operado pela EDM é de 400 kV (Linha da MOTRACO). As linhas de distribuição são usualmente na faixa de 66, 33, 22 e 11 kV para consumidores industriais e 0,4 kV para consumidores domésticos. Para a conversão entre níveis de tensão, são usados como equipamento fundamental o **transformador de potência**. Os transformadores de grande porte (para grandes elevações ou diminuições na tensão do sistema) encontram-se normalmente nas **subestações** [1].

2.1.3. Linhas de transmissão subterrâneas

Uma solução para os grandes centros urbanos é o uso de linhas subterrâneas. A principal dificuldade é na isolação e blindagem dos condutores, de forma a acomodarem-se nos espaços reduzidos, ao contrário das linhas aéreas que utilizam cabos nus, utilizando-se do ar como isolante natural. O uso de condutores isolados também dificulta a dissipação de calor, reduzindo consideravelmente a capacidade da linha. [1].

2.1.4. Linhas de transmissão submarinas

A travessia de rios e canais por linhas aéreas demanda um projecto especial, por quase sempre que haver a necessidade de transpor um vai muito grande. Neste caso, a catenária formada pelos cabos será imensa, necessitando o uso de cabos com liga especial e torres gigantescas. O uso de linhas submarinas evita o uso destas estruturas, reduzindo a poluição visual e evitando problemas em locais com travessias de navios. A linha submarina tem a limitação de possuir uma grande capacitância, reduzindo o seu alcance prático para aplicações em corrente alternada, facto no qual é preferível o uso de linhas em corrente contínua. [1].

2.1.5. Linhas aéreas de alta tensão

As linhas aéreas são as mais predominantes, pelo facto de a sua implementação ser relativamente fáceis comparativamente as subterrâneas e submarinas. Visto que usam como meio isolante o ar e geralmente utilizam-se condutores nus para tensões nominais de transporte,

porém para linhas de distribuição em cidades e zonas inter-urbanas recomenda-se o uso de condutores isolados. [1]

2.2. Elementos constituintes das linhas

2.2.1. Condutores

São o conjunto de cabos através dos quais a corrente eléctrica circula para o transporte de energia eléctrica, dependendo do tipo de linha, estes podem ser nus ou com revestimento para o caso de linhas subterrâneas e submarinas, as características necessárias para condutores de linhas de transmissão [2].:

- Alta condutibilidade eléctrica.

A resistência eléctrica de um condutor depende

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1.1)$$

- Natureza e pureza do material condutor, que determina a sua resistividade ρ [$\Omega.m$].
- Comprimento, o encordoamento aumenta em cerca de 1 a 2% o comprimento dos condutores com um aumento de resistência da mesma ordem.
- Secção transversal útil
- Temperatura
- Frequência

– Baixo custo.

– Boa resistência mecânica.

– Baixo peso específico.

– Alta resistência à oxidação e corrosão

Os materiais condutores mais empregados para as linhas de transmissão são:

- **Cobre** – depois do ferro, o cobre é o metal de maior uso na indústria eléctrica.
- **Alumínio** – possui propriedades mecânicas e eléctricas que o tornam de fundamental importância em certas aplicações da engenharia

2.2.1.1. Secção dos Condutores

No que diz respeito a escolha da secção dos condutores a adoptar, são vários os critérios a considerar. E, no entanto, de referir que em última análise a escolha da secção esta limitada as secções normalizadas existentes. Assim, analisados os critérios e efectuados os cálculos que

conduzem a um valor de secção transversal, deve ser escolhida a secção normalizada imediatamente superior. A escolha do tipo de condutores e a secção a utilizar esta a cargo do Planeamento da Gestão da Rede [3].

Os critérios a considerar são os seguintes [2]:

- Intensidade de corrente admissível em regime permanente;
- Queda de tensão;
- Aquecimento;
- Características mecânicas dos condutores;
- Intensidade de curto-circuito admissível;
- Efeito Coroa;
- Aparelhagem de protecção;
- Perdas de energia;
- Preço.

2.2.2. Cabo de Guarda

A função principal dos cabos de guarda nas linhas aéreas de transmissão, e a de interceptar as descargas atmosféricas e evitar que atinjam os condutores, reduzindo assim as possibilidades de ocorrerem interrupções no fornecimento de energia. Além disso, contribuem na redução da indução (da ordem dos 15% a 25%) em circuitos de ligação a terra dos apoios e podem ainda incluir circuitos de comunicação (voz, dados) com fibras ópticas. Os cabos de guarda são executados com cabos de aço zincado ou inoxidável, ou de qualquer dos materiais admitidos para os condutores. A sua secção é estabelecida para que a sua temperatura não ultrapasse 170°C quando atravessada, durante 0,5 s por uma corrente igual a 75% da corrente de defeito fase-terra. Segundo a cláusula 5.2.2/PT.3 da EN50341-3-17 a temperatura final máxima admissível no curto-circuito para cabos de guarda em alumínio-aco e de 200°C e para cabos em aço e de 400°C, sendo que nos cálculos de aquecimento sofrido pelos cabos será considerada uma temperatura inicial de 30°C. [02]

Os cabos de guarda são, geralmente, estabelecidos na parte mais alta dos apoios e ligados a terra através desses apoios, de acordo com as seguintes recomendações [11]:

- Havendo um so cabo de guarda, e estabelecido por forma a que os pontos de fixacao de todos os condutores fiquem dentro de um angulo de 20°C com vertice no ponto de fixacao do cabo de guarda e a bissectriz vertical com mostra a figura 2.1 (clausula 5.3.3.5/PT1 da EN50341-3-17);
- Havendo dois cabos de guarda, sao estabelecidos por forma a que cada um dos condutores fique relativamente a algum dos cabos de guarda, nas condicoes do ponto anterior.

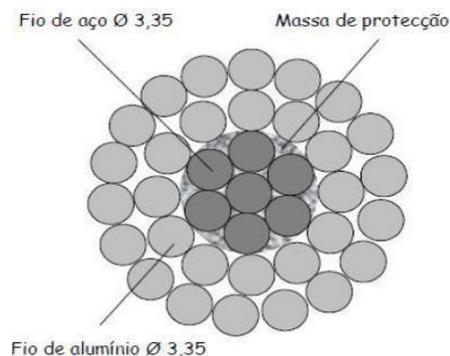
A geometria adoptada dos cabos de guarda deve assegurar que os contornamentos resultantes de descargas atmosféricas directas sobre os condutores de fase e reduzida a um por 100 km de linha e por ano.

2.2.2.2 Características de cabo de guarda

2.2.2.2.1. Características de cabo de guarda convencional ACSR

Os cabos de guarda convencionais ACSR (*Aluminium Cable Steel Reinforced*) são formados por cordoalhas de 7 fios de aço zincado (seis fios encordoados juntos, concentricamente, em torno de um fio central), com zincagem dupla, resistências mecânicas HS (*High Strength Steel*) ou EHS (*Extra-High Strength Steel*) [10].

Seu material é economicamente viável para protecção de linhas de transmissão e a maioria das linhas de transmissão de alta tensão é configurada com cabos EHS. Os cabos pára-raios convencionais são seccionados e aterrados em determinadas torres, evitando *loops* dentro dos circuitos de transmissão. Estes *loops* provocam correntes induzidas nos cabos pára-raios devido às altas tensões das linhas do sistema, e assim, provocam altas perdas por efeito Joule, em forma de calor. Os cabos OPGW devem possuir 12 á 48 fibras do tipo monomodo, com as características especificadas [10].



Figuras 2: Secção transversal do cabo ACSR) [3].

2.2.2.2.2. Características de Cabo de guarda com fibra óptica

Os cabos OPGW (*Optical Ground Wire*) são formados pelo revestimento de fibras ópticas através de fios metálicos trançados e que, além das mesmas funcionalidades dos cabos para-raios convencionais, possui a essência de transportar informações [10].

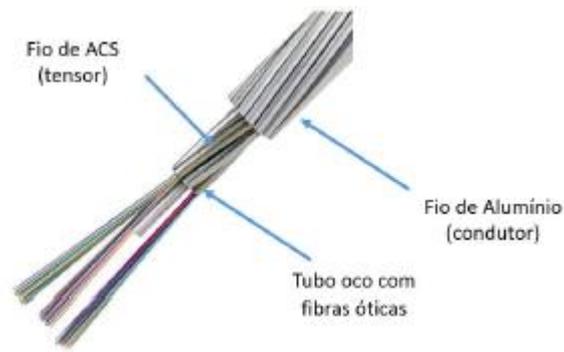
As fibras ópticas são constituídas de fios de vidro de altíssima pureza e transparência, ao qual, em seu interior, trafegam ondas luminosas para transmissão de dados. São utilizados conversores eléctrico-ópticos e ópticos-eléctricos para realizar a leitura dos dados transmitidos pelas fibras ópticas. A capacidade de transmissão por meio de ondas electromagnéticas é proporcional à largura de faixa de frequência da onda, a fibra óptica possibilita taxas de transmissão teóricas da ordem de 10 mil vezes superiores às microondas [10].

2.2.2.2.1. Fios de liga de alumínio-magnésio-silício (AA)

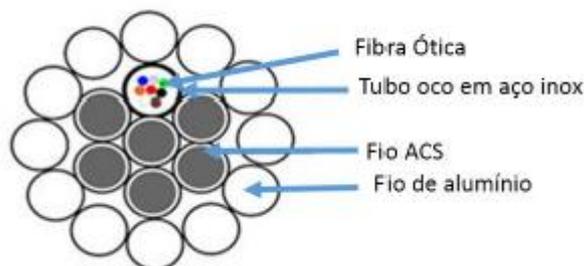
Os fios de liga de alumínio-magnésio-silício, também designados apenas por fios de alumínio ou simplesmente AA, devem possuir uma composição apropriada às propriedades mecânicas e eléctricas do tipo A e estar de acordo com as características especificados na norma IEC 60104. [11].

2.2.2.2.2. Fios de aço revestidos de alumínio (ACS)

Os fios de aço revestidos de alumínio também designados apenas por fios de aço ou ACS devem ser da classe 20SA, do tipo A. O metal base dos fios de aço revestidos de alumínio deve ser um aço e o seu revestimento deve estar de acordo com as características especificadas na norma IEC 61232. [11].



Figuras 3: Cabo OPGW. [03].



Figuras 4: Cabo OPGW – constituição. [11].

O cabo OPGW (mostrados na figura 3 e 4) substitui o cabo pára-raios convencionais, com o benefício de possuir duas funções, a de cabo de guarda e a de transmissor de informações. Os requisitos mecânicos e eléctricos para OPGW são muito semelhantes aos requisitos dos pára-raios convencionais, ou seja, possuem condutividade suficiente para levar correntes eléctricas e força para resistir aos esforços mecânicos. [02].

Nas ligações as subestações, é necessário dotar a linha de um circuito de telecomunicações por fibra óptica. Nestes casos as linhas AT devem ser equipadas com cabo de guarda incorporando fibras ópticas (OPGW) em toda a sua extensão. Uma vez que cabo de guarda com fibra óptica (OPGW) permite que este desempenhe funções de telemedida e de telecontrolo.

2.2.3. Modelo electrogeométrico

Para reduzir os efeitos de uma descarga atmosférica sobre uma linha AT, são instalados por cima dos condutores de fase um ou dois cabos de guarda. Estes cabos encontram-se ligados directamente a terra em cada apoio e têm como função interceptar as descargas e conduzir as correntes de descarga para a terra por intermédio dos apoios. O seu posicionamento em relação aos condutores de fase é optimizado utilizando o modelo electrogeométrico [02].

Quando uma descarga atmosférica se aproxima de uma linha ou da terra, existe uma distância (d) denominada distância vencida pelo salto, na qual a descarga pode incidir na linha, ou na terra. Esta distância é em função da carga do traçador e da amplitude da corrente da descarga. Para determinar esta distância estabeleceu-se uma expressão analítica entre a distância do traçador ao objecto no solo para o qual se pode desenvolver uma descarga ascendente. Admitindo uma ligação do objecto à terra de boa qualidade, a distância vencida pelo salto d , é dada pela seguinte equação [02]

$$d = 6,7 \times I^{0,8} \quad (m) \quad (1.2)$$

Onde:

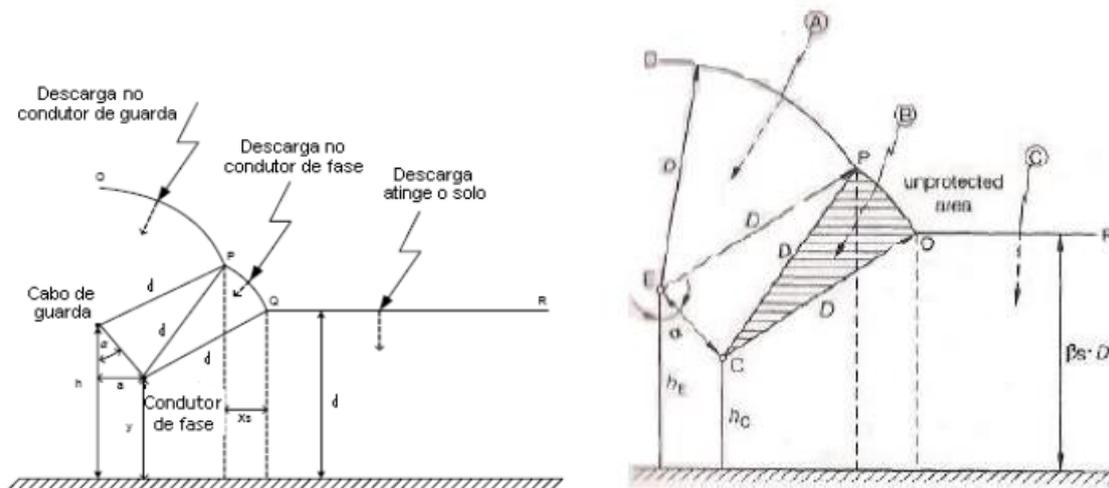
d - Distância vencida pelo salto [m];

I - Intensidade de corrente de descarga [kA].

O **Modelo Eletrogeométrico** permite determinar de forma aproximada, a máxima corrente que provoca uma falha da blindagem. O método consiste em determinar mediante uma análise geométrica, a distância vencida pelo salto que pode provocar uma falha de blindagem, tendo em conta a disposição geométrica dos condutores.

Podemos então afirmar que uma blindagem eficaz requer um posicionamento estratégico do cabo de guarda, de modo a que a descarga atmosférica atinja directamente o cabo de guarda ou o solo, e nunca um condutor de fase. A fim de provar a eficiência do cabo de guarda, desenhou-se à sua volta e à volta dos condutores de fase, um círculo de diâmetro D , obtido a partir da equação 5 . Além disso, é desenhada uma linha reta paralela a uma distância $\beta S \times D$ da superfície do solo, como se pode ver a partir das Figuras 5. A posição mais favorável dos cabos

de guarda é obtida quando os círculos à volta dos condutores de fase e dos cabos de guarda se encontram no mesmo ponto na linha recta paralela à superfície do solo (Figura 5)



Figuras 5: Modelo Electrogeométrico[02]

O modelo electrogeométrico permite determinar de forma aproximada, a máxima corrente que provoca uma falha da blindagem, se a distância vencida pelo salto não for conhecida, determina-se a corrente máxima através da equação através da equação:

$$d = \frac{h + y}{2 \times (1 - \sin \alpha_b)} \quad (m) \quad (1.3)$$

$$d = \frac{h + y}{2 \times (1 - \sin \alpha_b)} = \frac{35 + 21,4}{2 \times (1 - \sin 20)} = 42,86m$$

Onde:

h, y – Alturas do cabo de guarda e do condutor de fase, respectivamente [m].

$h=30m$

$y=21,4m$

calcula-se a intensidade de descargas que será:

$$I = \sqrt[0,8]{\frac{d}{6,7}} = \sqrt[0,8]{\frac{42,86}{6,7}} = 10,17kA$$

O valor da intensidade de descarga calculada na linha CL4 será de 10,17kA

CAPITULO III. DIMENSIONAMENTO DE CABO DE GUARDA

3.1 Características da Linha Aérea

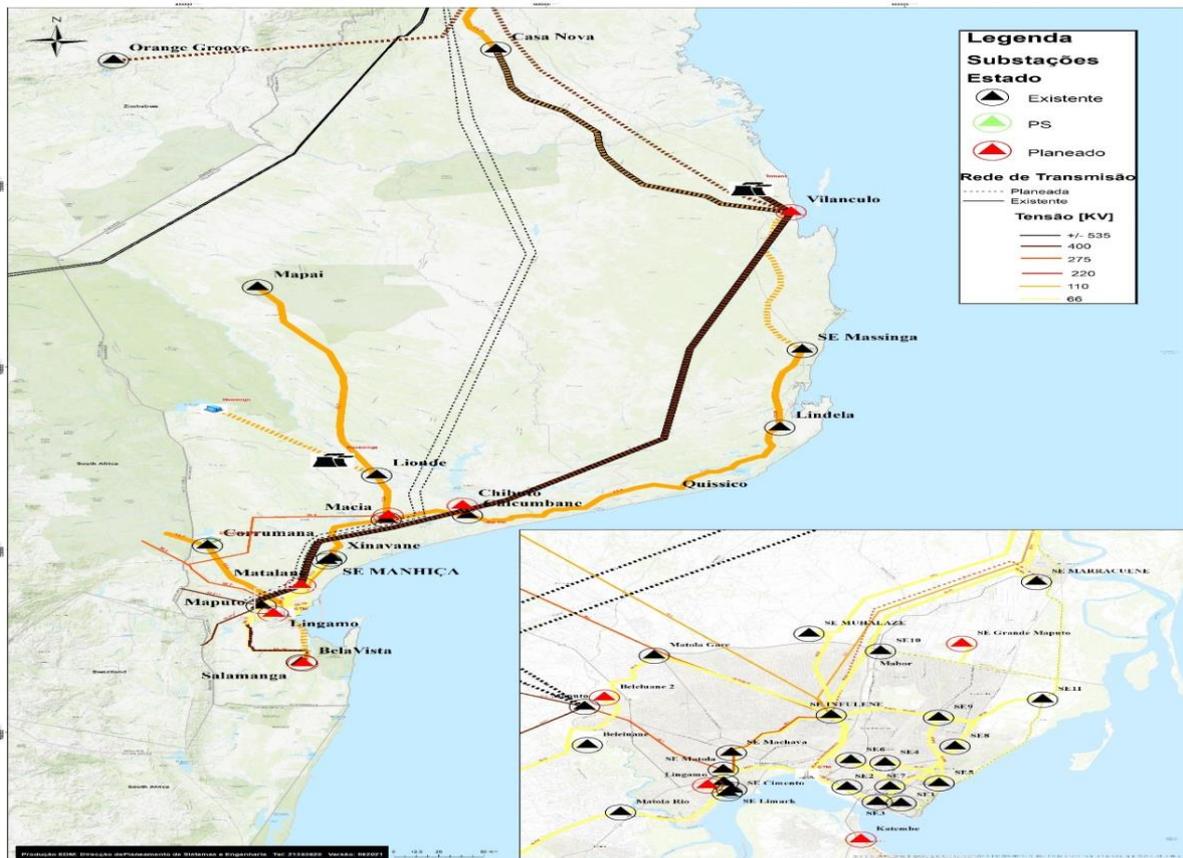
A rede em estudo (INFULENE CORRUMANA), possui dentre várias as seguintes características, de acordo com a tabela abaixo:

Barramento Inicial	Infulene
Barramento Final	Corrumana
Comprimento da linha (Km)	92
Tipo de Conductor	Dove
Código	CL4
Nível de tensão (Kv)	110
Capacidade da Linha (MVA)	99

A linha em estudo foi concebida sem cabo de guarda, daí que, nos últimos tempos a linha tem ocorrido maior incidência de descargas atmosféricas. Esses riscos serão abordados nos capítulos subsequentes. A figura abaixo mostra o quão a linha se encontra vulnerável a descargas atmosféricas, o que poderiam causar uma instabilidade ao sistema eléctrico.



Figuras 6: tipos de apoio usados na CL4[Autor].



Figuras 7: Mapa da Rede Sul 110kV

3.2. Características do Cabo de Guarda

Uma vez que se trata de uma linha simples, esta será constituída em toda a sua extensão por dois cabo de guarda, da gama OPGW AS/AA32/113, uma vez que a linha será percorrida por uma rede de fibra óptica. Na Tabela 1 encontram-se discriminadas as principais características do condutor e cabo de guarda

Tipo de cabo	OPGW AS/AA/ST 32/113	Unidade
Secção de aço	32.17	(mm ²)
Secção alumínio	112.59	(mm ²)
Secção total	144.76	(mm ²)
Peso total do cabo	0.55	(kg/m)
composição	6x3.2+12x3.2	(nºfiosxmm)
Diâmetro nominal do cabo	16	(mm)
carga de rutura - RTS	7320	(kg)
Coeficiente de dilatação linear	18.7	(1/°C 10-6)
Módulo de elasticidade	7920	(N/ mm ²)
Resistência óhmica, 20°C	0.269	(Ω/km)

Tabela 1: Caraterísticas físicas, elétricas e mecânicasdo Cabo de guarda OPGW AS/AA/32/113

3.2.1. Cálculo Mecânico

O cálculo mecânico é uma etapa imprescindível num projecto de linha aérea, pois garante todas as condições de segurança e estabilidade da mesma.

Uma linha aérea está sujeita a diferentes condições atmosféricas, principalmente causadas pelas variações do vento e da temperatura existentes. De modo a avaliar o impacto destas condicionantes, deve-se recorrer a um conjunto de ferramentas matemáticas, que permitem assegurar que todos os esforços mecânicos são suportados, nos diversos estados atmosféricos verificados [08].

Os objectivos essenciais associados ao cálculo mecânico são os seguintes:

- ✚ Determinar a tensão de montagem a aplicar ao cabo de guarda de acordo com as condições atmosféricas que se verificam no momento da sua colocação de forma a assegurar que a ruptura dos condutores não se verifique independentemente das condições atmosféricas que vierem a verificar-se;
- ✚ Dimensionar os apoios (verificar a estabilidade dos apoios ou postes) através da determinação da resistência mecânica com base nas hipóteses de cálculo;
- ✚ O afastamento entre os condutores de forma a serem compridas as distâncias regulares segundo o RSLEAT.

3.2.1.1 Tensões Mecânicas Máximas

É necessário, numa primeira fase, calcular o valor teórico das tensões mecânicas para os condutores e cabo de guarda para, desta forma, ser possível identificar o limite de tensão a que estes conseguem estar sujeitos sem que sejam danificados, evitando-se riscos de rotura.

É necessário, numa primeira fase, calcular o valor teórico das tensões mecânicas para os condutores e cabo de guarda para, desta forma, ser possível identificar o limite de tensão a que estes conseguem estar sujeitos sem que sejam danificados, evitando-se riscos de rotura. $t_{serv} \leq t_{max}$ [daN/mm²] as tensões mecânicas de serviço assumem valores na gama de [02].:

Tensões máximas de serviço (daN/mm ²)
1
9
11
12

Tabela 2: Tensões máximas de serviço [4]

Tensão máxima de tração de cabo de guarda OPGW

$$t_{max} = \frac{7320}{2.5 * 144,76} = 20,23 \text{ [daN/mm}^2\text{]} \rightarrow 12 \leq 20,23 \quad (1.3)$$

Assim sendo, a condição $t_{serv} \leq t_{max}$, se verifica que $12 \leq 20,23$ para OPGW, daí que é aplicável essa condição.

3.3. Força do vento

No cálculo das linhas aéreas, o vento deverá considerar-se, que actua numa direcção horizontal e a força proveniente da sua acção considerar-se-á paralela àquela direcção e deverá ser calculada através da seguinte expressão [04]:

$$F_v = \alpha \cdot c \cdot q \cdot d \text{ [daN]} \quad (1.4)$$

Onde:

F_v - força proveniente da acção do vento [daN];

α - Coeficiente de redução;

c - Coeficiente de forma;

q - Pressão Dinâmica do Vento [Pa];

d - Diâmetro do condutor [m];

Para o cálculo da acção do vento nos condutores, tem que ser determinado os estados mais desfavoráveis, isto é, a força do vento com vento máximo habitual (estado de verão) e com vento reduzido (estado de inverno). Os valores a serem considerados para a pressão dinâmica do vento (q), são escolhidos em função da altura ao solo a que se encontram as linhas sobre as quais se pretende calcular.

Para zonas costeiras, numa faixa de 5 km, e para zonas situadas a uma altitude superior a 600 m, recomenda-se que seja acrescido 20% ao valor da pressão dinâmica do vento [04].

Altura acima do solo (m)	Pressão dinâmica do vento q (Pa)	
	Vento máximo habitual	Vento reduzido
Até 30	900	360
De 30 a 50	1080	432
Acima de 50	1260	504

Tabela 3: Valores da pressão dinâmica do vento, em função da altura acima do solo [04]

No caso dos cabos utilizados na rede de transporte devem ser considerados os coeficientes de redução mostrados na tabela 4.

Elemento	Coefficiente de redução (α)
Condutores e cabos de guarda	0,6
Apoios, travessas e isoladores	1

Tabela 4: Valores de coeficiente de redução [04]

O coeficiente de forma (c) pretende traduzir a rugosidade do elemento vencido pelo vento. Apesar de os condutores serem de forma cilíndrica, estes possuem alguma rugosidade que será mais notória quanto maior for o seu diâmetro [04].

	Diâmetro (mm)	Coefficiente de forma
Condutores nus e cabos de guarda	Até 12,5	1,2
”	Acima de 12,5 e até 15,8	1,1
“	Acima de 15,8	1,0
Cabos isolados em feixe	-	1,3
Cabos suportados e cabos tipo 8	-	1,8
Isoladores	-	1,0

Tabela 5: Valores do coeficiente de forma [04]

Força do vento

Força do vento na hipótese do estação quente (Vento máximo habitual)

$$F_v = 0,6 * 1 * 1080 * 0,016 = 10,368 \text{ daN}$$

Força do vento na hipótese do estação inverno (Vento reduzido)

$$F_{inv} = 0,6 * 1 * 432 * 0,016 = 4,1472 \text{ daN}$$

3.3.1. Coeficiente de Sobrecarga

De modo a determinar qual o estado atmosférico mais desfavorável é necessário calcular o coeficiente de sobrecarga, associado a cada um dos estados atmosféricos. Este coeficiente pretende reflectir as solicitações mecânicas nos condutores e cabo de guarda, provocadas pela influência do vento e temperatura.

Após calcular os valores da força do vento para os estados de verão e Inverno, é possível efectuar o cálculo dos coeficientes de sobrecarga, que confere ao peso próprio do condutor um agravamento devido às acções do vento [09].

$$m = \frac{FR}{W} \tag{1.5}$$

onde:

- F_R -força resultante [daN]
- w -peso do condutor [daN]

❖ **Cabo OPGW**

$$m_v = \frac{10,368}{0,55} = 18,851$$

$$m_{inv} = \frac{4,1472}{0,55} = 7,540$$

Consequentemente, determina-se o vão crítico, que é o vão para o qual os condutores ficam sujeitos à tensão máxima em todos os estados [5].

$$L_{cr} = \frac{\sigma * tmax}{\omega} \sqrt{\frac{24 * \alpha_t * (\theta_1 - \theta_2)}{m_v^2 + m_{inv}^2}} \quad (1.6)$$

Onde:

σ é a secção do condutor em mm^2

$tmax$ é a tensão máxima de serviço do condutor em daN/ mm^2

ω é o peso específico linear do condutor em daN/m

α_t é o coeficiente de dilatação linear do condutor em $^{\circ}C^{-1}$,

θ_1 e θ_2 são as temperaturas, respectivamente do estado de verão e inverno

m e m_2 os coeficientes de sobrecarga no estado de verão e inverno

❖ **Cabo de OPGW**

$$L_{cr} = \frac{144,76 * 20,23}{0,55} \sqrt{\frac{24 * 18,7 * 10^{-6} * (75 - 10)}{18,851^2 - 7,540^2}} = 52,636m$$

3.4 Equação dos estados

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 para qualquer que seja a condição meteorológica, a tensão máxima dos condutores não é ultrapassada [09].

A equação dos estados corresponde à seguinte equação [5]:

$$\theta_i + \frac{t_{max}}{\alpha d * E} - \frac{m_i^2 * \omega^2 * l^2}{24 * \alpha d * \sigma^2 * t_{max}^2} = \theta_k + \frac{t_{mk}}{\alpha d * E} - \frac{m_k^2 * \omega^2 * l^2}{24 * \alpha d * \sigma^2 * t_{mk}^2} \quad (1.7)$$

θ_i e θ_k – Temperatura [°C];

t_{θ_i} e t_{θ_k} – Tensão mecânica do condutor às temperaturas θ_i e θ_k [daN/mm²];

αd – Coeficiente de dilatação linear [°C⁻¹];

E – Módulo de Young [daN/mm²];

α – Secção do condutor [mm²];

ω – Peso do condutor [daN/m];

m_k – Coeficiente de sobrecarga do estado mais desfavorável.

Para o estado de flecha máxima, onde se considera a ausência de gelo e vento, o coeficiente de sobrecarga $m_k=1$. E o valor da temperatura θ_k deve ser escolhido consoante o nível de tensão, conforme apresentado na tabela 6.

A tensão de montagem de cabo OPGW

$$75 + \frac{t_{max}}{18,7 * 10^{-6} * 7920} - \frac{1^2 * 20,23^2 * 233,15^2}{24 * 18,3 * 10^{-6} * 144,76^2 * t_{max}^2} =$$

$$t_{max} = 2,56 \text{ daN/mm}^2$$

3.5 Flechas de cabo de guarda

A flecha de cabo de guarda entre dois apoios depende, fundamentalmente, da velocidade do vento, tensão máxima de serviço e temperatura. A flecha máxima dos condutores e cabo de guarda deverá ser determinada para temperaturas em regime permanente nas seguintes condições [5].

Classe da linha	Nível de tensão	Temperatura
2ª	1 < Un < 33 kV	+50°C
3ª	33 ≤ Un < 110 kV	+65°C
3ª	Un ≥ 110 kV	+75°C

Tabela 6: Temperatura a considerar para o estado de verão [4]

O cálculo das flechas de cabo de guarda é dado através da expressão [06].

$$f_{max} = \frac{mk * \omega * L^2}{8 * \sigma * tmk} \quad [m] \quad (1.8)$$

Onde:

- m – Coeficiente de sobrecarga (unitário pois na regulação dos condutores pressupõe-se que não há vento);
- L – Comprimento do vão [m];
- σ – Secção do condutor [mm²];
- ω – Peso próprio do condutor [daN/m];
- $t\theta i$ – Tensão de montagem do condutor à temperatura θi [daN/mm²].

Cálculo da flecha máxima tendo em conta o vão 1 á 2 que será L=350m

A flecha máxima de cabo OPGW

$$f_{max} = \frac{1 * 0,55 * 350^2}{8 * 144,76 * 2,56} = 22,73 \text{ m}$$

A flecha máxima em todos apoios será de 22,73 m, a partir da subestação de Infulene á subestação de Currumane.

3.6. Distâncias Mínimas Regulamentares

3.6.1. Distância dos condutores ao solo

No artigo 27º do RSLEAT é indicada a distância mínima regulamentar entre os condutores das linhas aéreas e o solo, nas condições de flecha máxima dos condutores, desviados ou não pelo vento a uma distância D. [5].

Entre os cabos isolados das linhas, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, e o solo deverá manter-se uma distância não inferior a 6m e em locais de difícil acesso o valor será de 1m.

No caso das linhas aéreas de alta tensão, a 110 kV, a distância mínima D permitida entre os condutores e o solo é obtida pela expressão seguinte [04]:

$$D = 6,0 + 0,005 * U[\text{m}]; \quad (2.0)$$

Onde:

U- tensão nominal da linha [kV]

$$D = 6,0 + 0,005 * 110\text{kV} = 6,55[\text{m}]$$

3.6.2. Distância entre condutores

No artigo 31º do RSLEAT é indicada a distância mínima regulamentar entre os condutores das linhas aéreas atendendo às oscilações provocadas pelo vento.

Para as linhas de alta tensão, a 110 kV, a distância mínima entre condutores é dada pela expressão seguinte [04]:

$$D = k * \sqrt{f + d} + \frac{U}{150} [\text{m}]; \quad (2.1)$$

Onde:

k – 0,6 para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço; 0,7 para condutores de alumínio e ligas de alumínio;

f – Flecha máxima dos condutores [m];

d – Comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha [m]

$$D = 0,7 * \sqrt{f + d} + \frac{U}{150} [\text{m}]$$

$$D = 0,7 * \sqrt{2,11 + 0} + \frac{110}{150} = 1,75[\text{m}]$$

Segundo o RSLEAT a distancia entre condutores montados na CL4 não devem ser inferior a 1,75[m]

3.6.3. Distância entre os Condutores e o Cabo de Guarda

O artigo 32º do RSLEAT indica que a distância mínima regulamentar entre os condutores e os cabos de guarda não deve ser inferior à distância mínima regulamentar entre condutores, que será de 1,75m. Dai que a distancia de cabo de guarda é a mesma que os condutores de fase.

3.7. Estabilidade dos Apoios

A linha em estudo foi concebida sem cabo de guarda. Dai que, os apoios não foram dimensionados tendo em conta os esforços exercidos pelo cabo de guarda. Para se proceder ao dimensionamento de um apoio é necessário ter em consideração as forças que irão ser exercidas sobre ele, uma vez que, se um dimensionamento não for bem realizado, há a possibilidade de os apoios não resistirem aos esforços que neles irão incidir, como por exemplo os esforços provocados pela acção do vento, as tensões dos condutores, o próprio peso destes e cadeias de isoladores. A figura 6 mostra o apoio concebido sem cabo de guarda.

No cálculo absoluto dos esforços de cada apoio intervêm vários factores, tais como:

- ❖ A sobrecarga do vento e peso dos componentes (condutores, apoio, isoladores, travessas);
- ❖ Forças de tração dos condutores;
- ❖ Forças de tração máxima exercidas em caso de rotura.

3.7.1. Apoios de Alinhamento e de Reforço em Alinhamento

Segundo o RSLEAT, os apoios de alinhamento e de reforço em alinhamento devem de ser dimensionados para as seguintes hipóteses de cálculo, consideradas não simultaneamente:

- ❖ Ações Normais:

Hipótese 1, para ambos os apoios:

- a) A sobrecarga do vento atuando, normalmente à direção da linha, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios
- b) vãos adjacentes ao apoio;
- c) Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações dos
- d) condutores e cabos de guarda;
- e) Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos
- f) condutores e dos cabos de guarda.

Traduzindo-se para expressões matemáticas, obtemos [04]:

Eixo Longitudinal (eixo x):

Tração do cabo sobre a linha:

$$Tcd/cgx = \sigma * |t_{serv\ esq} - t_{serv\ dir}| * \cos(\alpha/2) [daN] \quad (2.2)$$

Onde:

- σ – Secção do condutor [mm²];
- $t_{servesq}$ – Tensão mecânica máxima de serviço à esquerda do apoio [daN/mm²];
- $t_{servdir}$ – Tensão mecânica máxima de serviço à direita do apoio [daN/mm²].

Resultante:

$$Fx = n * Tcdx + Tcgx[daN] \quad (2.3)$$

Onde:

- n – Número de condutores;
- $Tcdx$ – Tração do condutor sobre a linha [daN];
- $Tcgx$ – Tração do cabo de guarda sobre a linha [daN].

Esforço Longitudinais (Eixo X)

- Tração de um condutor à saída do pórtico: $328,5 * 0,5 * \cos(0) = 164,25$ [daN]
- Tração de um cabo de guarda à saída do pórtico: $144,76 * 1 * \cos(0) = 144,76$ [daN]
- Tração de um condutor na linha: $328,5 * 5 = 1642,5$ [daN]
- Tração de um cabo de guarda na linha: $144,76 * 9 = 1302,84$ [daN]

$$Fx = 3 * (1642,5 - 164,25) - 144,76 + 1302,84 = 5592,84 [daN]$$

Eixo Transversal (eixo y):

Tração do cabo sobre a linha

$$Tcd/cgy = (t_{serv\ esq} + t_{serv\ dir}) * \sigma * \sin(\alpha/2) [daN] \quad (2.4)$$

Onde:

- σ – Secção do condutor [mm²];
- $t_{servesq}$ – Tensão mecânica máxima de serviço à esquerda do apoio[daN/mm²];
- $t_{servdir}$ – Tensão mecânica máxima de serviço à direita do apoio [daN/mm²].

Vento sobre um cabo na linha:

$$F_{acd/cg} = c * q * d * \alpha * \frac{v_{ao1} + v_{ao2}}{2} * \sin \beta^2 [daN] \quad (2.5)$$

Onde:

- α – Coeficiente de redução ou fator aerodinâmico;
- c – Coeficiente de forma;
- q – Pressão Dinâmica do Vento [daPa];
- d – Diâmetro do condutor [m];
- $v_{ão1}$ – Vão à esquerda do apoio [m];
- $v_{ão2}$ – Vão à direita do apoio [m].

Resultante:

$$F_y = n * (F_{visol} + F_{vcd} + T_{cdy}) + T_{cgy} + F_{vcg} [daN] \quad (2.6)$$

Onde:

- n – Número de condutores;
- F_{visol} – Vento sobre a cadeia de isoladores [daN];
- F_{vcd} – Vento sobre o condutor [daN];
- T_{cdy} – Tração do condutor na linha [daN];
- T_{cgy} – Tração do cabo de guarda na linha [daN];
- F_{vcg} – Vento sobre o cabo de guarda [daN].

Esforços Transversais (Eixo Y):

- Vento sobre a cadeia de isoladores: 15 [daN]
 - Vento sobre um condutor à saída do pórtico: $0,6 * 1 * 108 * 0,02345 * 18,75/2 * \cos(0)^2 = 28,49 [daN]$
 - Vento sobre um cabo de guarda à saída do pórtico: $0,6 * 1 * 108 * 0,016 * 18,75/2 * \cos(0)^2 = 19,44 [daN]$
 - Vento sobre um condutor na linha: $0,6 * 1 * 108 * 0,02345 * 132,5/2 = 100,67 [daN]$
 - Vento sobre um cabo de guarda na linha: $0,6 * 1 * 108 * 0,016 * 132,5/2 = 68,69 [daN]$
 - Tração de um condutor à saída do pórtico: $328,5 * 0,5 * \sin(0) = 0 [daN]$
 - Tração de um cabo de guarda à saída do pórtico: $144,76 * 1 * \sin(0) = 0 [daN]$
- $$F_y = 3 * (15 + 15 + 28,49 + 19,44 + 0) + 100,67 + 0 + 68,69 = 403,15 [daN]$$

Eixo Vertical (eixo z):

Peso de um cabo:

$$P_{cd/cgx} = w * \frac{vão1 + vão2}{2} [daN] \quad (2.7)$$

Onde:

- W – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- vão1 – Vão à esquerda do apoio [m];
- vão2 – Vão à direita do apoio [m].

Resultante:

$$Fz = n * (Pcd + Pisol) + Pcg [daN] \quad (2.8)$$

Onde:

- n – Número de condutores;
- Pcd – Peso de um condutor [daN];
- Pisol – Peso da cadeia de isoladores [daN];
- Pcg – Peso do cabo de guarda [daN].

Esforços Verticais (Eixo Z):

- Peso da cadeia de isoladores: 30 [daN]
- Peso de um condutor: $P_{condutor} = 1,142 * \frac{350+350}{2} = 399,7 [daN]$
- Peso de um cabo de guarda: $P_{cabo\ de\ guarda} = 0,55 * \frac{350+350}{2} = 192,5 [daN]$

$$Fz = 3 * 399,7 + 3 * 30 + 192,5 = 1481,6 [daN]$$

Hipótese 2 (Ações Excepcionais):

$$Fx = 2 * 1302,84 + 1642,5 = 2768,18 [daN]$$

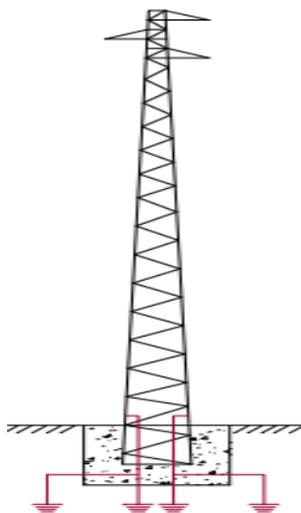
3.8 Ligação dos Cabos de Guarda

A ligação à terra dos sistemas eléctricos tem como objectivo garantir a segurança de pessoas, equipamentos e instalações, consistindo na criação de um ponto comum e de referência entre as partes electricamente condutoras e a terra.

Para prevenir ocorrências que não garantam a segurança dos elementos descritos, ter-se-ão de projectar ligações à terra eficazes e que assegurem, por um lado, que as pessoas que estejam nas proximidades de instalações eléctricas não sejam expostas a tensões de passo e de contacto

superiores aos máximos admissíveis face à temporização das protecções existentes e ao valor presumível de resistividade média do terreno onde se encontra a instalação, e por outro lado que escoem para a terra em circunstâncias normais correntes eléctricas, sem afectar os equipamentos ou a continuidade de serviço. [08].

Nas linhas aéreas AT, todos os elementos metálicos (normalmente fora de tensão) necessários ao suporte dos condutores e ao seccionamento e protecção das linhas, têm de ser ligados à terra. Tratando-se de apoios de betão armado, os suportes metálicos dos isoladores devem ser ligados a terra do próprio apoio. Devem ainda ser ligados a terra dos apoios, as estruturas metálicas dos aparelhos de corte ou de manobra. Esta ligação é assegurada interligando-se o terminal de terra existente na parte inferior do apoio com o eléctrodo de terra, através de cabo de cobre nu. Os postes metálicos devem ser ligados à terra, interligando-se os terminais de terra existentes em cada um dos montantes aos eléctrodos de terra, e interligando-os entre si. Em zonas públicas ou frequentadas, o valor da resistência de terra não deve exceder 20 Ohm [04]. É possível observar-se nas peças desenhadas 04, no anexo 2



Figuras 8: Ligação da rede de terra ao apoio[07].

Os cabos de guarda deverão ser ligados individualmente ao circuito de terra de cada um dos apoios através do terminal de terra aéreo existente nos apoios de betão, ou, à estrutura metálica de fixação destes cabos. A ligação à terra deverá ser efetuada através de fio de cobre ou do mesmo material do cabo de guarda, de secção pelo menos equivalente à deste.

A intensidade de corrente máxima que percorre os cabos de guarda, na ocorrência de um curto-circuito fase-terra, deverá ser tomada como 75% do valor da corrente de defeito fase-terra, assumindo-se que toda a corrente flui pela secção de alumínio nos cabos de guarda em alumínio-aço.

CAPITULO IV. IMPLANTAÇÃO DE APOIOS DE REFORÇO NAS TORRES EXISTENTES PARA O CABO DE GUARDA

Essa linha encontra-se sem cabo de guarda, daí que propõe-se a colocação de um reforço das torres existentes, ou seja, a colocação de um novo apoio que sustente o OPGW para além da possibilidade de reforçar outras partes constituintes da estrutura. De se realçar que, prevê-se que a realização destes trabalhos não implique necessariamente a interrupção da corrente eléctrica no que tange as fundações e erecção dos apoios, somente na parte superior como ilustra na peça desenha 01 do anexo 2.

Esta solução, apresenta vantagens na implementação mista, visto que é de fácil implementação o que permite o mínimo de interrupções ou trabalho em tensão e pressupõe [14]:

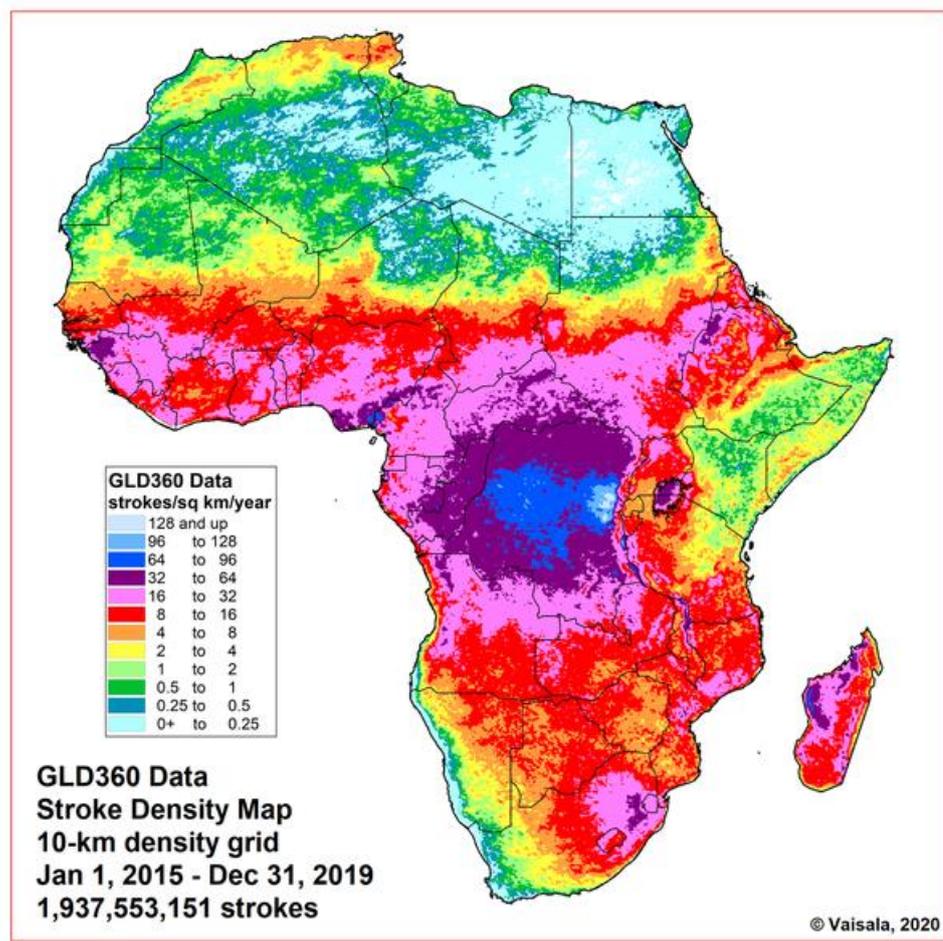
- Uma fundação para o apoio que não implica interrupção de energia para construção;
- Erecção da torre até ao K-Frame(torres mistas) que pode ser executado em tensão sem recurso a cuidados especiais no que tange ao isolamento;
- Relativamente a parte superior para além da opção colocada em desenho pode-se adoptar o reforço do tipo K Frame e Beam para transferência de esforços para o novo apoio.

No desenho 02 e 03 no anexo 2 é possível observar-se as vantagens da implementação das torres mistas. Daí que , propõe-se a empresa EDM, que se faça um reforço das torres existentes, ou seja, a colocação de um novo apoio que sustente o OPGW para além da possibilidade de reforçar outras partes constituintes da estrutura. De se realçar que, prevê- se que a realização destes trabalhos não implique necessariamente a interrupção da corrente eléctrica no que tange as fundações e erecção dos apoios, somente na parte superior, contudo esta solução tem o possível inconveniente de danificar as fundações existentes.

CAPITULO V. AVALIAÇÃO DE RISCO NA LINHA INFULENE Á CORRUMANE

5.1. Análise de Informação Estatística

O mapa de descargas por km² por ano, extraído da **ACLEnet** o qual é ilustrado a seguir.



Figuras 9: Mapa de Densidade de Descargas – África [06].

Pela análise, constata-se que a zona de maior de actividade é a zona sul de Maputo e parte da costa em direcção a província de Gaza.

A actividade intensa de raios mais a sul justifica-se, segundo Kindermann, devido a formação hidrogeológica – zonas rochosas ou com montanhas.

Portanto, pelo mapa, cruzado com o da rede de Transporte Sul indicado a seguir, pode-se deprender que esta actividade tem impactos significativos na linha: CL4

Da informação referente as estatísticas facultadas pela EDM, foi gerado o gráfico a seguir, onde se verifica que a linha mais afectada é a CL4.

5.2. Avaliação de riscos

É a etapa chave no processo de prevenção, na medida em que, ao permitir conhecer o risco, contribui com informação muito importante para o planeamento das intervenções preventivas adequadas [12].

Fases da Avaliação do Risco

A avaliação de risco pode compreender duas fases [12]:

- ❖ A análise do risco, que visa determinar a magnitude do risco;
- ❖ A valoração do risco, que visa avaliar o significado que o risco assume.

5.2.2. Análise do Risco

A análise de risco pretende uma decomposição detalhada do objecto seleccionado para alvo de avaliação (uma simples tarefa, um local, um equipamento, uma situação, uma organização ou sistema).

A concretização da análise de risco deve compreender 2 etapas [12] .:

1) Identificação do perigo e possíveis consequências

A figura 9 de mapa de descarga, facultada pela EDM, verificou-se que a linha mais afectada é CL4. A época chuvosa que vai de Outubro a Março houve maior número de eventos na linha CL4, e que pode ser observado no gráfico1 abaixo.

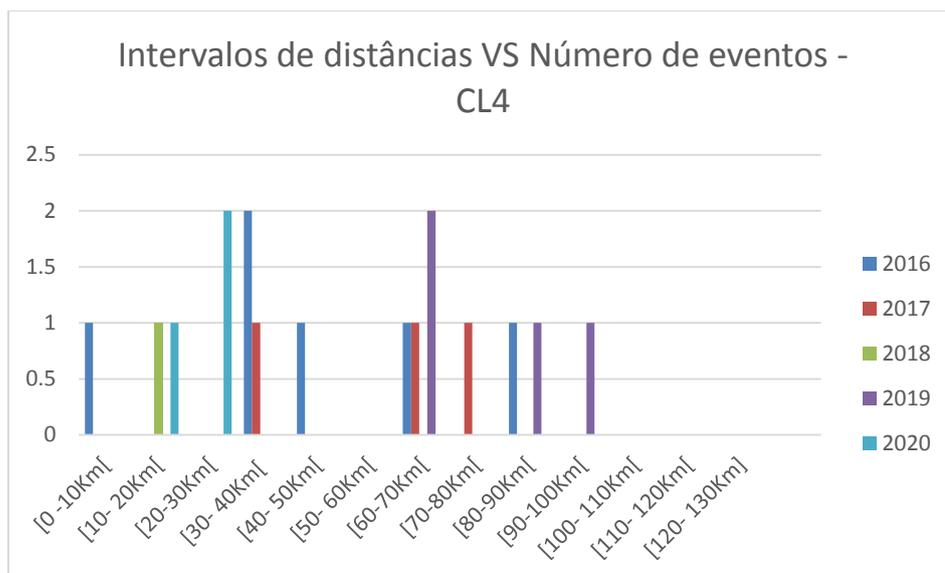


Gráfico 1: Intervalos de distâncias VS Número de eventos - Linha CL4

Esta linha de registos de interrupções associadas a descargas na zona intermédia (20 – 30km), e zona de fim de linha entre 60 e 100km. Pela localização está em zona propensa a descargas em toda extensão. Dai que se recomenda a colocação de cabo de guarda em toda a extensão.

A linha CL4 foi concebida sem cabo de guarda, o provoca uma instabilidade ao sistema eléctrico, interrompendo o fornecimento de energia. Quando essas ondas atingem uma torre e os condutores de fase a:

- Rotura de cadeias de isoladores que fica submetida a uma tensão muito elevada, que se eventualmente for superior àquela que a cadeia suporta;
- Rompimentos dos pontos de contactos;
- Danificação dos equipamentos de descargas atmosféricas
- Curto-circuito fase-terra.

2) **Estimativa do risco** (qualitativa ou quantitativa) dos riscos identificados, valorando a consequências da materialização do perigo – a **gravidade**.

De acordo com riscos , pode-se estimar a probabilidade, podendo ser classificada como probabilidade “5” (provavelmente ocorrerá) pode ocorrer várias vezes por ano. A classificação de impacto (gravidade) é Catastrófico[13]

5.3. Cálculo do risco de falha

O risco de falha é o número de anos durante os quais é esperado que não ocorra falha do sistema de proteção aérea. O seu cálculo é feito pelo seguinte método[11]:

$$GFD=0,12*Ni \quad (2.9)$$

$$GFD=0,12*3=0,36 \text{ [descargas/km}^2\text{/ano]}$$

Onde,

GFD é o número médio de descargas à terra por unidade de área e unidade tempo em determinado local [descargas/km²/ano]

Ni é o nível ceráunio (dias de trovoada numa determinada região por ano)

O número de descargas para uma determinada área A, calcula-se por:

$$N_s = \frac{GFD \times A}{1000} \quad (3.0)$$

$$N_s = \frac{0,36 \times 92}{1000} = 0,03312 \text{ [descargas/km}^2\text{/ano]}$$

Calcula-se corrente crítica de descarga é :

$$Ic = 0,041 * Sm^{1,54} \quad (3.1)$$

$$= 0,041 * 40^{1,54} = 12,02 \text{ kA}$$

Onde:

Sm é a distância de descarga [m], sendo que a $Sm=40m$

Esta corrente representa o valor a partir do qual a descarga é absorvida pela rede de terra se ocorrer na sua área de actuação. A probabilidade da corrente ser excedida é:

$$P(Ic) = \frac{1}{1 + \left(\frac{Ic}{31}\right)^{2,6}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{12,02}{31}\right)^{2,6}} = 0,92 \quad (3.2)$$

Sendo, evidentemente, a probabilidade de não ser excedida: $1 - P(Ic) = 0,08$.

Podemos chegar ao número de descargas por ano que provocam falhas na malha de terra aérea fazendo o produto do número de descargas para uma dada área pela probabilidade da corrente da descarga atmosférica ser inferior a corrente crítica:

$$\text{Descargas de falha} = Ns * (1 - P(Ic))$$

$$\begin{aligned} \text{Descargas de falha} &= Ns * (1 - P(Ic)) = 1,33 * (1 - 0,83) \\ &= 0,00226 \end{aligned} \quad (3.3)$$

5.4. Medidas de mitigação do risco

Para melhorar o fornecimento de energia eléctrica pela empresa EDM, recomenda-se a colocação de cabo de guarda OPGW em toda extensão a partir da subestação de Infulene á subestação de Currumane. Possibilitando o aumento da confiabilidade da linha, o que permitirá aumentar a potência. E ainda fazer-se reforço das torres existentes, ou seja, a colocação de um novo apoio que sustente o OPGW para possibilitar reforçar outras partes constituintes da estrutura e a colocação da rede de terra em todos os apoios como ilustra na peça desenha 02 do anexo 2.

.Com o objectivo de minimizar os efeitos das descargas atmosféricas em linhas aéreas de transmissão de energia, é usual a instalação de cabos de guarda. Este tipo de cabos encontram-se ligados à terra em todos os apoios da linha, criando assim um caminho para a passagem das elevadas correntes desencadeadas por este fenómeno.

CAPITULO VI. IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Impacto ambiental é o conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projecto, comparadas com o desenvolvimento que ocorreria nessa área se o projecto não avançasse [13].

O projecto da linha CL4 é uma linha aérea de alta tensão e tem de reger pelos diversos aspectos relacionados com os impactos ambientais, uma vez que, por um lado, está-se a lidar com energia eléctrica e, conseqüentemente, com campos electromagnéticos. Por outro lado, ao se estabelecer um traçado vai se alterar irreversivelmente a zona, tanto ao nível dos habitats naturais, como da fauna e flora.

Estes protocolos visam criar métodos para a compatibilização das redes eléctricas com a conservação do meio ambiente circundante, tendo já resultado em diversos processos de remodelação de linhas antigas por forma a minimizar os impactos ambientais [13].

Presença de torres e de linha eléctrica – a presença da linha eléctrica aérea introduzirá um risco de colisão para aves e morcegos, levando a um aumento de mortalidade destes animais, com impacto potencial na diversidade específica. [13].

A colisão de aves ocorre em todos os tipos de linhas aéreas (energia, comunicações, linhas férreas, etc.), incluindo torres aéreas de suspensão, porque as aves não vêem os cabos. O risco de colisão é mais alto com baixa visibilidade (como à noite ou com nevoeiro) ou com cabos de pequeno diâmetro.

Nas linhas de alta voltagem existem dois tipos de cabos: cabos condutores e cabos de terra. Os cabos de terra causam a maioria da mortalidade das aves visto estarem colocados mais alto do que os cabos de condução e serem de diâmetro mais pequeno. O risco de colisão está também relacionado com o número de planos horizontais em que os cabos são esticados, sendo maior à medida que o número de planos horizontais aumenta. O risco de mortalidade é também maior em estruturas verticais do que em estruturas horizontais. [13].

Medidas de Mitigação

- Limitar a perturbação fora das fronteiras das áreas de manutenção;
- Limitar a remoção de vegetação à área necessária;
- Limitar o mais possível a entrada e circulação de veículos não pertencentes ao Projecto;
- Sinalizar os cabos de guarda com dispositivos anti colisão (BFD) com 35 cm de diâmetro, vermelhos e brancos, alternando as cores nos dois cabos de terra de 5 em 5 m

(ou seja, em cada cabo de terra, a distância entre BFDs é de 10 m). Usar este esquema de sinalização em áreas onde a linha atravessa ou se desenvolve perto de rios, zonas húmidas ou massas de água (ao longo do corredor inteiro) ou de grandes áreas de floresta ou de matas não degradadas.

CAPITULO VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Esse estudo concluiu que a utilização de cabos de guarda OPGW em linhas aéreas AT, apresenta grandes vantagens, uma vez que este tipo de cabo apresenta grandes probabilidades de interceptar a descarga, impedindo-a de atingir directamente os condutores de fase. Nas ligações a novas subestações, é frequentemente necessário dotar a linha de um circuito de telecomunicações por fibra óptica. Nestes casos as linhas AT devem ser equipadas com cabo de guarda incorporando fibras ópticas (OPGW) em toda a sua extensão a partir da subestação de Infulene á subestação de Currumane.

A linha CL4 foi concebida sem cabo de guarda, dai que, propõe-se que se faça um reforço das torres existentes, ou seja, a colocação de um novo apoio que sustente o OPGW para reforçar outras partes constituintes da estrutura.

Quando uma descarga atmosférica atinge directamente um apoio metálico provoca a elevação do potencial das estruturas metálicas, devido à parcela da corrente que é escoada pela resistência de terra desse apoio, sendo a restante corrente conduzida pelo cabo de guarda para os apoios mais próximos.

Cada eléctrodo será ligado à estrutura do apoio através de cabo de cobre de secção não inferior a 35mm^2 . A resistência de terra nos apoios deverá ser inferior ou igual a 20Ω .

7.2. Recomendações

Recomenda-se:

- A colocação de uma estrutura mista para transferência de esforços para o novo apoio;
- A colocação de cabo de guarda OPGW em toda a extensão ;
- Garantir que a resistência de terra seja inferior ou igual a 20Ω .
- Sinalizar os cabos de guarda com dispositivos anti colisão (BFD) com 35 cm de diâmetro

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [01]. J._Duncan_Glover,_Mulukutla_S._Sarma,_Thomas_Over 5ª edicao
- [02]. Teixeira, Daniel António, Projecto de uma Linha Aérea de Alta Tensão, Dissertação de mestrado, Porto 2017
- [03]. Rocha, Luís Filipe- Estudo sobre a utilização de cabo de guarda, Dissertação de mestrado, Porto 2014
- [04]. DGE, "Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão," 1993.
- [05]. Solidal, Q. & Q. (2007). Guia Técnico. Solidal - Condutores Eléctricos, S.A., Quintas & Quintas - Condutores Eléctricos, S.A, 10ª Ed., p. 12, p.92, pp. 214-255.
- [06] EDM – Direcção da Rede de Transporte, “Caracterização da Rede Nacional de Transporte”, Maputo, 2011
- [07]. D. d. N. e. Tecnologia, Material para Linhas Aéreas - Armações de Aço para Postes de Betão de MT, Coimbra, 2005.
- [08] Silva, Luis Gonçalo- “Fases de instalações de uma linha aérea de transmissão de energia” Porto 2006
- [09] Fortes, Jose Miguel-“ Projecto e construção de redes MT/PT/BT/IP” Porto 2006
- [10] Fonseca, Pedro Jose- “ Manutenção Preventiva das infraestruturas de fibra Optica da EDP distribuição” Coimbra ,2017
- [11] EDP DRE-C34-122 – Guia técnico cabo de guarda com fibra óptica
- [12] Alves, R. Suzana- Utilização de condutores de Alta temperatura no reforço e reabilitação de redes de AT: “Benefícios económico e ambientais”, Porto, Fevereiro 2018
- [13] Mendonça, Ana Lisa- “Método de avaliação de risco”, Algarve, 2013
- [14] Relatório sobre o estudo de protecção contra descargas atmosféricas das linhas de 110kv (DTSUL)

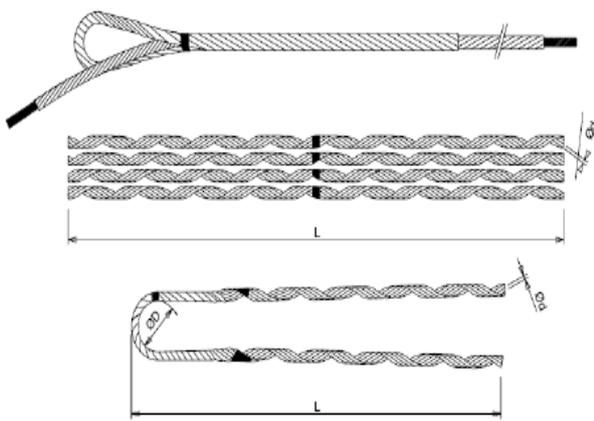
Anexo 1

ESPECIFICAÇÕES DO MATERIAL

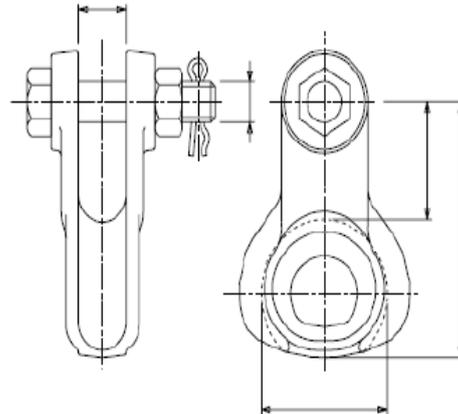
A linha CL4 será constituída em toda a sua extensão por dois cabo de guarda, da gama OPGW AS/AA32/113, uma vez que a linha será percorrida por uma rede de fibra óptica. Na Tabela 1 encontram-se descritas as principais características do condutor e cabo de guarda

ACESSÓRIOS DE CABO DE GUARDA OPGW

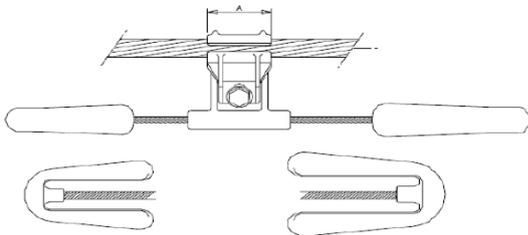
Nas figuras seguintes, são apresentados os acessórios juntamente com as referências a pinças de amarração, guarda cabos para pinças de amarração e antivibrador, também estes utilizados para a instalação de cabos OPGW.



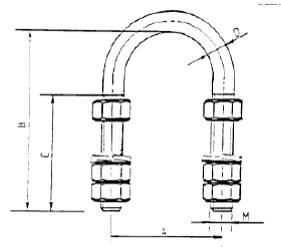
Pinça de amarração para cabos OPGW



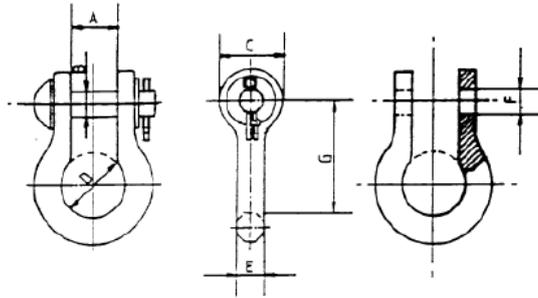
Guarda cabos para pinça de amarração



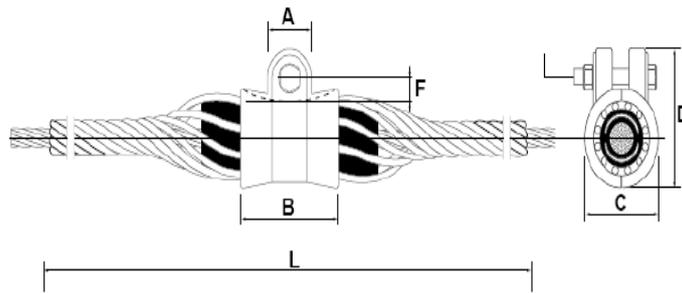
Antivibrador para cabos OPGW



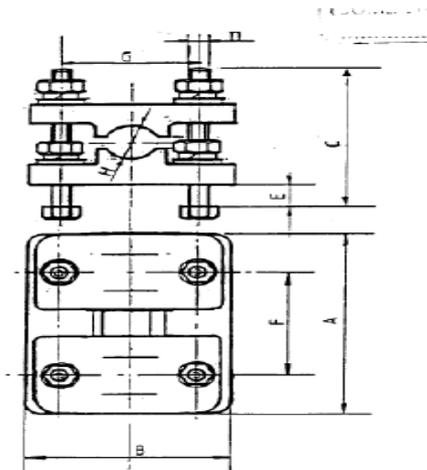
Estribo



Manilha direita



Pinça de suspensão antivibratória

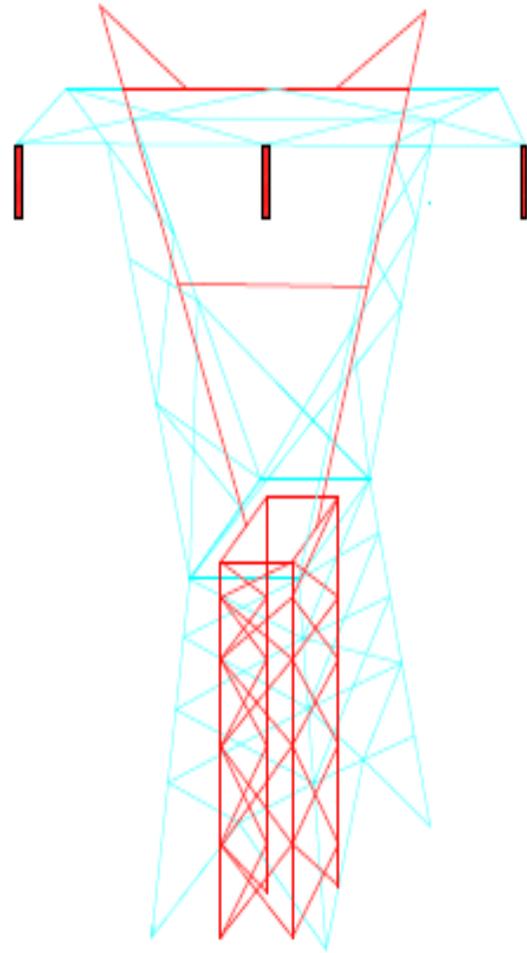
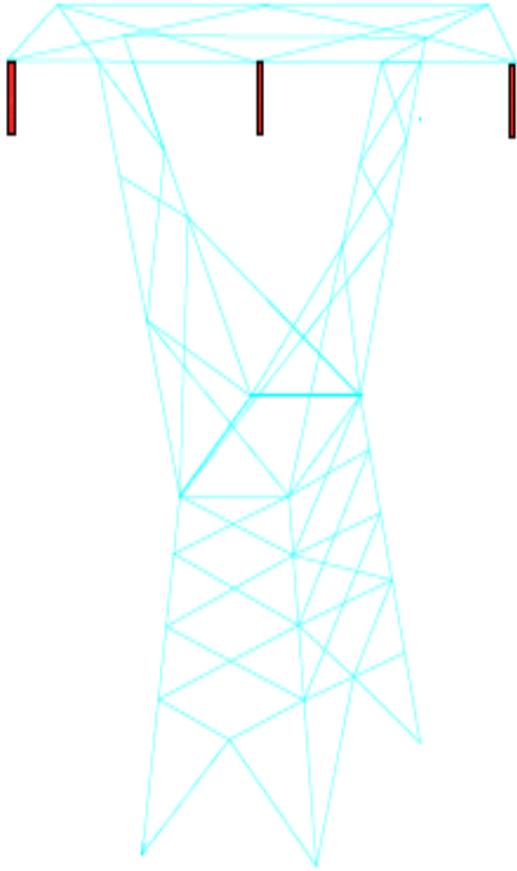


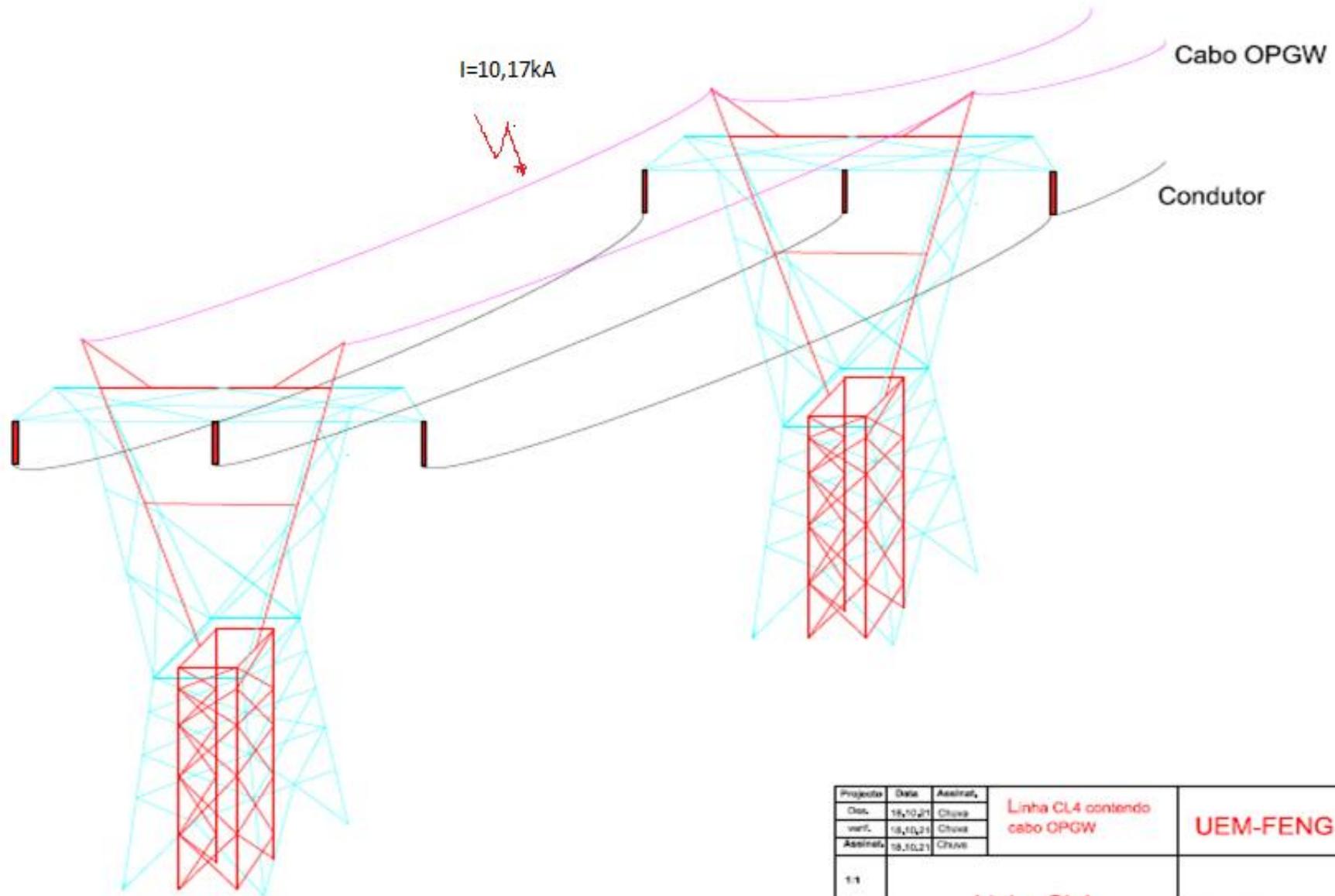
Ligador para um cabo de guarda

Anexo2

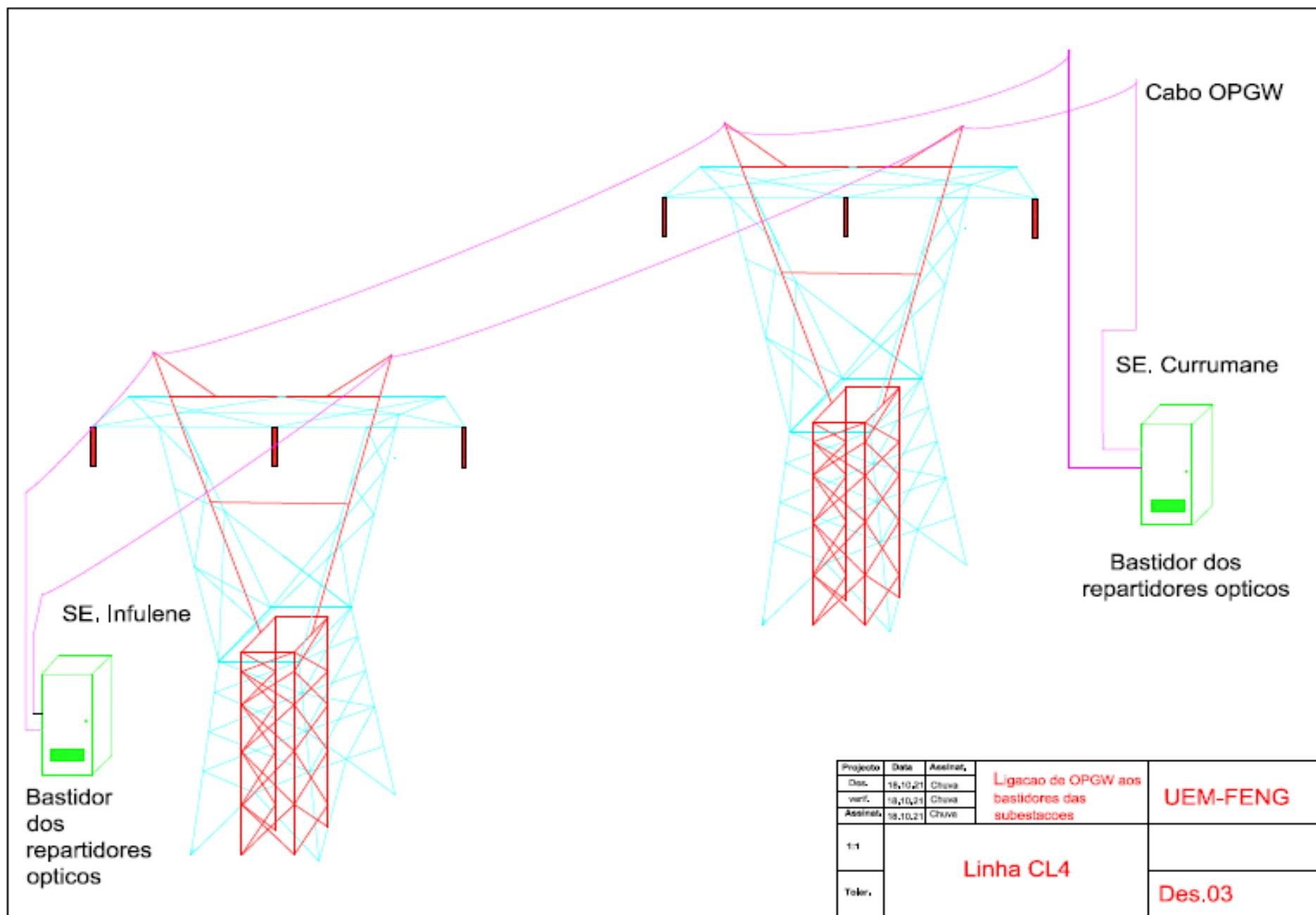
PECAS DESENHADAS

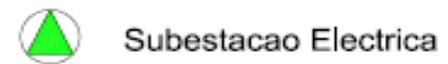
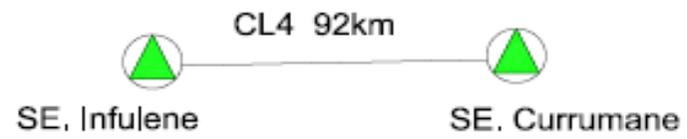
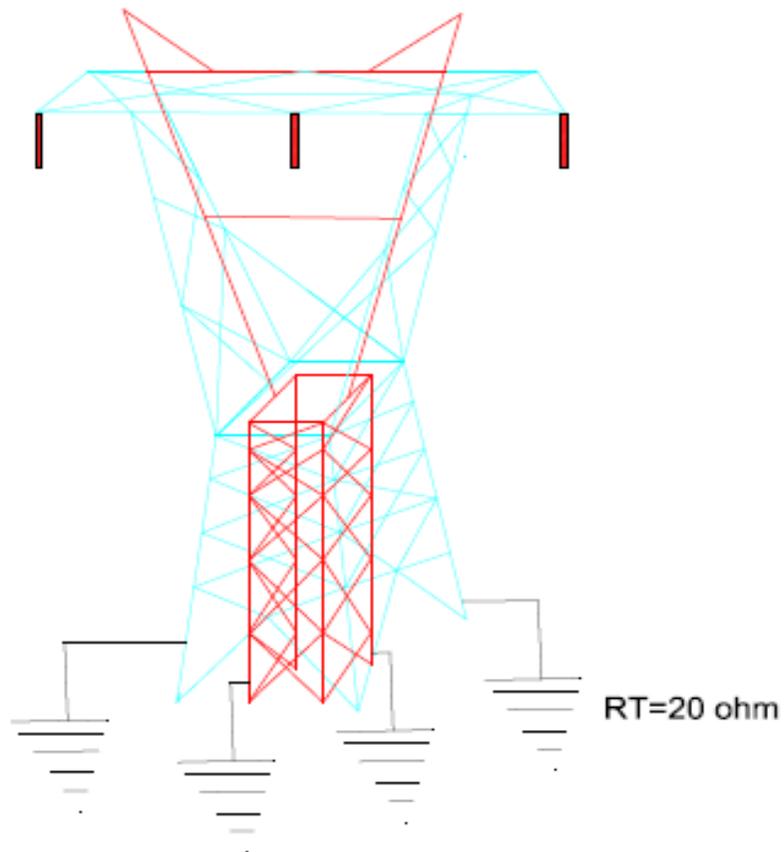
1. **APOIO MISTO**
2. **LINHA CL4 CONTENDO CABO OPGW**
3. **LIGAÇÃO DE OPGW ENTRE AS SUBESTAÇÕES**
4. **LIGAÇÃO DOS APOIOS A TERRA**
5. **INDICAÇÃO DAS DISTÂNCIAS**



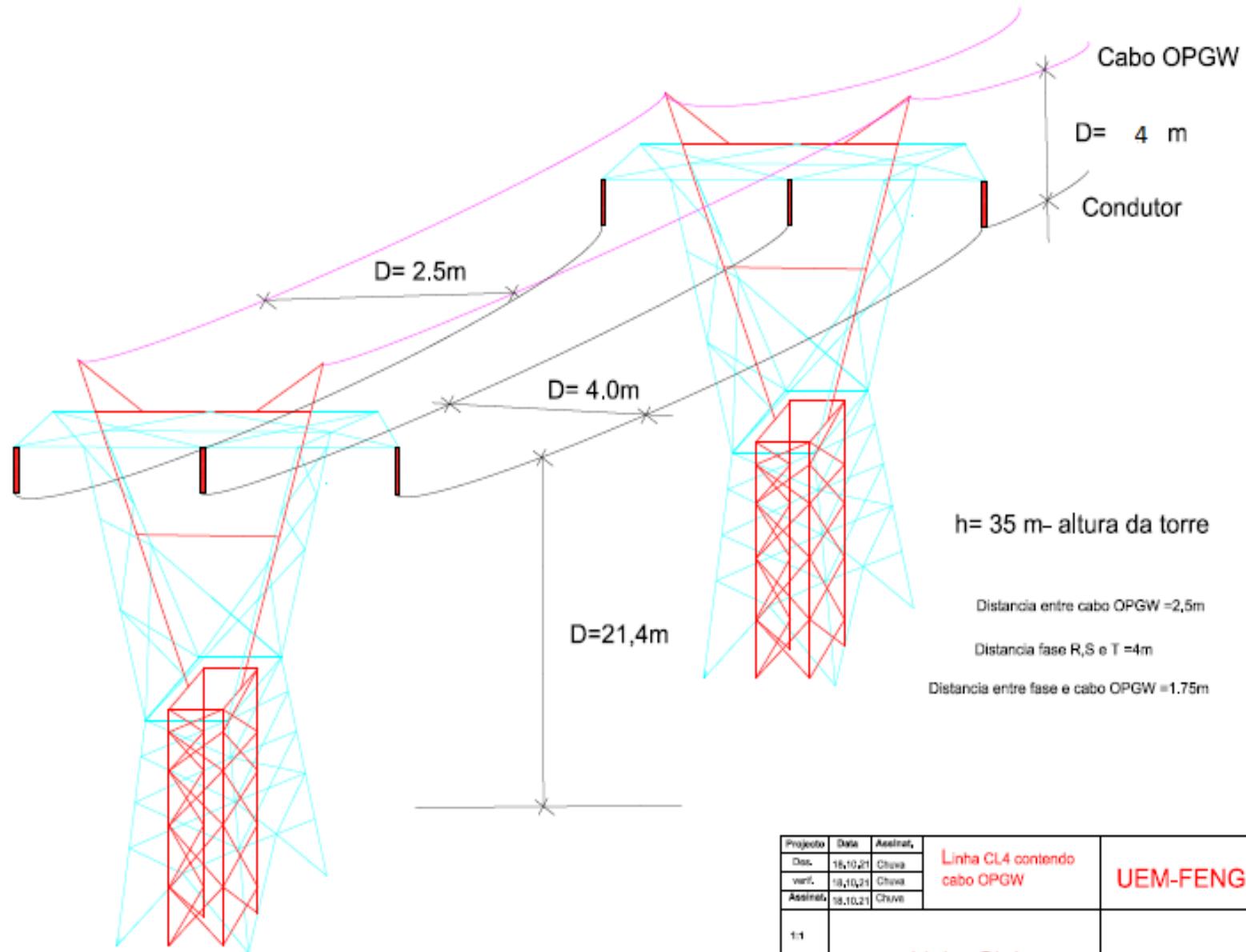


Projeto	Data	Autor	Linha CL4 contendo cabo OPGW	UEM-FENG
Des.	18,10,21	Clara		
verf.	18,10,21	Clara		
Absinat.	18,10,21	Clara		
1:1	Linha CL4			
Toler.				Des.02





Projecto	Data	Assinat.	Ligacao dos apoios a rede de terra	UEM-FENG
Des.	16/10/21	Chave		
verif.	16/10/21	Chave		
Assinat.	16/10/21	Chave		
1:1	Linha CL4			
Toler.				Des. nr. 04



Projeto	Data	Assinat.	Linha CL4 contendo cabo OPGW	UEM-FENG
Disc.	18.10.21	Chuva		
verif.	18.10.21	Chuva		
Assinat.	18.10.21	Chuva		
1:1	Linha CL4			
Toler.				Des.05