



Viabilidade Técnica e Económica dos Cabos de Alta Temperatura num Projeto de Linhas de Alta Tensão

CARINA MARISA DA SILVA PINTO

Julho de 2017

Viabilidade Técnica e Económica dos Cabos de Alta Temperatura num Projeto de Linhas de Alta Tensão

Carina Marisa da Silva Pinto

VERSÃO PROVISÓRIA

Dissertação de Mestrado realizada no âmbito do
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistema Elétricos de Energia

Orientador: Prof. Doutora Teresa Alexandra Nogueira, ISEP

Co-orientador: Eng. Hugo Moutinho, EDP

2017

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Carina Marisa da Silva Pinto, Nº 1111750, 1111750@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Empresa:

Supervisão: Hugo Moutinho, hugo.moutinho@edp.pt

© Carina Pinto, 2017

Todo este processo, todo o esforço para a realização pessoal e profissional desta etapa não seria possível sem a minha família, pois foram cruciais, pelo constante apoio e crença inabalável no sucesso do meu trabalho, desta forma, dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão e a uma pessoa muito especial que já não se encontra entre nós fisicamente, a minha avó Lucinda.

"A alegria da descoberta é certamente a mais viva que a mente do homem pode experimentar."

Claude Bernard

Agradecimentos

A vida é feita de etapas, obstáculos, dificuldades, mas também de realizações, sucessos, se assim não fosse não valia a pena. Em todas essas fases da minha vida, tive sempre um admirável suporte familiar, dessa forma começo por agradecer aos meus pais e irmão, sem eles não seria exequível esta caminhada. Não posso ainda esquecer uma das pessoas mais importantes da minha vida, a minha avó, uma peça chave no meu crescimento e desenvolvimento como pessoa, ela foi e sempre será parte da minha vida.

Um agradecimento igualmente sentido aos meus orientadores, a Eng^a Teresa Nogueira do corpo docente do ISEP e ao Eng. Hugo Moutinho da EDP Distribuição, foram incansáveis, quer através de ensinamentos, orientações, conselhos, como transmissão de conhecimentos, contribuíram de forma determinante para a elaboração deste trabalho.

Quero agradecer também a toda equipa da Direção de Serviços a Redes pela ajuda constante e preocupação demonstrada durante a realização do estágio.

Por fim um agradecimento, não menos importante, à instituição ISEP, mais especificamente ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica, o qual me ajudou na minha formação profissional e pessoal, tendo em vista toda a dedicação do corpo docente desta instituição com quem tive o privilégio de trabalhar no decorrer desta etapa. Não podendo esquecer todos os colegas com quem partilhei conhecimentos e trocas de ideias, tendo cada um a sua importância neste período, sendo relevante para o meu desenvolvimento pessoal. Uma especial atenção ao Daniel Teixeira e Francisco Secca com quem partilhei o estágio na EDP Distribuição.

A todos, o meu muito obrigada.

Carina Pinto

Resumo

As linhas aéreas são um tema em constante central e tido em conta desde a existência do primeiro sistema elétrico, como forma de transportar e distribuir a energia desde os centros de produção até ao seu consumidor final. Estes ativos encontram-se em constante evolução, contando com novos condutores, em estudo no mercado de distribuição de energia, sendo que o mais atual se denomina por *Aluminum Conductor Composite Core*, o cabo ACCC.

Esta dissertação teve como base o estudo do cálculo elétrico e mecânico de dois cabos aéreos, considerando o mesmo material condutor, o alumínio. Por um lado, o estudo da linha com um cabo convencional, por outro lado, é testada uma nova realidade de cabos, os cabos de alta temperatura (ACCC). O estudo efetua comparação entre os dois cabos, com objetivo de avaliar a inclusão do novo cabo ACCC, nas redes de elétricas, tendo em conta fatores técnicos e económicos, apresentando vantagens e desvantagens na sua utilização.

Dentro desta nova realidade, esta dissertação pretende dar mais ênfase ao ACCC, atualmente utilizado apenas em situações esporádicas e diminutas de *uprating*, tendo como base o Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão.

O cabo ACCC distingue-se, essencialmente, pela sua diminuição de perdas, bem como a redução da sua flecha máxima e diminuição dos condutores, para a mesma potência a considerar, tornando esta, uma possível escolha a curto prazo para as linhas aéreas de Alta tensão em Portugal.

Palavras Chave: Linhas Aéreas, Alta Tensão, Cabo Convencional, Cabo de Alta Temperatura, flecha, catenária.

Abstract

Electric airlines are a constant central topic and taken into account since the existence of the first electric system, as a way to transport and distribute the energy, from the production centers to the final consumer. These assets are constantly evolving, with new drivers being studied in the energy distribution market, the most recent of which is known as the Aluminum Conductor Composite Core, the ACCC cable.

This dissertation was based on the study of the electrical and mechanical calculation, of two aerial cables, considering the same conductive material, aluminum. On the one hand, the study of the line with a conventional cable, on the other hand, is tested a new reality of cables, the high temperature cables (ACCC). The study compares the two cables with the purpose of evaluating the inclusion of the new ACCC cable in electrical networks, taking into account technical and economic factors, presenting advantages and disadvantages of this.

Considering this new reality, this dissertation intends to give more emphasis to the ACCC, currently used only in sporadic situations and miniature uprating, based on the High Voltage Airline Safety Regulation.

The ACCC cable is essentially distinguished by the reduction of losses, as well as the reduction of the maximum arrow and decrease of the conductors, for the same power to be considered, making it a possible, as a short-term choice, for overhead high voltage lines in Portugal.

Keywords: Air Lines, High Voltage, Conventional Cable, High Temperature Cable, Arrow, Catenary.

Índice

| | |
|--|-------------|
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | v |
| Abstract | vii |
| Índice | ix |
| Índice de Figuras | xiii |
| Índice de Tabelas | xv |
| Glossário | xvii |
| Abreviaturas | xix |
| Capítulo 1 | 1 |
| Introdução | 1 |
| 1.1. Contextualização | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.3. Organização do Documento | 3 |
| Capítulo 2 | 5 |
| Linhas Aéreas de Alta Tensão | 5 |
| 2.1. Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão | 5 |
| 2.1.1. Apoios | 6 |
| 2.1.1.1. Armações | 9 |
| 2.1.1.2. Isoladores/Tipo de Amarrações | 10 |
| 2.1.1.3. Fundações | 12 |
| 2.1.2. Balizagem Aeronáutica | 13 |
| 2.1.3. Dispositivo de Proteção | 15 |
| 2.1.4. Amortecedores de Vibração | 15 |
| 2.1.5. Sistema de Terras | 17 |
| 2.1.6. Cabos de Guarda | 19 |
| 2.1.7. Cabos Condutores | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2. Efeito Coroa | 21 |
| 2.3. Fiabilidade das Linhas Aéreas..... | 22 |
| 2.4. Condutor Convencional vs Condutor de Alta Temperatura..... | 23 |
| 2.4.1. Aspetos construtivos | 23 |
| 2.4.2. Vantagens do Condutor de Alta Temperatura..... | 25 |
| 2.4.3. Desvantagens do Condutor de Alta Temperatura | 27 |
| 2.4.4. Acessórios e Instalação do cabo ACCC..... | 28 |
| 2.4.5. Aplicações Construtivas dos Condutores..... | 30 |
| 2.5. Linhas aéreas e o Ambiente | 31 |
| Capítulo 3..... | 35 |
| Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão | 35 |
| 3.1. Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão..... | 35 |
| 3.1.1. Programa Base..... | 36 |
| 3.1.2. Estudo Prévio | 37 |
| 3.1.3. Levantamento Topográfico | 38 |
| 3.1.4. Elaboração do Projeto | 40 |
| 3.1.5. Construção..... | 42 |
| 3.1.6. Projeto Retificado..... | 45 |
| 3.1.7. Comissionamento de ativos técnicos..... | 46 |
| 3.1.8. Encerramento..... | 46 |
| 3.2. Plano de Segurança na Construção de Linhas de Alta Tensão | 47 |
| 3.3. Cálculo Elétrico..... | 48 |
| 3.3.1. Constantes Características por Quilometro de Linha | 48 |
| 3.3.2. Corrente | 54 |
| 3.3.3. Perdas de Energia | 55 |
| 3.3.4. Quedas de Tensão..... | 56 |
| 3.4. Cálculo Mecânico..... | 56 |
| 3.4.1. Tensões Mecânicas Máximas | 57 |
| 3.4.2. Estados Atmosféricos | 57 |
| 3.4.3. Forças exercidas pelos Agentes Atmosféricos e pelos cabos..... | 59 |
| 3.4.3.1. Ação do Peso do Próprio Cabo | 59 |
| 3.4.3.2. Ação do Vento..... | 60 |
| 3.4.3.3. Ação do Gelo Sobre os Condutores | 61 |
| 3.4.4. Coeficiente de Sobrecarga..... | 61 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.4.5. | Equação de Estados | 61 |
| 3.4.6. | Determinação da Tensão de Montagem | 62 |
| 3.4.6.1. | Vão Crítico | 62 |
| 3.4.6.2. | Vão Equivalente Fictício | 63 |
| 3.4.6.3. | Estado Mais Desfavorável – Árvore de Decisão..... | 64 |
| 3.4.7. | Cálculo das Flechas | 65 |
| 3.4.8. | Verificação do Distância Mínima entre Condutores | 68 |
| 3.4.8.1. | Distância entre os condutores e o cabo de guarda..... | 68 |
| 3.4.9. | Verificação do Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão..... | 69 |
| 3.4.10. | Distâncias Regulamentares..... | 70 |
| 3.4.11. | Verificação da estabilidade dos Apoios | 72 |
| 3.4.12. | Alterações no Cálculo Mecânico..... | 78 |
| 3.4.13. | Estudo Térmico | 79 |
| 3.5. | Cálculo Eletromagnético | 80 |
| Capítulo 4..... | | 83 |
| Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR..... | | 83 |
| 4.1. | Características da Linha | 84 |
| 4.2. | Mapa de Quantidades | 86 |
| 4.3. | Resultados do Cálculo Elétrico | 88 |
| 4.3.1. | Corrente | 88 |
| 4.3.2. | Perdas de Energia | 88 |
| 4.3.3. | Queda de Tensão | 89 |
| 4.4. | Resultados do Cálculo Mecânico | 90 |
| 4.4.1. | Tensões Mecânicas Máximas a Aplicar | 91 |
| 4.4.2. | Coeficiente de Sobrecarga..... | 92 |
| 4.4.3. | Cálculo do Estado mais desfavorável..... | 93 |
| 4.4.4. | Cálculo Parâmetro da Catenária e da Flecha Máxima | 95 |
| 4.4.5. | Verificação do Distância Mínima entre Condutores | 96 |
| 4.4.6. | Verificação do Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão..... | 97 |
| 4.4.7. | Distâncias de Segurança Regulamentares | 98 |
| 4.4.8. | Cálculo de Estabilidade dos Apoios..... | 99 |
| 4.4.8.1. | Apoio Fim de Linha | 99 |
| 4.4.8.2. | Apoio de Alinhamento – Suspensão | 101 |
| 4.4.8.3. | Apoio de Alinhamento – Amarração | 103 |

| | |
|---|------------|
| 4.4.8.4. Apoio de Ângulo | 105 |
| 4.5. Campo Eletromagnético | 107 |
| 4.6. Análise dos Resultados..... | 107 |
| Capítulo 5 | 109 |
| Caso de Estudo 2 – Análise da Aplicação do Cabo ACCC | 109 |
| 5.1. Características da Linha | 110 |
| 5.2. Valores do Cálculo Elétrico | 110 |
| 5.2.1. Cálculo da Corrente..... | 110 |
| 5.2.2. Perdas de Energia | 111 |
| 5.2.3. Queda de Tensão | 111 |
| 5.3. Cálculo Mecânico..... | 112 |
| 5.3.1. Estado mais desfavorável | 113 |
| 5.3.2. Parâmetro da Catenária e Flecha Máxima..... | 114 |
| 5.4. Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC | 115 |
| 5.4.1. Análise dos Cabos em Estudo | 116 |
| 5.4.2. Análise Técnica | 117 |
| 5.4.3. Análise Económica..... | 121 |
| Capítulo 6..... | 124 |
| Conclusão | 124 |
| 6.1. Análise Conclusiva..... | 124 |
| 7.1. Trabalhos Futuros..... | 126 |
| Referência | 127 |
| Anexos | 131 |
| Anexo 1 – Características dos Vãos | 133 |
| Anexo 2 – Parâmetro e Flechas Máximas – Caso 1..... | 135 |
| Anexo 3 – Esforços dos Apoios – Caso 1 | 137 |
| Anexo 4 – Condição de Regulação – Caso 1..... | 139 |
| Anexo 5 – Memória Descritiva – Caso 1..... | 141 |
| Anexo 6 - Perfil da Linha – Caso 1 | 147 |
| Anexo 7 – Mapa de Quantidades – Caso 2..... | 151 |
| Anexo 8 – Parâmetro e Flechas Máximas – Caso 2..... | 153 |
| Anexo 9 – Esforços dos Apoios – Caso 2 | 155 |
| Anexo 10 – Condição de Regulação – Caso 2..... | 157 |
| Anexo 11 – Memória Descritiva – Caso 2..... | 159 |
| Anexo 12 – Perfil da Linha – Caso 2..... | 165 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Apoio de alinhamento..... | 7 |
| Figura 2.2 - Apoio de ângulo | 7 |
| Figura 2.3 - Apoio de derivação em ângulo | 8 |
| Figura 2.4- Apoio fim de linha..... | 8 |
| Figura 2.5 – Colocação de Apoios | 9 |
| Figura 2.6 - Esquemas de Tipo de Armações..... | 10 |
| Figura 2.7 - Isolador de Vidro | 10 |
| Figura 2.8 - Cadeia de isoladores em amarração | 11 |
| Figura 2.9 - Cadeia de isoladores em suspensão | 12 |
| Figura 2.10 - Betonagem de apoios..... | 13 |
| Figura 2.11 -Sinalização anti colisão | 15 |
| Figura 2.12 Amortecedor - três fases de um ciclo na sequência das vibrações | 16 |
| Figura 2.13 - Ligação à terra nos apoios | 17 |
| Figura 2.14 - Eléctrodo de Terra | 18 |
| Figura 2.15 - Condutores Multifilares..... | 19 |
| Figura 2.16 - Condutor ACSR e ACCC | 21 |
| Figura 2.17 - Componentes da composição do Cabo ACCC | 24 |
| Figura 2.18 - Raio de curvatura de deterioração da fibra..... | 29 |
| Figura 2.19 - Travamento do cabo | 29 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.20 - Desenrolamento do cabo | 30 |
| Figura 3.1 - Estudo Topográfico | 39 |
| Figura 3.2 – Planta Parcelar do Topografo. | 40 |
| Figura 3.3 – Planimetria de um levantamento topográfico. | 40 |
| Figura 3.4 – Identificação do código da linha e tipo de apoio de betão..... | 45 |
| Figura 3.5 – Armação do Tipo F..... | 50 |
| Figura 3.6 - Árvore de Decisão | 65 |
| Figura 3.7 - Representação da curva da Parábola e da Catenária | 66 |
| Figura 3.8 – Vão de nível e vão desnivelado | 66 |
| Figura 3.9 - Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão | 69 |
| Figura 3.10 - Comportamento da flecha dos cabos face ao aumento da temperatura..... | 79 |
| Figura 3.11 - Linhas de força do campo elétrico produzido por duas cargas pontuais de igual valor..... | 82 |
| Figura 4.1 - Esquema Unificar da linha | 84 |
| Figura 4.2 - Perfil da Linha | 85 |
| Figura 4.3 - Armação F165CD..... | 89 |
| Figura 4.4 - Verificação da Árvore de Decisão..... | 95 |
| Figura 5.1 – Esquema Unificar da linha com cabo ACCC | 109 |
| Figura 5.2 – Armação do Apoio F65CA..... | 111 |
| Figura 5.3 - Flecha máxima dos condutores ACSR e ACCC | 120 |
| Figura 5.4 - Altura dos apoios..... | 120 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1- Níveis de Fiabilidade | 22 |
| Tabela 3.1 – Entidades a consultar..... | 38 |
| Tabela 3.2 - Valores da espessura do gelo | 58 |
| Tabela 3.3 – Pressão Dinâmica do Vento | 77 |
| Tabela 3.4 - Coeficiente de Redução | 78 |
| Tabela 3.5 - Coeficiente de Forma | 78 |
| Tabela 3.6 - Limites de Exposição a Campos 50 Hz | 81 |
| Tabela 4.1 - Características dos Condutores e Cabo de Guarda | 84 |
| Tabela 4.2 – Tipo de Apoios utilizados..... | 86 |
| Tabela 4.3 - Mapa de quantidades da Linha..... | 87 |
| Tabela 4.4 - Resultados da corrente da linha | 88 |
| Tabela 4.5 – Reatância da Linha | 90 |
| Tabela 4.6 - Tabela de Condições de regulação..... | 92 |
| Tabela 4.7 - Características consideradas para os diferentes estados atmosféricos | 92 |
| Tabela 4.8 - Coeficiente de sobrecarga dos estados atmosféricos | 94 |
| Tabela 4.9 - Características do vão 2 | 94 |
| Tabela 4.10 - Distâncias regulamentares..... | 98 |
| Tabela 4.11 – Características dos Apoios implementados | 99 |
| Tabela 4.12 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio Fim de Linha | 101 |
| Tabela 4.13 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio Fim de Linha | 101 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.14 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Alinhamento - Suspensão | 103 |
| Tabela 4.15 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Alinhamento - Suspensão | 103 |
| Tabela 4.16 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Alinhamento - Amarração | 104 |
| Tabela 4.17 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Alinhamento - Amarração | 105 |
| Tabela 4.18 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Ângulo | 107 |
| Tabela 4.19 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Ângulo | 107 |
| Tabela 5.1 - Características dos Condutores e Cabo de Guarda | 110 |
| Tabela 5.2 – Reatância da Linha | 112 |
| Tabela 5.3 - Tabela de Condições de regulação..... | 113 |
| Tabela 5.4 – Força do Vento e Coeficientes de Sobrecarga do cabo ACCC. | 113 |
| Tabela 5.5 – Cálculo da flecha máxima | 115 |
| Tabela 5.6 - Propriedades Elétricas..... | 116 |
| Tabela 5.7 - Propriedades mecânicas dos cabos | 116 |
| Tabela 5.8 – Força do Vento e Coeficientes de Sobrecarga do cabo ACSR e ACCC..... | 118 |
| Tabela 5.9 - Parâmetro da Catenária nos cabos ACSR e ACCC a 80 °C..... | 119 |
| Tabela 5.10 – Orçamento da linha | 121 |

Glossário¹

| | |
|---------------------------------|--|
| Amarração | Fixação direta dos condutores ao apoio por intermédio de uma cadeia de isoladores; |
| Cantão | Designação atribuída ao conjunto de vãos compreendidos entre dois apoios de amarração. |
| Catenária | Forma de curva tomada por um condutor, comparável a uma corda infinitamente flexível e inextensível, suspensa entre dois apoios. |
| Flecha | Valor da máxima distância vertical entre a reta que une os pontos de suspensão do cabo e este; |
| Parâmetro (da Catenária) | Constante das equações da catenária e da parábola representada geometricamente pelo raio da curvatura no ponto onde a tangente à curva é horizontal; |
| Perfil | Conjunto de uma planta e corte vertical do traçado da linha elétrica, impresso em papel; |
| Suspensão | Situação em que a cadeia de isoladores está na vertical suspendendo os condutores no apoio; |
| Tensão de rotura | Valor da carga mecânica a partir do qual o cabo perde as propriedades físicas que lhe permitem desempenhar a sua função; |
| Vão | Porção de linha aérea entre dois apoios consecutivos; |
| Vão equivalente | Vão fictício no qual as variações da tensão mecânica, devidas às variações da carga e da temperatura, são sensivelmente iguais aos dos vãos reais do cantão. |

¹ Capítulo I, Secção IV, Artigo 4º do RSLEAT

Abreviaturas

| | |
|--------|--|
| ACCC | <i>Aluminium Conductor Composite Core</i> |
| ACSR | <i>Aluminium Conductor Steel Reinforced</i> |
| AGS | <i>Armor Grip Suspension</i> |
| AT | Alta Tensão |
| B/C | Benefício/Custo |
| BT | Baixa Tensão |
| CD | Cabo Condutor |
| CEM | Campo Eletromagnético |
| CG | Cabo de Guarda |
| DEPSSO | Desenvolvimento e Especificações do Plano de Segurança e Saúde para a Obra |
| DGEG | Direção Geral de Energia e Geologia |
| EDE | Entidade Distribuidora de Energia |
| EDP | Energias de Portugal |
| HTLS | <i>High-Temperature, Low-Sag</i> |
| ICNF | Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas |
| MAIFI | Frequência Média das Interrupções Breves do Sistema nos Pontos de Entrega |
| MAT | Muita Alta Tensão |
| MT | Média Tensão |
| OPGW | <i>Optical Power Ground Wire</i> |
| PMDFCI | Planos Municipais de Defesa da Floresta contra incêndios |
| PSSP | Plano de Segurança e Saúde do Projeto |
| PT | Posto de Transformação |
| QST | Qualidade de Serviço Técnica |

| | |
|--------|---|
| REN | Rede Elétrica Nacional |
| RSLEAT | Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão |
| SAIDI | Duração Média das Interrupções do Sistema nos Pontos de Entrega |
| SAIFI | Frequência Média das Interrupções do Sistema |
| SE | Subestação |
| SEE | Sistema Elétrico de Energia |
| SHST | Saúde, higiene e segurança no trabalho |
| SIT-DM | Sistema de Informação Técnica - Design Manager |
| TIEPI | Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada |
| UO | Unidade Organizativa |
| VAL | Valor Atualizado Líquido |

Capítulo 1

Introdução

1.1. Contextualização

A Energia Elétrica constitui, na atualidade, um dos principais recursos da sociedade moderna industrializada, estabelecendo uma relação direta entre a economia dos países desenvolvidos com a fiabilidade do Sistema Elétrico de Energia (SEE).

Desde a construção do primeiro SEE, em 1882 por Thomas Edison, até aos dias de hoje, existe uma crescente procura e necessidade de levar a energia elétrica a todos os locais, originando redes cada vez mais extensas e mais complexas, tornando a energia um fator chave para o desenvolvimento industrial e económico de um País.

No contexto de distribuição de energia, as linhas aéreas são ainda o meio mais económico de fazer chegar, ao consumidor final, a energia cada vez mais procurada. Contudo, as linhas estão sujeitas a várias condições impostas pelo meio em que se inserem, tais como as condições climatéricas, poluição atmosférica, etc. Estes e outros fatores são tidos em conta nas fases de conceção e construção, de modo, a garantir que estes ativos estarão preparados para esses e outros agentes externos.

No que diz respeito à legislação, a complexidade da construção de linhas aéreas de Alta Tensão (AT) tem um regulamento próprio, o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas Aéreas de

Introdução

Alta Tensão (RSLEAT), de modo a assegurar, entre outras coisas, a segurança na construção e a qualidade de serviço cada vez mais crucial no sistema elétrico.

Da procura incessante por uma melhor qualidade na distribuição de energia, nasce uma procura de novos cabos que possibilitem não só uma melhor qualidade no serviço, mas também um decréscimo no que diz respeito às perdas de energia. Focando-se ainda, na constante preocupação com os impactos ambientais que as linhas aéreas causam, nasce assim uma nova possibilidade de cabo aéreo, que pode vir colmatar alguns desses dilemas atuais.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar a introdução de um novo condutor nas linhas aéreas, até agora pouco explorado em Portugal. As linhas de distribuição são uma parte fulcral no que diz respeito à entrega de energia ao consumidor, desta forma, com um mercado cada vez mais exigente, a rede de distribuição deve ser cada vez mais fiável e célere na resposta à procura de energia por parte dos consumidores/clientes.

As quebras de fornecimento de energia são fortemente penalizadas, desta forma, as redes de transporte e distribuição devem ter níveis elevados de fiabilidade, colocando-se a hipótese de introduzir uma nova realidade nas linhas aéreas como a diminuição do número de cabos, mantendo o mesmo transporte de energia.

Desta nova realidade nasce o estudo de viabilidade técnica e económica de dois cabos elétricos de Linhas Aéreas de AT, o *Aluminium Conductor Steel Reinforced* (ACSR), atualmente utilizado nas linhas aéreas em Portugal e o *Aluminium Conductor Composite Core* (ACCC), cabo até agora apenas testado em curtas situações de *uprating*.

Para uma melhor análise desta nova realidade, este estudo será dividido em duas partes.

A primeira parte consiste no estudo e realização de um projeto de uma linha AT, desde regulamentação até à sua implementação. Será estudada uma linha aérea dupla AT, desde o estudo do terreno à colocação dos apoios ao longo do perfil. Em paralelo será efetuado o cálculo mecânico dos condutores, do cabo de guarda e de todos os apoios escolhidos para o projeto, bem como cálculo elétrico da linha e os campos eletromagnéticos.

Na segunda parte, é analisada uma nova possibilidade para as linhas AT, onde é testada/avaliada a possibilidade de utilizar menos condutores garantindo, mesmo assim, um maior transporte de energia. Para tal é efetuada uma alteração de condutor, trocando o cabo convencional ACSR por um ACCC, condutor de alta temperatura.

Esta nova realidade no setor elétrico pretende que, a exigência na qualidade e continuidade de serviço mantenha elevados parâmetros. Este fator foi, desde sempre, uma enorme preocupação das empresas envolvidas, no entanto, com a constante evolução do setor energético este tema tem assumido significativas dimensões. Proporcionar uma boa qualidade de serviço está diretamente relacionada com o correto funcionamento das linhas de distribuição de energia, pelo que o cabo ACCC pode vir a ser uma mais valia no que diz respeito a toda a rede de distribuição AT.

O Trabalho culminará com o estudo comparativo da viabilidade técnica e económica entre os cabos analisados, verificando assim a possível possibilidade de implementação do cabo ACCC nas linhas de Distribuição AT.

1.3. Organização do Documento

Este documento está organizado em seis capítulos, distribuídos de forma a ser possível uma melhor análise dos cabos em estudo.

No Capítulo 2 são identificados os componentes das linhas aéreas, bem como os seus elementos integrantes. É efetuada ainda uma pequena abordagem aos diferentes cabos em estudo, tais como vantagens e desvantagens, para ter em conta na decisão de escolha do cabo a utilizar, o ACSR ou ACCC.

No Capítulo 3 são analisados os procedimentos de elaboração de um projeto de linha aéreas, em todas as suas fases de estudo. É ainda descrito mais minuciosamente o estudo teórico das características do cálculo elétrico e mecânico das linhas, pois deles depende a escolha dos elementos intrínsecos da linha.

No Capítulo 4 é analisado o estudo técnico do cabo convencional, efetuando o cálculo elétrico e mecânico deste condutor, apresentando uma resolução manual dos cálculos deste cabo.

Introdução

No Capítulo 5 é analisado o cabo ACCC, já de uma forma comparativa com o cabo convencional, que a nível de cálculo elétrico como mecânico, sendo por fim analisado o estudo económico da construção de ambos os cabos, sendo efetuada uma comparação nesse sentido.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões a ter em conta na possível escolha do cabo, apresentando-se ainda algumas propostas para futuro no que diz respeito às linhas de distribuição aéreas.

Capítulo 2

Linhas Aéreas de Alta Tensão

As linhas aéreas de distribuição são, atualmente, a forma mais económica e viável de entregar a energia ao consumidor final, sem elas, não o era possível. Uma sociedade industrializada, exigente e cada vez mais dependente de energia faz das redes de distribuição uma peça chave para o seu desenvolvimento constante.

2.1. Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

A EDP Distribuição detém um Sistema de Qualificação de Fornecedores, cujo objetivo é estabelecer critérios uniformes, promover o desenvolvimento de fornecedores para níveis de desempenho superior e maior controlo da cadeia de fornecimento (EDP, s.d.). Este sistema é responsável pela aprovação ou homologação de produtos e equipamentos, estabelecendo assim quais os produtos e fornecedores qualificados para o fornecimento à EDP e ao mercado terceiro.

Desta forma, todo o equipamento utilizado pela EDP é devidamente testado respeitando as disposições do RSLEAT e ainda normas e especificações internas.

As linhas aéreas são divididas em três tipos de linha, curtas, médias e longas, distinguidas entre elas pela sua extensividade e pela sua tensão nominal (Figueiredo, 2009):

- Longas – Nível de tensão seja superior a 100 kV e comprimento superior a 100 km;

- Médias – Características mistas entre as longas e curtas, por exemplo, uma linha de 150 kV de 50 km);
- Curtas – Nível de tensão é inferior a 100 kV e por serem inferiores a 100 km.

Segundo o RSLEAT, Artigo 3º as linhas também podem ser classificadas em três classes, sendo estas distinguidas através da sua tensão nominal (Coucello, 1993):

- 1ª Classe – Instalação cuja tensão nominal seja inferior a 1000V em corrente alternada ou 1500V em tensão contínua;
- 2ª Classe – Instalação cuja tensão nominal seja superior aos valores da 1ª classe e inferior a 40000V;
- 3ª Classe – Instalação cuja tensão nominal seja igual ou superior a 40000V.

2.1.1. Apoios

Os apoios são uma base essencial para linha aérea, sendo constituídos pelo poste e respetiva fundação, bem como pelos elementos que sustentam os condutores.

Os apoios são a base de suporte dos condutores e cabos de guarda, são geralmente metálicos ou de betão. Os Apoios metálicos apresentam algumas vantagens comparativamente aos apoios de betão, pois são mais económicos e mais simples de transportar, o que é vantajoso nos locais de difícil acesso. No que diz respeito à colocação, também se torna mais fácil a colocação de um apoio metálico, pois a sua montagem é feita no local, no caso do apoio de betão é necessária a ajuda de guias para a sua colocação.

De acordo com o disposto no artigo 4.º do RSLEAT os apoios de uma linha aérea podem ser classificados da seguinte forma (Nogueira, 2014):

- Apoios de alinhamento, Figura 2.1, que correspondem aos apoios situados num troço retilíneo da linha – Esforços verticais e transversais;

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão



Figura 2.1 - Apoio de alinhamento

- Apoios de ângulo, Figura 2.2, que correspondem aos apoios situados num ângulo da linha - Esforços verticais e transversais;



Figura 2.2 - Apoio de ângulo

- Apoios de derivação em alinhamento/ângulo, Figura 2.3, que correspondem aos apoios em alinhamento/ângulo onde se estabelecem uma ou mais derivações;



Figura 2.3 - Apoio de derivação em ângulo

- Apoios fim de linha, Figura 2.4, que correspondem aos apoios capazes de suportar a totalidade dos esforços que os condutores lhe transmitem de um só lado da linha, são apoios de amarração.



Figura 2.4- Apoio fim de linha

- Apoios de reforço em alinhamento/ângulo, que correspondem aos apoios destinados a suportarem esforços longitudinais para reduzir as consequências resultantes da rotura de condutores;

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

Na Figura 2.5 é possível visualizar a colocação de um apoio metálico e um apoio de betão, respetivamente.



Figura 2.5 – Colocação de Apoios

2.1.1.1. Armações

As armações correspondem as estruturas metálicas, colocadas na parte superior dos apoios, que suportam os condutores de uma linha aérea.

A designação dos vários tipos de armações corresponde à disposição dos condutores na armação, isto é, a forma como estes são colocados e ainda do respetivo apoio. Na EDP são utilizadas as seguintes configurações de armações normalizadas:

- Armação em esteira horizontal;
- Armação em triângulo ângulo/alinhamento;
- Armação em galhardete ângulo/alinhamento;
- Armação em esteira vertical;
- Armação em pórtico.

Na imagem seguinte estão representadas quatro tipologias de armações utilizadas.

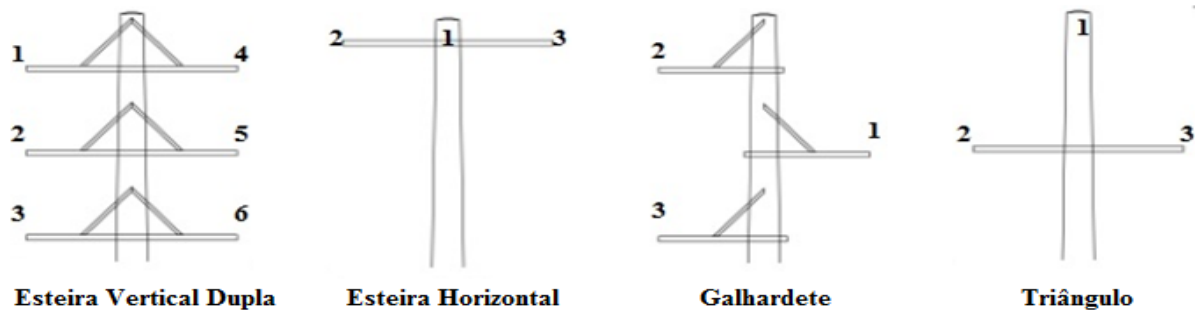


Figura 2.6 - Esquemas de Tipo de Armações

Fonte: (EDP Distribuição, 2012)

2.1.1.2. Isoladores/Tipo de Amarrações

Nas linhas de distribuição, os isoladores usados nas cadeias de suspensão e suporte isolam eletricamente as linhas dos apoios da terra e sustentam mecanicamente os cabos aéreos de transporte de energia fixados nas estruturas de betão ou metálicas (Ferreira, 2004).

O material construtivo dos isoladores pode ser de vários tipos, como porcelana, vidro (Figura 2.7), resina epóxida ou polímeros, tendo como principais características (Nogueira, 2014):

- Resistência mecânica – esforços transmitidos do condutor ao suporte;
- Resistência de isolamento elevada – resistência às correntes de fuga;
- Rigidez dielétrica elevada – resistência à perfuração;
- Resistência superficial externa – resistência às correntes de contornamento, sendo necessário manter estado de limpeza
- Comportamento térmico – resistência às variações bruscas de temperatura.

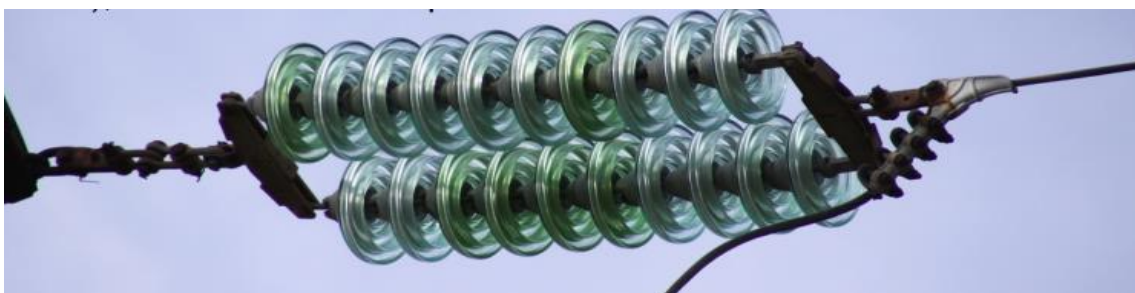


Figura 2.7 - Isolador de Vidro

Fonte: (Nogueira, 2014)

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

Numa linha aérea de alta tensão, aplicam-se dois tipos de cadeias de isoladores:

- Cadeias de isoladores em amarração – fazem a ligação entre o condutor e o apoio numa posição praticamente horizontal, são normalmente utilizadas nos apoios sujeitos a esforços elevados, particularmente nos apoios de ângulo, de fim-de-linha, ou apoios em reforço, Figura 2.8. Dado que, as cadeias de isoladores em amarração têm um custo mais elevado e uma maior dificuldade no que diz respeito à sua montagem (EDP Distribuição, 2012).

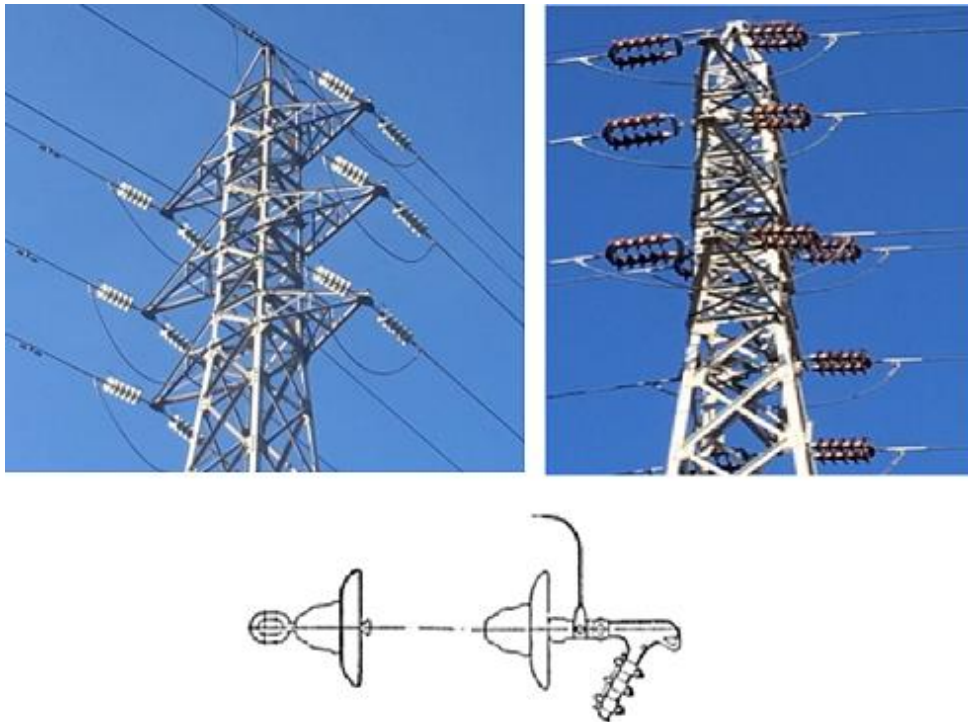


Figura 2.8 - Cadeia de isoladores em amarração

- Cadeias de isoladores em suspensão – são ligadas ao braço do apoio e dispõem-se na vertical, paralelas ao apoio, Figura 2.9. São utilizados em apoios em alinhamento e sempre que os vãos circunjacentes aos apoios em causa exerçam esforços semelhantes no apoio. As cadeias de isoladores em suspensão apresentam vantagem comparativamente às de amarração, pois têm um custo mais baixo, bem como o facto de ser apenas necessário usar uma em cada apoio havendo poupança a nível económico. Como desvantagem têm o facto de estarem suspensas no apoio, dando assim um maior poder de movimentos aos condutores. Isto significa que em situações de vento extremo, os condutores podem aproximar-se perigosamente uns dos outros ou dos apoios (EDP Distribuição, 2012).

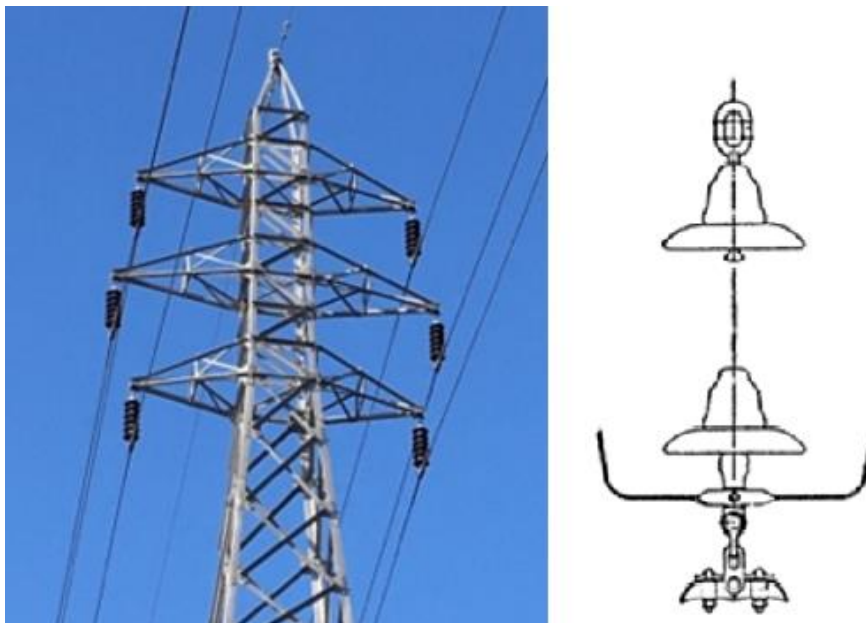


Figura 2.9 - Cadeia de isoladores em suspensão

2.1.1.3. Fundações

Nos apoios anteriormente mencionados deverá ser necessário dimensionar convenientemente os maciços de fundação de modo a que, sob efeito das solicitações máximas a que forem submetidos, não se verifiquem aumentos perigosos das flechas dos condutores e não se dê o derrubamento dos apoios.

Para a construção das fundações dos maciços é necessário ter em conta os seguintes critérios (Almeida, 2016):

- Altura do Apoio;
- Esforços;
- Função do Apoio;
- Natureza do terreno.

No que diz respeito às hipóteses de cálculo utilizadas para o dimensionamento dos maciços de fundação, hipóteses essas referentes ao método de *Sulzberger*, contudo essas não serão abordadas, na EDP Distribuição esse dimensionamento não é normalmente realizado pois o fabricante dos apoios apresenta a partida, para cada tipo de apoio, as dimensões das fundações.

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

Na Figura 2.10 encontra-se ilustrado a betonagem de apoios de betão e metálico, respetivamente.



Figura 2.10 - Betonagem de apoios

2.1.2. Balizagem Aeronáutica

A Balizagem aérea consiste na instalação de dispositivos para a ajuda visual, diurna ou noturna, à navegação aérea segundo disposições contidas na Circular de Informação Aeronáutica 10/03 decorrentes de servidões aeronáuticas (INAC, 2003) (EDP Distribuição, 2011).

A balizagem diurna, conforme definido nas recomendações da Circular de Informação Aeronáutica - CIA 10/03 de 06 de Maio - do Instituto Nacional de Aviação Civil, a sinalização dos cabos será feita através de bolas de sinalização, alternadamente de cor branca e laranja (ou vermelha), alternadas entre si com um espaçamento de (INAC, 2003):

- 30 metros quando o diâmetro da baliza for de 60 cm;
- 35 metros quando o diâmetro da baliza for de 80 cm;
- 40 metros quando o diâmetro da baliza for de pelo menos 130 cm;
- 12 metros, independentemente do diâmetro adotado, quando se localizem sob os canais de aproximação/descolagem.

Na existência de múltiplos cabos, a sinalização é colocada no cabo mais elevado. Em casos excepcionais, devido a existência de outros fatores que impossibilitem essa colocação, como o

peso das bolas ou a ação do vento inviabilizarem essa balizagem, a sinalização pode ser efetuada da seguinte forma (INAC, 2003) (EDP Distribuição, 2011):

- Distribuídas pelo primeiro e segundo cabos mais elevados com espaçamentos até ao dobro das distâncias, mas colocadas do modo a que, em projeção vertical do conjunto, não venham a exceder o espaçamento base aplicável;
- Colocadas no segundo cabo mais elevado;
- Quando houver mais do que um cabo a um mesmo segundo nível de altura, as balizas deverão ser distribuídas pelos cabos externos, mas colocadas de modo a que, em projeção vertical do conjunto, não venham a exceder o espaçamento de base aplicável (INAC, 2003).

Quando se justificar, serão igualmente balizados os apoios por pintura nas cores branco e laranja internacional, em faixas alternadas com altura de 1/7 da altura do apoio fora do solo, desde o topo da cabeça até 6 m abaixo do condutor fixado em posição inferior (EDP Distribuição, 2011).

Nas linhas aéreas é necessária a colocação da balizagem em determinadas situações (EDP Distribuição, 2011):

- Travessia aérea das linhas por lagos, lagoas, albufeiras ou outros cursos de água com uma largura superior a 80 metros;
- Posicionamento dos apoios em áreas restringidas geograficamente, onde é inibida qualquer condição de construção;
- Cruzamento da linha com vales sendo que a altura sob o terreno deve ser de 60 metros e largura exceder os 80 metros.

A sinalização noturna que consiste na colocação de dispositivo luminoso no topo dos apoios. O funcionamento desta balizagem deverá contemplar as situações a seguir indicadas (EDP Distribuição, 2011):

- Ligar meia hora antes do pôr-do-sol e desligar meia hora depois do nascer do sol;

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

- Deve-se manter ligada durante as restantes horas do dia, sempre que a visibilidade seja inferior a 1000 m.

2.1.3. Dispositivo de Proteção

Nas linhas aéreas de distribuição de energia existe um risco para as aves, pois, estas morrem com frequência com o embate nos cabos condutores ou por eletrocussão nos apoios.

O Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) estabelece a utilização de equipamento de sinalização para avifauna, definindo para isso a aplicação de dispositivos salva-pássaros, anti nidificação e anti poiso, bem como, de plataformas para ninhos.

A proteção à avifauna consiste na colocação de dispositivos de anticollisão para aves, permitindo assim às aves, a capacidade de identificar o obstáculo, evitando o embate com a linha, estes devem ser instalados nos cabos condutores e nos cabos de guarda (Noticias e Destaques, 2017) (Verde, 2016).

Na Figura 2.11 está representada uma sinalização anticollisão dupla e simples, respetivamente.



Figura 2.11 -Sinalização anti colisão

Fonte: (Noticias e Destaques, 2017)

2.1.4. Amortecedores de Vibração

A utilização de pinças de suspensão anti vibratórias do tipo AGS (*Armor Grip Suspension*) é considerada uma atenuante importante na proteção dos cabos das linhas aéreas contra os efeitos das vibrações. Contudo, a regulação dos cabos é fulcral para a sua eficácia e não produz qualquer efeito sobre as amarrações que possam existir nos extremos dos vãos. Para uma mitigação do resultado destas vibrações é possível utilizar amortecedores de vibração, sendo

que estes consistem na aplicação de elementos complementares absorventes de vibração amortecida que permitirão a obtenção de resultados satisfatórios.

O amortecedor dissipa energia através do amortecimento histerético, fornecido pelo cabo mensageiro, devido à fricção entre os fios do cabo mensageiro quando as massas oscilam. O amortecimento é obtido pela inércia gravitacional ao movimento, podendo ser observadas três fases de um ciclo na sequência das vibrações (EDP Distribuição, 2012):

- 1ª fase – o condutor é fletido para baixo, porém o amortecedor mantém a sua posição devido à inércia;
- 2ª fase – o condutor é fletido para cima e o amortecedor, sendo vencido pela inércia estática e adquirindo energia cinética, movimenta-se para baixo;
- 3ª fase – o condutor retorna à posição negativa, porém o amortecedor, devido à energia cinética obtida do condutor, é fletido para cima.



Figura 2.12 Amortecedor - três fases de um ciclo na sequência das vibrações

Fonte: (EDP Distribuição, 2012)

AS características redutoras de danos de fadiga dos cabos condutores são já conhecidas e encontram-se associados ao uso de pinças de suspensão AGS, como já mencionado.

Os condutores e os cabos de guarda estão sujeitos a regimes de vibrações eólicas, que exigem a adoção de sistemas especiais de amortecimento das mesmas. Existem fatores que determinam o comportamento dos cabos nestes contextos, nomeadamente:

- As características de inércia e de elasticidade;
- A geometria dos vãos;
- O regime dos ventos;

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

- A tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao *EveryDay Stress* (EDS));

Durante muitos anos, um critério que a experiência mostrava como adequado por ser suficientemente abrangente, consistia em considerar, a limitação do *EveryDay Stress* (EDS) dos cabos, na ordem dos 18% da carga de rotura. Para valores de EDS situados entre os 18 e 22%, considerava-se que deveria ser estudada a utilização de amortecedores anti vibratórios, tipo "Stockbridge", em todas as amarrações onde tal aconteça. Para valores de EDS superiores a 22% deveriam ser elaborados estudo que incluíssem, também, as suspensões (EDP Distribuição, 2012).

Em Portugal o EDS é definido para a temperatura de 15°C com ausência de vento, este não deve ultrapassar os 24% por razões de segurança, podendo, no entanto, em algumas situações peculiares ir até aos 25%.

2.1.5. Sistema de Terras

A ligação à terra dos sistemas elétricos tem como objetivo a garantia de segurança de pessoas, equipamentos e instalações, consistindo na criação de um ponto comum e de referência entre as partes eletricamente condutoras e a terra. Os sistemas de terra têm como função escoar as correntes de defeito para o solo, independentemente da sua origem, estas correntes fluem para o solo sob a forma de correntes de fuga que se distribuem ao longo dos elétrodos de terra enterrados nesse mesmo solo.

Na Figura 2.13, está representado o esquema de ligação à terra dos apoios de Betão e Metálico, respetivamente.

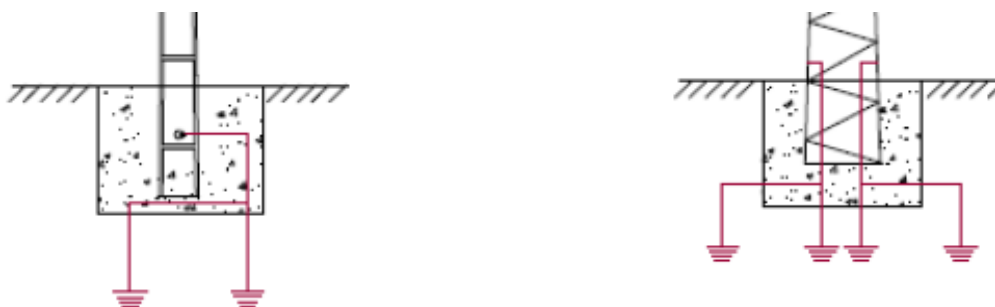


Figura 2.13 - Ligação à terra nos apoios

Fonte: (EDP Distribuição, 2012)

A Figura 2.14, representa a implantação dos eléttodos de terra, este foi instalado em terreno húmido, o condutor de terra empregado é em cobre de 35mm², os eléttodos de terra neste caso são varetas de aço revestido a cobre sendo estas enterradas a 2m de profundidade, cumprindo deste modo artigo 157º do RSLEAT que prevê, a distância entre a superfície do solo e a parte superior do eléttodo seja superior a 0,80m (Moutinho, 2012).



Figura 2.14 - Eléttodo de Terra

No estudo de elaboração de uma nova linha aérea AT, cada vez mais, é necessário pensar não só em dar uma resposta imediata, mas também pensar a médio longo prazo, pois a crescente procura de energia é uma situação cada vez mais atual. A par com a evolução tecnológica, também a introdução de novos cabos na rede de distribuição está a ser cada vez mais analisada como uma escolha adequada, os chamados cabos de alta temperatura, neste caso a escolha recai sobre o cabo ACCC, tendo vantagens comparativamente com os atuais cabos convencionais, o ACSR.

Por muitos anos, os cabos de alumínio reforçados por cordoalhas de aço têm sido utilizados para aumentar a resistência mecânica e reduzir a flecha devido ao efeito térmico nas linhas de transmissão de energia. Como a demanda por energia elétrica é cada vez maior, há necessidade de se construir de novas linhas de transmissão. Porém, a aprovação de novos projetos de linhas de transmissão esbarram em dificuldades ambientais e de propriedade privada. Neste contexto, o aumento da capacidade das linhas existentes torna-se cada vez mais importante. Novos tipos de condutores foram apresentados ao mercado, com foco no aumento da capacidade, trabalhando em temperaturas mais altas. Algumas ligas de alumínio, já amplamente utilizadas, conferem maior resistência mecânica e reduzem as flechas. Mas tanto as temperaturas mais

2.1 Elementos Constituintes de Uma Linha de Alta Tensão

altas quanto as ligas de alumínio estão associadas com aumento nas perdas de energia (CTC Global, 2011).

2.1.6. Cabos de Guarda

O Cabo de Guarda, ou cabo de terra, é um cabo nu, colocado, em regra, acima dos condutores de uma linha aérea e ligado à terra nos apoios (Coucello, 1993).

De acordo com o artigo 32º do RSLEAT a distância entre os condutores e cabo de guarda não deverá ser inferior à distância entre condutores calculada, como a fixação dos apoios dos vãos que têm uma distancia mínima superior a 2,2 m (distancia do condutor superior ao cabo de guarda) são em suspensão as distâncias regulamentares são cumpridas.

2.1.7. Cabos Condutores

O Condutor é um elemento destinado à condução elétrica, podendo ser constituído por um fio, conjunto de fios devidamente reunidos, ou por perfis adequados, podendo ser (Coucello, 1993) (EDP Distribuição, 2011):

- Condutor nu – Condutor que não possui qualquer isolamento exterior;
- Condutor unifilar ou fio – Condutor constituído por um único fio;
- Condutor isolado – Condutor revestido de uma ou mais camadas de material isolante que asseguraram o seu isolamento elétrico;
- Condutor multifilar – Condutor constituído por vários fios sem isolamento entre si, Figura 2.15 (Nogueira, 2014).

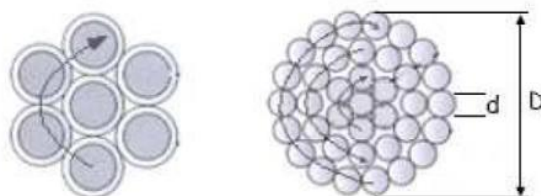


Figura 2.15 - Condutores Multifilares

Fonte: (Nogueira, 2014)

Os condutores a aplicar nas linhas aérea podem ser nus multifilares ou cabos isolados².

Atualmente a maioria das linhas aéreas AT projetadas apresentam condutores nus multifilares em alumínio-aço escolhidos em detrimento dos condutores em cobre.

Os condutores em alumínio-aço são constituídos por uma alma em aço galvanizado de 1 ou mais fios envolvidos por duas ou três camadas sucessivas de fios de alumínio todos eles enrolados em hélice.

O facto de serem condutores multifilares já constitui uma vantagem em relação aos condutores unifilares pois os condutores multifilares são mais flexíveis logo mais fáceis de manobrar.

Dado que a distribuição de energia elétrica é feita em corrente alternada a passagem da corrente é assegurada exclusivamente pelo alumínio, que se encontra na superfície do condutor, enquanto que a resistência mecânica é fornecida exclusivamente pelo aço, situado no interior do condutor.

O recurso a condutores em alumínio-aço é mais vantajoso que o recurso a condutores em cobre, daí à preferência da EDP Distribuição pelos condutores em alumínio-aço. Comparando condutores alumínio-aço condutores em cobre com a mesma resistência, logo com as mesmas perdas, verifica-se que os condutores em alumínio-aço apresentam um maior diâmetro, o que permite reduzir o efeito de coroa, bem como uma maior resistência mecânica, sendo ainda condutores mais leves o que permite reduzir as flechas, possibilitando assim a redução da altura e número dos apoios a aplicar, bem como isoladores e armações.

Desta forma, neste projeto serão abordados dois tipos de cabo, o ACSR, um cabo convencional e o cabo ACCC, cabo de alta temperatura, Figura 2.5.

² Capítulo III, Secção I, Artigo 17º do RSLEAT.



Figura 2.16 - Condutor ACSR e ACCC

Fonte: (CTC Global, 2011)

A escolha destes cabos está diretamente relacionada com as normas internas da EDP Distribuição. No caso do ACSR é o cabo mais utilizado atualmente nas linhas elétricas aéreas, sendo um cabo normalizado pela empresa e ainda um condutor qualidade/preço vantajoso no mercado. Quando ao cabo de alta temperatura, a escolha recaiu sobre o ACCC, pois este já utilizado em Portugal, em *uprating*, e encontra-se também já normalizado pela EDP.

2.2. Efeito Coroa

Se os condutores de uma linha aérea de energia atingem um potencial suficientemente grande que seja superior à rigidez dielétrica do ar, produzem-se perdas de energia devido à corrente que se forma no meio. O condutor é como se fosse o próprio ar, dando lugar a uma corrente de fuga semelhante à produzida pela condutância dos isoladores.

O efeito coroa é tanto maior quanto maior for a tensão usada nas linhas, aumenta também atendendo a condições climatéricas adversas, como humidade. Se por um lado o ar junto dos condutores fica mais condutivo e por outro lado a condensação de depósito de gotas de água na superfície dos condutores é origem decampo elétrico mais intenso (Pinto, 2008).

Este efeito pode ser visível na obscuridade da noite, nos condutores aéreos, estes vêm-se como que envolvidos num arco luminoso azulado, de secção transversal circular em forma de coroa, pelo que o fenómeno se designa de “efeito de coroa”. Este efeito aparece na superfície dos

condutores duma linha aérea quando o valor do seu gradiente de potencial aí existente excede o valor do gradiente crítico disruptivo do ar.

A consequência prática do efeito de coroa é em definitivo uma corrente de fuga análoga à da condutância do isolamento. No que diz respeito às perdas por efeito de coroa, estas começam a produzir-se a partir do momento em que a tensão crítica disruptiva seja menor que a tensão na própria linha (EDP Distribuição, 2012).

As perdas por efeito de coroa começam a produzir-se a partir do momento em que a tensão crítica disruptiva seja menor que a tensão na própria linha (Rocha, 2014).

2.3. Fiabilidade das Linhas Aéreas

A fiabilidade é um termo cada vez mais em voga nos dias de hoje, esta passou a ter um papel crucial na seleção de um equipamento, sendo esta uma forma de verificar a viabilidade/durabilidade de um determinado componente ou sistema.

Por fiabilidade pode descrever-se a continuidade de serviço de um determinado sistema, a confiança que ele nos transmite durante o seu percurso de vida, ou seja, a capacidade de o utilizar sempre que necessário sem falhas.

Também as linhas aéreas, bem como os seus elementos constituintes, têm as suas regras de fiabilidade, na tabela seguinte, Tabela 2.1, são apresentados os três níveis de acordo com o período de retorno das ações climatéricas.

Tabela 2.1- Níveis de Fiabilidade

Fonte: (Sequeira, 2009)

| Nível de Fiabilidade | Período de Retorno (anos) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 50 |
| 2 | 150 |
| 3 | 500 |

Os comités nacionais, no entanto, podem definir o nível de fiabilidade de cada país de acordo com a experiência nacional, no entanto, o nível aplicado não é geralmente inferior ao nível 1. No caso de Portugal geralmente é utilizado o nível 3, contudo, no caso de linhas temporárias

pode ser aplicado o nível inferior, sendo que estas não devem ter um nível de vida superior a 3 anos.

2.4. Condutor Convencional vs Condutor de Alta Temperatura

Nas linhas aéreas a escolha atualmente recai sobre condutores bimetálicos, onde as camadas externas são compostas por alumínio e as internas são compostas por fios de aço.

O condutor ACSR sempre recebeu alta confiabilidade graças à presença de aço que assegura ao condutor grandes margens de segurança, devido à sua robustez mecânica e ao seu baixo preço, fazem deste condutor a escolha mais eficaz atualmente para linhas aéreas AT. Este condutor é também facilmente utilizado graças ao alto valor de resistência mecânica específica e boa capacidade de transporte.

Cada vez mais existe um crescimento constante pela procura de energia elétrica, bem como uma dependência, isto, faz com que cada vez mais seja necessária dar uma resposta célere nesse sentido. Existe também uma acrescida responsabilidade no que diz respeito à qualidade de serviço, a rede de distribuição tem um papel fulcral, pois deve garantir essa mesma qualidade e fiabilidade com o menor número de perdas possível, desta forma, aparece o cabo ACCC.

O condutor de altas temperaturas distingue-se pelo seu funcionalmente em regime permanente a temperaturas de 180°C, sendo possível operar a 220°C em regime excepcional, enquanto o condutor ACSR tem uma temperatura de funcionamento máxima de 80°C.

Vários testes estão constantemente a ser efetuados aos cabos ACSR e ACCC e é verificado que nos mesmos contextos, o ACCC dissipa a energia de vibração de forma mais eficaz. Este facto deve-se em parte ao seu núcleo, visto que o que compósitos têm melhores propriedades de amortecimento (CTC Global, 2011).

2.4.1. Aspetos construtivos

Os aspetos construtivos que fazem do cabo ACCC uma solução para muitos problemas que possam surgir numa rede de transporte de energia elétrica. A sua composição relativamente ao cabo convencional, ACSR, difere essencialmente na composição do seu núcleo. A grande alteração dos cabos passa pelo núcleo, no cabo ACSR era composto por aço e no ACCC o

núcleo é reforçado por material compósito, fibras de carbono (90%) e vidro (10%), embebidos numa matriz de termo retráctil com elevado desempenho (EDP Distribuição, 2009).

Na Figura 2.17 está representado o cabo ACCC, as fibras de carbono e o vidro, respetivamente.

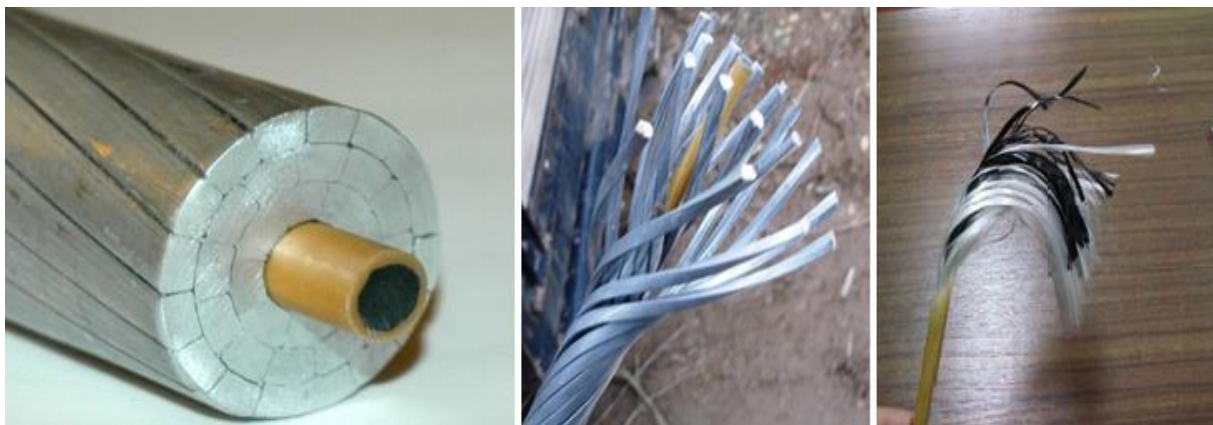


Figura 2.17 - Componentes da composição do Cabo ACCC

Fonte: (EDP Distribuição, 2009)

A principal diferença entre o cabo ACCC e os cabos convencionais é o seu núcleo, sendo neste cabo o aço trocado por um compósito de fibra de carbono ligados por um plástico termofixo que endurece quando se mistura com um agente catalisador, denominada de resina *epoxy*. O seu núcleo é concebido com um sólido de uma só peça, sem espaços vazios, como acontece no cabo ACSR.

O condutor presente no cabo ACCC é, tal como no ACSR, o alumínio, pois este apresenta aspetos positivos que fazem deste condutor a melhor escolha para em linhas aéreas, tal como boa condutividade, baixo preço, boas propriedades mecânicas e ainda uma facilidade de manuseamento.

Apesar do condutor ser o mesmo nos dois cabos, o alumínio, existe uma discrepância neste no processo de fabrico dos condutores, o ACSR utiliza o alumínio do tipo 1350-H19 que recobra a aproximadamente 93°C, enquanto o ACCC utiliza o alumínio do tipo 1350-O que é pré-recozido. Este recozimento reduz a resistência, mas melhora favoravelmente quer a condutividade e quer a resistência à fadiga, tendo a benéfica vantagem de ter uma operação contínua até 180°C (200°C de emergência a curto prazo) e opera significativamente mais frio do que os condutores de diâmetro e peso similares em condições de carga iguais devido ao seu

maior teor de alumínio e a uma maior condutividade oferecida pelo alumínio do Tipo 1350-O (CTC Global, 2011).

2.4.2. Vantagens do Condutor de Alta Temperatura

Os condutores de alta temperatura podem ser apresentados como uma alternativa aos condutores convencionais, apresentando características vantajosas que os podem tornar nos novos cabos de AT:

- Dimensão da Flecha

Graças ao reduzido valor do coeficiente de expansão térmica que o núcleo do cabo ACCC, o coeficiente de expansão térmica do cabo também será menor; isto permite menores flechas do que os cabos convencionais para as mesmas condições de operação.

Para além da diminuição da flecha a nível visual, também outros aspetos positivos neste sentido são as distâncias mínimas obrigatórias pelo RSLEAT, ou ainda, a diminuição de ocorrência de curto-circuitos devido a contactos com obstáculos, normalmente árvores que crescem demasiado e não são aparadas.

Um exemplo que podia ter sido, quem sabe evitado, foi o *blackout* que ocorreu no noroeste dos Estados Unidos da América em Agosto de 2003 onde a existência de árvores que cresceram demasiado e obstruíram o corredor das linhas, não se efetuando o corte atempadamente deram origem a curto-circuitos fase-terra provocados pelo contacto de condutores. Apesar das linhas não se encontravam a trabalhar à sua capacidade máxima e mesmo assim os condutores colidiram com as árvores originando o acidente que colocou cinquenta milhões de pessoas sem energia elétrica durante dois dias (U.S.-Canada Power System Outage Task Force, 2004).

- Altura/diminuição dos Apoios

A diminuição da flecha, antevê uma possível diminuição dos apoios, bem como da altura dos mesmos, mantendo assim as distâncias de segurança regulamentares. Contudo, também o cabo ACCC, não são necessários apoios tão robustos, como os que são utilizados para suportar cabos convencionais, pois os cabos que terão de suportar serão mais leves.

O possível aumento dos vãos, devido à leveza do cabo e à tensão de amarração que se pode aplicar leva também a uma diminuição do número dos apoios.

Também no caso de *uprating* de uma linha através da substituição dos cabos, não será, forçosamente, necessária intervenção nos apoios existentes, pois se estes eram adequados para suportar os cabos removidos também serão para suportar os cabos ACCC a instalar. Um exemplo disso, foi a primeira colocação dos cabos em Portugal, Alfena, possibilitando a utilização dos apoios em causa, não necessitando forçosamente de uma linha paralela para responder às necessidades existente.

- Ausência de Deformação Temporal

A possível deformação que o cabo ACCC apresenta com o decorrer do tempo, devido ao comportamento elástico do núcleo compósito, é praticamente nula, independente das forças que possam incidir sobre a linha, como a força do vento ou o peso provocado pela formação de gelo, o cabo regressará à sua forma inicial. Desta forma, não existirá necessidade de ajuntes aos longo dos anos, pois as distâncias calculadas na fase de projeto.

O gelo poderia ser um dos maiores obstáculos do cabo ACCC, visto ser um dos fenómenos mais prejudiciais, pois causa alongamento permanente dos condutos devido ao peso causado pelo gelo sobre os condutores, mais uma vez a composição elástica no núcleo ajuda beneficemente nesse aspeto, pois apresenta maior resistência à tração e melhor amortecimento, possibilitando assim o retorno às suas condições iniciais de funcionamento.

Segundo o guia de instalação (CTC Global, 2016) uma mitigação dos constrangimentos do gelo é a utilização de maiores tensões de serviço nos vãos que constituem a linha, não comprometendo a estabilidade dos apoios.

- Menor Corrosão

A existência de um núcleo compósito suprime a bi-metalidade existente nos cabos convencionais, bem como a corrosão química resultante da interação de dois metais. Tendo em conta que esse seria um dos maiores fatores de corrosão a afetar o cabo, sendo os restantes ínfimos, traduz-se assim numa diminuição da manutenção do cabo, o que viabiliza a sua utilização devido à reduzida manutenção necessária ao longo da sua vida útil.

- Maior Capacidade de Transporte

O cabo ACCC permite que seja transportada mais corrente do que nos condutores tradicionais, devido á sua capacidade de aguentar altas temperaturas.

Para além da vantagem óbvia de se poder fazer circular mais corrente pela mesma linha é também possível ter-se uma maior adaptabilidade para fazer circular a corrente elétrica, sem que haja risco de sobrecargas, caso ocorram defeitos noutras linhas e seja necessário reconfigurar a rede.

- Menores Perdas

As perdas do cabo ACCC, para a mesma corrente, comparativamente com um cabo convencional, são menores, isto deve-se à sua maior condutividade, bem como à maior quantidade de alumínio que o constituiu e que reduzem a resistência.

Também a ausência de um núcleo de aço contribui para a redução das perdas, o que contribui para a inexistência de perdas por histerese magnética.

2.4.3. Desvantagens do Conductor de Alta Temperatura

A introdução de um novo condutor no mercado, acaba por acarretar sempre inconvenientes perante o existente, sendo estes um obstáculo no momento de escolha, desta forma é necessário analisar as suas desvantagens no momento de escolha:

- Preço

O preço do cabo ACCC pode ser por muitos considerado uma desvantagem, pois, efetivamente este tem um preço mais elevado que o cabo ACRS, o que não significa que a construção da mesma linha possa realmente ficar mais cara comparando estes dois cabos, pois existem outros constituintes que são contabilizados para a construção da respetiva linha.

A utilização do cabo ACCC, como já referido anteriormente, pode diminuir o número de apoios, bem como a sua altura, ou seja, o cabo pode ter um custo mais elevado, o que não significa obrigatoriamente que custo global da linha seja efetivamente mais caro.

- Limitações Impostas por outros Equipamentos

Este problema é essencialmente em situações de *uprating*, pois geralmente não será possível tirar o máximo partido do cabo, ou seja, se uma linha for capaz de transportar 150MVA, mas estiver ligada a uma subestação equipada com um transformador de potência nominal inferior, nunca se irá tirar partido de toda a potencialidade de linha e não se tirará o máximo proveito do investimento efetuado.

- Funcionamento a Altas Temperaturas

As temperaturas altas são uma das grandes vantagens do cabo ACCC, contudo, pode também ser considerada uma desvantagem, pois, nem todos os restantes elementos da linha têm essa capacidade de funcionamento. O contato desses elementos com o cabo pode dar origem a avarias ou acidentes.

Outra desvantagem no que diz respeito à temperatura, é o arrefecimento do cabo, no caso de ser necessária uma intervenção sobre a linha, o cabo não arrefece de imediato, necessita um intervalo de tempo maior para o seu arrefecimento, afim de ser possível a intervenção humana sem risco de queimaduras.

As temperaturas podem também ser um problema do ponto de vista social, pois as altas temperaturas do cabo em tempo chuvoso podem dar ilusão da linha estar a fumar e propiciar-se o desenrolar um incêndio, quando na realidade é apenas a água da chuva a entrar em ebulição aquando o contacto com a linha.

Outra das desvantagens da temperatura deste cabo é que apesar da sua capacidade de laborar numa gama de temperaturas tão ampla, o comportamento dos materiais como o alumínio, modifica-se a uma dada temperatura, o chamado ponto de joelho, este aspeto será abordado com maior pormenor no ponto 3.4.12 deste documento.

2.4.4. Acessórios e Instalação do cabo ACCC

A instalação dos cabos ACCC têm cuidados de manuseamento, diferentes do cabo convencional, existindo controvérsias entre as indicações do fabricante e as recomendações de instalação (CTC Global, 2016) (CTC Cable Corporation, 2010).

Também as técnicas de manuseamento do cabo e indicação do raio de curvatura, em que este não deve ser inferior a 20 vezes o diâmetro do cabo, ou ainda, no caso do cabo sob tensão, este

nunca fazer um ângulo superior a 30° , pois causa uma deterioração da fibra, Figura 2.18, levando a uma perda de resistência.

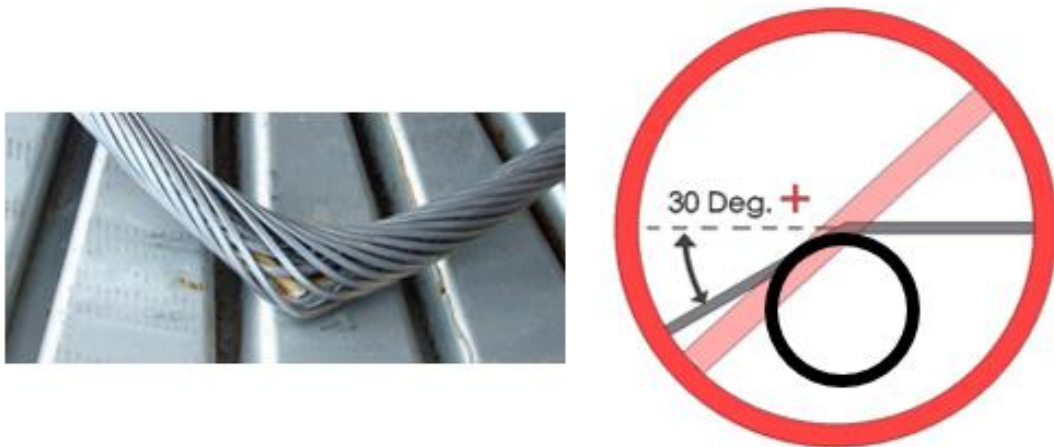


Figura 2.18 - Raio de curvatura de deterioração da fibra

Fonte: (EDP Distribuição, 2009)

No decorrer do desenrolamento do cabo, é também necessário ter em atenção o seu manuseamento,

- Utilizar o travamento na fibra de carbono com objetivo de evitar deslizamentos da fibra, Figura 2.19.



Figura 2.19 - Travamento do cabo

Fonte: (EDP Distribuição, 2009)

- A máquina deve estar distanciada do apoio três vezes a sua altura.

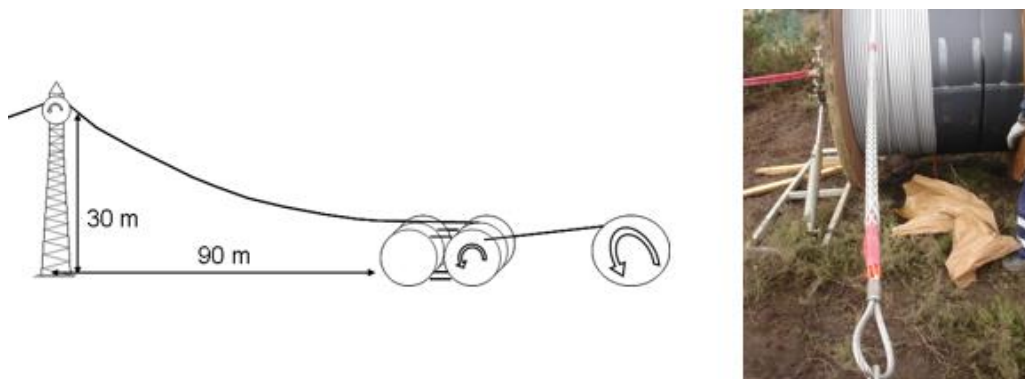


Figura 2.20 - Desenrolamento do cabo

Fonte: (EDP Distribuição, 2009)

No que diz respeito à remodelação de uma linha existente, o cabo ACCC pode ser uma mais valia. Devido ao procedimento demorado da construção de uma nova linha, o *uprating* pode ser uma solução viável para muitas das linhas atuais, sendo mais rápido o seu processo e respondendo rápida e eficazmente ao possível aumento de procura de energia. Para esse efeito existem três possibilidades de resposta:

- Conversão de linhas simples em duplas, ou duplas em bi-duplas;
- Aumento da secção dos cabos ACSR;
- Uso de condutores de alta Temperatura.

Desta forma, os cabos de alta temperatura podem vir a dar resposta, mais facilmente a *uprating* das linhas atuais, dando uma resposta à procura de energia elétrica.

2.4.5. Aplicações Construtivas dos Condutores

A construção de uma linha tem inúmeros fatores a ter em conta, como já falado anteriormente, contudo pesam na tomada de decisão cinco condições gerais para a sua construção:

- Condição Técnica;
- Condição Económica;
- Condição de Segurança;
- Condição Ambiental;

- Condição Burocrática.

Existem outras questões que, cada vez mais, são tidas em conta na construção de uma nova linha, como já falado anteriormente, existe uma crescente procura de energia, sendo cada vez mais necessária a rapidez na resposta a esses casos, perante isso a decisão de utilização pode recair sobre o cabo ACCC visto que:

- Apresenta uma maior capacidade de transporte, pode ser uma mais valia;
- Flechas menores, o que permite uma maior facilidade na escolha do traçado da linha no que diz respeito aos possíveis obstáculos da linha;
- Necessita de menos apoios, devido às reduzidas flechas, diminuindo assim os custos da obra;
- Menores custos de indemnizações aos proprietários, devido à redução dos apoios.

No que diz respeito à remodelação de uma linha existente, o cabo ACCC pode ser uma mais valia. Devido ao procedimento demorado da construção de uma nova linha, o *uprating* pode ser uma solução viável para muitas das linhas atuais, sendo mais rápido o seu processo e respondendo rápida e eficazmente ao possível aumento de procura de energia. Para esse efeito existem as seguintes possibilidades:

- Aumento da secção dos cabos ACSR;
- Uso de condutores de alta Temperatura.

Desta forma, os cabos de alta temperatura podem vir a dar resposta, mais facilmente a *uprating* das linhas atuais, dando uma resposta à procura de energia elétrica.

2.5. Linhas aéreas e o Ambiente

O projeto de uma linha aérea deve analisar, em todo o seu processo, aspetos de natureza ambiental. O meio ambiente onde se pretende o seu estabelecimento, a utilização devida dos materiais e equipamentos que a vão constituir, bem como a convivência com pessoas e bens, ao longo de toda a sua vida útil.

A EDP Distribuição integra nas suas operações conceitos de sustentabilidade e preservação ambiental que são também extensíveis aos seus ativos técnicos e em particular às linhas aéreas. Existe um trabalho contínuo de normalização de materiais e de qualificação de fornecedores, pretendendo assim disponibilizar aos projetistas das linhas aéreas, as condições necessárias à garantia da sustentabilidade ambiental (EDP Distribuição, 2012).

Os cabos de alumínio puro, dada a sua carga de rotura muito baixa, associado à sua baixa resistência aos agentes corrosivos, não são utilizados em linhas aéreas. Em igualdade de vãos, os cabos ACCC possibilitam flechas menores, assim sendo, poderão ser escolhidos apoios de menor altura permitindo economizar na escolha dos mesmos, como já mencionado, o que possibilita uma diminuição do impacto visual no meio ambiente.

No decorrer do projeto, o projetista assume um papel determinante, cada tomada de decisão nesta fase é crucial e decisiva para uma boa integração das infraestruturas no circundante, devendo ser tido em conta o respeito pelos valores ambientais, como o ecossistema e a paisagem, sempre com o objetivo de minimizar os possíveis impactos consequentes. Este processo estende-se a todo o projeto, não somente na fase de construção, mas também ao longo de todo o ciclo de vida das linhas aéreas, tendo um papel mais relevantes na fase de projeto e conceção, uma vez que, o tempo de vida útil de uma linha é muito extensa, atingindo mesmo várias dezenas de anos.

Neste âmbito, deve-se ter em conta as espécies arborícolas que se encontram na faixa de proteção da linha, respeitando sempre toda a legislação em vigor desde a proteção do meio ambiente e à segurança da própria instalação elétrica.

As linhas, AT e MT encontram-se numa zona de maior risco de incêndios de acordo com uma carta de risco aprovados nos Planos Municipais de Defesa da Floresta contra incêndios (PMDFCI), desta forma ainda impostas faixas de proteção secundária para estas linhas reduzindo assim a matéria combustível nessa faixa a estabelecer e depois a manter pela Entidade Distribuidora de Energia (EDE), (Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho com atualização pelo Despacho n.º 4345/2012 de 27 de Março do Gabinete do Secretário de Estado das Florestas e Desenvolvimento Rural) (Diário da República, 2016) (Autoridade Florestal Nacional, 2012).

Existe ainda uma legislação especial, para proteção das árvores, como sobreiros, em que não é permitido o corte, a linha terá de garantir condição de passagem superior, respeitando as

2.3 Fiabilidade das Linhas Aéreas

distâncias de segurança em todo o período da sua vida útil, por forma a reduzir o risco de incêndios, os custos de manutenção e dificuldades futuras na articulação com os proprietários dos terrenos.

Todo este estudo deve ser efetuado, na fase de estudo prévio, o projetista deve ter em conta os aspetos ambientais mais relevantes, para depois na fase de projeto as condicionantes identificadas serem devidamente tomadas em consideração, sendo nesta fase definidos os dispositivos de proteção à avifauna a utilizar em função da geometria dos apoios selecionada e das zonas atravessadas.

Na fase de projeto são ainda definidas a quantidade e qualidade dos materiais a utilizar, tendo especial atenção à racionalização dos mesmos, a fim de evitar a acumulação de desperdícios e custos de manuseamento de materiais excedentários, devendo sempre que possível ser utilizados materiais reutilizáveis e recicláveis.

No caso da existência de materiais e equipamentos a desmontar deve ser elaborada uma lista de materiais a retirar, definir a sua classificação como material reutilizável ou resíduo, os quais, deverão ser objeto de um encaminhamento adequado para operadores de resíduos licenciados. Esta lista previsional deve constar da lista de medições da obra e deve ser inscrita na orçamentação e no PSS em fase de Projeto.

Capítulo 3

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

O progresso tecnológico veio colocar a Energia Elétrica na vanguarda da tecnologia, pelo que a evolução dos projetos também contribuiu para dar uma resposta mais rápida no que diz respeito à distribuição de Energia. Desta forma, estes devem proporcionar uma elevada continuidade e qualidade de serviço, mesmo com a ocorrência de perturbações intrínsecas e extrínsecas ao seu funcionamento, que condicionam a estabilidade e qualidade do sistema elétrico.

3.1. Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

Um projeto de linhas nasce da necessidade de construir ou remodelar uma infraestrutura, sendo esse projeto autorizado e viabilizado pela Unidade Organizativa (UO) de Planeamento de Redes, pertencente à EDP Distribuição.

A Direção de Planeamento de Redes analisa e valida a necessidade, contando com *inputs* e contributos de outras UO da EDP Distribuição, tendo em consideração as melhorias da Qualidade de Serviço Técnica (QST), bem como o investimento necessário. Desta forma são tidos em conta dois importantes indicadores para a viabilidade económica do projeto: a relação Benefício/Custo (B/C) e o Valor Atualizado Líquido (VAL).

No que diz respeito aos indicadores a considerar da QST, são tidos em conta o tempo de interrupção equivalente da potência instalada (TIEPI), frequência média das interrupções do sistema (SAIFI), duração média das interrupções do sistema nos pontos de entrega (SAIDI) e a frequência média das interrupções breves do sistema nos pontos de entrega (MAIFI).

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

Para a EDP Distribuição, mais propriamente a UO de Planeamento, após a identificação da necessidade estes investimentos subdividem-se em três categorias, entrega o projeto à respetiva área construtiva, que por sua vez enquadra esse investimento numa das seguintes tipologias (EDP Distribuição, 2012):

- Investimento Estruturante (Iniciativa da Empresa ou Programável) – Investimento programado pela empresa que contempla a satisfação de novos consumos, bem como de redução de perdas, visa a garantir uma melhor eficiência na rede, qualidade e continuidade no serviço ou ainda segurança no abastecimento.
- Investimento Corrente Urgente – Investimento cujo objetivo é a reposição de um determinado ativo que que coloque em causa as condições de segurança, qualidade e continuidade de serviço, ou simplesmente deixou de funcionar por avaria.
- Investimento Obrigatório – Investimento que engloba obras de caráter obrigatório, como por exemplo, a ligação de novos clientes ou produtores, obrigações estabelecidas em contratos com municípios.

3.1.1. Programa Base

O programa base é o ponto de partida de qualquer projeto, tendo como finalidade prover o “dono” da obra dos elementos necessários para a tomada de decisão de execução do projeto. Este consiste na primeira estimativa que o dono de obra efetua sobre dos elementos gerais do projeto, como o custo ou prazo de execução.

Trata-se de um documento escrito, elaborado pelo responsável do projeto a partir de um programa preliminar, que consta num programa de estudo e viabilidade de soluções alternativas, mais favoráveis ou mais adaptadas ao meio envolvente da obra. Depois desta verificação e aprovação, este serve como base ao desenvolvimento das fases posteriores do projeto, apresentando-se de uma forma simples e perceptível (EDP Distribuição, 2012).

No caso de não serem especificadas outras condições, entende-se que o programa base a apresentar à aprovação do dono da obra deverá incluir os elementos:

- Limites do projeto;
- Estimativa do comprimento linha a instituir;

3.1 Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

- Definição da constituição dos circuitos elétricos a estabelecer;
- Indicação dos condicionamentos principais relativos à ocupação do terreno;
- Planta de localização a escala, indicativa dos limites do projeto e possíveis percursos alternativos;
- Estimativa geral do custo da obra, com todos os possíveis encargos envolventes;
- Esboço do projeto e da obra, ou sequência das fases subsequentes a realizar,
- Estimativa dos prazos associados a cada fase;
- Informação sobre a necessidade de obtenção de elementos topográficos, ou de qualquer outra natureza importantes ao estudo da obra, bem como de formalidades que podem ser exigidas, para elaboração do projeto e execução da obra (EDP Distribuição, 2012).

3.1.2. Estudo Prévio

O estudo prévio é imprescindível na elaboração do projeto e consiste essencialmente na definição do traçado, verificando todas as condicionantes do mesmo.

A definição do corredor/traçado deve ter o menor impacto ambiental possível, de forma a otimizar não só as condições técnicas e económicas, mas também as condicionantes ambientais.

Através da plataforma Sistema de Informação Técnica - Design Manager (SIT-DM[®]) deverá ser georreferenciado e implementado o traçado, possibilitando a visualização da evolução da mesma.

Nesta fase são também analisadas todas legalidades da linha, procedendo-se à realização de consultas públicas para identificação de condicionantes, sendo estas relevantes para a definição do traçado a considerar na fase de projeto e licenciamento. Na tabela seguinte, Tabela 3.1, encontram-se algumas condicionantes ao traçado.

Tabela 3.1 – Entidades a consultar

Fonte: (EDP Distribuição, 2012)

| ENTIDADES A CONSULTAR | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|---------|-----|-----|-----|------|--------------------|-------------------|------|
| CONDICIONANTES | REFER | EP/INIR | ANA | FAP | APA | CCDR | Câmaras Municipais | Minist. Agricult. | ICNF |
| Rios e Albufeiras | | | | | | | | | |
| Vias Ferroviárias | | | | | | | | | |
| Vias Rodoviárias (AE; IP; e IC) | | | | | | | | | |
| Zonas REN | | | | | | | | | |
| Zonas RAN | | | | | | | | | |
| Sítios/Zonas Protegidas | | | | | | | | | |
| Proximidade Aeródromos | | | | | | | | | |
| Prox. Antenas Rádio Difusão | | | | | | | | | |
| Áreas Urbanas e PDM | | | | | | | | | |

Após a análise do estudo prévio é necessária a validação do mesmo, estimando os custos e os prazos do projeto.

3.1.3. Levantamento Topográfico

Antes de dar início ao levantamento topográfico é efetuado o primeiro contato com os proprietários dos terrenos envolvidos no estudo, de forma a obter autorização para ser efetuado o levantamento dos terrenos, no decorrer do traçado previsto e posteriores indemnizações.

Esta análise só é possível através de um levantamento topográfico do terreno, apesar da EDP deter um programa que auxilia este levantamento, o SIT-DM®, é imprescindível o levantamento topográfico para um novo projeto.

Esta atividade é efetuada por um topografo e um fiscal, tendo o fiscal a função de auxiliar o topografo no reconhecimento do local e na verificação do cumprimento da regulação em vigor, para posteriormente contactar os proprietários e negociar as indemnizações (Verde, 2016).

Antes de se dar início ao levantamento do terreno, é necessário fazer o traçado da linha, escolhendo alguns pontos relevantes para a projeção da linha, como a fixação dos apoios de ângulo, para através do levantamento topográfico serem efetuados os pontos que delimitam o

3.1 Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

traçado da linha, como casas, linhas aéreas de energia ou comunicação, árvores, estradas, rios, entre outros obstáculos que possam interferir com o traçado da linha. Posteriormente são efetuados os trabalhos de piquetagem, onde é possível marcar os pontos fulcrais para uma melhor análise do traçado (EDP Distribuição, 2012).

Na imagem seguinte, Figura 3.1, exemplifica uma estação no terreno e a mira para piquetagem, respetivamente.



Figura 3.1 - Estudo Topográfico

O topógrafo é o primeiro a ter total contato com o terreno, verificando todos os obstáculos existentes. Este não faz apenas uma retirada de pontos estratégicos ao longo do percurso, mas também um croqui, Figura 3.2, que posteriormente serve como ajuda à equipa de desenhadores a visualizar mais facilmente a imagem do percurso.

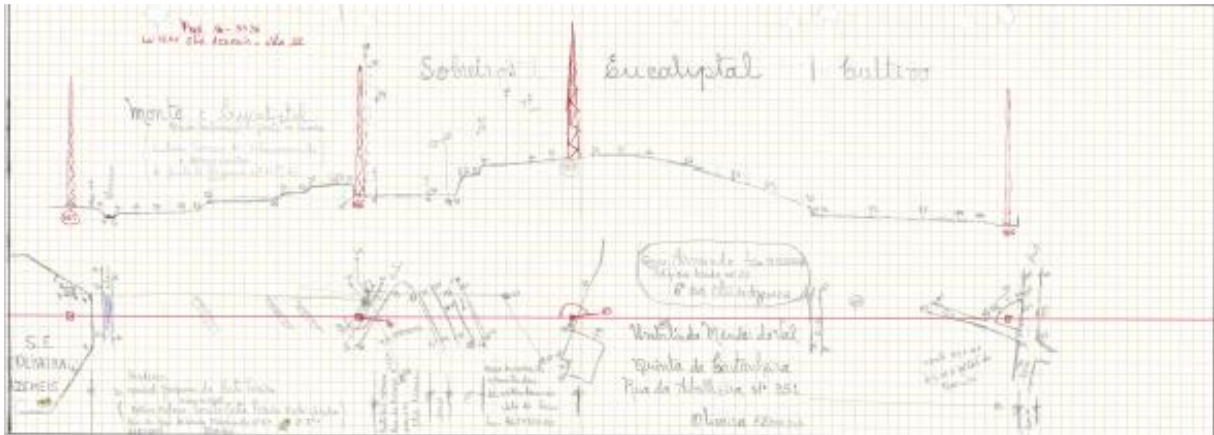


Figura 3.2 – Planta Parcelar do Topografo

Todos os pontos retirados no terreno são posteriormente processados, passando a ter planimetria do levantamento efetuado no terreno, Figura 3.3. Neste caso é apenas visível uma sequência de pontos, imperceptível, que nesta fase, apenas o topografo saberia explicar.

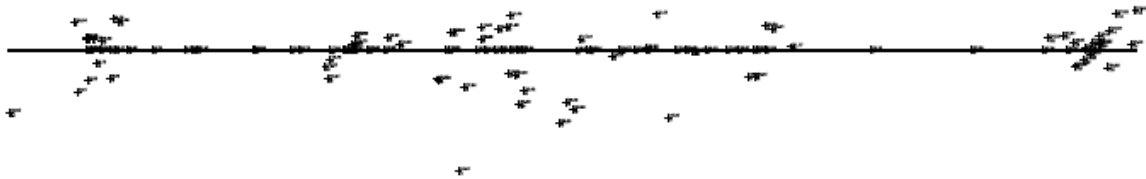


Figura 3.3 – Planimetria de um levantamento topográfico.

O passo seguinte será através da plataforma de desenho da EDP Distribuição passar o desenho para uma forma perceptível de leitura para a equipa de projeto e construção de linhas AT. A altimetria do desenho já pode ser estudada para a futura construção ou remodelação da linha, visualizando assim todas as envolventes da linha.

3.1.4. Elaboração do Projeto

A elaboração do projeto tem início com a entrega do desenho por parte do desenhador, para assim se visualizar e estudar ao pormenor a construção ou remodelação da linha, a colocação dos apoios e dos respetivos condutores.

No início do projeto são previamente definidas algumas especificidades da linha a projetar, tais como:

- Traçado da Linha (Localização dos apoios de ângulo);

3.1 Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

- Condutor e Cabo de Guarda;
- Tipo de linha (Simples/Dupla);
- Método de abordagem.

No que diz respeito à elaboração do projeto, este descreve-se em 15 etapas:

1. Definir o valor da tensão mecânica no condutor e cabo de guarda a utilizar nos vãos da linha.
2. Calcular os coeficientes de sobrecarga e o vão crítico, em todo o traçado da linha que, neste caso, se situa fora da zona de gelo.
3. Determinar o estado mais desfavorável para cada vão conforme o traçado da linha.
4. Calcular o valor da tensão mecânica para cada vão médio no estado de flecha máxima (Verão, temperatura de 80°C e coeficiente de sobrecarga igual a 1) através da resolução da equação dos estados.
5. Determinar os parâmetros que definem as catenárias correspondentes aos vãos considerados.
6. Calcular as distâncias mínimas da linha aos obstáculos presentes no traçado da linha, de acordo com o disposto no Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT).
7. Recorrer às transparências das catenárias disponíveis no departamento, procedeu-se ao traçado das curvas no perfil em papel. Saliente-se que, a escolha do local de implantação dos apoios foi escolhida tecnicamente quanto possível nas extremidades das propriedades, com o objetivo de interferir ao mínimo com a sua exploração, o traçado das curvas teve em conta, o cálculo do vão garantindo também as distâncias mínimas calculadas no ponto 6.
8. Definir o tipo de fixação de apoios, ou seja, de amarração ou de suspensão.
9. Calcular os vãos fictícios equivalentes de cada cantão. Recalcular os parâmetros das catenárias desta vez para cada cantão, e posteriormente, foi repetido a etapa 7 agora com as catenárias correspondentes a cada cantão. Neste ponto foram realizadas correções às

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

alturas dos apoios, assim como, aos comprimentos dos vãos e em situações em que os vãos de um cantão são superiores ou inferiores em 25% ao vão equivalente do cantão.

10. Neste ponto foram escolhidas as armações dos apoios. Em casos especiais, como no caso do cruzamento com linhas Muito Alta Tensão (MAT), foram selecionadas algumas armações especiais de forma a cumprir, as distâncias calculadas no ponto 6.
11. Com base nas hipóteses cálculo mencionado no RSLEAT calculou-se os esforços, transmitidos pelos cabos e causados pelos agentes atmosféricos nos apoios da linha, segundo os eixos ortogonais x, y e z.
12. Procedeu-se à escolha dos apoios capazes de resistir aos esforços calculados em 11. Foram utilizados apoios de betão (tipo K) e metálicos (tipo F e P), com base nos apoios escolhidos determinou-se altura final do apoio recorrendo às alturas normalizadas descritas nos catálogos dos apoios.
13. Tendo em conta, os apoios e armações escolhidos foram calculadas as distâncias mínimas entre condutores de acordo com o artigo 31º do RSLEAT. Em alguns casos não se verificaram o cumprimento do regulamento, nessas circunstâncias corrigiram-se a posição de alguns apoios para que as distâncias mínimas entre condutores sejam verificadas.
14. Foi analisado o desvio transversal das cadeias de suspensão, esta verificação foi realizada com base no disposto no artigo 33º do RSLEAT. Nos casos de incumprimento foram ajustadas as alturas dos apoios em causa, quando tal correção se revelava insuficiente a solução era a mudança do tipo de fixação do apoio, ou seja, passar de suspensão para amarração.
15. Por fim foram introduzidos todos os apoios e parâmetros que definem todo o traçado da linha de 60 kV no programa de cálculo CLinhas (programa de cálculo da EDP Distribuição). Esta fase do projeto tem como objetivo confrontar todos os resultados obtidos nos pontos anteriores.

3.1.5. Construção

A construção do projeto é um processo de estabelecimento de um ativo de utilidade pública sujeito a licenciamento junto do ministério da Economia, através das suas direções regionais,

3.1 Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

são estas entidades, ditas, licenciadoras, que concedem uma licença de estabelecimento que aprova o projeto da linha e autoriza a sua construção no terreno (EDP Distribuição, 2012).

Os processos de construção de uma linha são:

- Adjudicação da Obra – Nesta fase deve ser tido em conta o projeto da linha, o plano de segurança e saúde na fase do projeto, o orçamento e ainda a programação geral da obra.
- Coordenação e segurança – Nos termos previstos no Decreto-Lei n.º 273/2003 (Diário da República, 2003), é obrigação do adjudicatário, proceder ao desenvolvimento e especificações de um Plano de Segurança e Saúde do Projeto (PSSP) elaborado em fase de projeto entregue ao adjudicatário pelo dono de obra, para a respetiva obra, de que resultará um documento ampliado designado de Desenvolvimento e Especificações do Plano de Segurança e Saúde para a Obra (DEPSSO).
- Assessoria técnica e fiscalização – A assessoria técnica decorre em simultâneo com a fiscalização da obra. O projetista, como autor do projeto, deverá prestar assessoria técnica à obra, com os seguintes objetivos principais:
 - Apoiar a fiscalização da obra e os seus executantes;
 - Validação de materiais a aplicar;
 - Validação de alterações ao projeto;
 - Recolha de elementos para elaboração de projeto retificativo e telas finais da obra, caso ocorram alterações.
- A fiscalização é a atividade que se dedica à verificação da conformidade da execução da obra com o projeto da mesma:
 - Aprovar a programação da obra e possíveis alterações ao projeto, após validação do projetista;
 - Aprovar o estaleiro da obra e os materiais a aplicar na obra, após validação do projetista;

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

- Recolha de elementos para fornecimento ao projetista, visando a elaboração do projeto retificativo e das telas finais da obra, na ocorrência de alterações ao projeto.
- Contatos com os proprietários, avaliação dos prejuízos e pagamentos de indemnizações – as condições regulamentares de estabelecimentos devem estar asseguradas, assim sendo, a autorização para o acesso a propriedades privadas, bem como as indemnizações pelos prejuízos causados devem ser assegurados (Diário da República, 1960).
- Ensaios e controlos de qualidade – o controlo de qualidade dos trabalhos executados deverá ser assegurado pelo responsável pela adjudicação da obra, para que exista uma aceitação de obra, assim como dos materiais e equipamentos por ele fornecidos através da apresentação de comprovativos de conformidade dos mesmos com as especificações do dono da obra. O controlo de qualidade deverá integrar as seguintes componentes:
 - Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho (SHST);
 - Conformidade ambiental;
 - Conformidade técnica.

O adjudicatário deverá manter, na componente de SHST, uma regular supervisão dos trabalhos realizados por técnicos com formação especializada nesta área, assim como deverá assegurar o cumprimento das medidas preventivas identificadas no DEPSSO.

- Autos de receção – A receção provisória da obra deve ser um ato presencial, onde estão representadas as partes que elaboram um auto, que atesta a conformidade da execução da obra, podendo identificar eventuais ressalvas ou pontos a corrigir num prazo a fixar pelo dono da obra (EDP Distribuição, 2012).
- Sinalética – A sinalização nas linhas é essencial para alertar dos possíveis perigos a que uma linha de distribuição de energia AT pode constituir, para além de toda a sinalização aeronáutica e avifauna, também a sinalização nos apoios é fundamental. Para isso é colocado nos apoios a indicação de:
 - Informação do perigo de Morte;

3.1 Fases de um Projeto de Linhas de Alta Tensão

- Contato de Emergência;
- Empresa responsável pela linha;
- Numeração do apoio;
- Nome da Linha.



Figura 3.4 – Identificação do código da linha e tipo de apoio de betão

3.1.6. Projeto Retificado

A ligação da linha à Rede de Distribuição só é possível após a conclusão da obra de montagem e da respetiva vistoria à Entidade Licenciadora, tendo em vista a obtenção de Licença de Exploração iniciando assim a sua Exploração.

O projeto retificativo deve constituir um documento, baseado no projeto de execução, mantendo a estrutura deste, inclui e justifica, através da Memória Descritiva e Justificativa simplificada, todas as alterações introduzidas ao projeto, durante a instalação, devendo dar particular destaque às novas soluções e aos equipamentos não previstos (EDP Distribuição, 2012).

Devem ainda ser atualizados todos os sistemas e aplicações da respetiva obra, a informação técnica do ativo, a integração da linha construída em SIT-DM®, para poder ser vista e consultada por todos os departamentos que efetuam manobras na rede.

3.1.7. Comissionamento de ativos técnicos

Neste ponto faz-se uma descrição sucinta dos vários passos do processo de comissionamento de ativos técnicos, relacionando-os entre si e identificando as principais ações associadas, nomeadamente (EDP Distribuição, 2012):

- Confirmação que a instalação está conforme o pretendido e solicitado;
- Confirmação das características técnicas dos diferentes componentes;
- Confirmação das funcionalidades asseguradas por cada instalação;
- Confirmação de todas as interações entre os diversos sistemas;
- Inclusão de todas as instalações, componentes e características definidas;
- Documentação produzida;
- Colocação em serviço (requisitos e ação).

É nesta fase atualizada toda a evolução de obra em SIT-DM®, seguindo-se a entrega da obra ao departamento de Condução, que é encarregue da sua validação, disponibilizando assim os ativos e tipologia de rede e toda as aplicações. Segue-se a entrega do ativo à manutenção, passando a obra a fazer parte da Rede de Distribuição e a integrar os ativos do Operador de Rede.

De seguida é efetuada uma vistoria pela entidade licenciadora, onde o gestor de obra prepara o processo da mesma, efetua o Pedido de Vistoria e obtém assinatura do técnico responsável perante a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Segue-se então a entrada em exploração da referida obra, realizando-se a verificação em tensão e a colocação da instalação em serviço (EDP Distribuição, 2012).

3.1.8. Encerramento

O encerramento da obra só efetuado quando esta se encontrar contabilisticamente encerrada, ou seja, pois sem tal operação ainda não tem condições para ser integrada no património da empresa (resultado duma ligação à rede), fazendo parte do imobilizado técnico em curso. O custo deste último é calculado com base no acumulado a custos totais das obras em curso. Desta

forma é necessário não só o encerramento técnico, mas também o encerramento contabilístico, passando a obra a ser ativo da empresa (EDP Distribuição, 2012).

3.2. Plano de Segurança na Construção de Linhas de Alta Tensão

Na construção de linhas aéreas existem sempre riscos associados, tais como a existência de trabalhos em altura ou em tensão.

As obras sujeitas a projeto, obras que envolvam trabalhos nos quais podem existir algum tipo de riscos especiais identificados, através do Decreto-Lei N.º 273/2003, obrigam a um Plano de Segurança e Saúde (PSSP) para garantir a segurança e a saúde de todos os intervenientes no estaleiro (Diário da República, 2003).

A EDP Distribuição tem um papel ativo no que diz respeito aos riscos, tendo como prioridade de qualquer obra a segurança. Desta forma um objetivo prioritário para a empresa são “zero acidentes”, dando formações contínuas sobre o tema, sempre com o objetivo que todos os colaboradores internos e externos tenham a segurança em primeiro lugar.

Na fase que antecede o início do projeto, deve elaborar-se o PSSP e iniciar a Compilação Técnica da Obra, caso a obra não se verifique a necessidade de nomear um coordenador de Segurança e Saúde. Caso seja necessário a existência de um coordenador, este deve ser exercida por uma pessoa qualificada, nos termos previstos em legislação especial, e ser objeto de declaração escrita do dono da obra, acompanhada de uma declaração de aceitação subscrita pelo respetivo coordenador.

O PSSS é apresentado sob forma de documento, tendo como base as definições do projeto da obra, bem como as condições estabelecidas para a execução da obra sejam relevantes para a devida prevenção dos riscos inerentes. Este documento deve conter (EDP Distribuição, 2012):

- Tipo e uso previsto da instalação;
- Soluções técnicas preconizadas;
- Materiais a utilizar;
- Peças escritas e desenhadas do projeto relevantes para a prevenção de riscos profissionais;

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

- Características do terreno;
- Redes técnicas aéreas ou subterrâneas existentes no espaço do estaleiro ou que interfiram com a execução da obra;
- Especificações sobre a programação e execução da obra;
- Especificações sobre o desenvolvimento do PSSP quando várias entidades executantes realizam parte da obra;
- Concretização dos riscos evidenciados e as medidas preventivas a adotar
- Plano de emergência.

As identificações de riscos especiais em linhas aéreas implicam que a entidade responsável pela execução das obras elabore as Fichas e as Procedimentos de Segurança para os trabalhos que contenham esses riscos e assegure que os trabalhadores intervenientes nas obras tenham conhecimento das mesmas.

3.3. Cálculo Elétrico

O cálculo elétrico está diretamente relacionado com os condutores e o funcionamento da linha. Este é fundamental no processo de cálculo, pois visa assegurar as limitações técnicas impostas aos condutores, de modo a que estas não sejam de forma alguma excedidas.

3.3.1. Constantes Características por Quilometro de Linha

O funcionamento de uma linha elétrica é determinado por constantes características por quilometro quadrado, quer constantes físicas e elétricas. No que diz respeito às constantes físicas, estas são: resistência, indutância, capacidade e condutância. Por outro lado, as constantes elétricas são: reactância, susceptância impedância e admitância.

De seguida são apresentadas as expressões para o seu cálculo das constantes físicas e elétricas, respetivamente (Nogueira, 2014) (Magalhães, 2013).

1. Resistência

A resistência elétrica de um condutor é dada por:

$$R_k = \frac{\rho_\theta * L}{S} [\Omega] \quad (3.1)$$

No que diz respeito à resistência linear, esta é normalmente fornecida pelo fabricante, sendo apresentada como resistência elétrica máxima em curto circuito.

$$R_k = \frac{R}{L} = \frac{\rho_\theta}{S} [\Omega] \quad (3.2)$$

Onde:

- L – Comprimento do cabo [km];
- ρ_θ – Resistividade Linear do condutor [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$];
- S – Secção da Cabo [mm^2].

2. Coeficiente de Autoindução (Indutância)

Um dos parâmetros que mais afeta a capacidade de transporte de energia nas linhas é a indutância, conhecido também por coeficiente de autoindução. As correntes existentes nas linhas geram campos magnéticos que interferem em cada condutor.

O coeficiente de autoindução é dado pela seguinte expressão:

$$L = \frac{\mu}{2n} + 2 \ln \left(\frac{D}{r} \right) * 10^{-4} [\text{H}/\text{km}] \quad (3.3)$$

Onde:

- μ – Permeabilidade do condutor:
 - $\mu=1$ – Condutores de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos alumínio-aço;
 - $\mu=200$ – Condutores de aço galvanizado;
- n – Número de condutores por fase;
 - n=1 – Linha Simples;
 - n=2 – Linha Dupla;
- r – Raio do cabo.
- D – Distância média geométrica entre condutores;

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

No que diz respeito à distância média geométrica entre condutores, neste estudo foram utilizados dos tipos de armação, galhardete e esteira dupla, como é possível ver na figura seguinte,— Armação do Tipo F onde se encontram representados apoios metálicos do tipo F, seguindo-se as expressões de cálculo da distância equivalente entre os condutores para os respectivos apoios.

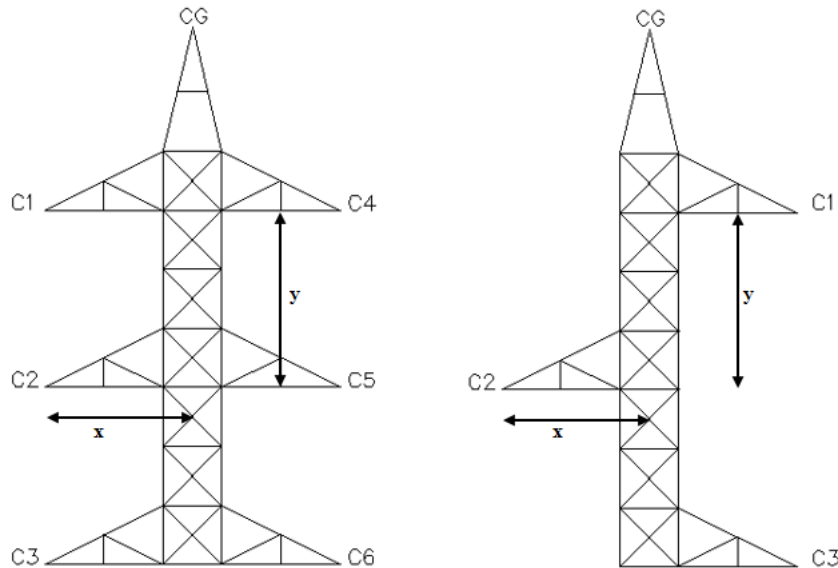


Figura 3.5 – Armação do Tipo F

Fonte: (Moutinho, 2012)

a. Apoio com armação para linha simples:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} * D_{23} * D_{13}} [m] \quad (3.4)$$

Sendo:

- $D_{12} = D_{23} \sqrt{y^2 + 2x^2} [m]$
- $D_{13} = 2y [m]$

b. Apoio com armação para linha dupla:

$$D = \sqrt[3]{D_1 * D_2 * D_3} [m] \quad (3.5)$$

Correspondendo:

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{12} * D_{13} * D_{15} * D_{16}}}{D_{14}} [m] \quad (3.6)$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{21} * D_{23} * D_{24} * D_{26}}}{D_{25}} [m] \quad (3.7)$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{31} * D_{32} * D_{34} * D_{35}}}{D_{36}} [m] \quad (3.8)$$

Com:

- $D_{12} = D_{23} = D_{45} = D_{56} [m]$
- $D_{13} = D_{46} = 2 * D_{12} [m]$
- $D_{14} = D_{25} = D_{36} [m]$
- $D_{15} = D_{26} = D_{24} = D_{35} = \sqrt{D_{14}^2 + D_{45}^2} [m]$
- $D_{16} = D_{34} = \sqrt{D_{46}^2 + D_{14}^2} [m]$

Sendo:

- D – Distância equivalente entre condutores em esteira vertical dupla;
- D_{ij} – Distância entre fases.

3. Capacidade

Da existência de carga capacitiva eletrostática no condutor e a diferença de potencial entre o condutor e o invólucro surge a capacidade da linha, que no caso de uma linha trifásica é calculada pela seguinte expressão:

$$C = \left(\frac{24,2}{\log \left(\frac{D}{r'} \right)} \right) * 10^{-9} [F/km] \quad (3.9)$$

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

Onde:

- D – Distância equivalente entre condutores [mm];
- r' – Raio fictício [mm]. Admitância

4. Condutância

A condutância exprime a limitação dos isoladores que separam eletricamente as linhas dos apoios. Essa limitação origina a passagem de uma corrente entre os condutores e os apoios acarretando perdas ativas. No entanto, como se considera um valor da resistência muito elevado, desprezando-se o valor da condutância.

A expressão da condutância é:

$$G = \frac{p}{U_s^2} * 10^{-3} [s/km] \quad (3.10)$$

Onde:

- p – Energia perdida [kW/km];
- Us – Tensão eficaz simples [kV].

5. Reatância

A reatância da linha deve ser calculada com base na fórmula indicada em seguida, é o produto da frequência angular da corrente alternada e coeficiente de autoindução por fase e por quilômetro de linha.

$$X = \omega * L = 2 * \pi * f * L [\Omega/km] \quad (3.11)$$

Onde:

- w – Frequência angular [rad/s];
- f – Frequência da corrente alternada [Hz];
- L – Coeficiente de autoindução.

6. Susceptância

A susceptância de uma linha elétrica por fase e por quilômetro pode ser calculada com base na expressão:

$$B = \omega * C = 2 * \pi * f * C [S/km] \quad (3.12)$$

Sendo:

- C – Capacidade da Linha [F/km];
- f – Frequência angular [Hz];
- w – Frequência angular da corrente alternada [rad/s].

7. Impedância

A impedância total da linha por cada fase é:

$$Z = R + jX [\Omega/km] \quad (3.13)$$

Onde:

- R – Resistência [Ω/km];
- X – Reatância [Ω/km].

No que diz respeito à impedância característica é calculada pela seguinte equação:

$$\bar{Z}_c = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{R + jX}{G + jB}} [\Omega] \quad (3.14)$$

Onde:

- \bar{Z} – Resistência [Ω/km];
- \bar{Y} – Reatância [Ω/km].

8. Admitância

A admitância por fase da linha é composta pelos termos susceptância e condutância. O valor da admitância, na forma retangular e na forma polar, é:

$$Y = G + jB \text{ [S/km]} \quad (3.15)$$

Onde:

- G – Condutância [S/km];
- B – Susceptância [S/km].

9. Ângulo Característico

O angulo característico é definido por:

$$\bar{\theta} = \sqrt{\bar{Z} * \bar{Y}} \quad (3.16)$$

Onde:

- \bar{Z} – Resistência [S/km];
- \bar{Y} – Reatância [S/km].

3.3.2. Corrente

1. Intensidade de Corrente

O calculo elétrico tem como ponto de partida o cálculo da intensidade de corrente de serviço, esta é dada pela seguinte expressão:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} \text{ [A]} \quad (3.17)$$

Onde:

- S – Potência a transmitir pela linha [VA];
- U – Tensão Nominal da Linha [V].

2. Densidade de Corrente

Conhecida a corrente é possível determinar a densidade de corrente, por fase, sendo esta calculada da seguinte forma:

$$d = \frac{I}{\sigma} [A/mm^2] \quad (3.18)$$

Onde:

- I – Intensidade de Corrente [A];
- σ – Secção do Condutor [mm^2].

3.3.3. Perdas de Energia

As perdas de energia, perdas por efeito de Joule são calculadas da seguinte forma:

$$P = n * R * I^2 [W] \quad (3.19)$$

Onde:

- n – Número de condutores da Linha;
- R – Resistência elétrica do condutor [Ω];
- I – Intensidade de Corrente [A].

$$p(\%) = \frac{P}{S * \cos(\varphi)} * 100 [\%] \quad (3.20)$$

Onde:

- $\cos(\varphi)$ – Fator de potencia, geralmente 0,9;
- S – Potência a transmitir pela linha [VA];
- p – Perdas por fase [w].

As perdas por resistência são uma das maiores causas de perdas de energia nas linhas de distribuição, é evidente que quanto maior for o valor da resistência, maior é o valor das perdas, contudo, também é visível que a resistência obedece a outros parâmetros, como a resistividade elétrica do material condutor, o comprimento da linha e a área de secção útil, por sua vez a resistividade depende do material escolhido. O cobre é atualmente o condutor de linhas aéreas com uma resistividade mais baixo, mas é substancialmente mais caro, escolhendo-se cada vez mais o condutor de alumínio, como já falado anteriormente.

3.3.4. Quedas de Tensão

As quedas de tensão estão diretamente ligadas à extensividade da linha, ou seja, quanto maior for a distancia percorrida pela linha, maiores são as perdas dessa mesma linha.

A queda de tensão é um fator crucial para o calculo elétrico, esta não deve ser superior a 5% da tensão nominal da linha, contudo esse valor pode aumentar para 10% no caso dos cabos de alta temperatura (EDP Distribuição, 2012).

A queda de tensão, entre fases, é dada pela seguinte equação:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * [R * \cos(\varphi) * X * \text{sen}(\theta)] [V] \quad (3.21)$$

Onde:

- I – Intensidade de corrente [A];
- R – Resistência elétrica [Ω];
- $\cos(\varphi)$ – Fator de potência;
- X – Reactância elétrica do condutor;
- Θ – Ângulo de defasamento.

Em valor percentual a queda de tensão é dada por:

$$U(\%) = \frac{\Delta U}{U} * 100 [\%] \quad (3.22)$$

3.4. Cálculo Mecânico

O cálculo mecânico é essencial nas linhas aéreas de transmissão de energia elétrica, visa a forma de serem asseguradas as condições de segurança bem como as condições de estabilidade da linha. O cálculo mecânico tem por objetivos essenciais (EDP Distribuição, 2012):

- Determinar as tensões de montagem a aplicar aos condutores em concordância com as condições atmosféricas que se verificarem no momento de colocação de forma a assegurar que a rutura dos condutores não se verifique independentemente das condições atmosféricas que se possam verificar posteriormente;

- Dimensionamento dos apoios para a sua estabilidade, bem como a escolha adequada dos mesmos;
- Determinação do parâmetro da catenária para cada cantão;
- Determinar convenientemente a altura dos apoios de forma a cumprir as distâncias impostas pelo RSLEAT no que diz respeito aos obstáculos próximos da linha;
- Garantir os afastamentos entre condutores, de forma a evitar curto circuitos entre fases.

3.4.1. Tensões Mecânicas Máximas

A tensão máxima de serviço é o ponto de partida do cálculo mecânico, sendo que inicialmente é calculada para todos os vãos da linha, tendo em conta os valores os valores máximos admissíveis para as tensões máximas.

A tensão máxima encontra-se diretamente ligada com a flecha da linha, bem como os esforços solicitados aos apoios, sendo que quanto maior for a tensão mecânica aplicada, menos será a flecha, mas o esforço aplicado no apoio é maior.

As tensões máximas de tração admissíveis são definidas pela expressão seguinte³:

$$t_{m\acute{a}x} = \frac{t_{rotura}}{2,5} = \frac{T_{rotura}}{\sigma * 2,5} \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \quad (3.23)$$

Sendo:

- t_{rotura} – Tensão de rotura do cabo [daN/mm²];
- T_{rotura} – Tração de rotura [daN];
- σ – Secção do cabo [mm²].

3.4.2. Estados Atmosféricos

³ Capitulo III, Seção III, Artigo 24º.

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

Os diversos elementos constituintes de uma linha, e em particular os seus condutores e cabos de guarda, sofrem solicitações elásticas provocadas pelas forças que sobre eles se exercem e solicitações térmicas originadas pelas variações de temperatura.

Todas essas variações variam de acordo com as características da região e em qualquer caso de acordo com as estações do ano, uma vez que os agentes atmosféricos a considerar, nomeadamente o vento, o gelo e a temperatura, variam conforme as estações do ano acentuando-se em períodos determinados do mesmo.

São normalmente determinados três estados atmosféricos tipo para considerar as circunstâncias que se apresentam mais desfavoráveis sob diversos pontos de vista:

1. Estado de Inverno

O estado de Inverno, é caracterizado pela menor temperatura previsível para a região na qual se pretende a implantação da linha, e ainda, pela possibilidade da existência de manga de gelo e existência de vento reduzido.

A manga de gelo é considerada com altitudes superiores a 700 m⁴. Na Tabela 3.2 encontram-se designadas as diferentes espessuras utilizadas:

Tabela 3.2 - Valores da espessura do gelo

| Altitude [m] | Espessura do Gelo [mm] |
|---------------------|-------------------------------|
| 700 - 900 | 10,0 |
| 900 - 1100 | 12,0 |
| 1100 - 1300 | 14,0 |

No que diz respeito às temperaturas, em condições normais considera-se -10°C para as zonas propicias a gelo, sendo as restantes zonas de -5°C.

2. Estado de primavera

O estado de primavera também designado estado de vento máximo, estado atmosférico caracterizado pela temperatura média previsível para a região onde a linha se vai implantar,

⁴ Capítulo II, Artigo 16º do RSLEAT

pela existência de vento muito intensos e ausência de manga de gelo. Relativamente á temperatura característica deste estado é de 15°C, sendo apenas considerada a inexistência de gelo.

3. Estado de verão

Estado de verão também designado estado de flecha máxima, estado atmosférico caracterizado pela temperatura máxima previsível, pela ausência de vento e mangas de gelo nos condutores.

Neste caso podia ser aplicada a temperatura máxima designada para a classe 3 de 65°C, contudo a EDP Distribuição utiliza o valor máximo de 80°C⁵, de forma a maximizar a linha em situação de contingência na rede.

3.4.3. Forças exercidas pelos Agentes Atmosféricos e pelos cabos

Nas linhas aéreas os cabos são submetidos a vários fatores, tais como o vento, possível manga de gelo ou mesmo o peso do próprio cabo, essas forças externas estão representadas na equação seguinte:

$$F_R = \sqrt{(W_C + W_G)^2 + F_V^2} \text{ [daN/m]} \quad (3.24)$$

Onde:

- F_R – Força resultante das diferentes ações impostas pelos agentes atmosféricos [daN/m];
- W_C – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- W_G – Peso específico da manga de gelo por unidade de comprimento [daN/m];
- F_V – Força do vento exercida sobre o condutor e eventual manga de gelo [daN/m];

3.4.3.1. Ação do Peso do Próprio Cabo

O peso específico do cabo pode ser calculado, contudo, sendo também referido nas tabelas dos fornecedores, estas contêm todas as especificidades necessárias do respetivo cabo.

⁵ Capítulo III, Secção I, Artigo 22º do RSLEAT

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

Quando calculado, a expressão de cálculo é a seguinte:

$$W_C = w_V * \sigma \quad (3.25)$$

Sendo:

- W_V – Peso específico volumétrico da substância da qual o condutor é constituído [kg/mm³];
- σ – Secção do cabo [mm²].

3.4.3.2. Ação do Vento

A ação do vento nos cabos, numa linha aérea, é imprescindível, este deverá considerar-se atuando numa direção horizontal e a força proveniente da sua ação considera-se paralela à direção, sendo a expressão desse cálculo a seguinte⁶:

$$F_V = \alpha * c * q * s \text{ [daN/m]} \quad (3.26)$$

Sendo:

- F_V – Força proveniente da Ação do Vento [daN/m];
- α – Coeficiente de Redução [Sem unidades];
- c – Coeficiente de Forma [Sem unidades];
- q – Pressão dinâmica do Vento [daPa];
- s – Área da superfície batida pelo Vento [m].

No caso da existência de gelo a fórmula será:

$$F_V = \alpha * c * q * (d + 2e) \text{ [daN/m]} \quad (3.27)$$

Sendo:

- d – Diâmetro do cabo [m];

⁶ Capítulo II, Artigo 10º do RSLEAT

- e – Espessura da manga de gelo [m].

3.4.3.3. Ação do Gelo Sobre os Condutores

A ação do gelo sobre os condutores é determinada pela expressão:

$$W_G = \rho_G * \frac{\pi}{4} * [(d + 2 * e)^2 - d^2] \quad (3.28)$$

Sendo:

- ρ_G – Peso específico volumétrico do gelo, 900[kg/m³];
- d – Diâmetro do cabo;
- e – Espessura da manga de gelo.

3.4.4. Coeficiente de Sobrecarga

Os agentes atmosféricos, que definem os estados atmosféricos, são introduzidos no cálculo mecânico por meio de um coeficiente de sobrecarga.

O coeficiente de sobrecarga confere ao peso ao peso próprio do condutor um agravamento que, traduz a ação do vento e do gelo como as respetivas ações se resumissem a um aumento de peso próprio dos condutores. Este é dado pela seguinte expressão:

$$m = \frac{F_r}{W_c} \frac{\sqrt{(W_c + W_G)^2 + F_V^2}}{W_c} \quad (3.29)$$

Esta equação diz respeito ao estado de inverno, na condução de existência de gelo, contudo na primavera W_G toma o valor de zero devido à inexistência de gelo. No verão o coeficiente de sobrecarga é 1, como facilmente se verifica, pois também F_V toma o valor de zero.

3.4.5. Equação de Estados

A equação de estados está relacionada com o equilíbrio mecânico entre dois estados atmosféricos, sendo que, os valores de um dos estados devem ser previamente conhecidos para a possível resolução. A equação de estados é dada pela igualdade das equações:

$$\theta_i + \frac{t_i}{\alpha * E} - \frac{m_i^2 * W^2 * L^2}{24 * \alpha_d * \sigma^2 * t_i^2} = \theta_k + \frac{t_k}{\alpha * E} - \frac{m_k^2 * W^2 * L^2}{24 * \alpha_d * \sigma^2 * t_k^2} \quad (3.30)$$

Onde:

- θ_i e θ_k – Temperatura do estado i e k respetivamente [°C];
- t_i e t_k – Tensão mecânica do condutor no estado atmosférico i e k respetivamente [daN/mm²];
- m_i e m_k – Coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos i e k respetivamente;
- W – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- L – Comprimento do vão [m];
- E – Módulo de elasticidade [daN/mm²];
- α – Coeficiente de dilatação linear térmica do cabo [°C⁻¹];
- σ – Secção do cabo [mm²].

3.4.6. Determinação da Tensão de Montagem

A intervenção no que diz respeito à tensão de montagem é uma tarefa minuciosa, pois devem ser seguidos os procedimentos detalhadamente para não ser colocada em causa o bom funcionamento da linha.

A tensão de montagem é calculada com a equação de estados, (3.30), comparando o estado de verão (admite-se que a montagem seja efetuada no verão) com o estado atmosférico mais desfavorável. Variando a temperatura de forma a saber as várias condições possíveis no momento da respetiva montagem.

3.4.6.1. Vão Crítico

Para dar seguimento ao estudo do vão crítico é necessário ter em conta o estado mais desfavorável, através do coeficiente de sobrecarga, (3.29), sendo depois verificado esse estado através da árvore de decisão, Figura 3.6., decidindo assim entre a Primavera e o Inverno, qual o estado mais desfavorável.

O Verão o estado que apresenta um maior cuidado no que diz respeito aos condutores, devido à inexistência de vento ou gelo e às temperaturas elevadas, causando assim um aumento significativo na flecha da linha, este é considerado o estado comparativo para esta

análise. A opção de escolha do pior estado recai no estado de Primavera ou de Inverno. A existência de ventos fortes e intensos são características da Primavera por outro lado o Inverno tem a possibilidade de existência de gelo. Sendo por isso necessário a determinação de um vão crítico para determinar o estado mais desfavorável. Este vão corresponde ao vão de referência, pelo qual os condutores ficam sujeitos à mesma tração de serviço máxima, nos estados de inverno e primavera (EDP Distribuição, 2012).

Tendo como base a equação (3.30), considerando $t_i = t_k = t_{serv}$ e $L = L_{cr}$, tem-se a igualdade:

$$\theta_i + \frac{t_{serv}}{\alpha * E} - \frac{m_i^2 * w^2 * L_{cr}^2}{24 * \alpha_d * \sigma^2 * t_{serv}^2} = \theta_k + \frac{t_{serv}}{\alpha * E} - \frac{m_k^2 * w^2 * L_{cr}^2}{24 * \alpha_d * \sigma^2 * t_{serv}^2} \quad (3.31)$$

Sendo que a expressão que se segue do valor do vão crítico só é real, se o coeficiente de sobrecarga referente ao estado de primavera for superior ao estado de inverno, como é possível verificar na árvore de decisão, Figura 3.6, já que a temperatura no estado de primavera é superior à temperatura no estado de inverno em qualquer circunstância de cálculo:

$$L_{cr} = \frac{\sigma * t_{serv}}{w_c} = \sqrt{\frac{24 * \alpha * (\theta_i - \theta_k)}{m_i^2 - m_k^2}} \quad (3.32)$$

Onde:

- σ – Secção do cabo [mm^2];
- t_{serv} – Tensão mecânica máxima de serviço [daN/mm^2];
- w_c – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- θ_i e θ_k - Temperatura no estado de Primavera e de Inverno, respetivamente [$^{\circ}\text{C}$];
- m_i e m_k - Coeficiente de sobrecarga associado ao estado de Primavera e Inverno, respetivamente.

3.4.6.2. Vão Equivalente Fictício

O vão equivalente fictício utiliza-se, caso se esteja na presença de um cantão composto por vários vãos, ou seja, se entre dois apoios de amarração se encontrem vários apoios em suspensão. O vão equivalente traduz um vão fictício no qual as variações da tensão mecânica,

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

devido às variações de carga e de temperatura, são sensivelmente iguais às dos vãos reais do cantão (Verde, 2016).

Para o vão equivalente fictício existe duas situações de cálculo, para zonas em patamar e para zonas desniveladas, que são representados pelas expressões que se seguem, respetivamente:

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_1^n L_i^3}{\sum_1^n L_i}} [m] \quad (3.33)$$

$$L_{eq} = \frac{\sum_1^n b_i}{\sum_1^n L_i} * \sqrt{\frac{\sum_1^n L_i^3}{\sum_1^n b_i^2}} [m] \quad (3.34)$$

Onde:

- $\sum_1^n L_i$ – Somatório dos vãos pertencentes a um cantão [m];
- $b_i = \sqrt{L_i^2 + h_i^2}$ [m], sendo h a diferença entre cotas de apoios com a altura do apoio incluída.

3.4.6.3. Estado Mais Desfavorável – Árvore de Decisão

Sabendo qual é o estado atmosférico mais desfavorável é então possível, com recurso a equação dos estados, determinar qual a tensão de montagem a aplicar aos condutores para diferentes temperaturas. A partir daqui é possível determinar as respetivas flechas essenciais para a montagem dos condutores na linha.

A principal dificuldade no projeto de linhas aéreas reside na escolha da tensão mecânica de montagem máxima a ser aplicada aos condutores de uma linha no estado atmosférico mais desfavorável.

Essa escolha terá repercussões na estabilidade dos apoios, na flecha dos condutores e no afastamento entre condutores sendo que quanto maior for a tensão escolhida maiores serão os esforços aplicados aos apoios e maior será a flecha correndo-se o risco de uma aproximação exagerada dos condutores aos objetos próximos da linha. Por outro lado, quanto maior for a tensão máxima maior será o afastamento entre condutores.

Esta questão é bastante delicada ao nível económico pois está diretamente relacionada com a escolha dos apoios.

Na Figura 3.6 está representada a árvore de decisões do estado atmosférico mais desfavorável.

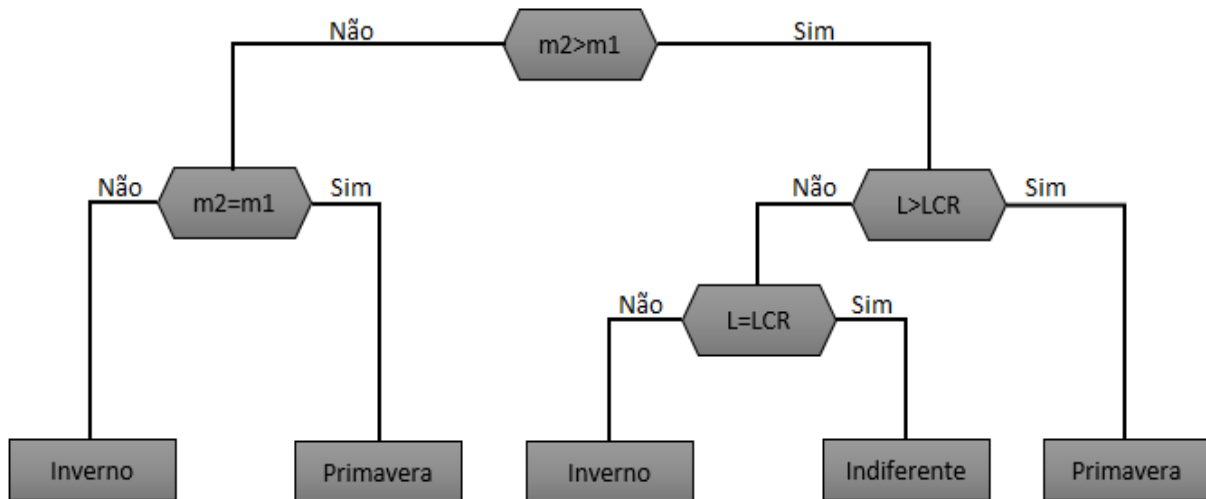


Figura 3.6 - Árvore de Decisão

3.4.7. Cálculo das Flechas

A curva da linha é um processo elementar, pois dela dependem as distancias regulamentares impostas pelo regulamento. Conforme seja a relação tração/peso linear do cabo, maior ou menos, define se forma da curva catenária será mais ou menos pronunciada. Esta relação define o parâmetro de catenária, que corresponde aproximadamente ao raio de curvatura em metros, duma circunferência tangente à curva da catenária, no ponto onde essa tangente é horizontal (EDP Distribuição, 2012).

Para determinar a catenária, considera-se os cabos como estruturas homogéneas, inextensíveis e perfeitamente flexíveis, o que não se verifica na realidade, pois estas variam com a temperatura, pode assim ser determinada a condição de equilíbrio.

As equações podem enunciar-se com aproximação numa situação real à forma hiperbólica ou numa forma mais simplificada, aproximam-se a uma parabólica, Figura 3.7.

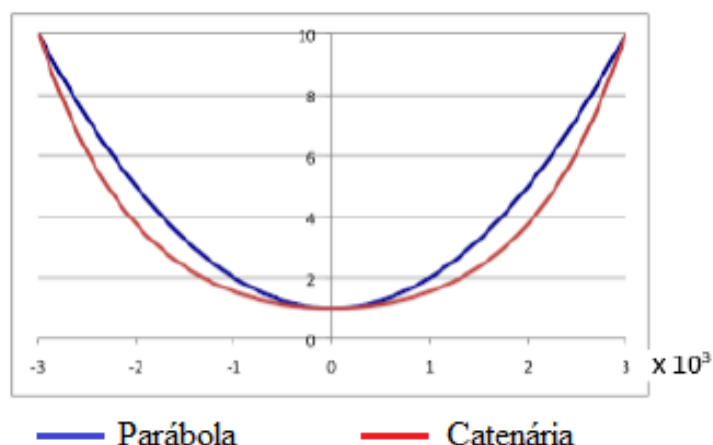


Figura 3.7 - Representação da curva da Parábola e da Catenária

Fonte: (Verde, 2016)

A equação que permite calcular o valor da catenária é dada por:

$$P = \frac{t_i * \sigma}{w_c} [m] \quad (3.35)$$

Onde:

- t_i – Tensão de montagem do cabo [daN/mm^2];
- σ – Secção do cabo [mm^2];
- w_c – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];

A existência de dois tipos de vão, vãos em patamar e vãos desnivelados, variam a análise da aproximação da parábola, para melhor demonstrar as diferenças consideram-se as imagens vão de nível e vão desnivelado, Figura 3.8.

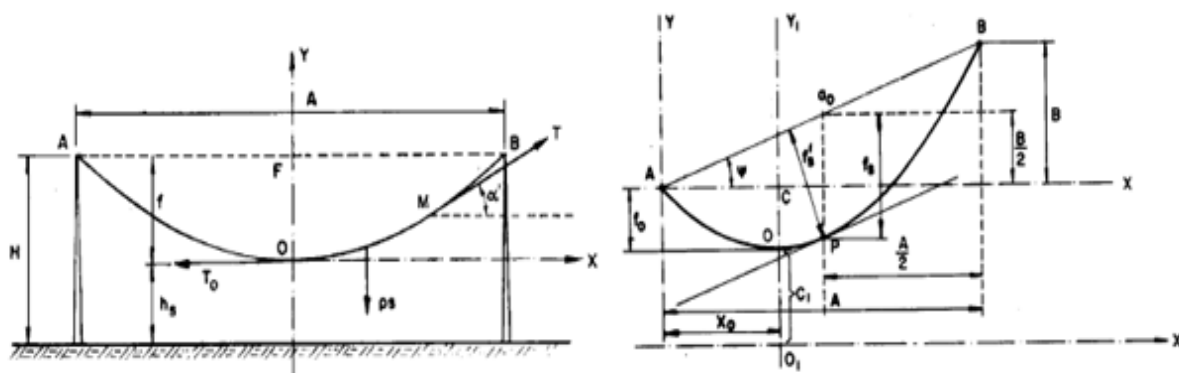


Figura 3.8 – Vão de nível e vão desnivelado

Fonte: (EDP Distribuição, 2012)

Sendo:

- A – Vão [m];
- B – Desnível entre os pontos de fixação A e B [m];
- H – Altura do solo aos pontos de fixação A e B [m];
- f – Flecha OF [m];
- f_s' - Flecha de meio vão [m];
- f_s - Flecha de meio vão rebatida para um plano vertical [m];
- f_0 – Flecha de nível vista a partir do ponto A [m];
- h_s – Altura do cabo ao solo, como mínimo deverá ser a distância de segurança [m];
- T_0 – Tração horizontal [daN];
- T – Tração tangente à curva em M [daN];
- s – Comprimento do troço de cabo OM [m];
- p_s – Peso do cabo correspondente ao troço OM [daN] (produto do peso linear p, [daN/m], pelo comprimento s [m]);
- α' – Ângulo da tração T com a horizontal [graus];
- C_1 – Parâmetro de catenária (k) [m];
- Ψ – Ângulo da retal imaginária que passa nos pontos A e B, com a horizontal [graus].

A partir dos valores das trações dos condutores no estado de flecha máxima, é possível determinar a flecha máxima dos condutores para vãos em patamar ou vãos em desnível, através das formulas seguinte, respetivamente.

$$f = \frac{m * w_c * L^2}{8 * \sigma * t_i} [m] \quad (3.36)$$

$$f = \frac{m * w_c * L * L_1}{8 * \sigma * t_i} [m] \quad (3.37)$$

Onde:

- m – Coeficiente de sobrecarga unitário;
- w_c – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- L – Comprimento do vão [m];

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

- L_1 – Comprimento medido diretamente nos pontos de fixação dos apoios adjacentes, sendo $L_1 = \sqrt{L^2 + h^2}$ [m];
 - h – Diferença de cota entre os pontos de fixação dos apoios [m];
- σ – Secção do cabo [mm²];
- t_i – Tensão de montagem do cabo [daN/mm²].

3.4.8. Verificação do Distância Mínima entre Condutores

Por razões de segurança, os condutores devem ser estabelecidos de forma a não existir possibilidade de aproximação perigosa entre si, atendendo às oscilações provocadas pelo vento. A distância mínima entre condutores, para linhas de 3ª classe, pode ser calculada através da seguinte fórmula, expressa no artigo 31º do RSLEAT:

$$D = k * \sqrt{f + d} + \frac{U}{150} \quad (3.38)$$

Em que:

- k – Coeficiente dependente da natureza dos condutores, cujo valor é 0,6, para condutores alumínio-aço;
- f – Flecha máxima dos condutores, em metros;
- d – Comprimento das cadeiras de isoladores suscetíveis de oscilarem transversalmente à linha.

No entanto para zonas sem gelo, a distância entre os condutores nus pode ser inferior à obtida pela expressão anterior, desde que a distância entre os planos horizontais que passam pelos respectivos pontos de fixação não seja menor que dois terços daquele valor.

3.4.8.1. Distância entre os condutores e o cabo de guarda

O RSLEAT, segundo o artigo 32º, prevê a distancia entre os condutores nus e o cabo de guarda, esta, perto da fixação dos apoios, não deve ser inferior à distancia entre condutores.

3.4.9. Verificação do Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão

De acordo com o artigo 33º do RSLEAT, a distância (D) entre os condutores nus e os apoios deverá ser verificada para condutores em repouso e condutores desviados pelo vento. As expressões que determinam essa distância mínima são respetivamente (Coucello, 1993):

$$D = 0,10 + 0,0065 * U \quad (3.39)$$

$$D = 0,0065 * U \quad (3.40)$$

Sendo:

- U – Tensão nominal da linha, [kV];

Para os condutores desviados pelo vento (fixados em aos apoios por isoladores em cadeias de suspensão) é necessário que o ângulo de desvio transversal das cadeias de suspensão não seja maior que o ângulo de desvio transversal máximo de forma a garantir o cumprimento da distância regulamentar, 0,39 m, o esquema da figura encontra-se representado na Figura 16.

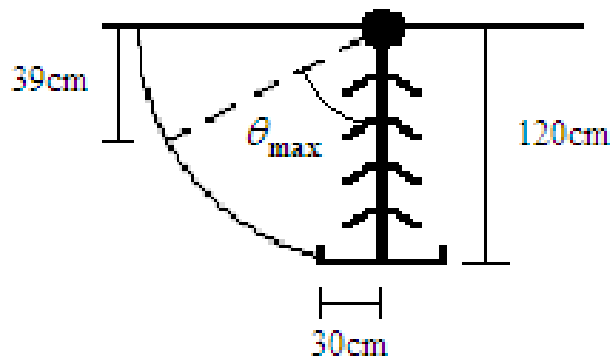


Figura 3.9 - Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão

Fonte: (Moutinho, 2012)

Como as cadeias de suspensão têm 1,2 m de comprimento, e as hastes de descarga têm 0,3 m de diâmetro, o ângulo máximo de desvio transversal permitido é dado por:

$$\theta_{m\acute{a}x} = \arccos\left(\frac{D_{m\acute{a}x}}{L_c}\right) \quad (3.41)$$

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

Para se garantir uma maior margem de segurança considera-se o valor transversal máximo. O ângulo do desvio transversal da cadeia da suspensão dos apoios de alinhamento é dado por:

$$i = \text{artg} \left(\frac{F_{\text{vento}} \frac{F_{\text{ventoIsol}}}{2}}{P_{CD} + \frac{P_{\text{Isol}}}{2}} \right) \quad (3.42)$$

$$P_{CD} = W_c * \left(\frac{V\tilde{a}o1 + V\tilde{a}o2}{2} \right) + t_{\text{max}} * \left(\frac{Z}{V\tilde{a}o1} + \frac{Z}{V\tilde{a}o2} \right) \quad (3.43)$$

Sendo:

- F_{vento} – Ação do vento no cabo condutor [daN];
- $F_{\text{ventoIsol}}$ – Ação do vento na cadeia de Isoladores [daN];
- P_{CD} – Ação do Vento na cadeia de Isoladores [daN];
- P_{Isol} – Peso da Cadeia de Isoladores [daN];
- W_c – Peso específico do condutor por unidade de comprimento [daN/m];
- L_1 – Comprimento do vão a montante [m];
- L_2 – Comprimento do vão a jusante [m];
- T_{max} – Tração máxima de serviço [daN/mm²]
- Z – Altura entre o ponto de fixação do apoio em que se pretende calcular o desvio e o ponto de intersecção da reta que une o apoio à esquerda com o apoio à direita [m].

3.4.10. Distâncias Regulamentares

As distancias regulamentares expostas pelo RSLEAT são analisadas para o estado de flecha máxima, estas visam a garantir as distancias mínimas obrigatórias dos obstáculos da linha.

1. Distância dos condutores ao solo

De acordo com o artigo 27º do RSLEAT deverá observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância mínima (D) entre condutores nus das linhas e o solo, essa distância é dada por:

$$D = 6,0 + 0,005 \times U [m] \quad (3.44)$$

Onde:

- U – Tensão nominal da linha [kV].

Cumprindo o Regulamento, a distância mínima dos condutores ao solo é de 6 m, contudo os Regulamentos da EDP indicam o valor mínimo de 7 metros.

2. Distância dos condutores às árvores

De acordo com o artigo 28º do RSLEAT deverá observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância mínima (D) entre condutores nus das linhas e as árvores, essa distância é dada por:

$$D = 2,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (3.45)$$

Onde

- U – Tensão nominal da linha [kV].

A distância dos condutores às árvores imposta pelo Regulamento é de 2,5 metros.

3. Distância dos condutores aos edifícios

De acordo com o artigo 29º do RSLEAT deverá observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância mínima (D) entre condutores nus das linhas e as coberturas, chaminés e todas as partes salientes suscetíveis de ser normalmente escaladas por pessoas, essa distância é dada por:

$$D = 3,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (3.46)$$

Onde:

- U – Tensão nominal da linha [kV].

A distância dos condutores aos edifícios definida pelo Regulamento é de 4 metros.

4. Distância dos condutores às autoestradas e às estradas nacionais e municipais

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

De acordo com o artigo 91º do RSLEAT deverá observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância mínima (D) entre condutores nus das linhas e as autoestradas, ou estradas nacionais ou municipais, essa distância é dada por:

$$D = 6,3 + 0,01 \times U \text{ [m]} \quad (3.47)$$

Onde

- U – Tensão nominal da linha [kV].

A distância dos condutores na travessia de estradas definida pelo Regulamento é de 7 metros.

5. Distância dos apoios à zona de estrada

De acordo com o artigo 92º do RSLEAT deverá observar-se que, os apoios das linhas devem distar horizontalmente da zona de estrada pelo menos:

- 5 metros, no caso de autoestradas, itinerários principais e itinerários complementares;
- 3 metros, no caso de outras vias de comunicação.

6. Distância entre duas linhas

De acordo com o artigo 109º do RSLEAT deverá observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância mínima (D) nos cruzamentos de linhas de alta tensão em condutores nus com outras linhas de alta ou baixa tensão, também em condutores nus, essa distância é dada por:

$$D = 1,5 + 0,01 \times U + 0,005 L \text{ [m]} \quad (3.48)$$

Onde

- U – Tensão nominal da linha que possui de maior tensão [kV];
- L – Distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha superior [m].

3.4.11. Verificação da estabilidade dos Apoios

O cálculo Mecânico consiste na verificação da estabilidade dos apoios através do cálculo dos esforços transmitidos pelos cabos e causados pelos agentes atmosféricos nos apoios da linha,

seguinte os eixos ortogonais x, y e z, classificando-se da seguinte forma:

Esforços longitudinais (x) – resultam essencialmente dos esforços mecânicos aplicados ao apoio pelos condutores e cabos de guarda, quando estes possuem trações diferentes nos vãos adjacentes ou ainda se o apoio suporta apanhas condutores de um dos lados

Esforços transversais (y) – resultam da ação do vento sobre os apoios, das trações dos condutores e cabos de guarda quando estes formam ângulo;

Esforços verticais (z) – devem-se ao peso dos isoladores, condutores, cabos de guarda e possíveis depósitos de gelo ou neve.

De acordo com a função do apoio deve ser efetuado o calculado de todas as forças aplicadas em cada eixo, aplicando as regras do RSLEAT, que consiste em hipóteses de cálculo para os vários tipos de apoio (AAT, 2006).

A verificação da estabilidade dos apoios é verificada segundo as condições descritas, as hipóteses de cálculo dos apoios são efetuadas de acordo com o RSLEAT, Capítulo 5, secção II, que contempla as hipóteses de cálculo dos apoios, neste trabalho utilizados os apoios fim de linha⁷, apoio de alinhamento⁸ e apoio de ângulo⁹ e bem como apoio de reforço de alinhamento¹⁰ e o apoio de reforço de ângulo¹¹.

1. Hipótese 1

As expressões a considerar são as seguintes para os diversos tipos de apoio:

$$F_L = n_{cd} * F_{LCD} + F_{LCG} \quad (3.49)$$

$$F_T = n_{cd} * F_{TCD} + F_{TCG} + n_{Isol} * F_{TIsol} \quad (3.50)$$

⁷ Artigo 62º do RSLEAT.

⁸ Artigo 56º do RSLEAT.

⁹ Artigo 57º do RSLEAT.

¹⁰ Artigo 59º do RSLEAT.

¹¹ Artigo 60º do RSLEAT.

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

$$F_V = n_{cd} + P_{V_{CD}} + P_{V_{CG}} + n_{Isol} * P_{V_{Isol}} \quad (3.51)$$

O valor de $F_{V_{Isol}}$ e $P_{V_{Isol}}$ são valores fixos e em todas as situações deste caso são respetivamente, 15daN e 30 daN. No caso do cálculo do $P_{V_{CD}}$ e $P_{V_{CG}}$ estes são calculados da mesma forma para todas as hipóteses de cálculo, sendo calculado pela expressão a seguinte:

$$P_{V_{CD}} = P_{V_{CG}} = W_C * \frac{V\tilde{a}o_1 + V\tilde{a}o_2}{2} \quad (3.52)$$

a. Apoio Fim de Linha

No caso deste apoio as fórmulas para o cálculo das expressões gerais, são subdivididas nas seguintes equações:

$$F_{L_{cd}} = F_{L_{cg}} = F_{V_{ento_1}} + T_2 - T_1 \quad (3.53)$$

$$F_{V_{ento_1}} = \alpha * c * q * d * \frac{V\tilde{a}o_1}{2} \quad (3.54)$$

$$T_1 = T_2 = T_x = \sigma * |t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}ox}}| \quad (3.55)$$

$$F_{T_{CD}} = F_{T_{CG}} = F_{V_{ento_1}} + F_{V_{ento_2}} + T_1 \quad (3.56)$$

$$F_{V_{ento_2}} = \alpha * c * q * d * \frac{V\tilde{a}o_2}{2} \quad (3.57)$$

b. Apoio de Alinhamento

No caso deste tipo de apoios, tendo em conta que os esforços longitudinais e transversais são obtidos através da mesma expressão para o condutor e para o cabo de guarda, as equações são subdivididas da seguinte forma:

$$F_L = T_{21} [daN] \quad (3.58)$$

$$T_{21} = \sigma * |t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o2}} - t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o1}}| [daN] \quad (3.59)$$

$$F_{T_{CD}} = F_{T_{CG}} = F_{V_{ento_{12}}} \quad (3.60)$$

$$F_{V_{ento_{12}}} = \alpha * c * q * d * \frac{V\tilde{a}o_1 + V\tilde{a}o_2}{2} [daN] \quad (3.61)$$

c. Apoio de Ângulo

No cálculo dos esforços longitudinais neste tipo de apoios é considerada a equação seguinte:

$$F_{Lcd} = F_{Lcg} = F_{Vento_{12}} + T_{21} \quad (3.62)$$

Recorrendo às expressões (3.59) e (3.61) para o seu cálculo.

No que diz respeito ao cálculo dos esforços transversais, neste caso existe uma soma de tração e não uma subtração, como é possível visualizar na formula seguinte:

$$T_{21} = \sigma * |t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o2}} + t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o1}}| [daN] \quad (3.63)$$

As siglas das fórmulas são:

- n_{CD} – Número de condutores;
- n_{Isol} – Número de isoladores;
- F_{LCD} – Força Longitudinal do Condutor [daN];
- F_{LCG} – Força Longitudinal do Cabo de Guarda [daN];
- α – Coeficiente de Redução [Sem unidades];
- c – Coeficiente de Forma [Sem unidades];
- q – Pressão dinâmica do Vento [daPa];
- d – Diâmetro do cabo [m];
- $V\tilde{a}o_1$ – Vão a montante do apoio;
- $V\tilde{a}o_2$ – Vão a jusante do apoio;
- σ – Seção total [mm²];
- $t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o1}}$ – Tração do cabo a montante do apoio;
- $t_{m\acute{a}x_{v\tilde{a}o2}}$ – Tração do cabo a jusante do apoio.
- $F_{T_{Isol}}$ – Força Transversal do Isolador [daN];
- $F_{T_{CD}}$ – Força Transversal do Condutor [daN];
- $F_{T_{CG}}$ – Força Transversal do Cabo de Guarda [daN];
- $F_{Vento_{12}}$ – Força do vento incidente no condutor a montante e a jusante do apoio [daN];
- $P_{V_{Isol}}$ – Peso Vertical do Isolador [daN];

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

- $P_{V_{CD}}$ – Peso Vertical do Condutor [daN];
- $P_{V_{CG}}$ – Peso Vertical do Cabo de Guarda [daN].
- W – Peso Linear [Kg/m].

d. Apoio de Reforço em Alinhamento

No cálculo deste tipo de apoio, não é calculado o esforço transversal, sendo neste caso 0daN, no que diz respeito ao cálculo longitudinal e vestical, este é efetuado da mesma forma que o cálculo do Apoio de Alinhamento.

e. Apoio de Reforço em Ângulo

Na hipótese 1 o cálculo do apoio em reforço em ângulo, é igual ao cálculo do Apoio de Ângulo.

2. Hipótese 2

Para a base de cálculo mantém-se expressões da hipótese 1, (3.49) à (3.51), sofrendo algumas alterações nesta hipótese:

a. Apoio Fim de Linha

O apoio fim de linha, para esta segunda hipótese de cálculo, mantém as expressões base são as mesmas da hipótese 1, (3.49) à (3.51).

b. Apoio de Alinhamento

No que diz respeito ao apoio de alinhamento, este difere na expressão do cálculo longitudinal e transversal, que nesta hipótese corresponde às equações seguinte:

$$F_L = \frac{1}{5} * (n_{cd} * F_{LCD} + F_{LCG}) \quad (3.64)$$

c. Apoio de Ângulo

No que diz respeito ao apoio de ângulo, este rege-se pelas mesmas formulas que o cálculo descrito no Apoio de Alinhamento.

d. Apoio de Reforço em Alinhamento

No cálculo deste apoio não é calculado o esforço longitudinal, sendo neste caso 0daN, no que diz respeito ao cálculo vertical, este é efetuado da mesma forma que o cálculo do Apoio de Alinhamento. A força

$$F_T = \frac{2}{3} * (n_{cd} * F_{T_{CD}} + F_{T_{CG}}) \quad (3.65)$$

Sendo neste caso desprezado o valor da força do vento, sendo apenas calculado o valor das componentes horizontais das trações máximas.

e. Apoio de Reforço em Ângulo

Neste apoio o método de cálculo é o mesmo que o do Apoio de Reforço em Alinhamento.

3. A Hipótese 3

Esta hipótese é apenas é calculada para apoios de reforço, para este cálculo considera-se apenas o cálculo transversal e vertical, sendo que este último é calculado com a mesma expressão de cálculo da hipótese 1, (3.51) , no que diz respeito à força transversal, esta considera as componentes horizontais das trações máximas exercidas pelo condutor ou cabo de guarda, mas neste caso considerando a rotura de um qualquer condutor ou do cabo de guarda.

Para o cálculo da força do vento nos condutores são necessários os valores da pressão dinâmica do vento, coeficiente de redução e do coeficiente de forma. Estes valores são obtidos através das tabelas seguinte, Tabela 3.3, Tabela 3.4 e

Tabela 3.5, respetivamente.

Tabela 3.3 – Pressão Dinâmica do Vento¹²

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

¹² Capítulo II, Artigo 13º do RSLEAT.

Tabela 3.4 - Coeficiente de Redução¹³

| Coeficiente de redução | |
|---|-----|
| Cabos Condutores e Cabos de Guarda | 0,6 |
| Apoios, Travessas e Isoladores | 1,0 |

Tabela 3.5 - Coeficiente de Forma¹⁴

| Coeficiente de Forma | |
|---|-----|
| Condutores nus e cabos de guarda - até 12,5m | 1,2 |
| Condutores nus e cabos de guarda - de 12,5 a 15,8m | 1,1 |
| Condutores nus e cabos de guarda - acima de 15,8 | 1,0 |
| Cabos isolados em feixe | 1,3 |
| Cabos auto suportados e cabos tipo 8 | 1,8 |
| Isoladores | 1,0 |

3.4.12. Alterações no Cálculo Mecânico

Uma das alterações de cálculo entre os dois cabos é no cálculo mecânico, pois no cabo ACCC sofre uma pequena alteração, apesar do suporte ser o mesmo, a expressão (3.31), a possibilidade de operar a altas temperaturas, altera-lhe as suas características mecânicas. Desta forma o cálculo das tensões mínimas correspondentes à temperatura máxima não são de cálculo linear, neste cabo, deve inicialmente ser efetuado o cálculo o limite de temperatura das características iniciais, o ponto de Joelho (Figura 3.10), após esse cálculo existem duas situações distintas a ter em conta:

- Pré ponto de Joelho – Para o cálculo neste ponto é utilizada a no estado mais desfavorável e a temperatura no ponto de Joelho, normalmente 80°C, bem como os seus dados correspondentes;

¹³ Capítulo II, Artigo 14º do RSLEAT.

¹⁴ Capítulo II, Artigo 15º do RSLEAT.

- Pós ponto de joelho – Neste ponto é utilizada a temperatura no ponto de joelho, normalmente 80°C, e a temperatura no estado de temperatura máximo, bem como os seus dados correspondentes;

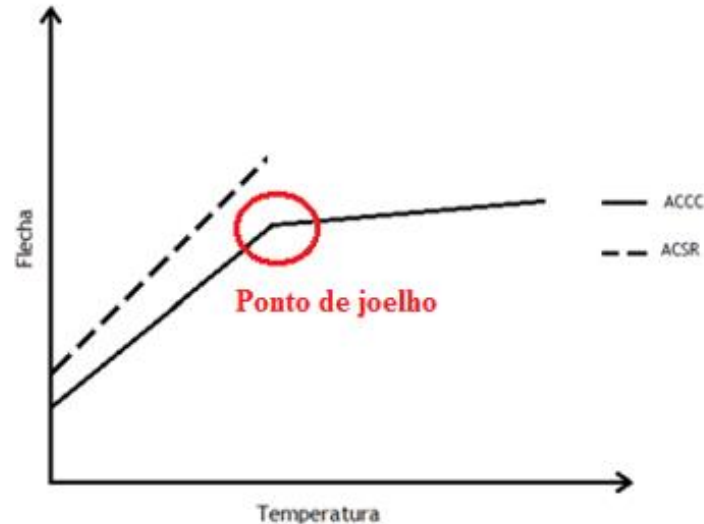


Figura 3.10 - Comportamento da flecha dos cabos face ao aumento da temperatura

Fonte: (EDP Distribuição, 2009)

3.4.13. Estudo Térmico

No que diz respeito ao comportamento térmico, os dois cabos têm um limite significativamente diferente. O cabo convencional ACSR tem um limite que ronda os 90°C, por outro lado o cabo de alta temperatura, o ACCC, sem risco de rotura, permite laborar a temperaturas elevadas, em condições normais opera de uma forma contínua a 180°C, podendo esta temperatura ir aos 250°C em situações de emergência em curto prazo, quando submetido a altas temperaturas, todo o seu comportamento térmico é realizado pelo núcleo.

Quando se fala em condutores de alta temperatura é fundamental o estudo do seu comportamento térmico. Visto uma linha ser constituída por vários elementos (2.1), estes por sua vez interligados, não operando todos à mesma temperatura, é desta forma fundamentalmente efetuar uma análise sobre o modo operando dos componentes da linha no meio envolvente.

Desta forma, devido à existência de dois sistemas em ligação mútua, foi desenvolvida uma equação de equilíbrio, que possibilita a quantificação dos vários mecanismos de transferência de calor, o modelo de Kuipers-Brown, que alteram com o local onde é efetuada a

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

implementação da linha. A equação que permite este cálculo é independente ao comprimento da linha em causa é a seguinte:

$$-C * \frac{dT}{dt} - E * \sigma * \pi * d * (T_c^4 - T_A^4) + \alpha_{solar} * G_i * d - 8,55 * (v * d)^{0,448} * (T_c - T_A) + R * I^2 = 0 \quad (3.66)$$

Sendo:

- C – Capacidade calorífica [$\text{Jm}^{-1}\text{K}^{-1}$];
- d – Diâmetro do cabo [m];
- dT – Mudança de temperatura durante dt;
- E – Poder emissivo em relação ao corpo negro, considera-se 0,5 ou 0,6;
- I – Intensidade nominal de corrente [A];
- G_i – Energia radiante incidente sobre a superfície, considera-se 900 ou de 1000 [Wm^{-2}];
- R – Resistência elétrica do cabo, à temperatura T_c [Wm^{-1}];
- T_A – Temperatura ambiente [K];
- T_c – Temperatura do cabo [K];
- v – Velocidade do vento, considera-se 0,6 ou 1,0 [ms^{-1}];
- α_{solar} – Coeficiente de absorção solar, considera-se 0,5;
- σ – Coeficiente dimensional de Stefan-Boltzmann $5,7 \times 10^{-8}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$].

Portugal tem várias temperaturas distintas e distanciadas, podendo ir de 0 a 15° no Inverno, 20 a 25°C na Primavera, ou ainda 30 a 35°C no Verão, podendo ainda chegar aos 40°C nesta época do ano.

3.5. Cálculo Eletromagnético

Os Campos Eletromagnéticos (CEM) existem onde quer que a energia seja gerada, transmitida ou distribuída, em linhas ou cabos de energia, ou usada em dispositivos elétricos. Desde que o uso da energia elétrica se tornou uma parte integrante do nosso estilo de vida moderno, estes campos são omnipresentes no nosso ambiente (Sá, 2008).

A exposição a CEM não é um fenómeno recente, sendo que tipo de exposição aumentou de forma gradual de acordo com o crescente consumo de energia e o constante avanço das tecnologias. A acrescida preocupação manifestada pelas populações com a saúde e bem-estar

no que diz respeito à construção de linha de energia AT, leva a discussão sobre os eventuais efeitos nocivos nas populações residentes nas proximidades de linhas aéreas AT. Desta forma, passa a ser fulcral a introdução do estudo do CEM numa linha de alta tensão, passando a ser efetuado um cálculo rigoroso dos campos elétrico e magnético originado por linhas de transmissão de energia, bem como soluções para a sua minoração.

A redução dos CEM na vizinhança das linhas de transmissão de energia constitui assim um desafio de engenharia para desenvolver soluções tecnológicas eficazes associado com o desafio biomédico de definir, exatamente, quais os campos e suas magnitudes.

O CEM produzido por uma linha aérea de alta tensão consiste no campo elétrico e no campo magnético induzido (DPC, 2009).

O modelo de cálculo do CEM pode ser aprofundado, porém este estudo não vai ser apresentado no contexto da elaboração deste relatório, contudo a EDP Distribuição possui uma ferramenta para o seu cálculo, que se encontra de acordo com a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de Novembro, publicada no Diário da República - I Série B, n.º 275 (Diário da República, 2014), os níveis de referência da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), são os seguintes:

Tabela 3.6 - Limites de Exposição a Campos 50 Hz

| Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos a 50 Hz | |
|--|---|
| Campo Elétrico [kV/m] | Densidade de fluxo magnético [μ T] |
| 5 | 100 |

- Campo Magnético

O campo magnético é um conceito introduzido pela teoria eletromagnética para explicar as forças que surgem entre correntes elétricas. Este é produzido por cargas em movimento, ou seja, por correntes elétricas, embora também possa ser produzido por ímanes permanentes, muitas vezes empregados em máquinas elétricas (Puga, 2013/2014).

A força é grande quando o electro se desloca perpendicularmente às linhas do campo, e é zero quando o electro se move na mesma direção do campo magnético. A direção da força exercida é perpendicular tanto à direção do movimento como à do campo magnético.

- Campo Elétrico

Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão

O campo elétrico existe sempre que há cargas elétricas na proximidade, mas o campo magnético só existe se essas cargas estiverem em movimento. A intensidade do campo elétrico criado por uma carga num dado ponto é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto à carga. O seu valor é também função da tensão do sistema elétrico, quanto mais elevada é a tensão mais intenso é o campo elétrico gerado.

Uma propriedade importante das cargas elétricas é exercerem entre si interações ou forças de atração e de repulsão. As cargas elétricas com o mesmo sinal repelem-se, e de sinal contrário atraem-se. O mesmo acontece para as linhas de força do campo elétrico como se pode verificar na Figura 3.11 (DPC, 2009).

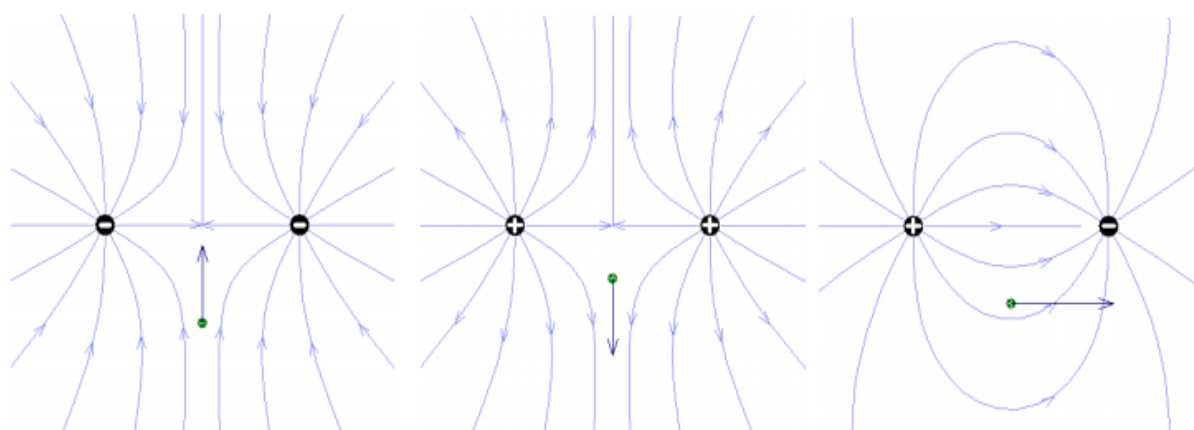


Figura 3.11 - Linhas de força do campo elétrico produzido por duas cargas pontuais de igual valor

Fonte: Fonte: (DPC, 2009)

Capítulo 4

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

O cálculo de uma linha Aérea de AT é fulcral para a sua elaboração. Este consiste na especificidade de áreas tão distintas como a mecânica dos solos, mecânica dos materiais, mecânica dos fluidos, ambiente, ordenamento territorial, topografia, desenho técnico, higiene e segurança no trabalho, entre outros.

O conhecimento das características elétricas e mecânicas de uma linha leva a uma melhor seleção dos elementos a utilizar na em cada projeto, sendo fundamental o seu estudo criterioso. Para apoio de cálculo foi desenvolvida uma ferramenta, em Excel, que tem como base as equações descritas no Capítulo 3, suportadas pelo RSLEAT.

O caso 1 contempla o estudo da linha aérea AT de Distribuição com o condutor ACSR 326 mm². A potência a considerar será de 120 MVA, sob a forma de corrente alternada trifásica, com a frequência de 50 Hz e à tensão de 63 kV.

A implementação da linha foca-se essencialmente em proporcionar uma elevada continuidade e qualidade de serviço na rede de Distribuição da EDP. Para tal será construída uma linha de transporte de energia elétrica aérea, dupla, entre a SE da REN (Oleiros) e a SE da EDP Distribuição (Turiz). Na Figura 4.1 encontra-se o esquema unificar da linha em análise.

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

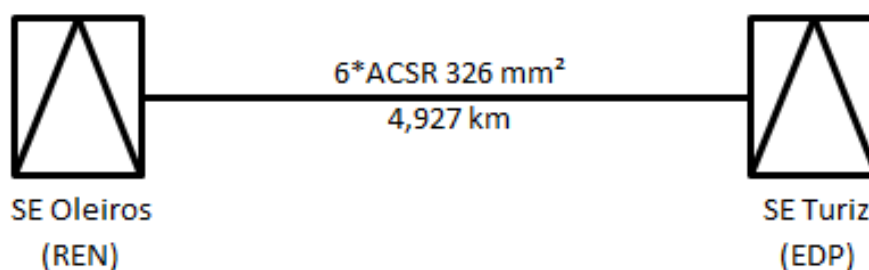


Figura 4.1 - Esquema Unificar da linha

4.1. Características da Linha

A linha terá o comprimento total de 4927 m, sendo uma linha dupla com 6 condutores de alumínio com alma de aço tipo ACSR com secção nominal de 326 mm² e cabo de guarda de fibra ótica com as respectivas características descritas Tabela 4.1, (Cabelte, 2004).

Tabela 4.1 - Características dos Condutores e Cabo de Guarda

| Parâmetro | Condutor | Cabo de Guarda | |
|--|----------|----------------|---------------------|
| Tipo de Cabo | ACSR 326 | OPGW AS/AA/ST | Unidades |
| Secção Total (σ) | 326,1 | 145 | mm ² |
| Secção de Alumínio | 264,4 | 113 | mm ² |
| Secção de Carbono | 61,7 | 32 | mm ² |
| Diâmetro (d) | 0,02345 | 0,016 | m |
| Resistência | 0,109 | 0,292 | Ω /km a 20°C |
| Peso Linear (ω) | 1,218 | 0,557 | daN/m |
| Módulo de Elasticidade (E) | 7850 | 8200 | daN/mm ² |
| Coefficiente de Dilatação (α) | 1,77E-05 | 1,80E-05 | C°-1 |
| Tensão Rutura (T_R) | 11270 | 10295 | daN |

A planta de planimetria e altimetria da linha, onde constam os limites dos proprietários, cruzamentos e demais elementos necessários à definição do traçado da linha, bem como as suas características, encontram-se no Anexo 5.

O projeto iniciou-se com a análise da planimetria e altimetria da linha, após essa observação detalhada, começou o teste de colocação de apoios. Numa primeira fase são assinalados os apoios fim de linha e de ângulo, visto que, estes já tinham sido dispostos anteriormente, encontrando-se já na descrição topográfica da linha. A linha fica, desta forma, dividida em

4.1 Características da Linha

possíveis cantões. Foi também decidido, nesta fase, o posicionamento do apoio 11, visto que passa uma linha MAT nesse local, sendo necessário colocar um apoio nesse ponto, para assim ser possível o cumprimento do regulamento no que diz respeito à distância ao solo e às linhas MAT (alínea 1 e 6 do ponto 3.4.10, respetivamente).

Após esta divisão, foram efetuados testes de colocação e altura de apoios através da ferramenta criada em Excel. Desta forma, a linha foi dividida em 10 cantões e 21 apoios. Na Figura 2.5 encontra-se essa distribuição de apoios ao longo da linha e a sua respetiva altitude.

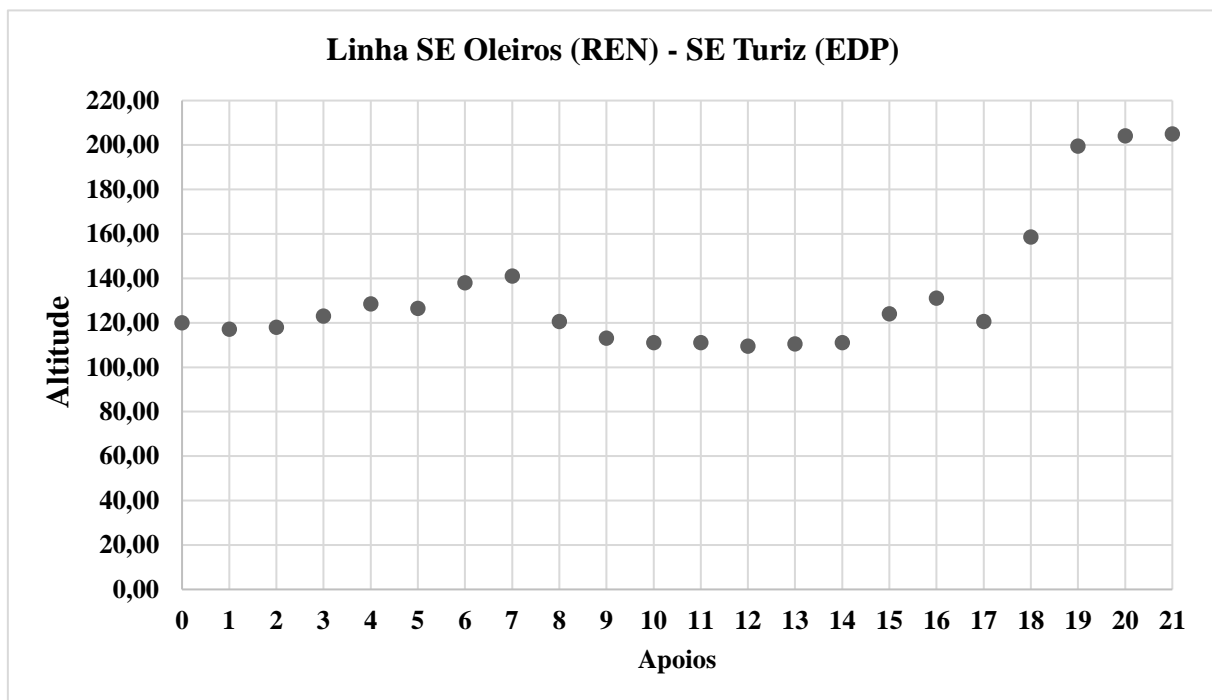


Figura 4.2 - Perfil da Linha

A distribuição do tipo de apoios foi projetada com 2 pórticos e 20 apoios, dos quais 19 metálicos e 1 de betão. Essa escolha teve por base os cálculos descritos no Capítulo 3, sendo descritos alguns exemplos no decorrer deste capítulo, estando as tabelas resumo dos mesmo do ao Anexo 6. Na Tabela 4.2 estão representados os apoios escolhidos nesta fase, bem como o tipo de fixação utilizada.

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

Tabela 4.2 – Tipo de Apoios utilizados

| Apoio | Tipo de Apoio | Tipo de Fixação | Designação do Apoio |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Pórtico | Pórtico | Amarração | - Pórtico - |
| 1 | Fim de Linha | Amarração | F165CD |
| 2 | Ângulo | Amarração | F165CD |
| 3 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 4 | Ângulo | Amarração | F165CD |
| 5 | Alinhamento | Suspensão | F95CD |
| 6 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 7 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 8 | Ref Ângulo | Amarração | P12000/EV3 |
| 9 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 10 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 11 | Alinhamento | Amarração | Poste de Betão-AM08/4000 |
| 12 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 13 | Alinhamento | Amarração | F95CD |
| 14 | Ângulo | Amarração | F165CD |
| 15 | Alinhamento | Amarração | F95CD |
| 16 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 17 | Ref Alinhamento | Amarração | F95CD |
| 18 | Alinhamento | Suspensão | F30CD |
| 19 | Alinhamento | Amarração | F95CD |
| 20 | Fim de Linha | Amarração | F165CD |
| Pórtico | Pórtico | Amarração | - Pórtico - |

4.2. Mapa de Quantidades

Para o projeto foram utilizados diversos materiais, desta forma, a Tabela 4.3 apresenta os elementos necessários para a constituição da ligação de linha aérea entre a SE de Oleiros e a SE de Turiz.

Tabela 4.3 - Mapa de quantidades da Linha

| | Quantidades |
|--|-----------------------|
| Apoios | |
| Pórtico | 2 |
| F30CD/24 | 1 |
| F30CD/27 | 5 |
| F30CD/30 | 2 |
| F95CD/24 | 1 |
| F95CD/27 | 1 |
| F95CD/30 | 3 |
| F165CD/21 | 2 |
| F165CD/24 | 2 |
| F165CD/27 | 1 |
| P12000/14 | 1 |
| AM08-4000/1320-14 | 1 |
| Armações | |
| Pórtico | 2 |
| F30CD | 8 |
| F95CD | 5 |
| F165CD | 5 |
| P12000/EV3 | 1 |
| EVDAL-AT | 1 |
| Volume total de escavação | 737,04 m ³ |
| Volume total de betão ciclópico | 37,47 m ³ |
| Volume total de betão normal | 120,30 m ³ |
| Volume total de betão moldado | 108,91 m ³ |
| Cadeias de amarração ascendentes | 18 |
| Cadeias de amarração descendentes | 126 |
| Cadeias de suspensão | 54 |
| Cabos | |
| ALACO 326 | 29562 m |
| Opgw AS/AT/ST | 4927 m |

4.3. Resultados do Cálculo Elétrico

Como já frisado anteriormente, foi desenvolvida uma ferramenta, em Excel, para efetuar os cálculos para uma mais eficiente análise da linha. Apesar da EDP Distribuição possuir uma ferramenta própria para o cálculo mecânico, o CLinhas, o cálculo elétrico é ainda efetuado manualmente. A ferramenta de cálculo contou com recomendações da EDPD suportadas pelo RSLEAT, como já indicado, neste caso, segue as indicações descritas no Cálculo Elétrico, ponto 3.3.

4.3.1. Corrente

Como se trata de uma linha dupla, deve ser efetuado a cálculo da intensidade de corrente por condutor. Desta forma, é calculado o valor da intensidade de corrente. Na Tabela 4.4, encontra-se esses valores, bem como, a densidade de corrente desta linha.

Tabela 4.4 - Resultados da corrente da linha

| | |
|---|--|
| Intensidade de Corrente | $I = \frac{120 * 10^6}{\sqrt{3} * 63 * 10^3} = 1099,715 \text{ A}$ |
| Intensidade de Corrente por condutor | $I = \frac{1099,715}{2} = 549,857 \text{ A}$ |
| Densidade por fase | $d = \frac{549,857}{326,1} = 1,686 \text{ A/mm}^2$ |

4.3.2. Perdas de Energia

A resistência total da linha é:

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} * L = \left(4,925 * \frac{0,109}{2} \right) = 0,268 \Omega$$

Sendo as perdas de energia por resistência ôhmica:

$$P = 6 * R * I^2 = 6 * 0,268 * 1099,715^2 = 1947,664 \text{ kW}$$

$$p(\%) = \frac{1947,664 * 10^3}{120 * 10^6 * 0,9} * 100 = 1,803 \%$$

Neste caso as perdas são de 1,803% da potência de 120 MVA.

4.3.3. Queda de Tensão

Para o cálculo da queda de tensão é tida em conta a distância da separação média geométrica entre fases para a linha em causa, bem como o coeficiente de autoindução médio.

Foram utilizadas várias armações no projeto, como por exemplo a apresentada na Figura 4.3, a F165CD, colocada no apoio 2.

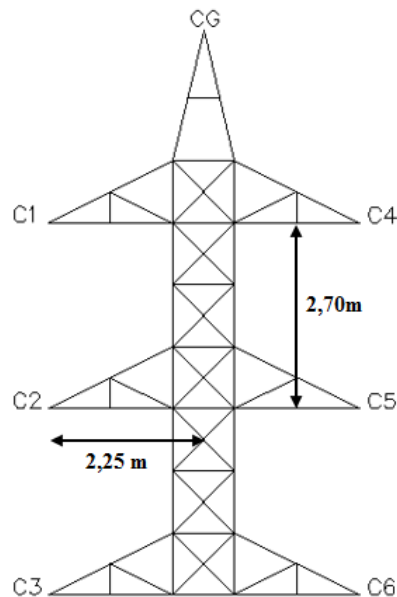


Figura 4.3 - Armação F165CD

$$D_1 = \frac{\sqrt{2,70 * 5,40 * 5,25 * 7,03}}{7,03} = 5,15 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{2,70 * 2,70 * 5,25 * 5,25}}{4,50} = 3,15 \text{ m}$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{5,40 * 2,70 * 7,03 * 5,25}}{4,50} = 5,15 \text{ m}$$

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

$$D = \sqrt[3]{5,15 * 3,15 * 5,15} = 4,37 \text{ m}$$

O coeficiente de autoindução médio para esta armação é dado por:

$$L = \frac{1}{2 * 2} + 2 \ln \left(\frac{4370}{11,725} \right) * 10^{-4} = 2,96 * 10^{-4} \text{ H/km}$$

A reactância da linha para esta armação é:

$$X = 2 * \pi * 50 * 2,96 * 10^{-4} = 0,093 \Omega$$

Esta linha é constituída por diversos apoios e diferentes distâncias entre pontos de fixação dos condutores. Na Tabela 4.5 são apresentadas para as diferentes situações o coeficiente de autoindução (L) e a reactância indutiva (X).

Tabela 4.5 – Reactância da Linha

| Tipo de Apoio | L (Km) | L_méd (H/Km) | L_méd (H) | X (Ω) |
|---------------------------------|----------|--------------|-----------|----------|
| F30CD | 2,109250 | 0,001168 | 0,002464 | 0,774091 |
| F95CD | 1,456250 | 0,001209 | 0,001761 | 0,553247 |
| F165CD | 0,892750 | 0,001209 | 0,001080 | 0,339167 |
| P12000/EV3 | 0,259375 | 0,001151 | 0,000299 | 0,093789 |
| Poste de Betão/AM08/4000 | 0,209375 | 0,001208 | 0,000253 | 0,079474 |
| | 4,927 | | | 1,839767 |

A queda de tensão por fase, tendo por base a resistência e reactância indutiva desta linha, será:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 1099,715 * (0,268 * 0,9 + 1,838 * 0,436) = 1987,633 \text{ V}$$

Correspondendo assim à seguinte percentagem da tensão de serviço:

$$\Delta V (\%) = \frac{1987,633}{63000} * 100 = 3,155 \%$$

4.4. Resultados do Cálculo Mecânico

O cálculo mecânico é crucial para o estudo de implementação de uma linha aérea AT, sendo nele testadas todas as condições de segurança e estabilidade da linha.

As diferentes forças a que a linha e todos os seus elementos se encontram sujeitos, são elementos chave para o cálculo mecânico. Para isso, como já indicado, foi também efetuada uma ferramenta, em Excel, que efetua todo o cálculo mecânico da linha, que teve por base as expressões matemáticas descritas no ponto 3.4, Cálculo Mecânico.

4.4.1. Tensões Mecânicas Máximas a Aplicar

Uma das dificuldades, no projeto de linhas aéreas, reside na escolha da tensão mecânica de montagem máxima a ser aplicada aos condutores de uma linha, no estado atmosférico mais desfavorável. Esta escolha terá reflexões na estabilidade dos apoios, na flecha dos condutores ou mesmo no afastamento entre condutores. Deve-se ainda, ter em conta que, quanto maior for a tensão escolhida maior será o esforço aplicado aos apoios e maior será a flecha, correndo-se o risco de uma aproximação exagerada dos condutores aos objetos próximos da linha. Por outro lado, quanto maior for a tensão máxima maior será o afastamento entre condutores.

Para isso foi efetuado o cálculo da tensão máxima aplicada ao condutor e cabo de guarda

$$t_{máx_{CD}} = \frac{11270}{326,1 * 2,5} = 13,824 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{máx_{CG}} = \frac{10295}{145 * 2,5} = 28,400 \text{ daN/mm}^2$$

Desta forma sabe-se que a tensão a aplicar nos condutores deve ser necessariamente inferior à calculada. Neste estudo os condutores e cabos de guarda vão ser montados a uma tensão mediante as limitações das condições mais desfavoráveis, tomando os valores descritos na

Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Tabela de Condições de regulação.

| Apoios | Trações Mecânicas (daN/mm^2) | |
|--------|----------------------------------|----------------|
| | Condutor | Cabo de guarda |
| P-1 | 1 | 2 |
| 1-2 | 5 | 8 |
| 2-13 | 7 | 10 |
| 13-15 | 6 | 9 |
| 17-19 | 7 | 10 |
| 19-20 | 5 | 8 |
| 20-P | 1 | 2 |

4.4.2. Coeficiente de Sobrecarga

Tendo em conta a Figura 4.2, que representa a altitude da linha em estudo, é possível visualizar que esta ronda os 200m, indicando a inexistência de gelo, segundo a Tabela 3.2., efetuou-se o cálculo para obtenção dos estados atmosféricos mais desfavoráveis dos condutores e cabos de guarda para os cantões definidos no projeto.

As características dos estados atmosféricos são apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Características consideradas para os diferentes estados atmosféricos

| Estados Atmosféricos | Temperatura (°C) | Pressão dinâmica do vento (daN) |
|----------------------|------------------|---------------------------------|
| Inverno | - 5 | 360 |
| Primavera | 15 | 900 |
| Verão | 80 | 0 |

Sabendo qual é o estado atmosférico mais desfavorável é então possível, com recurso a equação dos estados, determinar qual a tensão de montagem a aplicar aos condutores para diferentes temperaturas. A partir daqui é possível determinar as respetivas flechas essenciais para a montagem dos condutores na linha.

1. Cabo Condutor

Para o estado de Inverno, o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$F_1 = 0,6 * 1,0 * 36 * 0,02345 = 0,507 \text{ daN/m}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{1,218^2 + 0,507^2}}{1,218} = 1,083$$

Para o estado de Primavera, o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$F_1 = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 = 1,266 \text{ daN/m}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{1,218^2 + 1,266^2}}{1,218} = 1,443$$

2. Cabo de guarda

Para o estado de Inverno, o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$F_1 = 0,6 * 1,0 * 36 * 0,016 = 0,346 \text{ daN/m}$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{0,557^2 + 0,346^2}}{0,557} = 1,177$$

Para o estado de Primavera, o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$F_1 = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 = 0,864 \text{ daN/m}$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{0,557^2 + 0,864^2}}{0,557} = 1,846$$

4.4.3. Cálculo do Estado mais desfavorável

Para a determinação do estado mais desfavorável recorreu-se à árvore de decisão, Figura 3.6:

- $m_2 > m_1$

Na Tabela 4.8 encontram-se descritos os coeficientes de sobrecarga para os diferentes estados atmosféricos.

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

Tabela 4.8 - Coeficiente de sobrecarga dos estados atmosféricos

| Coeficiente de sobrecarga | | | | | |
|---------------------------|-----------|-------|----------------|-----------|-------|
| Cabo Condutor | | | Cabo de Guarda | | |
| Inverno | Primavera | Verão | Inverno | Primavera | Verão |
| 1,083 | 1,443 | 1 | 1,177 | 1,846 | 1 |

Pode-se verificar que nos dois casos, condutor e cabo de guarda a condição se verifica.

- $L > L_{CR}$

Para a verificação desta condição é necessário ter em conta os cantões da linha, esta foi dividida em 7 cantões, neste caso será apresentado o cálculo detalhado apenas para um dos cantões.

Tabela 4.9 - Características do vão 2

| Vão | Cumprimento (m) |
|-----|-----------------|
| 4-8 | 306,250 |
| | 356,250 |
| | 275,000 |
| | 306,250 |

O vão equivalente calculado foi o de vãos em patamar, visto a diferença de resultados pouco diferem, este valor é dado por:

$$L_{eq}^{15} = \sqrt{\frac{306,25^3 + 356,25^3 + 275,00^3 + 306,25^3}{306,25 + 356,25 + 275,00 + 306,25}} = 315,057 \text{ m}$$

O vão crítico para comparação da condição é dado por:

- Condutor

¹⁵ Tem em conta os limites: $0,75*L < L_{eq} < 1,25*L$

$$L_{cr} = \frac{326,1 * 7}{1,218} * \sqrt{\frac{24 * 1,77 * 10^{-5} * (15 - (-5))}{1,443^2 - 1,083^2}} = 181,293 \text{ m}$$

- Cabo de Guarda

$$L_{cr} = \frac{145 * 10}{0,557} * \sqrt{\frac{24 * 1,80 * 10^{-5} * (15 - (-5))}{1,846^2 - 1,177^2}} = 170,205 \text{ m}$$

Pode verificar-se que a condição é verificável nos dois casos.

- $L = L_{CR}$

Pode-se verificar que o L é, nos dois casos, superior ao valor do L_{CR} , logo o estado mais desfavorável neste caso é a Primavera, Figura 4.4.

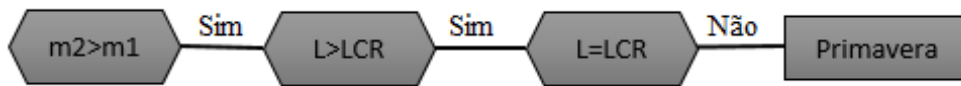


Figura 4.4 - Verificação da Árvore de Decisão

4.4.4. Cálculo Parâmetro da Catenária e da Flecha Máxima

1. Cabo Condutor

Como o estado mais desfavorável é a Primavera, a tração máxima por condutor é de 8 daN/mm² para um $\Theta = 15^\circ\text{C}$ e um $m_2 = 1,443$. Na equação de estados é aplicada a tração para o estado de flecha máxima que é dado por:

$$15 + \frac{7}{1,77 * 10^{-5} * 7850} - \frac{1,443^2 * 1,218^2 * 315,057^2}{24 * 1,77 * 10^{-5} * 326,1^2 * 7^2}$$

$$= 80 + \frac{t_i}{1,77 * 10^{-5} * 7850} - \frac{1^2 * 1,218^2 * 315,057}{24 * 1,77 * 10^{-5} * 326,1^2 * t_i^2}$$

Resolvendo a equação:

$$t_i = 4,216 \text{ daN/mm}^2$$

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

Para uma tração de 4,216 daN/mm², o parâmetro da catenária para o condutor do cantão 4-8 no estado de verão é:

$$P = \frac{4,216 * 326,1}{1,218} = 1128,786 \text{ m}$$

Para este vão no desenho manual de teste foi utilizada a catenária de 1100 m, visto nesta situação se escolher o valor mais desfavorável.

1. Cabo de Guarda

Nesta situação, o estado mais desfavorável é também a Primavera, a tração máxima por condutor é de 11 daN/mm² para um $\Theta = 15^\circ\text{C}$ e um $m_2 = 1,846$. Na equação de estados é aplicada a tração para o estado de flecha máxima que é dado por:

$$\begin{aligned} 15 + \frac{10}{1,8 * 10^{-5} * 8200} - \frac{1,846^2 * 0,557^2 * 315,057^2}{24 * 1,8 * 10^{-5} * 145^2 * 10^2} \\ = 80 + \frac{t_i}{1,8 * 10^{-5} * 8200} - \frac{1^2 * 0,557^2 * 315,057}{24 * 1,8 * 10^{-5} * 145^2 * t_i^2} \end{aligned}$$

Resolvendo a equação:

$$t_i = 4,828 \text{ daN/mm}^2$$

Para uma tração de 4,828 daN/mm², o parâmetro da catenária para o cabo de guarda do cantão 4-8 no estado de verão é:

$$P = \frac{4,828 * 145}{0,557} = 1256,921 \text{ m}$$

O cálculo da flecha máxima é efetuado por vão, neste caso será efetuado para o vão 5-6, este tem um valor de flecha máxima de:

$$f = \frac{1 * 1,218 * 356,25^2}{7 * 326,1 * 4,828} = 10,386 \text{ m}$$

4.4.5. Verificação do Distância Mínima entre Condutores

A distância a garantir para os condutores do vão 5-6 deverá ser inferior a:

$$D = 0,6 * \sqrt{12,436 + 1,2} + \frac{60}{150} = 2,616 \text{ m}$$

$$D = \frac{2}{3} * 2,616 = 1,744 \text{ m}$$

Como a armação utilizada tem uma distancia entre condutores de 2,70 m, pode-se verificar que está cumprida a distancia mínima entre os condutores.

4.4.6. Verificação do Desvio Transversal das Cadeias de Suspensão

A distância entre os condutores nus e os apoios deverá ser verificada para condutores em repouso e condutores desviados pelo vento. Os valores dessa distância mínima são:

$$D = 0,10 + 0,0065 * 63 = 0,51 \text{ m}$$

$$D = 0,0065 * 63 = 0,41 \text{ m}$$

A distância mínima para condutores em repouso é verificada em toda extensão da linha, uma vez que as armações usadas garantem uma distância dos condutores ao apoio superior ao exigido pelo regulamento (0,15 m).

$$\theta_{\text{máx}} = \arcsin\left(\frac{0,41}{1,2}\right) = 77,80 \text{ Grados}$$

Cálculo do desvio transversal da cadeia de suspensão do apoio 6:

$$F_{\text{vento}} = 0,6 * 1,0 * \frac{90}{2} * 0,02345 * \left(\frac{356,25 + 275,00}{2}\right) = 199,838 \text{ daN}$$

$$P_{CD} = 1,218 * \left(\frac{356,25 + 275,00}{2}\right) + 7 * \left(\frac{1,2}{356,25} + \frac{1,2}{275,00}\right) = 384,485 \text{ daN}$$

$$i = \arctg\left(\frac{199,838 + \frac{30}{2}}{384,485 + \frac{15}{2}}\right) = 28,726 \text{ grados} < \theta_{\text{máx}} (77,80 \text{ Grados})$$

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

4.4.7. Distâncias de Segurança Regulamentares

As distâncias regulamentares foram calculadas tendo por base o RSLEAT, descritas no ponto 3.4.10. Desta forma, foram estipuladas as distâncias de segurança a aplicar no decorrer da linha em análise.

Para efetuar este cálculo foi recolhida informação através do levantamento topográfico, efetuando assim toda a envolvente da linha, assinalando todos os dados relevantes para este cálculo, desde edifícios, árvores, estradas, cursos de água ou mesmo linhas e apoios existentes no chamado corredor de estudo.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados das distâncias calculadas, para, desta forma, ser mantida a segurança ao longo da linha, não existindo contato com os condutores, nem a possibilidade de serem alcançáveis por pessoas sem meios adequados para o efeito.

Tabela 4.10 - Distâncias regulamentares

| | Distância Calculada | Distância Mínima Regulamentar |
|--|---|-------------------------------|
| Distância dos condutores ao solo | $D=6,0+0,005 \times 60=6,3$ m | 6 metros (EDP – 7mestros) |
| Distância dos condutores às árvores | $D = 2,0 + 0,0075 \times 60 = 2,45$ m | 2,5 metros |
| Distância dos condutores aos edifícios | $D = 3,0 + 0,0075 \times 60 = 3,45$ m | 4 metros |
| Distância dos condutores às autoestradas e às estradas nacionais e municipais | $D = 6,3 + 0,01 \times 60 = 6,9$ m | 7 metros |
| Distância entre duas linhas | $D = 1,5 + 0,01 \times 150 + 0,005 \times 20$ $= 3,1$ m $D = 1,5 + 0,01 \times 150$ $+ 0,005 \times 150$ $= 3,75$ m $D = 1,5 + 0,01 \times 60 + 0,005 \times 10$ $= 2,15$ m | |
| Distância dos apoios à zona de estrada | $D = 1,5 + 0,01 \times 60 + 0,005 \times 10$ $= 2,15$ m | 2 metros |

4.4.8. Cálculo de Estabilidade dos Apoios

Este projeto é meramente acadêmico e instrutivo, onde não foi tida em conta a Ordem de Serviço aprovada pelo Conselho de Administração, da EDP Distribuição. Assim a linha foi estudada com a colocação de apoios metálicos do tipo F e por apoios de betão do tipo AM. Esta escolha teve por base as distâncias regulamentares e as características dos apoios, tendo em conta a maior aplicação possível de apoios metálicos, devido à sua facilidade de transporte e preço.

Após se efetuar o estudo dos pontos de implantação dos apoios e tendo em conta as Distâncias de Segurança Regulamentares, foram definidos os tipos de fixação dos condutores ao longo da linha.

Na Tabela 4.11 são apresentados os tipos de apoios e fixação dos condutores utilizados no projeto da linha em estudo.

Tabela 4.11 – Características dos Apoios implementados

| Apoios | Tipo de Apoio | Fixação dos Condutores |
|--|------------------------|-------------------------------|
| 1 e 20 | Fim de Linha | Amarração |
| 2, 4 e 14 | Ângulo | Amarração |
| 8 | Reforço de ângulo | Amarração |
| 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18 | Alinhamento | Suspensão |
| 19 | Alinhamento | Amarração |
| 17 | Reforço de alinhamento | Amarração |

Nos pontos seguintes, do 4.4.8.1 ao 4.4.8.4, são apresentados os cálculos detalhados de quatro apoios no que diz respeito ao cálculo de hipóteses. No Anexo 3 encontra-se o resumo do cálculo das hipóteses dos apoios de toda a linha.

4.4.8.1. Apoio Fim de Linha

A título exemplificativo do cálculo fim de linha foi escolhido o apoio 1, sendo este antecedido pelo pórtico da SE REN, existindo um ângulo de 3,16 graus.

São de seguida calculadas as Hipóteses 1 e 2 para o referido apoio.

1) Hipótese 1

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

a) Esforços Longitudinais

- $F_{Lcd} = F_{Vento} + T_2 - T_1 = 1614,320 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_1} = 0 \text{ daN}$
 - $T_2 - T_1 = 326,1 * |1| * \text{sen}(3,16g) - 326,1 * |5| = 1614,320 \text{ daN}$
- $F_{Lcg} = F_{Vento} + T_2 - T_1 = 1127,640 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_1} = 0 \text{ daN}$
 - $T_2 - T_1 = 145 * |2| * \text{sen}(3,16g) - 145 * |8| = 1127,640 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{Tcd} = F_{Vento_1} + F_{Vento_2} + T_1 = 381,148 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_1} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{31,25}{2} * \text{sen}(3,16g)^2 + 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{87,5}{2} = 55,449 \text{ daN}$
 - $T_1 = 326,1 * |1| * \text{sen}(3,16g) - 326,1 * |1| * \text{cos}(3,16g) = 325,698 \text{ daN}$
- $F_{Tcg} = F_{Vento_1} + F_{Vento_2} + T_1 = 327,476 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_1} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{31,25}{2} * \text{sen}(3,16) + 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{87,5}{2} = 37,833 \text{ daN}$
 - $T_1 = 145 * |2| * \text{sen}(3,16g) = 289,643 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

- $P_{cd} = 1,218 * \frac{31,25+87,5}{2} = 72,319 \text{ daN}$
- $P_{cg} = 0,557 * \frac{31,25+87,5}{2} = 33,072 \text{ daN}$
- $P_{Isol} = 30 \text{ daN}$

2) Hipótese 2

a) Esforços Longitudinais

- $F_{Lcd} = T_2 - T_1 = 6 * 326,1 * |1| * \text{sen}(3,16g) - 5 * 326,1 * |5| = 8055,420 \text{ daN}$
- $F_{Lcg} = T_2 - T_1 = 6 * 145 * |2| * \text{sen}(3,16g) - 5 * 145 * |8| = 5713,667 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = T_1 = 325,698 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = T_1 = 289,643 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

No caso dos esforços verticais, estes tomam o mesmo valor da hipótese anterior, alínea c). Os valores finais obtidos para Hipótese 1 e 2 dos esforços, são apresentados respetivamente na Tabela 4.12 e Tabela 4.13.

Tabela 4.12 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio Fim de Linha

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 1) |
|------------------|---|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{L_{CD}} + F_{L_{CG}} = 10813,560 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 2794,362 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 826,984 \text{ daN}$ |

Tabela 4.13 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio Fim de Linha

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 2) |
|------------------|---|
| Longitudinais | $F_L = 6 * F_{L_{CD}} + F_{L_{CG}} = 10809,237 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 2243,833 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 826,984 \text{ daN}$ |

Comparando as duas hipóteses é possível verificar que a Hipótese 1 é a mais desfavorável, neste caso o apoio escolhido foi o F165CD (Cavan) (Metalgalva, 2013).

4.4.8.2. Apoio de Alinhamento – Suspensão

Para o cálculo desta hipótese a título exemplificativo foi escolhido o apoio 3.

São de seguida calculadas as Hipóteses 1 e 2 para o referido apoio.

1) Hipótese 1

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

a) Esforços Longitudinais

- $F_{L_{cd}} = T_{12} = 326,1 * |7 - 7| = 0 \text{ daN}$
- $F_{L_{cg}} = T_{12} = 145 * |10 - 10| = 0 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{212,5+237,5}{2} = 284,918 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{212,5+237,5}{2} = 194,400 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

- $P_{cd} = 1,218 * \frac{212,5+237,5}{2} = 274,050 \text{ daN}$
- $P_{cg} = 0,557 * \frac{212,5+237,5}{2} = 125,325 \text{ daN}$
- $P_{Isol} = 30 \text{ daN}$

2) Hipótese 2

a) Esforços Longitudinais

- $F_{L_{cd}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{212,5+237,5}{2} = 284,918 \text{ daN}$
- $F_{L_{cg}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{212,5+237,5}{2} = 194,400 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = 0 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = 0 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

No caso dos esforços verticais, como já frisado anteriormente, também neste caso os valores se mantêm o da hipótese anterior, alínea c).

Os valores obtidos na Hipótese 1 e 2 dos esforços, são apresentados de seguida na Tabela 4.14 e Tabela 4.15, respetivamente.

Tabela 4.14 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Alinhamento - Suspensão

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 1) |
|------------------|---|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 0 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 1993,905 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 2129,625 \text{ daN}$ |

Tabela 4.15 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Alinhamento - Suspensão

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 2) |
|------------------|---|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 380,781 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 0 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 2129,625 \text{ daN}$ |

Pode-se verificar que a Hipótese 1 é a mais desfavorável, neste caso o apoio escolhido foi o F30CD (Cavan) (Metalgalva, 2013).

4.4.8.3. Apoio de Alinhamento – Amarração

Para o cálculo das forças nesta hipótese foi escolhido o apoio 11 como exemplo.

1) Hipótese 1

a) Esforços Longitudinais

- $F_{L_{cd}} = T_{12} = 326,1 * |7 - 7| = 0 \text{ daN}$
- $F_{L_{cg}} = T_{12} = 145 * |10 - 10| = 0 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = F_{V_{ento12}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{200+218,75}{2} = 255,019 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = F_{V_{ento12}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{200+218,75}{2} = 166,622 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

c) Esforços Verticais

- $P_{cd} = 1,218 * \frac{200+208,75}{2} = 255,019 \text{ daN}$
- $P_{cg} = 0,557 * \frac{200+208,75}{2} = 116,622 \text{ daN}$
- $P_{isol} = 30 \text{ daN}$

2) Hipótese 2

a) Esforços Longitudinais

- $F_{Lcd} = F_{Vento_{12}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{200+208,75}{2} = 265,123 \text{ daN}$
- $F_{Lcg} = F_{Vento_{12}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{200+208,75}{2} = 180,9 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{Tcd} = 0 \text{ daN}$
- $F_{Tcg} = 0 \text{ daN}$
- $F_{isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

No caso dos esforços verticais os valores são iguais aos da Hipótese 1, alínea 1)c). Nas tabelas que se segue são apresentados os valores obtidos na Hipótese 1 e 2 dos esforços, Tabela 4.16 e Tabela 4.17, respetivamente.

Tabela 4.16 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Alinhamento - Amarração

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 1) |
|----------------------|--|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 0 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{Visol} + P_{VCD}) + P_{VCG} = 1951,689 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{Visol} + P_{VCD}) + P_{VCG} = 2006,734 \text{ daN}$ |

Tabela 4.17 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Alinhamento - Amarração

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 2) |
|------------------|---|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 354,338 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 0 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 2006,734 \text{ daN}$ |

Pode-se verificar que a Hipótese 1 é, para o apoio em questão, a hipótese mais desfavorável. Desta forma, o apoio escolhido foi o apoio de Betão-AM08/4000.

Neste caso, a escolha de um apoio de betão deve-se ao fato deste ter uma altura útil de 12 m, essencial para esta situação. Neste ponto, apesar de não ser um apoio de ângulo (apoio que é estudado antes do levantamento topográfico final da linha), é também um apoio de local estratégico, tendo em conta a linha MAT com uma distância significativamente baixa, visando assim cumprir a distância regulamentar à AT. Caso essa situação não fosse possível, teria de ser efetuado um pedido à REN, para a subida da linha MAT.

4.4.8.4. Apoio de Ângulo

Para o cálculo das forças nesta hipótese foi escolhido o apoio 2 como exemplo.

1) Hipótese 1

a) Esforços Longitudinais

- $F_{L_{cd}} = F_{Vento_{12}} + T_{21} = 609,479 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_{12}} = 0 \text{ daN}$
 - $T_{21} = 326,1 * |7 - 5| * \text{sen}(76,83g) = 609,479 \text{ daN}$
- $F_{L_{cg}} = F_{Vento_{12}} + T_{21} = 271,004 \text{ daN}$
 - $F_{Vento_{12}} = 0 \text{ daN}$
 - $T_2 - T_1 = 145 * |10 - 8| * \text{sen}(76,83g) = 271,004 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = F_{Vento_{12}} + T_{21} = 1558,864 \text{ daN}$

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

- $F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{87,5+212,5}{2} * \text{sen}(76,83g)^2 = 165,876 \text{ daN}$
- $T_{21} = 326,1 * |8 + 5| * \cos(76,83g) = 1392,988 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = F_{V_{ento_{12}}} + T_{21} = 1042,263 \text{ daN}$
- $F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{87,5+212,5}{2} * \text{sen}(76,83g) = 113,178 \text{ daN}$
- $T_{21} = 145 * |10 + 7| * \text{sen}(76,83g) = 929,086 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

- $P_{cd} = 1,218 * \frac{87,5+212,5}{2} = 182,7 \text{ daN}$
- $P_{cg} = 0,557 * \frac{87,5+212,5}{2} = 83,55 \text{ daN}$
- $P_{Isol} = 30 \text{ daN}$

2) Hipótese 2

a) Esforços Longitudinais

- $F_{L_{cd}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,02345 * \frac{87,5+212,5}{2} * \text{sen}(76,83g)^2 = 165,876 \text{ daN}$
- $F_{L_{cg}} = F_{V_{ento_{12}}} = 0,6 * 1,0 * 90 * 0,016 * \frac{87,5+212,5}{2} * \text{sen}(76,83g)^2 = 113,178 \text{ daN}$

b) Esforços Transversais

- $F_{T_{cd}} = 0 \text{ daN}$
- $F_{T_{cg}} = 0 \text{ daN}$
- $F_{Isol} = 15 \text{ daN}$

c) Esforços Verticais

Os esforços verticais, tal como acontece nos restantes casos, são iguais nas duas hipóteses. Na Tabela 4.18 e Tabela 4.19 estão representados os valores obtidos na Hipótese 1 e 2 dos esforços, respetivamente.

Tabela 4.18 - Resultado da Hipótese 1 para o Apoio de Ângulo

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 1) |
|------------------|--|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 3927,877 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 10575,750 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 1539,75 \text{ daN}$ |

Tabela 4.19 - Resultado da Hipótese 2 para o Apoio de Ângulo

| Tipo de Esforços | Esforços (Hipótese 2) |
|------------------|--|
| Longitudinais | $F_L = n * F_{LCD} + F_{LCG} = 221,686 \text{ daN}$ |
| Transversais | $F_T = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 0 \text{ daN}$ |
| Verticais | $F_V = n * (2 * P_{V_{isol}} + P_{V_{CD}}) + P_{V_{CG}} = 1539,75 \text{ daN}$ |

A hipótese mais desfavorável é a Hipótese 1, neste caso o apoio escolhido foi o F165CD.

4.5. Campo Eletromagnético

Realizou-se o cálculo para o CEM no local em que a distancia ao solo era menor, situada entre o apoio 10 e 12, pois a distancia ao solo nestes locais, é inferior ao recomendado pela EDP, contudo superior ao imposto pelo regulamento. Para este cálculo foi utilizada a ferramenta de calcula da EDP para a determinação destes valores.

- Cálculo do campo elétrico – O valor obtido é de 1,331 kV/m no solo, neste caso está dentro dos parâmetros impostos, é inferior a 5 kV/m.
- Cálculo do campo magnético – O valor obtido é de 14,395 μT no solo, valor visivelmente inferior aos parâmetros impostos em que o limite é de 100 μT .

4.6. Análise dos Resultados

Para uma análise de viabilidade de construção, de uma linha, é necessário tem em conta o estudo económico da mesma. Numa perspetiva global, o custo total da obra tem um valor de 510.701,89 €, contemplando todos os matérias de construção da linha, a mão de obra, todas as despesas de indemnização, licenciamentos e respetivos ensaios da linha.

Caso de Estudo 1 – Aplicação do cabo ACSR

Numa perspectiva analista de resultados do cálculo elétrico, pode-se verificar o número de perdas existentes na linha, neste caso, são de 1,803 %. É de salientar que este valor tem um peso significativo para a viabilidade técnica e económica de uma linha. Uma das características a ter em conta na construção de uma nova linha aérea AT é, cada vez mais, a procura por uma diminuição de perdas, pois existe um objetivo constante de aumentar a eficiência da sua rede.

No que diz respeito à análise técnica do cálculo mecânico, antes de mais, foi efetuada a comparação da plataforma criada em Excel, com o programa de cálculo CLinhas. Foram assim introduzidos os parâmetros de regulação, apoios e cabos que definem o traçado da linha de 60 kV, entre a SE Oleiros (REN) e a SE Turiz (EDP).

Este processo teve como objetivo a realização do desenho do traçado da linha (Anexo 6), bem como confrontar os valores obtidos pelo CLinhas com a folha de cálculo Excel, construída como base de apoio ao estudo em questão (Anexo 2ao Anexo 6)

Após a análises dos resultados verificam-se algumas disparidades, tais como as distâncias mínimas entre condutores obtidos no programa, que são ligeiramente diferentes se compararmos com os resultados obtidos no Excel. Esta diferença foi dissecada, podendo-se concluir que as distâncias calculadas no programa CLinhas vêm afetadas por um coeficiente de segurança, devido ao uso de cadeias de amarração/suspensão reforçadas com haste, pois se forem utilizadas cadeias de amarração/suspensão simples os valores são exatamente iguais aos obtidos no Excel.

Capítulo 5

Caso de Estudo 2 – Análise da Aplicação do Cabo ACCC

As aplicações de Cabos com Núcleo de Compósito apresentam vantagens comparativamente com os cabos convencionais, contudo, têm também os seus inconvenientes, sendo desta forma necessário um estudo técnico e económico a fim de verificar a possibilidade de aplicação do novo cabo ACCC.

O caso de estudo 2 será efetuado com a mesma linha de distribuição, mas considerando uma linha simples, aplicando o condutor ACCC 418 mm². Neste caso, o condutor, considera máximo de 150 MVA, contudo os equipamentos da SE só se encontram dimensionados para uma linha de 120 MVA. A potência a considerar será de 120 MVA, sob a forma de corrente alternada trifásica, com a frequência de 50 Hz e à tensão de 63 kV.

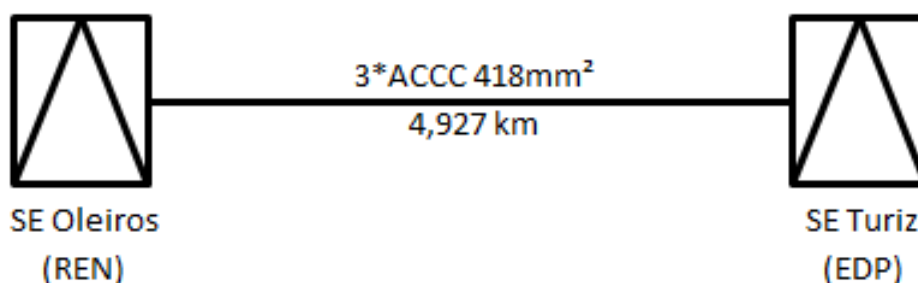


Figura 5.1 – Esquema Unifilar da linha com cabo ACCC

5.1. Características da Linha

A linha mantém-se inalterável, considerando assim o comprimento total de 4.925m, sendo uma linha simples com 3 condutores de alumínio com alma de aço tipo ACCC com secção nominal total de 418,4 mm² e cabo de guarda mantém-se o cabo de fibra ótica com as respetivas características descritas nas tabelas seguintes (Cabelte, 2004).

Tabela 5.1 - Características dos Condutores e Cabo de Guarda

| Parâmetro | Condutor | Cabo de Guarda | |
|--|-----------------|----------------------|---------------------|
| Tipo de Cabo | ACCC 418 | OPGW AS/AA/ST | Unidades |
| Secção Total (σ) | 418,4 | 145 | mm ² |
| Secção de Alumínio | 371,3 | 113 | mm ² |
| Secção de Aço | 47,1 | 32 | mm ² |
| Diâmetro (d) | 0,02355 | 0,016 | m |
| Resistência | 0,076 | 0,292 | Ω /km a 20°C |
| Peso Linear (ω) | 1,11 | 0,557 | daN/m |
| Módulo de Elasticidade (E) | 11230 | 8200 | daN/mm ² |
| Coefficiente de Dilatação (α) | 1,87E-06 | 1,80E-05 | C°-1 |
| Tensão Rutura (T_R) | 12260 | 10295 | daN |

As implantações dos apoios, tipos e alturas, tipos de fixação dos condutores, limites dos proprietários, cruzamentos e demais elementos necessários à definição do traçado da linha, bem como as suas características, Anexo 8 ao Anexo 12 e mapa de quantidades, Anexo 7.

5.2. Valores do Cálculo Elétrico

5.2.1. Cálculo da Corrente

Neste caso a linha em análise é uma linha simples, sendo assim efetuado a cálculo da intensidade e densidade de corrente por condutor. De seguida é apresentado o respetivo cálculo.

$$I = \frac{120 * 10^6}{\sqrt{3} * 63 * 10^3} = 1099,715 \text{ A}$$

$$d = \frac{1099,7}{371,3} = 2,962 \text{ A/mm}^2$$

5.2.2. Perdas de Energia

As perdas de energia da linha partem do cálculo da resistência total da linha, que é dada por:

$$R = 4,925 * 0,109 = 0,374 \Omega$$

Sendo as perdas de energia por resistência ôhmica:

$$P = 3 * 0,374 * 1099,71^2 = 1358 \text{ kW}$$

$$p(\%) = \frac{1358 * 10^3}{120 * 10^6 * 0,9} * 100 = 1,257 \%$$

As perdas para a linha simples com este cabo são de 1,257% para a potência a considerar, neste caso também os 120 MVA.

5.2.3. Queda de Tensão

Para a queda de tensão manteve-se a base de cálculo do cabo ACSR, assegurando assim a constituição da linha e a mesma distribuição de apoios. Contudo, existe uma possível alteração da altura apoios e das respectivas armações, devido à alteração da linha, tratando-se neste caso de uma linha simples.

A Figura 5.2 demonstra um dos apoios utilizados neste caso.

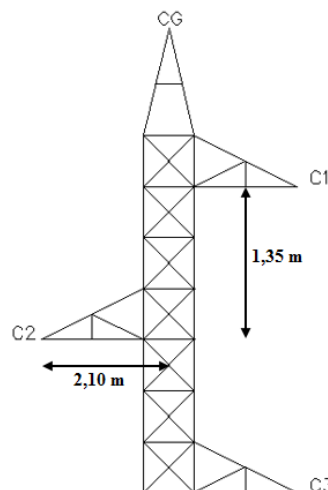


Figura 5.2 – Armação do Apoio F65CA

Na tabela seguinte são apresentadas para as diferentes situações o coeficiente de autoindução (L) e a reatância indutiva (X).

Tabela 5.2 – Reatância da Linha

| Tipo de Apoio | L (Km) | L_méd (H/Km) | L_méd (H) | X (Ω) |
|--------------------|----------|--------------|-----------|----------|
| F20CA | 1,843625 | 0,001197 | 0,002206 | 0,693063 |
| F45CA | 1,721875 | 0,001202 | 0,002071 | 0,650468 |
| F65CA | 0,271875 | 0,001202 | 0,000327 | 0,102706 |
| F95CA | 0,620875 | 0,001215 | 0,000755 | 0,237061 |
| Poste de Betão/GAN | 0,259375 | 0,001174 | 0,000305 | 0,095703 |
| Poste de Betão/GAL | 0,209375 | 0,001174 | 0,000246 | 0,077254 |
| | 4,927 | | | 1,856255 |

Neste caso a queda de tensão por fase, tendo por base a resistência e reatância indutiva desta linha, será:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 1099,715 * (0,076 * 0,9 + 1,856 * 0,436) = 2182,834 \text{ V}$$

Correspondendo assim à seguinte percentagem da tensão de serviço:

$$\Delta V (\%) = \frac{2182,834}{63000} * 100 = 3,465\%$$

No que diz respeito à queda de tensão pode-se verificar que com a mesma potência a queda de tensão é mais elevada que no condutor convencional, contudo, mantém-se dentro dos valores regulamentares.

5.3. Cálculo Mecânico

Os condutores e cabo de guarda vão ser montados mediante a tração máxima a que ficam sujeitos, de modo a que não sejam ultrapassadas as condições mais desfavoráveis, devido à alteração de cabo. Foi por isso efetuado o cálculo da tensão máxima aplicada ao cabo ACCC. Quanto ao cabo de guarda os valores mantêm-se, pois neste caso não existiu qualquer alteração. A tração máxima a aplicar ao cabo ACCC é de:

$$t_{máx_{CD}} = \frac{11270}{371,3 * 2,5} = 13,208 \text{ daN/mm}^2$$

Desta forma, foram aplicadas as seguintes trações ao condutor e cabo de guarda aplicados.

Tabela 5.3 - Tabela de Condições de regulação.

| Apoios | Trações Mecânicas (daN/mm ²) | |
|--------|--|----------------|
| | Condutor | Cabo de guarda |
| P-1 | 1 | 2 |
| 1-2 | 5 | 10 |
| 2-13 | 7 | 14 |
| 13-15 | 6 | 13 |
| 15-19 | 7 | 14 |
| 19-20 | 5 | 10 |
| 20-P | 1 | 2 |

É notoriamente visível a alteração dos valores da tração,

Tabela 4.6, apesar de no que diz respeito à tração do condutor esta se manter ao longo da linha, para mais facilmente se efetuar o termo comparativo entre os dois cabos, no caso do cabo de guarda existe uma alteração significativa, um aumento de 10 para 14 na maioria da linha, isto deve-se à diminuição da catenária do condutor com a alteração de cabo para o ACCC.

5.3.1. Estado mais desfavorável

Tendo em conta as condições descritas na Tabela 5.3, efetuou-se o cálculo para obtenção dos estados atmosféricos mais desfavoráveis dos condutores e cabos de guarda nos cantões definidos no projeto da linha.

Na tabela que se segue, Tabela 5.4, encontram-se os valores da força do vento e do coeficiente de sobrecarga do cabo em estudo, o ACCC.

Tabela 5.4 – Força do Vento e Coeficientes de Sobrecarga do cabo ACCC.

| Cabo | Inverno | | Primavera | |
|------|----------------|-------|----------------|-------|
| | F _v | m | F _v | m |
| ACCC | 0,509 daN/m | 1,100 | 1,272 daN/m | 1,521 |

Para determinação do estado mais desfavorável recorreu-se, mais uma vez, à árvore de decisão, (Figura 3.6):

- $m_2 > m_1$

Conclusão

Como é possível verificar na Tabela 5.4, apesar da alteração dos valores de coeficiente de sobrecarga, também no cabo ACCC esta condição é verificável.

- $L > L_{CR}$

Para mais facilmente se verificar as variações com a alteração de cabo, como já frisado anteriormente mantém-se as bases de análise, desta forma o vão equivalente é de 315,057m, calculado anteriormente, ponto 4.4.3. O vão crítico para comparação da condição é dado por:

- Condutor

$$L_{cr} = \frac{371,3 * 7}{1,11} * \sqrt{\frac{24 * 1,87 * 10^{-5} * (15 - (-5))}{1,521^2 - 1,100^2}} = 211,271 \text{ m}$$

- Cabo de Guarda

$$L_{cr} = \frac{145 * 14}{0,557} * \sqrt{\frac{24 * 1,80 * 10^{-5} * (15 - (-5))}{1,846^2 - 1,177^2}} = 238,287 \text{ m}$$

A condição verifica-se, mesmo com a alteração dos valores dos cabos e da tração aplicada aos mesmos.

- $L = L_{CR}$

Pode-se verificar que o L é, nos dois casos, superior ao valor do L_{CR} , logo o estado mais desfavorável é a Primavera nos dois casos, tal como acontecia no cabo ACSR.

5.3.2. Parâmetro da Catenária e Flecha Máxima

Como o estado mais desfavorável é a Primavera, a tração máxima aplicada ao condutor é de 7 daN/mm² para um $\Theta = 15^\circ\text{C}$ e um $m_2 = 1,521$. Na equação de estados é aplicada a tração para o estado de flecha máxima a uma temperatura de 80°, para esta análise de cálculo, contudo, este cabo tem a possibilidade de trabalhar a uma temperatura de 180 °C.

É de salientar que para este cabo, é necessário também, efetuar o cálculo da zona de pré ponto de joelho, 70 °C, e pós ponto de joelho, 180 °C.

5.4 Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC

A título de exemplo, será desenvolvido o cálculo para o cantão 4-8, e a flecha máxima calculada para o vão entre o apoio 4-5, onde o vão equivalente é de:

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{306,25^3 + 356,25^3 + 275,00^3 + 306,25^3}{306,25 + 356,25 + 275,00 + 306,25}} = 315,057 \text{ m}$$

Tabela 5.5 – Cálculo da flecha máxima

| Temperatura | Tensão mecânica | Parâmetro da catenária | Flecha máxima |
|---|-----------------|------------------------|---------------|
| 70 °C (Pré ponto de joelho) | 3,714 | 1400,129 | 8,614 |
| 80 °C | 3,570 | 1345,716 | 8,963 |
| 180 °C (Pós ponto de joelho) | 3,463 | 901,519 | 9,240 |

No caso do cabo ACCC, como já falado anteriormente, é necessário efetuar o cálculo para as temperaturas de pré ponto de joelho e pós ponto de joelho, visto que neste tipo de cabo existe uma alteração do coeficiente de dilatação do condutor após a temperatura de joelho, 80 °C. É também a partir dessa temperatura que apenas o núcleo sustenta o comportamento mecânico do cabo.

5.4. Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC

Numa perspectiva comparativa entre os dois cabos, salienta-se, em primeiro lugar, a passagem de uma linha dupla para uma linha simples caso seja implantada com o cabo ACCC, para a mesma da capacidade de transporte.

Foi efetuado um estudo com o mesmo posicionamento de apoios, para mais facilmente se efetuar uma possível comparação de dados entre os dois cabos.

Neste ponto é dada uma maior relevância às discrepâncias entre os dois cabos, comparando-os a nível técnico e económico, mantendo o mesmo procedimento de cálculo, bem como a mesma ferramenta informática. Contudo, existem cálculos que não necessitaram de ser refeitos, mantendo-se inalterados para os dois casos de estudo, tais como:

- Campo Eletromagnético, 4.5;
- Distâncias de Segurança Regulamentares, 4.4.7.

5.4.1. Análise dos Cabos em Estudo

Antes de ser efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos, é necessária efetuar uma análise teórica sobre os dois cabos em estudo, a nível das propriedades elétricas e mecânicas.

Tabela 5.6 - Propriedades Elétricas

| Condutor | Resistência (Ω/km) | Corrente máxima admissível (A) |
|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| ACCC (418 mm²) | 0,076 | 1417 (175 °C) |
| ACSR (326 mm²) | 0,109 | 710 (80 °C) |

Como é possível visualizar na Antes de ser efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos, é necessária efetuar uma análise teórica sobre os dois cabos em estudo, a nível das propriedades elétricas e mecânicas.

Tabela 5.6, existem algumas discrepâncias entre os dois cabos: a resistência do cabo ACCC é inferior, o que já prevê uma diminuição de perdas na linha.

No que diz respeito ao valor máximo da corrente que pode percorrer em permanência os cabos em análise, em dadas condições sem que a sua temperatura em regime permanente ultrapasse um valor especificado, pode-se analisar que mesmo a uma temperatura de 175 °C o cabo ACCC tem praticamente o dobro de corrente máxima admissível, comparativamente com o cabo ACSR a uma temperatura de 80 °C.

Tabela 5.7 - Propriedades mecânicas dos cabos

| | ACSR (326 mm²) | ACCC (418 mm²) | Unidades |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Temperatura máxima de funcionamento | 80 | 200 | °C |
| Peso | 1,218 | 1,083 | kg/m |
| Diâmetro | 0,02345 | 0,02355 | m |
| Módulo de Elasticidade | 7850 | 11230 | kgf/mm ² |
| Coefficiente Dilatação Linear | 0,0000177 | 0,0000187 | °C ⁻¹ |
| Tensão de Rotura | 11270 | 12260 | daN |

5.4 Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC

Na análise das características mecânicas dos dois cabos, Como é possível visualizar na Antes de ser efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos, é necessária efetuar uma análise teórica sobre os dois cabos em estudo, a nível das propriedades elétricas e mecânicas.

Tabela 5.6, existem algumas discrepâncias entre os dois cabos: a resistência do cabo ACCC é inferior, o que já prevê uma diminuição de perdas na linha.

No que diz respeito ao valor máximo da corrente que pode percorrer em permanência os cabos em análise, em dadas condições sem que a sua temperatura em regime permanente ultrapasse um valor especificado, pode-se analisar que mesmo a uma temperatura de 175 °C o cabo ACCC tem praticamente o dobro de corrente máxima admissível, comparativamente com o cabo ACSR a uma temperatura de 80 °C.

Tabela 5.7, salienta-se a alteração significativa da temperatura máxima de funcionamento. Apesar de em regime permanente o cabo ACCC poder laborar a 180 °C, este pode, em regime de emergência, operar a uma temperatura de 200 °C. Já o cabo ACSR, funciona no máximo a uma temperatura de 180°C.

Existe também uma diferença no peso do cabo, influenciando todo o cálculo mecânico, começando por alterar o coeficiente de sobrecarga deste. O mesmo acontece com o módulo de elasticidade e o coeficiente de dilatação linear que alteram logo de seguida a tração aplicada ao cabo, resultante da equação de estados.

Todos estes dados influenciam o cálculo mecânico e elétrico da linha, alterando assim os resultados para os dois cabos, podendo ser efetuada uma análise dos resultados de uma forma concreta, introduzindo assim uma nova escolha no mercado.

5.4.2. Análise Técnica

A primeira parte da viabilidade técnica diz respeito ao estudo do cálculo elétrico, salientando-se a diminuição de perdas. Este cálculo poderia ser efetuada através de uma medição de energia de perdas, que é obtida pela diferença entre energia comprada e energia vendida pelo distribuidor, para um determinado período de tempo. Outra das possibilidades era a simulação das redes, onde seria necessário, a cada instante de tempo, efetuar a simulação obtendo as perdas. Neste caso adotada a aproximação de dados caracterizando o comportamento dos consumidores e produtores. Podia ainda ser analisado o transito de potência nas linhas, nas várias situações: horas de ponta, horas de vazio ou horas cheias.

Conclusão

Não tendo dados concretos para efetuar a minuciosidade do valor real das perdas, utilizou-se as perdas por resistência como valor comparativo, baixando com a colocação do novo cabo de 1,803% para de 1,257% da potência a considerar.

No que diz respeito à queda de tensão pode-se verificar-se que, para a mesma potência, a queda de tensão no cabo ACCC é mais elevada que no condutor convencional, mantendo-se, contudo, dentro dos valores regulamentares.

Por outro lado, existe o cálculo mecânico, que foi realizado com as mesmas trações, para mais facilmente ser efetuada uma comparação entre o parâmetro da catenária e o valor da flecha máxima para os mesmos vãos.

Antes de mais, é de salientar que as trações foram ajustadas devidamente aos dois vãos, visando cumprir todas limitações impostas a nível regulamentar.

Um dos primeiros cálculos a efetuar nesta parte é o coeficiente de sobrecarga. Neste caso a tabela que se segue, Tabela 5.8 apresenta os valores da força do vento e do coeficiente de sobrecarga dos dois cabos.

Tabela 5.8 – Força do Vento e Coeficientes de Sobrecarga do cabo ACSR e ACCC.

| Cabo | Inverno | | Primavera | |
|------|----------------|-------|----------------|-------|
| | F _v | m | F _v | m |
| ACSR | 0,507 daN/m | 1,083 | 1,266 daN/m | 1,443 |
| ACCC | 0,509 daN/m | 1,100 | 1,272 daN/m | 1,521 |

Como é possível observar, verifica-se um pequeno aumento dos valores no que diz respeito ao segundo cabo em análise, o ACCC, devendo-se isso à alteração do diâmetro do cabo, sendo no ACSR de 0,02345m e no ACCC de 0,02355m.

Outro dos termos comparativos, entre os dois cabos, foi o cálculo da flecha máxima, tendo este sido efetuado considerando a mesma temperatura, 80°C, para ser possível uma comparação da à mesma temperatura. Contudo, salienta-se que o cabo ACCC pode laborar até uma temperatura máxima de 180 °C permanente, podendo alcançar os 200 °C em situação de emergência.

Os resultados das flechas para uma temperatura de 80 °C encontram-se na Tabela 5.9.

5.4 Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC

Tabela 5.9 - Parâmetro da Catenária nos cabos ACSR e ACCC a 80 °C

| Cantão | ACSR | ACCC |
|---------------|-------------|-------------|
| 1-2 | 493,279 | 518,123 |
| 2-4 | 1029,248 | 1150,638 |
| 4-8 | 1128,786 | 1345,716 |
| 8-11 | 993,752 | 1060,764 |
| 11-13 | 1094,404 | 1270,904 |
| 13-14 | 964,678 | 1151,177 |
| 14-15 | 969,884 | 1161,292 |
| 15-17 | 1136,512 | 1360,927 |
| 17-19 | 1103,170 | 1296,406 |
| 19-20 | 728,165 | 824,988 |

Em análise, no que diz respeito ao parâmetro da catenária, é possível verificar que se torna vantajosa a colocação do cabo ACCC. Este cabo tem um parâmetro superior ao do cabo ACSR, provando assim o que se afirma relativamente à diminuição da flecha. Esta diminuição pode ajudar, como já frisado, na diminuição dos apoios os mesmos na altura destes. Assim sendo, este cabo pode tornar-se viável em locais onde as distâncias regulamentares sejam mínimas.

A Figura 5.3 representa um dos vãos em estudo, vão 4-5, onde é possível visualizar a diferença de flecha, a 80 °C, entre os dois condutores em análise. Pode-se averiguar a diferença significativa da flecha entre o cabo ACCC e ACSR, verificando-se mais uma vez a veracidade das indicações teóricas sobre este cabo. O comportamento térmico é dependente do coeficiente de expansão do núcleo, levando a diminuições consideráveis.

Conclusão

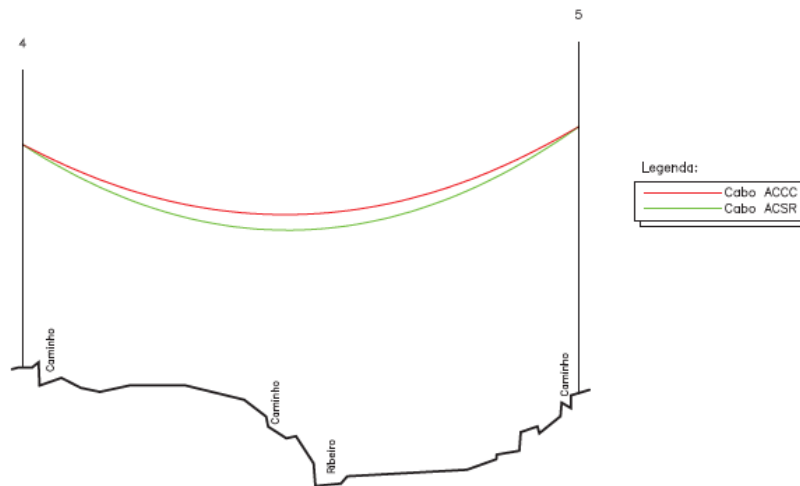


Figura 5.3 - Flecha máxima dos condutores ACSR e ACCC

Neste caso concreto não foi efetuada uma redução de apoios na linha em estudo, pois o posicionamento dos chamados apoios obrigatórios não se restringe apenas aos apoios de ângulo, mas também ao apoio 8. Neste caso, devido à passagem de uma linha aérea MAT, torna-se necessário a colocação de um apoio nesse local, de modo a garantir o cumprimento das distâncias mínimas impostas pelo RSLEAT.

Contudo, é possível verificar na Figura 5.4 que, apesar de não existir uma diminuição do número apoios, estes foram reduzidos em altura.

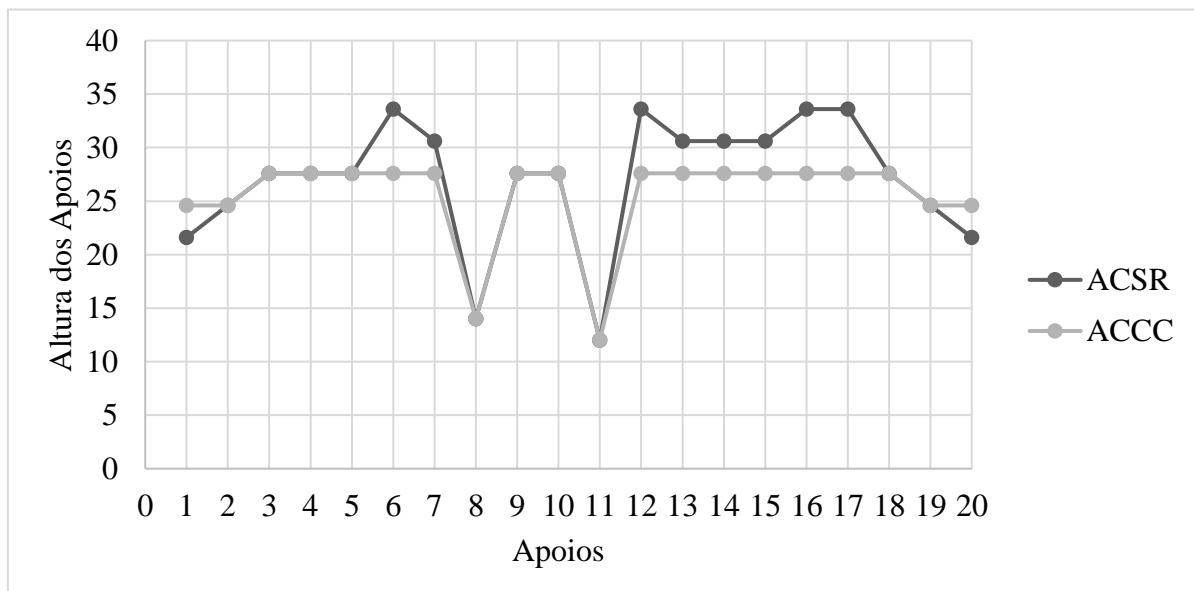


Figura 5.4 - Altura dos apoios

Pode-se verificar, que existe uma diminuição de altura em 8 dos 20 apoios, diminuindo esta significativamente com a alteração do cabo convencional para o condutor de alta temperatura.

Contudo, no que diz respeito ao apoio fim de linha, no cabo ACCC, existe um aumento da altura do apoio, devido aos apoios normalizados pela EDP Distribuição para este cabo. Existe ainda, uma outra poupança realizada nos apoios: a alteração de uma linha dupla para uma simples. No que diz respeito à armação, esta passa a ser simples também.

5.4.3. Análise Económica

Numa análise económica, qualquer que seja o projeto de investimento, é necessária uma análise de investimentos. O capital a investir, está relacionado com a mão-de-obra, os custos de equipamentos utilizados, acessórios, entre outros. As listas dos equipamentos utilizados, em cada um dos sistemas.

Qualquer que seja a análise deste tipo de investimento é necessário, antes demais, ter em conta a zona geográfica da mesma, pois a EDP Distribuição dispõe de empresas subcontratadas para as diferentes regiões do país, tendo em conta o local está associado, correspondendo a um valor distinto no que diz respeito à mão de obra. Neste caso a obra encontra-se na zona norte/litoral, pelo que o orçamento será efetuado para a zona em questão.

Na Tabela 5.10 encontra-se o resumo do orçamento resumo das duas possíveis soluções.

Tabela 5.10 – Orçamento da linha¹⁶

| | ACSR | ACCC |
|--|--------------|--------------|
| Total de materiais Linha Aérea | 204 520,27€ | 338 004,67 € |
| Total de materiais Fibra Ótica | 34 996,21 € | 36 718,21€ |
| Mão de Obra | 169 944,90 € | 103 183,92 € |
| Indemnizações, Licenciamentos e Ensaios | 49 750,00 € | 49 750,00 € |
| Despesas Gerais¹⁷ | 91 842,28 € | 98 187,72 € |
| Total¹⁸ | 551 053,66 € | 589 126,31 € |

¹⁶ Preços atualizados a 1 de Janeiro de 2017.

¹⁷ Considerado 20% do custo Total Parcial.

¹⁸ No caso de a linha ser destinada a um cliente AT, este acarreta o custo de 40% do valor total da obra, segundo as normas internas da EDP Distribuição.

Conclusão

Fazendo uma análise do valor orçamentado das linhas, pode-se verificar que existem valores inalteráveis para os dois casos, o valor total dos materiais de fibra ótica e o valor das indenizações, licenciamentos, como já esperado, visto se tratar do mesmo traçado de linha, a mesma localização de apoios e o mesmo cabo de guarda.

No que diz respeito ao custo dos materiais da linha, estes são significativamente mais elevados no caso do cabo ACCC, devendo-se ao seu custo por metro ser cerca de dez vezes superior ao custo do cabo ACSR. No entanto é de salientar, que no caso do cabo ACSR são contabilizados os seis condutores, enquanto no caso do ACCC são contabilizados apenas os três condutores necessários para o transporte da mesma energia.

Relativamente à mão de obra, o cabo ACSR tem um custo mais elevado, devido ao fato de serem colocados seis condutores, o que aumentará o volume de trabalho.

Numa perspectiva global do valor da linha, a construção com o cabo ACCC tem um sobrecusto de 38.000€ comparativamente ao cabo convencional. Contudo, é de salientar que neste caso concreto não foi diminuído o número de apoios devido a algumas obrigações, no que diz respeito ao terreno e nas limitações ainda existente nos apoios em suportar vãos extensos.

O preço é ainda uma das maiores desvantagens do cabo ACCC, como já frisado, bem como as limitações dos equipamentos complementares, como os apoios ou SE, pois, estes ainda estão adaptados aos cabos convencionais, não potenciando totalmente as vantagens que este cabo apresenta.

Fazendo uma análise C/B dos dois cabos, avaliando as vantagens deste novo cabo, pode-se confirmar que, relativamente às flexas, tem uma diminuição ao longo da linha, reduzindo a altura dos apoios, possibilitando ainda uma minoração dos mesmos. Esta torna-se uma vantagem, não só pelo seu custo, mas também pelo impacto ambiental causado pelas linhas aéreas. Cada vez mais existe uma crescente preocupação com o impacto ambiental, tornando estes cabos uma aliciante proposta para combater esta preocupação, reforçando ainda que a introdução deste cabo leva à diminuição dos condutores para a mesma potência, podendo ainda transportar mais uma linha simples deste cabo, que uma dupla do cabo convencional, o que pode ser uma mais valia a curto prazo.

5.4 Análise Comparativa entre o Cabo ACSR e o ACCC

Outro dos benefícios que colmata o custo da linha são as perdas, onde para uma análise económica deste valor seria necessário o seu estudo mais detalhado nas linhas de distribuição, como já frisado, contudo, verifica-se que o valor superior do cabo convencional.

Salienta-se ainda que o cabo ACCC tem vantagens no que diz respeito à deformação temporal, pois devido ao comportamento elástico do núcleo esse é praticamente nula, como já frisado, bem como uma menor corrosão comparativamente com o cabo convencional, o que também se torna um fator a ponderar numa análise detalhada B/C.

Antes de uma tomada de decisão, é necessário analisar todos os prós e contras dos dois cabos, bem como a situação na qual se irá implementar, contudo, para a linha em estudo, pode-se desde já salientar, que o cabo ACCC pode já ser uma mais valia a aplicar, apesar do seu custo ainda significativamente superior ao cabo convencional, a médio longo prazo este pode tornar-se mais económico.

Capítulo 6

Conclusão

6.1. Análise Conclusiva

Inicialmente a solução para o projeto da linha que ligará uma SE da REN e uma da EDP, obra já a cargo da EDP Distribuição, seria uma linha dupla com a utilização do cabo convencional ACSR. Contudo, foi testado um novo cenário utilizando o cabo ACCC. Até agora apenas tinha sido aplicado em *uprating* de linhas já existentes, respondendo de forma adequada às necessidades existentes nas linhas em questão.

Desta forma foi analisada a aplicação do cabo ACCC, não alterando o traçado inicialmente proposto. Os cálculos foram efetuados para as duas situações, com a mesma base informática elaborada em Excel.

Uma das características a ter em conta na construção de uma nova linha aérea AT é, cada vez mais, a procura por uma diminuição de perdas. Este, é um ponto chave para a EDP Distribuição, atualmente responsável pela exploração da rede de distribuição nacional. Esta pretende aumentar a eficiência da sua rede, diminuindo as perdas.

Neste caso, foi efetuada uma abordagem superficial, sendo apenas, efetuado o cálculo simples de perdas por resistência, onde se pode verificar que, com a colocação do condutor ACCC, existindo uma redução de perdas de energia de 1,803% para 1,257%.

Para uma análise na tomada de decisão da escolha do cabo, os custos financeiros são apenas uma das parcelas de análise. Cada vez mais existem diversos fatores a ter em conta nessa escolha, devendo existir assim uma relação ponderada entre os custos e os benefícios.

O preço é, ainda, uma das maiores desvantagens do cabo ACCC, como já frisado, mas também ainda existem limitações dos equipamentos complementares, como os apoios ou o dimensionamento das SE. Estes, ainda, estão adaptados aos cabos convencionais, não potenciando totalmente as vantagens do novo cabo.

A EDP Distribuição faz uma viabilidade do projeto através do B/C, em que o benefício é um valor preponderante, o que possibilita uma viabilização na introdução do cabo ACCC na construção de linhas uma realidade a curto prazo.

No que diz respeito à análise económica, o cabo ACCC tem ainda um custo elevado por metro, podendo esse valor ser colmatado com a diminuição de outros valores. Existe uma diminuição na altura/número dos apoios ou mesmo no valor da mão de obra devido à passagem para uma linha simples. Outros valores que podem ser minimizados são as indemnizações aos proprietários dos terrenos e, caso seja possível a diminuição do número de apoios.

Existe ainda outro fator a ter em conta, o impacto ambiental, cada vez mais um tema em voga, devido ao aumento da atividade económica e industrial desde a revolução industrial. O aumento constante da procura de energia, causa um acréscimo das linhas aéreas existentes, o que motiva um maior impacto a nível ambiental. A possibilidade da diminuição desse impacto pode ser a alteração de cabo, neste caso, esta mudança pode diminuí-lo significativamente. A passagem de linhas duplas para simples, ou mesmo linhas paralelas para linhas duplas com o cabo ACCC, pode ser uma mais valia, para colmatar esse impacto, bem como, a diminuição das flechas que proporciona a possibilidade de obter vãos superiores e, por conseguinte, a redução do número de apoios e/ou a sua altura.

Por fim, pode-se ainda salientar, o facto do cabo ACCC mesmo operando a temperaturas superiores ao cabo convencional mantém uma flecha inferior, o que significa que independentemente da temperatura a que este esteja a atuar, garante sempre as distâncias de segurança do RSLEAT.

7.1. Trabalhos Futuros

Uma das limitações atuais na construção de linhas com a utilização do cabo de alta temperatura são os apoios devido aos esforços suportados e a limitação dos vãos indicados em catálogo.

Cada vez mais o pensamento da construção de uma linha não se restringi à atualidade ou a um futuro próximo, estamos prestes a ter uma revolução no mercado elétrico, com a introdução em massa dos veículos elétricos, uma realidade cada vez mais atual. Desta forma, a projeção futura de uma linha aérea com o cabo ACCC pode ser uma solução para o aumento da procura de energia, não saturando o ambiente paisagístico que cada vez mais se procura preservar, com a diminuição de condutores e de apoios essa é uma realidade a ter em conta na altura da escolha do cabo.

Relativamente ao cabo de alta temperatura, este ainda não é considerado uma primeira escolha. Poderão ser efetuados futuros estudos detalhados sobre as perdas ao longo do seu tempo de vida útil, de modo a fundamentar mais rapidamente a introdução, deste cabo, no mercado elétrico português.

Referência

- AAT. (2006). *Concepção de Instalações Elétricas*. FEUP.
- Almeida, R. (2016). *Optimização de Metodologia de Projeto de Linhas Aéreas de Alta Tensão com Modelização do Traçado Real em 3D*. FEUP.
- Autoridade Florestal Nacional. (2012). *Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI)*.
- Cabelte. (2004). *Cabos de Energia - Alta Tensão*. DEP 2004.
- Cavan. (s.d.). *Catálogo de Apoios*.
- Coucello. (1993). *Edição DGE do Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão*. Lisboa: Direção Geral de Energia.
- CTC Cable Corporation. (2010). *ACCC® Conductor Installation Guidelines*.
- CTC Global. (2011). *Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC® Conductors*.
- CTC Global. (2016). *ACCC® Conductor Installation Guidelines*.
- Diário da República. (1960). *Decreto de Lei 43.335*. Secretaria de Estado da Indústria, Direção Geral dos Serviços Elétricos.
- Diário da República. (2003). *Decreto de Lei n.º 273/2003 - Ministério da Segurança Social e do Trabalho*.
- Diário da República. (2003). *Decreto-Lei N.º 273/2003*.
- Diário da República. (2014). *Portaria n.º 1421/2004, n.º 275 I Série B*.

- Diário da República. (2016). *Decreto-Lei n.º 124/2006*.
- DPC. (2009). *Avaliação do Campo Electromagnético*. EDP Distribuição/Departamento de Redes AT/MT Norte.
- EDP . (s.d.). *Sistemas de Qualificação de Fornecedores*. (EDP) Obtido em 12 de Junho de 2017, de http://www.edp.pt/pt/fornecedores/SistdeQualificacao/Pages/default_new.aspx
- EDP Distribuição. (2009). *Aplicação do Cabo de Alta Intensidade ACCC*. EDP.
- EDP Distribuição. (2011). *Guia de Boas Praticas para a Integração Paisagistica de Infraestruturas Elétricas (Vol. 1)*.
- EDP Distribuição. (2011). *Guia de Boas Práticas para a Integração Paisagística de Infraestruturas Elétricas (Vol. 2)*.
- EDP Distribuição. (2012). *ProjLEAT - Projecto de Linhas Eléctricas Aéreas de MT e AT*. Energias de Portugal, S.A.
- Ferreira, J. (2004). *Linhas de Transmissão - Sistemas Eléctricos de Energia I*. FEUP.
- Figueiredo, M. (2009). *Projecto de Linha Aérea de Alta Tensão com Estudo do Comportamento Longitudinal das Cadeias de Isoladores*. FEUP.
- INAC. (2003). *Circular de Informação Aeronáutica - Limitações em Altura e Balizagem de Obstáculos Artificiais à Navegação Aérea*. Instituto Nacional de Aviação Civil.
- Magalhães, J. (2013). *Cabos de Alta Temperatura em Linhas Aéreas AT, Condições de falha térmica/mecânica*. FEUP.
- Metalgalva . (2013). *Catálogo de Apoios Série F*.
- Moutinho, H. (2012). *Relatório de Progama de Acompanhamento e Introdução*. EDP Distribuição - Departamento de Redes de Alta Tensão/Média Tensão Norte.
- Nogueira, T. (2014). *Linhas Elétricas de Energia - Parâmetros e Funcionamento*. ISEP.

- Noticias e Destaques. (17 de Junho de 2017). *Minimizar a mortalidade de aves estepárias em linhas elétricas*. Obtido de <http://www.lifeesteparias.lpn.pt/Noticias-e-Destaques/News.aspx?tabid=2332&code=pt&ItemID=230>
- Pinto, A. (2008). *Análise e Mitigação do Ruído Acústico nas Linhas de Muito Alta Tensão da Rede Nacional de Transporte*. FEUP.
- Puga, J. (2013/2014). *Eletromagnetismo I*. ISEP.
- Rocha, L. (2014). *Projeto de Linha Aérea de Alta Tensão - Estudo sobre a utilização de Cabo de Guarda*. FEUP.
- Sá, D. E. (2008). *Campos Eléctromagnéticos de Extremamente Baixa Frequência, Saúde Pública e Linhas de Alta Tensão*.
- Sequeira, N. (2009). *Projeto de Linha Aérea de Alta Tensão conforme a Norma EN50341-1*. FEUP.
- U.S.-Canada Power System Outage Task Force. (2004). *Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations*.
- Verde, J. (2016). *Desenvolvimento de Projeto de Linha Aérea de Alta Tensão - Viabilidade Técnica do Uso de Condutores de Alta Temperatura*. FEUP.

Anexos

Anexo 1 – Características dos Vãos

| Cantão | L_{vão} | Leq | Lmax | Lmin | Lmin<L<Lmax | Lcr_{ed} | Lcr_{cg} |
|---------------|------------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1-2 | 87,500 | 87,500 | 109,375 | 65,625 | Verifica | 129,495 | 136,164 |
| 2-4 | 212,500 | 226,039 | 282,549 | 169,529 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 237,500 | 226,039 | 282,549 | 169,529 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 4-8 | 306,250 | 315,057 | 393,821 | 236,293 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 356,250 | 315,057 | 393,821 | 236,293 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 275,000 | 315,057 | 393,821 | 236,293 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 306,250 | 315,057 | 393,821 | 236,293 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 8-11 | 212,500 | 204,423 | 255,529 | 153,318 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 200,000 | 204,423 | 255,529 | 153,318 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 200,000 | 204,423 | 255,529 | 153,318 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 11-13 | 218,750 | 277,756 | 347,195 | 208,317 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 312,500 | 277,756 | 347,195 | 208,317 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 13-14 | 275,000 | 275,000 | 343,750 | 206,250 | Verifica | 155,394 | 153,184 |
| 14-15 | 281,500 | 281,500 | 351,875 | 211,125 | Verifica | 155,394 | 153,184 |
| 15-17 | 324,750 | 324,875 | 406,094 | 243,656 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 325,000 | 324,875 | 406,094 | 243,656 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 17-19 | 312,500 | 286,411 | 358,014 | 214,808 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| | 250,000 | 286,411 | 358,014 | 214,808 | Verifica | 181,293 | 170,205 |
| 19-20 | 168,750 | 168,750 | 210,938 | 126,563 | Verifica | 129,495 | 136,164 |

Anexo 2 – Parâmetro e Flechas Máximas – Caso 1

| Cantão | Cabo Condutor (80°C) | | | Cabo de Guarda (80°C) | | C.Guarda (50°C) | (Pcd ₈₀ /Pcg ₅₀) <0,83 |
|--------------|------------------------------|----------|---------------|------------------------------|----------|-----------------|--|
| | ti (daN/mm ²) | P(m) | Flecha (m) | ti (daN/mm ²) | P (m) | P (m) | |
| 1-2 | 1,842 | 493,279 | 1,940 | 2,249 | 804,363 | 585,512 | Verifica |
| 2-4 | 3,844 | 1029,248 | 5,486 | 4,478 | 1375,685 | 1165,758 | Verifica |
| | 3,844 | 1029,248 | 6,852 | 4,478 | 1375,685 | 1165,758 | Verifica |
| 4-8 | 4,216 | 1128,786 | 10,386 | 4,828 | 1390,107 | 1256,921 | Verifica |
| | 4,216 | 1128,786 | 14,063 | 4,828 | 1390,107 | 1256,921 | Verifica |
| | 4,216 | 1128,786 | 8,375 | 4,828 | 1390,107 | 1256,921 | Verifica |
| | 4,216 | 1128,786 | 10,409 | 4,828 | 1390,107 | 1256,921 | Verifica |
| 8-11 | 3,712 | 993,752 | 5,684 | 4,352 | 1370,163 | 1133,018 | Verifica |
| | 3,712 | 993,752 | 5,032 | 4,352 | 1370,163 | 1133,018 | Verifica |
| | 3,712 | 993,752 | 5,031 | 4,352 | 1370,163 | 1133,018 | Verifica |
| 11-13 | 4,088 | 1094,405 | 5,466 | 4,708 | 1385,346 | 1225,555 | Verifica |
| | 4,088 | 1094,405 | 11,154 | 4,708 | 1385,346 | 1225,555 | Verifica |
| 13-14 | 3,603 | 964,678 | 9,799 | 4,271 | 1234,956 | 1111,942 | Verifica |
| 14-15 | 3,623 | 969,884 | 10,216 | 4,292 | 1236,296 | 1117,365 | Verifica |
| 15-17 | 4,245 | 1136,512 | 11,608 | 4,855 | 1391,167 | 1263,950 | Verifica |
| | 4,245 | 1136,512 | 11,623 | 4,855 | 1391,167 | 1263,950 | Verifica |
| 17-19 | 4,120 | 1103,170 | 11,148 | 4,739 | 1386,581 | 1233,572 | Verifica |
| | 4,120 | 1103,170 | 7,169 | 4,739 | 1386,581 | 1233,572 | Verifica |
| 19-20 | 2,720 | 728,165 | 4,892 | 3,374 | 1049,262 | 878,421 | Verifica |

Anexo 3 – Esforços dos Apoios – Caso 1

| Apoio | Tipo de Apoio | Tipo de Fixação | Hipótese 1 | | | Hipótese 2 | | |
|-----------|-----------------|-----------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| | | | FL | FT | FV | FL | FT | FV |
| 1 | Fim de Linha | Amarração | 10813,560 | 2794,362 | 826,984 | 10809,237 | 2243,833 | 826,984 |
| 2 | Ângulo | Amarração | 3927,877 | 10575,446 | 1539,750 | 221,687 | 0,000 | 1539,750 |
| 3 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1993,905 | 2129,625 | 380,781 | 0,000 | 2129,625 |
| 4 | Ângulo | Amarração | 0,000 | 8605,595 | 2498,297 | 440,698 | 0,000 | 2498,297 |
| 5 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 2892,971 | 2965,281 | 560,594 | 0,000 | 2965,281 |
| 6 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 2760,756 | 2842,391 | 534,151 | 0,000 | 2842,391 |
| 7 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 2549,211 | 2645,766 | 491,842 | 0,000 | 2645,766 |
| 8 | Ref Ângulo | Amarração | 0,000 | 6921,950 | 2399,984 | 428,844 | 0,000 | 2399,984 |
| 9 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1835,246 | 1982,156 | 349,049 | 0,000 | 1982,156 |
| 10 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1782,360 | 1933,000 | 338,472 | 0,000 | 1933,000 |
| 11 | Alinhamento | Amarração | 0,000 | 1951,689 | 2006,734 | 354,338 | 0,000 | 2006,734 |
| 12 | Alinhamento | Suspensão | 145,000 | 2337,666 | 2449,141 | 449,533 | 0,000 | 2449,141 |
| 13 | Alinhamento | Amarração | 2101,600 | 4622,254 | 2670,344 | 497,131 | 0,000 | 2670,344 |
| 14 | Ângulo | Amarração | 0,000 | 14393,856 | 2548,436 | 364,686 | 0,000 | 2548,436 |
| 15 | Alinhamento | Amarração | 2101,600 | 4701,583 | 2744,078 | 512,997 | 0,000 | 2744,078 |
| 16 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 2839,027 | 2915,142 | 549,805 | 0,000 | 2915,142 |
| 17 | Ref Alinhamento | Amarração | 0,000 | 2877,199 | 2866,969 | 539,440 | 0,000 | 2866,969 |
| 18 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 2469,881 | 2572,031 | 475,976 | 0,000 | 2572,031 |
| 19 | Alinhamento | Amarração | 4203,200 | 1951,689 | 2006,734 | 354,338 | 0,000 | 2006,734 |
| 20 | Fim de Linha | Amarração | 10204,946 | 3030,140 | 1146,500 | 9775,804 | 10335,629 | 1146,500 |

Anexo 4 – Condição de Regulação – Caso 1

| Cantão | Pcd₈₀/Pcg₅₀ | Pcd₈₀/Pcg₅₀<0,83 | Tcd | T(15°)≤0,22*TR | Tcg | T(15°)≤0,22*TR |
|---------------|--|--|------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| 1-2 | 0,613 | Verifica | 1133,208 | Verifica | 796,395 | Verifica |
| 2-4 | 0,748 | Verifica | 1736,210 | Verifica | 985,846 | Verifica |
| | 0,748 | Verifica | 1736,210 | Verifica | 985,846 | Verifica |
| 4-8 | 0,812 | Verifica | 1666,474 | Verifica | 892,773 | Verifica |
| | 0,812 | Verifica | 1666,474 | Verifica | 892,773 | Verifica |
| | 0,812 | Verifica | 1666,474 | Verifica | 892,773 | Verifica |
| | 0,812 | Verifica | 1666,474 | Verifica | 892,773 | Verifica |
| 8-11 | 0,725 | Verifica | 1764,966 | Verifica | 1023,091 | Verifica |
| | 0,725 | Verifica | 1764,966 | Verifica | 1023,091 | Verifica |
| | 0,725 | Verifica | 1764,966 | Verifica | 1023,091 | Verifica |
| 11-13 | 0,790 | Verifica | 1688,680 | Verifica | 922,519 | Verifica |
| | 0,790 | Verifica | 1688,680 | Verifica | 922,519 | Verifica |
| 13-14 | 0,781 | Verifica | 1416,484 | Verifica | 799,377 | Verifica |
| 14-15 | 0,785 | Verifica | 1413,860 | Verifica | 795,204 | Verifica |
| 15-17 | 0,817 | Verifica | 1661,739 | Verifica | 886,478 | Verifica |
| | 0,817 | Verifica | 1661,739 | Verifica | 886,478 | Verifica |
| 17-19 | 0,796 | Verifica | 1682,821 | Verifica | 914,675 | Verifica |
| | 0,796 | Verifica | 1682,821 | Verifica | 914,675 | Verifica |
| 19-20 | 0,694 | Verifica | 1205,314 | Verifica | 777,042 | Verifica |

Anexo 5 – Memória Descritiva – Caso 1

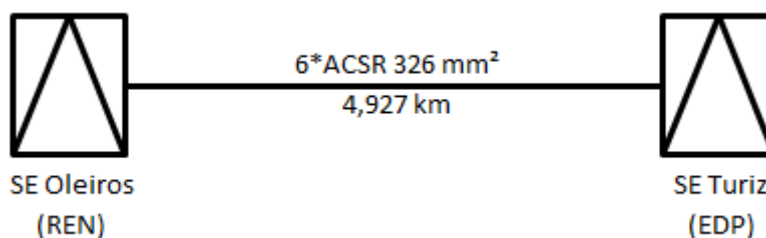
Linha Aérea a 60 kV

Oleiros (REN) - Turiz

Memória Descritiva e Justificativa

1. OBJETIVO DO PROJETO

O objetivo do projeto foca-se essencialmente em proporcionar uma elevada continuidade e qualidade de serviço na rede de Distribuição da EDP, para isso será construída uma linha de transporte de energia elétrica aérea, dupla, entre a Subestação da REN (Oleiros) e a Subestação da EDP Distribuição (Turiz).



2. CORRENTE E TENSÃO

A linha aérea, permitirá o transporte de uma potência de 120 MVA com uma tensão entre fases de 63 kV, sob forma de uma corrente alternada trifásica à frequência de 50 Hz.

3. CARACTERÍSTICA DA LINHA

A linha terá o comprimento total de 4,927 km, de acordo com o traçado representado na carta militar à escala 1:25000 no desenho n.º 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

A constituída por 6 condutores de alumínio com alma de aço tipo ACSR com secção nominal de 326,1 mm² e cabo de guarda de fibra ótica com as respetivas características descritas nas tabelas seguintes:

Tabela 1- Características do Conductor ACSR e cabo de Guarda OPGW

| Parâmetro | Conductor | Cabo de Guarda | |
|--|-----------|----------------|---------------------|
| Tipo de Cabo | ACSR 326 | OPGW AS/AA/ST | Unidades |
| Secção Total (σ) | 326,1 | 145 | mm ² |
| Secção de Alumínio | 264,4 | 113 | mm ² |
| Secção de Carbono | 61,7 | 32 | mm ² |
| Diâmetro (d) | 0,02345 | 0,016 | m |
| Resistência | 0,109 | 0,292 | Ω /km a 20°C |
| Peso Linear (ω) | 1,218 | 0,557 | daN/m |
| Módulo de Elasticidade (E) | 7850 | 8200 | daN/mm ² |
| Coefficiente de Dilatação (α) | 1,77E-05 | 1,80E-05 | Cº-1 |
| Tensão Rutura (T_R) | 11270 | 10295 | daN |

As implantações dos apoios, tipos e alturas dos mesmos, tipos de fixação dos condutores, limites dos proprietários, cruzamentos e demais elementos necessários à definição do traçado da linha, bem como as suas características encontram-se no desenho n.º 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

4. CÁLCULO ELÉTRICO

4.1. INTENSIDADE DA CORRENTE

Trata-se de uma linha aérea dupla, logo por fase a Intensidade de Corrente toma o valor de:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{120 * 10^6}{\sqrt{3} * 63 * 10^3} = 1099,71 \text{ A}$$

Sendo que por condutor será metade desse valor:

$$I = \frac{1099,71}{2} = 549,857 \text{ A}$$

4.2. DENSIDADE DE UM CONDUTOR

A densidade por fase nesta linha dupla tem o valor de:

$$d = \frac{I}{\sigma} = \frac{549,857}{326,1} = 1,686 \text{ A/mm}^2$$

4.3. PERDAS DE ENERGIA

A resistência total da linha é:

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} * L = \left(4,925 * \frac{0,109}{2}\right) = 0,268 \Omega$$

Sendo as perdas de energia por resistência óhmica:

$$P = 3 * R * I^2 = 6 * 0,268 * 1099,71^2 = 1947,664 \text{ kW}$$

$$p(\%) = \frac{1947,664 * 10^3}{120 * 10^6 * 0,9} * 100 = 1,803\%$$

4.4. REATÂNCIA INDUTIVA

O coeficiente de autoindução médio, por fase e por quilómetro, no caso de uma linha trifásica dupla é dado por:

$$L = \frac{1}{2 * 2} + 2 \ln\left(\frac{D}{r}\right) * 10^{-4} = L = \frac{1}{2 * 2} + 2 \ln\left(\frac{4370}{11,725}\right) * 10^{-4} = 2,96 * 10^{-4} \text{ H/km}$$

Esta linha é constituída por diversos apoios e diferentes distâncias entre pontos de fixação dos condutores. Na tabela seguinte são apresentadas para as diferentes situações o coeficiente de autoindução (L) e a reatância indutiva (X).

| Tipo de Apoio | L (Km) | L_méd (H/Km) | L_méd (H) | X (Ω) |
|---------------------------------|----------|--------------|-----------|----------|
| F30CD | 2,109250 | 0,001168 | 0,002464 | 0,774091 |
| F95CD | 1,456250 | 0,001209 | 0,001761 | 0,553247 |
| F165CD | 0,892750 | 0,001209 | 0,001080 | 0,339167 |
| P12000/EV3 | 0,259375 | 0,001151 | 0,000299 | 0,093789 |
| Poste de Betão/AM08/4000 | 0,209375 | 0,001208 | 0,000253 | 0,079474 |
| | 4,927 | | | 1,839767 |

4.5. QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão por fase, tendo por base a resistência e reatância indutiva desta linha, será:

$$V_1 - V_0 = \sqrt{3} * I * (R * \cos \phi + X * \sin \phi)$$

$$= \sqrt{3} * 1099,715 * (0,268 * 0,9 + 1,838 * 0,436) = 1987,633 \text{ V}$$

Correspondendo assim à seguinte percentagem da tensão de serviço:

$$\Delta V (\%) = \frac{1987,633}{63000} * 100 = 3,155 \%$$

4.6. CAMPO ELETROMAGNÉTICO

De acordo com a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de Novembro, publicada no Diário da República – I Série B, n.º 275, os níveis de referência da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), são os seguintes:

Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos a 50 Hz

| Campo Elétrico [kV/m] | Densidade de fluxo magnético [μ T] |
|-----------------------|---|
| 5 | 100 |

Realizou-se o cálculo para o CEM no local em que a distancia ao solo era menor, situada entre o apoio 10 e 12, pois a distancia ao solo nestes locais, é inferior ao recomendado pela EDP, contudo superior ao imposto pelo regulamento. Para este cálculo foi utilizada a ferramenta de calcula da EDP para a determinação destes valores.

- Cálculo do campo elétrico – O valor obtido é de 1,331 kV/m no solo, neste caso está dentro dos parâmetros impostos, é inferior a 5 kV/m.
- Cálculo do campo magnético – O valor obtido é de 14,395 μ T no solo, valor visivelmente inferior aos parâmetros impostos em que o limite é de 100 μ T.

4.7. ISOLADORES

Todas as cadeias têm hastes de descarga, sendo os dois tipos, amarração e de suspensão, constituídas por 6 elementos, do tipo U100 BS fabrico da empresa DIELV ou equivalente.

4.8. CÁLCULO MECÂNICO

4.8.1. CONDUTORES E CABOS DE TERRA

Os condutores e cabo de terra serão instalados para que, não ultrapassem, nas condições mais desfavoráveis.

4.8.2. APOIOS

Na linha são utilizados os apoios do tipo F30CD, F95CD, F165CD, P12000/EV3, Poste de Betão/EVDAN (AM08/4000).

Os apoios em questão, bem como o seu cálculo de estabilidade.

4.9. CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES

A linha cruza com traçados de telecomunicações nos seguintes vãos: 2-3, 5-6, 7-8, 15-16 e 16-17.

Os ângulos que os traçados fazem entre si, bem como as distâncias do ponto de cruzamento aos apoios.

A distância vertical entre o condutor inferior da linha de alta tensão e o condutor superior do traçado de telecomunicações é, em todos os casos, superior ao mínimo regulamentar.

4.10. CRUZAMENTO COM INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

A Linha cruza-se com estradas municipais nos seguintes vãos: 2-3; 5-6; 6-7; 9-10; 15-16; 16-17; 17-18; 19-20.

No vão 12-13 a linha cruza uma autoestrada.

4.11. CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS

4.11.1. LINHAS DE BAIXA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas BT nos seguintes vãos: 2-3; 4-5; 5-6; 6-7; 8-9; 9-10; 15-16; 16-17; 17-18.

4.11.2. LINHAS DE MÉDIA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas MT nos seguintes vãos: 15-16; 16-17; 19-20.

4.11.3. LINHAS DE MUITO ALTA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas MAT nos apoios 8 e 11 e ainda no vão 11-12.

4.12. BALIZAGEM AÉREA

Será balizado o vão 12-13 conforme representado nos desenho nº 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

Porto, 16 de Junho de 2017

O Autor do Projeto:

Verificado por:

O Técnico Responsável:

EDP Distribuição - Energia,
SA

Direção de Serviços a Redes

Departamento Redes AT/MT

Carina Pinto
Eng.^a Eletrotécnica

Hugo Moutinho
Eng.^o Eletrotécnico

Eng.^o Eletrotécnico
(Inscrito na OE c/ n.ºxxx)

Anexo 6 - Perfil da Linha – Caso 1

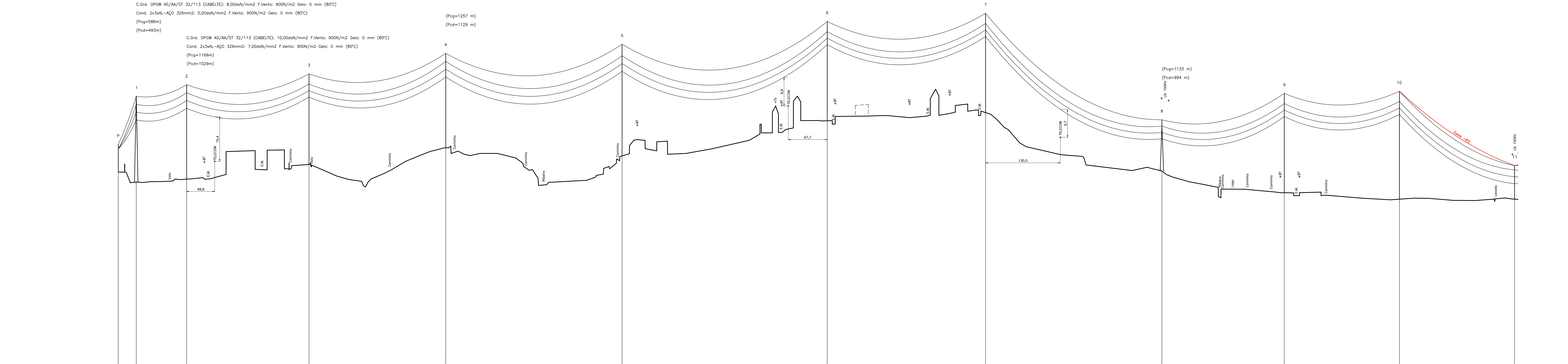
C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 2,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 2x3xAL-AÇO 326mm²: 1,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=161m)
 (Pcd=134m)

C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 8,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 2x3xAL-AÇO 326mm²: 5,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=586m)
 (Pcd=493m)

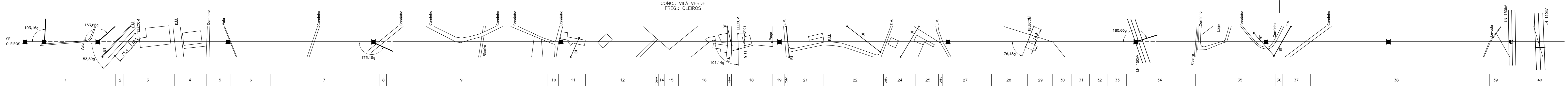
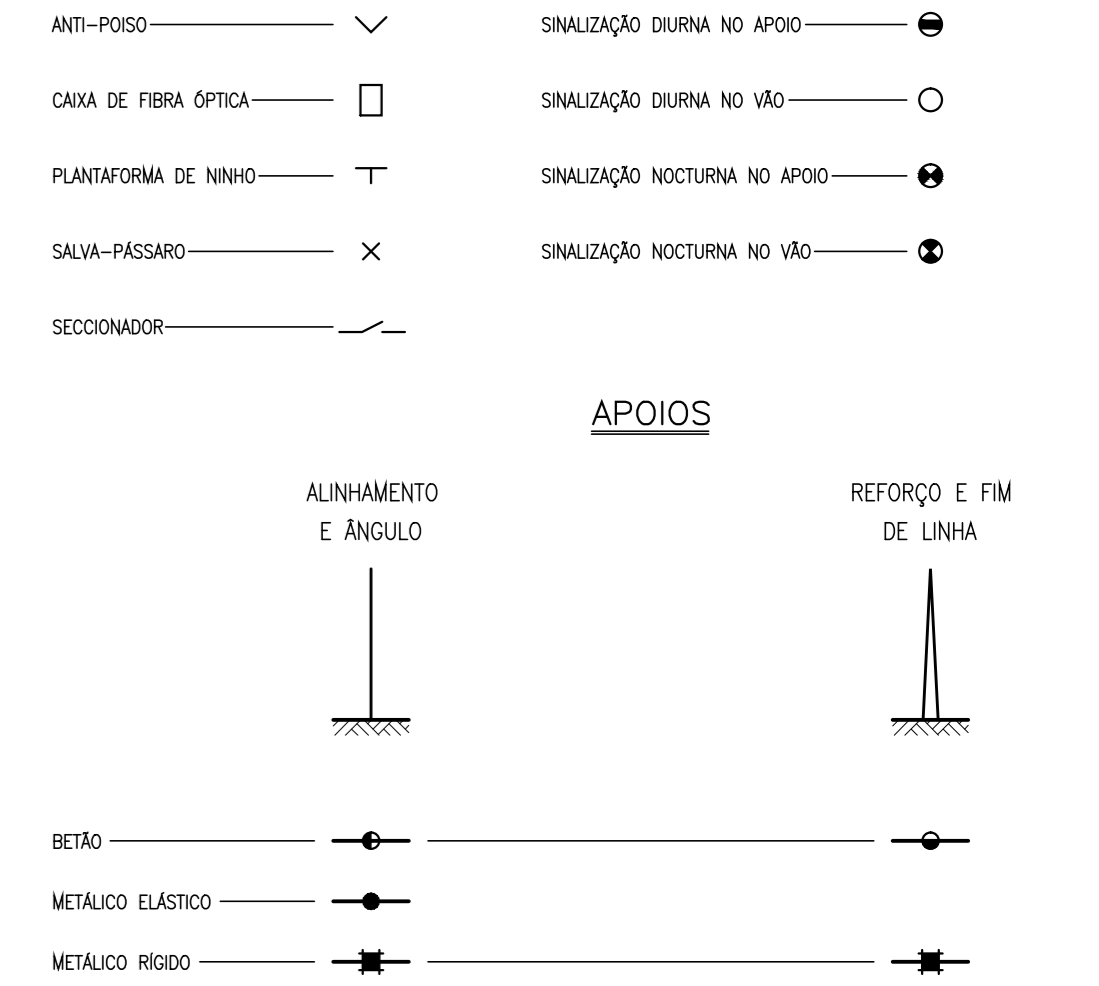
C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 10,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 2x3xAL-AÇO 326mm²: 7,00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=1166m)
 (Pcd=1029m)

(Pcg=1257 m)
 (Pcd=1129 m)

(Pcg=1133 m)
 (Pcd=994 m)



| PLANO DE REFERÊNCIA: 50,00 m | 120,00 | 116,51 | 117,54 | 122,61 | 128,42 | 125,59 | 137,81 | 140,64 | 120,35 | 112,82 | 110,57 | 110,62 | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------|----------------------|----------|------------|----------|----------|-------------------|---------|-------------------|---|---------|--------|---------|--|
| COTA DO TERRENO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NÚMERO DO APOIO | P | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | | | | | | |
| TIPO DO APOIO | PORTICO | F165CD/21 | F165CD/24 | F30CD/24 | F165CD/24 | F95CD/30 | F30CD/27 | F30CD/27 | P12000/14 | F30CD/27 | F30CD/30 | AM08-4000/1320-14 | | | | | | | |
| ALTURA ÚTIL | 8,00 | 21,60 | 24,60 | 23,45 | 24,60 | 29,40 | 26,45 | 26,45 | 11,20 | 26,45 | 29,45 | 5,37 | | | | | | | |
| ARMAÇÃO | PORTICO | F165CD | F165CD | F30CD | F165CD | F95CD | F30CD | F30CD | P12000/EV3 | F30CD | F30CD | EVDAI-AT | | | | | | | |
| FIXAÇÃO DOS CONDUTORES | ARh | ARh | ARh | SRh | ARh | SRh | SRh | SRh | ARh | SRh | SRh | ARh | | | | | | | |
| DISTÂNCIA ENTRE APOIOS | 0,00 | 31,25 | 87,50 | 212,50 | 237,50 | 306,25 | 875,00 | 1231,25 | 275,00 | 1506,25 | 306,25 | 1812,50 | 212,50 | 2025,00 | 200,00 | 2225,00 | 200,00 | 2425,00 | |
| DISTÂNCIA A ORIGEM | | 31,25 | 118,75 | 331,25 | 568,75 | 875,00 | 1231,25 | 1506,25 | 1812,50 | 212,50 | 2025,00 | 2225,00 | 2425,00 | | | | | | |
| CULTURAS | Substituição | Cultivo | | Casas | Mato e Pinheiros | Mato | Amêndoas e Carvalhos | Casas | Cultivo | Mato | Cultivo | Sobrelhos | Casas | Mato e Eucaliptos | Mato, Eucaliptos, Pinheiros e Carvalhos | Lago | | | |



| | | |
|-----------|----------|---------|
| PROJ. | 17.06.16 | C.Pinto |
| LEV. TOP. | | |
| DES. | 17.06.16 | C.Pinto |
| VERIF. | | |
| DATA | | |
| RUBRICA | | |

DSR

FORMATO: 1320x420
 OUTPUT: 1x1
 ESCALA: 1:2500
 1:500

LINHA A 60KV

LN60 OLEIROS (REN)-TURIZ

PERFIL LONGITUDINAL E PLANTA PARCELAR (CABO ACSR)

Freguesia: Oleiros
 Concelho: Vila Verde

CÓDIGOS DE OBRA: DM 00909/2012 01-2666
 Nº DESENHO: 0313L5116900-402.001

Anexo 7 – Mapa de Quantidades – Caso 2

| | Quantidades |
|--|-----------------------|
| Apoios | |
| Pórtico | 2 |
| F20CA/24 | 6 |
| F20CA/27 | 1 |
| F45CA/24 | 3 |
| F45CA/27 | 3 |
| F65CA/24 | 1 |
| F95CA/24 | 4 |
| P12000/14 | 1 |
| AM08-4000/1320-14 | 1 |
| Armações | |
| Pórtico | 2 |
| F20CA | 7 |
| F45CA | 6 |
| F65CA | 1 |
| F95CA | 4 |
| GAN | 1 |
| GAL-AT | 1 |
| Volume total de escavação | 455,65 m ³ |
| Volume total de betão ciclópico | 37,47 m ³ |
| Volume total de betão normal | 67,90 m ³ |
| Volume total de betão moldado | 71,81 m ³ |
| Cadeias de amarração ascendentes | 6 |
| Cadeias de amarração descendentes | 66 |
| Cadeias de suspensão | 27 |
| Cabos | |
| ALACO 326 | 14781 m |
| Opgw AS/AT/ST | 4927 m |

Anexo 8 – Parâmetro e Flechas Máximas – Caso 2

| Cantão | Cabo Condutor (80°C) | | | Cabo Condutor (180°C) | | |
|---------------|-----------------------------|----------|------------|------------------------------|---------|------------|
| | ti (daN/mm ²) | P(m) | Flecha (m) | ti (daN/mm ²) | P(m) | Flecha (m) |
| 1-2 | 1,282 | 483,070 | 1,981 | 1,218 | 316,986 | 2,085 |
| 2-4 | 3,053 | 1150,638 | 5,220 | 2,926 | 761,808 | 5,445 |
| | 3,053 | 1150,638 | 5,834 | 2,926 | 761,808 | 6,085 |
| 4-8 | 3,570 | 1345,716 | 8,963 | 3,463 | 901,519 | 9,240 |
| | 3,570 | 1345,716 | 11,796 | 3,463 | 901,519 | 10,754 |
| | 3,570 | 1345,716 | 7,025 | 3,463 | 901,519 | 8,297 |
| | 3,570 | 1345,716 | 8,731 | 3,463 | 901,519 | 9,260 |
| 8-11 | 2,838 | 1069,764 | 5,280 | 2,714 | 706,590 | 5,311 |
| | 2,838 | 1069,764 | 4,674 | 2,714 | 706,590 | 4,995 |
| | 2,838 | 1069,764 | 4,674 | 2,714 | 706,590 | 4,995 |
| 11-13 | 3,396 | 1279,904 | 4,673 | 3,279 | 853,486 | 6,146 |
| | 3,396 | 1279,904 | 9,538 | 3,279 | 853,486 | 8,780 |
| 13-14 | 3,054 | 1151,177 | 8,212 | 2,965 | 771,853 | 8,458 |
| 14-15 | 3,081 | 1161,292 | 8,532 | 2,993 | 779,264 | 8,781 |
| 15-17 | 3,610 | 1360,927 | 9,694 | 3,506 | 912,697 | 9,987 |
| | 3,610 | 1360,927 | 9,707 | 3,506 | 912,697 | 9,992 |
| 17-19 | 3,439 | 1296,408 | 9,486 | 3,325 | 865,483 | 8,994 |
| | 3,439 | 1296,408 | 6,100 | 3,325 | 865,483 | 7,230 |
| 19-20 | 2,189 | 824,988 | 4,318 | 2,103 | 547,404 | 4,494 |

Anexo 9 – Esforços dos Apoios – Caso 2

| Apoio | Tipo de Apoio | Tipo de Fixação | Hipótese 1 | | | Hipótese 2 | | |
|-----------|-----------------|-----------------|------------|-----------|----------|------------|----------|----------|
| | | | FL | FT | FV | FL | FT | FV |
| 1 | Fim de Linha | Amarração | 7622,202 | 1838,187 | 410,791 | 3044,399 | 1543,297 | 410,791 |
| 2 | Ângulo | Amarração | 2887,969 | 7303,494 | 763,050 | 122,586 | 0,000 | 763,050 |
| 3 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1097,798 | 1054,575 | 210,560 | 0,000 | 1054,575 |
| 4 | Ângulo | Amarração | 0,000 | 5751,868 | 1236,778 | 243,692 | 0,000 | 1236,778 |
| 5 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1594,952 | 1467,569 | 309,990 | 0,000 | 1467,569 |
| 6 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1521,841 | 1406,834 | 295,368 | 0,000 | 1406,834 |
| 7 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1404,863 | 1309,659 | 271,973 | 0,000 | 1309,659 |
| 8 | Ref Ângulo | Amarração | 0,000 | 4559,074 | 1188,191 | 237,137 | 0,000 | 1188,191 |
| 9 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1010,064 | 981,694 | 193,013 | 0,000 | 981,694 |
| 10 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 980,820 | 957,400 | 187,164 | 0,000 | 957,400 |
| 11 | Alinhamento | Amarração | 0,000 | 1069,687 | 993,841 | 195,937 | 0,000 | 993,841 |
| 12 | Alinhamento | Suspensão | 145,000 | 1287,886 | 1212,484 | 248,577 | 0,000 | 1212,484 |
| 13 | Alinhamento | Amarração | 1400,200 | 2719,686 | 1321,806 | 274,897 | 0,000 | 1321,806 |
| 14 | Ângulo | Amarração | 0,000 | 10042,284 | 1261,558 | 201,659 | 0,000 | 1261,558 |
| 15 | Alinhamento | Amarração | 1400,200 | 2763,552 | 1358,247 | 283,670 | 0,000 | 1358,247 |
| 16 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1565,123 | 1442,789 | 304,025 | 0,000 | 1442,789 |
| 17 | Ref Alinhamento | Amarração | 0,000 | 1581,463 | 1418,981 | 298,293 | 0,000 | 1418,981 |
| 18 | Alinhamento | Suspensão | 0,000 | 1360,997 | 1273,219 | 263,199 | 0,000 | 1273,219 |
| 19 | Alinhamento | Amarração | 3090,400 | 1069,687 | 993,841 | 195,937 | 0,000 | 993,841 |
| 20 | Fim de Linha | Amarração | 7300,842 | 1715,020 | 568,700 | 2592,319 | 7297,183 | 568,700 |

Anexo 10 – Condição de Regulação – Caso 2

| Cantão | Pcd₈₀/Pcg₅₀ | Pcd₈₀/Pcg₅₀<0,83 | Tcd | T(15°)≤0,22*TR | Tcg | T(15°)≤0,22*TR |
|---------------|--|--|------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| 1-2 | 0,477 | Verifica | 1445,862 | Verifica | 1050,981 | Verifica |
| 2-4 | 0,417 | Verifica | 2377,828 | Verifica | 1632,703 | Verifica |
| | 0,417 | Verifica | 2377,828 | Verifica | 1632,703 | Verifica |
| 4-8 | 0,481 | Verifica | 2030,660 | Verifica | 1472,673 | Verifica |
| | 0,481 | Verifica | 2030,660 | Verifica | 1472,673 | Verifica |
| | 0,481 | Verifica | 2030,660 | Verifica | 1472,673 | Verifica |
| | 0,481 | Verifica | 2030,660 | Verifica | 1472,673 | Verifica |
| 8-11 | 0,525 | Verifica | 2342,119 | Verifica | 1628,387 | Verifica |
| | 0,525 | Verifica | 2342,119 | Verifica | 1628,387 | Verifica |
| | 0,525 | Verifica | 2342,119 | Verifica | 1628,387 | Verifica |
| 11-13 | 0,610 | Verifica | 2059,127 | Verifica | 1546,133 | Verifica |
| | 0,610 | Verifica | 2059,127 | Verifica | 1546,133 | Verifica |
| 13-14 | 0,606 | Verifica | 1725,448 | Verifica | 1380,642 | Verifica |
| 14-15 | 0,612 | Verifica | 1722,148 | Verifica | 1368,202 | Verifica |
| 15-17 | 0,656 | Verifica | 2024,649 | Verifica | 1455,319 | Verifica |
| | 0,656 | Verifica | 2024,649 | Verifica | 1455,319 | Verifica |
| 17-19 | 0,619 | Verifica | 2051,600 | Verifica | 1528,059 | Verifica |
| | 0,619 | Verifica | 2051,600 | Verifica | 1528,059 | Verifica |
| 19-20 | 0,609 | Verifica | 1678,020 | Verifica | 1097,218 | Verifica |

Anexo 11 – Memória Descritiva – Caso 2

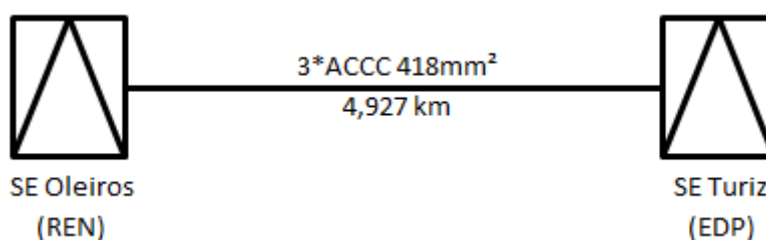
LINHA AÉREA A 60 KV

OLEIROS (REN)- TURIZ

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

1. OBJETIVO DO PROJETO

O objetivo do projeto foca-se essencialmente em proporcionar uma elevada continuidade e qualidade de serviço na rede de Distribuição da EDP, para isso será construída uma linha de transporte de energia elétrica aérea, simples, entre a Subestação da REN (Oleiros) e a Subestação da EDP Distribuição (Turiz).



2. CORRENTE E TENSÃO

A linha aérea, permitirá o transporte de uma potência de 120 MVA com uma tensão entre fases de 63 kV, sob forma de uma corrente alternada trifásica à frequência de 50 Hz.

3. CARACTERÍSTICA DA LINHA

A linha terá o comprimento total de 4.925m, de acordo com o traçado representado na carta militar à escala 1:25000 no desenho n.º 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

A linha é constituída por 3 condutores do tipo ACCC com secção nominal de 418 mm² e cabo de guarda de fibra ótica com as respetivas características descritas nas tabelas seguintes:

Tabela 1- Características do Conductor ACCC

| Parâmetro | Conductor | Cabo de Guarda | Unidades |
|--|-----------------|----------------------|---------------------|
| Tipo de Cabo | ACCC 418 | OPGW AS/AA/ST | |
| Secção Total (σ) | 418,4 | 145 | mm ² |
| Secção de Alumínio | 371,3 | 113 | mm ² |
| Secção de Aço | 47,1 | 32 | mm ² |
| Diâmetro (d) | 0,02355 | 0,016 | m |
| Resistência | 0,076 | 0,292 | Ω /km a 20°C |
| Peso Linear (ω) | 1,11 | 0,557 | daN/m |
| Módulo de Elasticidade (E) | 11230 | 8200 | daN/mm ² |
| Coefficiente de Dilatação (α) | 1,87E-06 | 1,80E-05 | C°-1 |
| Tensão Rutura (T_R) | 12260 | 10295 | daN |

As implantações dos apoios, tipos e alturas dos mesmos, tipos de fixação dos condutores, limites dos proprietários, cruzamentos e demais elementos necessários à definição do traçado da linha, bem como as suas características encontram-se no desenho n.º 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

4. CÁLCULO ELÉTRICO

4.1. INTENSIDADE DA CORRENTE

Trata-se de uma linha aérea dupla, logo por fase a Intensidade de Corrente toma o valor de:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{120 * 10^6}{\sqrt{3} * 63 * 10^3} = 1099,715 \text{ A}$$

4.2. DENSIDADE DE UM CONDUTOR

A densidade por fase nesta linha dupla tem o valor de:

$$d = \frac{I}{\sigma} = \frac{1099,7}{371,3} = 2,962 \text{ A/mm}^2$$

4.3. PERDAS DE ENERGIA

A resistência total da linha é:

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} * L = \left(4,925 * \frac{0,076}{2}\right) = 0,374 \Omega$$

Sendo as perdas de energia por resistência óhmica:

$$P = 3 * R * I^2 = 3 * 0,374 * 1099,71^2 = 1358 \text{ kW}$$

$$p(\%) = \frac{1358 * 10^3}{120 * 10^6 * 0,9} * 100 = 1,257 \%$$

4.4. REATÂNCIA INDUTIVA

O coeficiente de autoindução médio, por fase e por quilómetro, no caso de uma linha trifásica dupla é dado por:

$$L = 0,25 + 2 \ln\left(\frac{D}{r}\right) * 10^{-4} \text{ H/km}$$

Esta linha é constituída por diversos apoios e diferentes distâncias entre pontos de fixação dos condutores. Na tabela seguinte são apresentadas para as diferentes situações o coeficiente de autoindução (L) e a reatância indutiva (X).

| Tipo de Apoio | L (Km) | L_méd (H/Km) | L_méd (H) | X (Ω) |
|---------------------------|----------|--------------|-----------|----------|
| F20CA | 1,843625 | 0,001197 | 0,002206 | 0,693063 |
| F45CA | 1,721875 | 0,001202 | 0,002071 | 0,650468 |
| F65CA | 0,271875 | 0,001202 | 0,000327 | 0,102706 |
| F95CA | 0,620875 | 0,001215 | 0,000755 | 0,237061 |
| Poste de Betão/GAN | 0,259375 | 0,001174 | 0,000305 | 0,095703 |
| Poste de Betão/GAL | 0,209375 | 0,001174 | 0,000246 | 0,077254 |
| | 4,927 | | | 1,856255 |

4.5. QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão por fase, tendo por base a resistência e reatância indutiva desta linha, será:

$$V_1 - V_0 = \sqrt{3} * I * (R * \cos \phi + X * \sin \phi)$$

$$\Delta V = \sqrt{3} * 1099,715 * (0,076 * 0,9 + 1,856 * 0,436) = 2182,834 \text{ V}$$

Correspondendo assim à seguinte percentagem da tensão de serviço:

$$\Delta V (\%) = \frac{2182,834}{63000} * 100 = 3,465\%$$

5. CAMPO ELETROMAGNÉTICO

De acordo com a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de Novembro, publicada no Diário da República – I Série B, n.º 275, os níveis de referência da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), são os seguintes:

Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos a 50 Hz

| Campo Elétrico [kV/m] | Densidade de fluxo magnético [μ T] |
|-----------------------|---|
| 5 | 100 |

Realizou-se o cálculo para o CEM no local em que a distancia ao solo era menor, situada entre o apoio 10 e 12, pois a distancia ao solo nestes locais, é inferior ao recomendado pela EDP, contudo superior ao imposto pelo regulamento. Para este cálculo foi utilizada a ferramenta de calcula da EDP para a determinação destes valores.

- Cálculo do campo elétrico – O valor obtido é de 1,331 kV/m no solo, neste caso está dentro dos parâmetros impostos, é inferior a 5 kV/m.
- Cálculo do campo magnético – O valor obtido é de 14,395 μ T no solo, valor visivelmente inferior aos parâmetros impostos em que o limite é de 100 μ T.

6. ISOLADORES

Todas as cadeias têm hastes de descarga, sendo os dois tipos, amarração e de suspensão, constituídas por 6 elementos, do tipo U100 BS fabrico da empresa DIELV ou equivalente.

7. CÁLCULO MECÂNICO

4.6. CONDUTORES E CABOS DE TERRA

Os condutores e cabo de terra serão instalados para que, não ultrapassem, nas condições mais desfavoráveis.

4.7. APOIOS

Na linha são utilizados os apoios do tipo F20CA, F45CA, F65CA, F95CA, P12000/GAN, Poste de Betão/GAL (AM08/4000).

Os apoios em questão, bem como o seu cálculo de estabilidade.

4.8. CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES

A linha cruza com traçados de telecomunicações nos seguintes vãos: 2-3, 5-6, 7-8, 15-16 e 16-17.

Os ângulos que os traçados fazem entre si, bem como as distâncias do ponto de cruzamento aos apoios, encontram-se no anexo x (Desenho Autocad)

A distância vertical entre o condutor inferior da linha de alta tensão e o condutor superior do traçado de telecomunicações é, em todos os casos, superior ao mínimo regulamentar, como é possível visualizar no anexo x (Tabela de distâncias regulamentares)

4.9. CRUZAMENTO COM INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

A Linha cruza-se com estradas municipais nos seguintes vãos: 2-3; 5-6; 6-7; 9-10; 15-16; 16-17; 17-18; 19-20.

No vão 12-13 a linha cruza uma autoestrada.

4.10. CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS

4.10.1. LINHAS DE BAIXA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas BT nos seguintes vãos: 2-3; 4-5; 5-6; 6-7; 8-9; 9-10; 15-16; 16-17; 17-18.

4.10.2. LINHAS DE MÉDIA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas MT nos seguintes vãos: 15-16; 16-17; 19-20.

4.10.3. LINHAS DE MUITO ALTA TENSÃO

A Linha cruza-se com Linhas MAT nos apoios 8 e 11 e ainda no vão 11-12.

4.1. BALIZAGEM AÉREA

Será balizado o vão 12-13 conforme representado no desenho n.º 0313 L5116900-402 (folhas 1 e 2).

Porto, 16 de Junho de 2017

O Autor do Projeto:

Verificado por:

O Técnico Responsável:

EDP Distribuição - Energia,
SA

Direção de Serviços a Redes

Departamento Redes AT/MT

Carina Pinto

Eng.ª Eletrotécnica

Hugo Moutinho

Eng.º Eletrotécnico

Eng.º Eletrotécnico

(Inscrito na OE c/ n.ºxxx)

Anexo 12 – Perfil da Linha – Caso 2

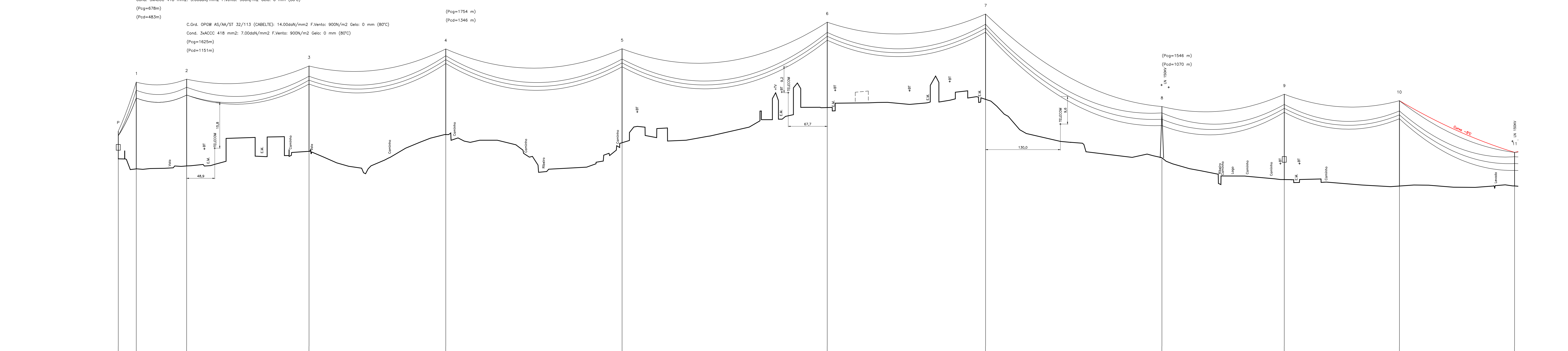
C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 2.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 3xACC 418 mm²: 1.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=161m)
 (Pcd=147m)

C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 10.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 3xACC 418 mm²: 5.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=678m)
 (Pcd=483m)

C.Ord. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 14.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 3xACC 418 mm²: 7.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=1625m)
 (Pcd=1151m)

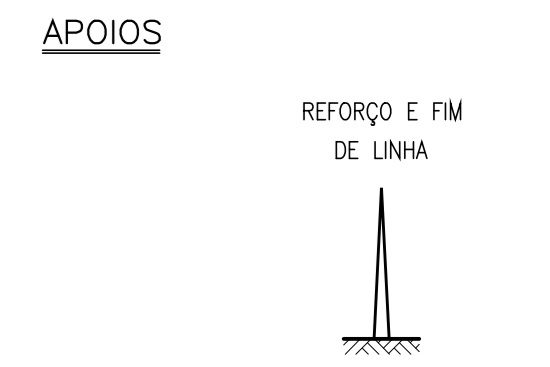
(Pcg=1754 m)
 (Pcd=1346 m)

(Pcg=1546 m)
 (Pcd=1070 m)

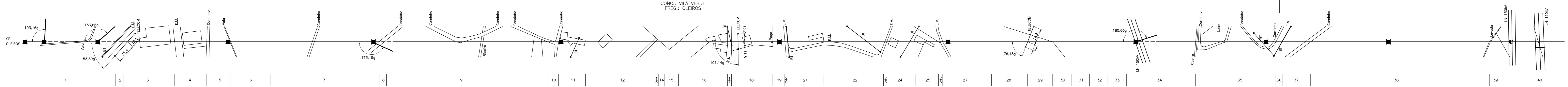


| PLANO DE REFERÊNCIA: 50,00 m | 120,00 | 116,51 | 117,54 | 122,61 | 128,42 | 125,59 | 137,81 | 140,64 | 120,35 | 112,82 | 110,57 | 110,62 | |
|------------------------------|--------|--------------|----------|----------|------------------|----------|----------------------|----------|----------|------------|-------------------|---|-------------------|
| NOTA DO TERRENO | P | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| NÚMERO DO APOIO | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| TIPO DO APOIO | | PORTICO | F95CA/24 | F95CA/24 | F20CA/24 | F45CA/24 | F65CA/24 | F45CA/27 | F20CA/24 | F20CA/24 | P12000/14 | F20CA/24 | AM08-4000/1320-14 |
| ALTURA ÚTIL | | 8,00 | 24,60 | 24,60 | 23,35 | 24,65 | 26,35 | 23,35 | 23,35 | 11,20 | 23,35 | 5,37 | |
| ARMAÇÃO | | PORTICO | F95CA | F95CA | F20CA | F45CA | F45CA | F20CA | F20CA | P12000/GAL | F20CA | F20CA | GAL-AT |
| FIXAÇÃO DOS CONDUTORES | | ARh | ARh | ARh | SRh | SRh | SRh | SRh | SRh | SRh | ARh | SRh | ARh |
| DISTÂNCIA ENTRE APOIOS | | 31,25 | 87,50 | 212,50 | 337,75 | 306,25 | 875,00 | 1231,25 | 275,00 | 306,25 | 1812,50 | 200,00 | 2425,00 |
| DISTÂNCIA A ORIGEM | | 0,00 | 31,25 | 118,75 | 566,75 | 875,00 | 1506,25 | 2757,50 | 3032,50 | 3338,75 | 5151,25 | 5351,25 | 7776,25 |
| CULTURAS | | Substituição | Cultivo | Casas | Mato e Pinheiros | Mato | Amêndoas e Carvalhos | Casas | Cultivo | Casas | Mato e Eucaliptos | Mato, Eucaliptos, Pinheiros e Carvalhos | Lago |

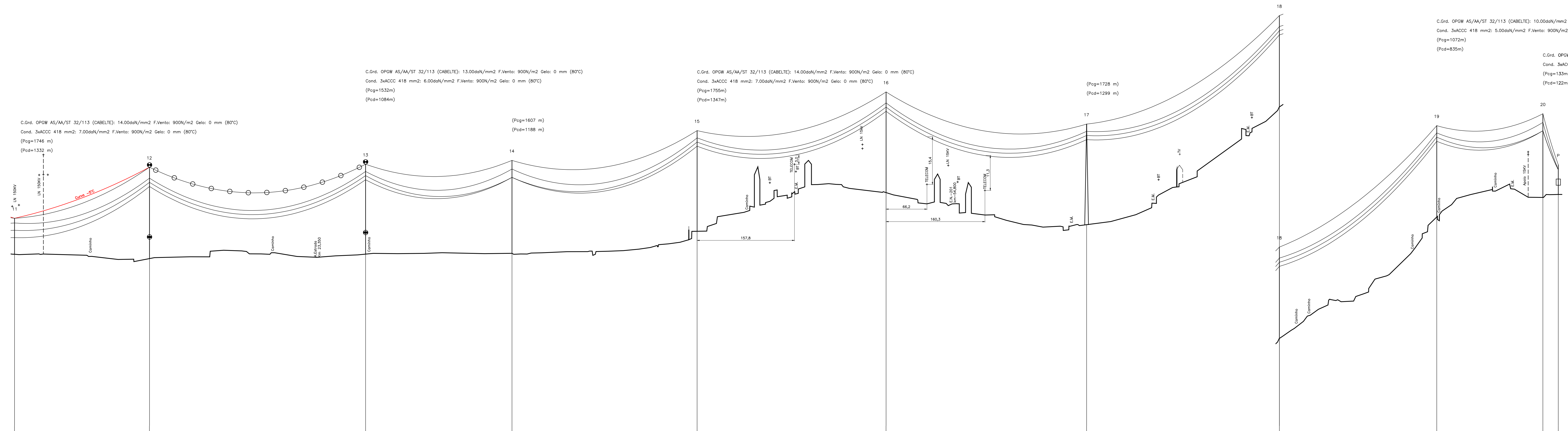
- ANTI-POISO
- CAIXA DE FIBRA ÓPTICA
- PLATAFORMA DE NINHO
- SALVA-PASSARO
- SECCIONADOR
- SINALIZAÇÃO DIURNA NO APOIO
- SINALIZAÇÃO DIURNA NO VÃO
- SINALIZAÇÃO NOCTURNA NO APOIO
- SINALIZAÇÃO NOCTURNA NO VÃO



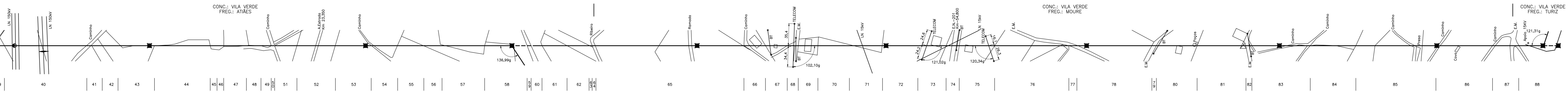
- BETÃO
- METÁLICO ELÁSTICO
- METÁLICO RÍGIDO



| | | | | | | | |
|--------|------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------|----------|---------|
| INDICE | DESCRIÇÃO | DATA | ALTERADO | APROVADO | PROJ. | 17.06.16 | C.Pinto |
| | | | | | LEV. TOP. | | |
| | | | | | DES. | 17.06.16 | C.Pinto |
| | | | | | VERIF. | | |
| | | | | | DATA | | RUBRICA |
| DSR | FORMATO 1320x420 | LINHA A 60KV | | | | | |
| | OUTPUT 1x1 | LN60 OLEIROS (REN)-TURIZ | | | | | |
| | ESCALA 1:2500 | PERFIL LONGITUDINAL E PLANTA PARCELAR | | | | | |
| | 1:500 | Freguesia: Oleiros | Concelho: Vila Verde | | | | |
| | | SUBSTITUI | CODIGOS DE OBRA | Nº DESENHO | | INDICE | |
| | | DM 00909/2012 | 01-2666 | 0313L5116900-402.001 | | | |



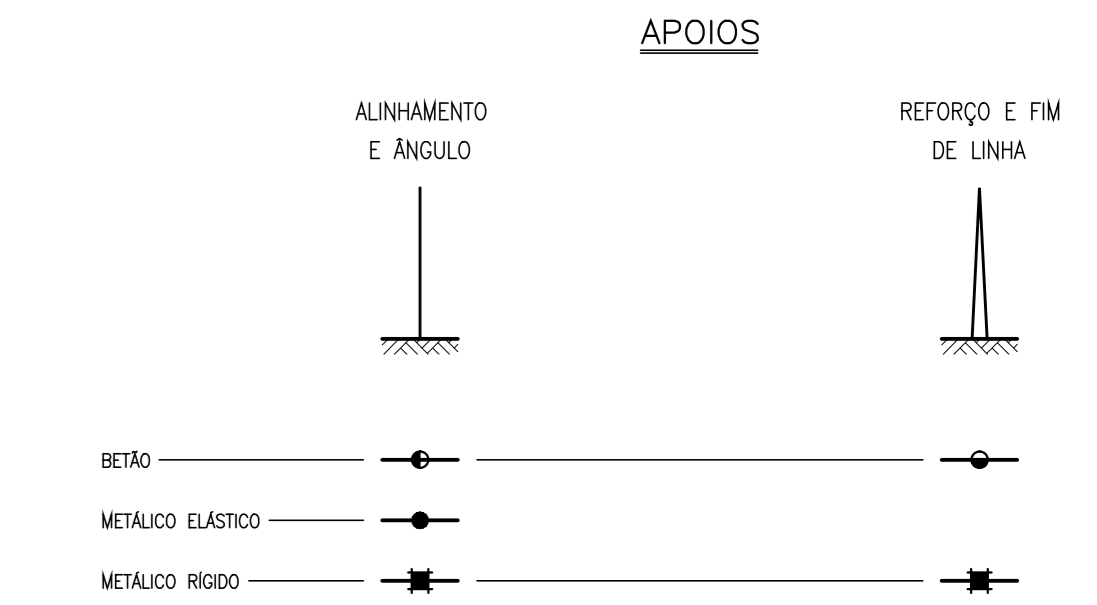
| PLANO DE REFERÊNCIA: 50,00 m | 110,62 | 109,20 | 110,18 | 110,91 | 118,06 | 130,58 | 120,18 | 158,32 | 197,66 | 204,02 | 204,97 |
|------------------------------|-------------------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|--------------|-----------------------------------|-------------------|
| COTA DO TERRENO | 110,62 | 109,20 | 110,18 | 110,91 | 118,06 | 130,58 | 120,18 | 158,32 | 197,66 | 204,02 | 204,97 |
| NÚMERO DO APOIO | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | P |
| TIPO DO APOIO | AM08-4000/1320-14 | F45CA/24 | F45CA/24 | F95CA/24 | F45CA/27 | F20CA/27 | F45CA/27 | F20CA/24 | F45CA/24 | F95CA/21 | P |
| ALTURA ÚTIL | 5,37 | 23,35 | 24,55 | 24,60 | 27,55 | 26,35 | 27,55 | 23,35 | 24,55 | 21,60 | 8,00 |
| ARMAÇÃO | GAL-AT | F45CA | F45CA | F95CA | F45CA | F20CA | F45CA | F20CA | F45CA | F95CA | PORTICO |
| FIXAÇÃO DOS CONDUTORES | ARh | SRh | SRh | ARh | ARh | SRh | ARh | SRh | ARh | ARh | ARh |
| DISTÂNCIA ENTRE APOIOS | 2425,00 | 218,75 | 2843,75 | 350,25 | 237,25 | 306,25 | 306,25 | 325,00 | 255,00 | 172,00 | 125,00 |
| DISTÂNCIA À ORIGEM | 2425,00 | 218,75 | 2843,75 | 2994,00 | 2994,00 | 3231,25 | 3231,25 | 3556,25 | 3851,25 | 4023,25 | 4148,25 |
| CULTURAS | | | Cultivo | Auto-Estrada | | Casa | Cultivo | Casa | Castanheiros | Cultivo | Castanheiros |
| | | | | | | | | | | Pinheiros, Eucaliptos e Carvalhos | Mato e Eucaliptos |
| | | | | | | | | | | | Subestação |



C.Gr. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 10.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 3xACC 418 mm²: 5.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=1072m)
 (Pcd=835m)

C.Gr. OPGW AS/AA/ST 32/113 (CABELTE): 2.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 Cond. 3xACC 418 mm²: 1.00daN/mm² F.Vento: 900N/m² Gelo: 0 mm (80°C)
 (Pcg=133m)
 (Pcd=122m)

- ANTI-POSO
- CAIXA DE FIBRA ÓPTICA
- PLATAFORMA DE NINHO
- SALVA-PASSARO
- SECCIONADOR
- SINALIZAÇÃO DIURNA NO APOIO
- SINALIZAÇÃO DIURNA NO VÃO
- SINALIZAÇÃO NOCTURNA NO APOIO
- SINALIZAÇÃO NOCTURNA NO VÃO



| | | | |
|--|------------------|--------------------------|--------------|
| DSR | FORMATO 1320x420 | PROJ. 17.06.16 | C.Pinto |
| | OUTPUT 1x1 | LEV. TOP. 17.06.16 | C.Pinto |
| | ESCALA 1:2500 | VERIF. 17.06.16 | C.Pinto |
| | 1:500 | APROVADO | DATA RUBRICA |
| LINHA A 60KV | | CONCELHO: Vila Verde | |
| LN60 OLEIROS (REN)-TURIZ | | Freguesia: Atiães; Moure | |
| PERFIL LONGITUDINAL E PLANTA PARCELAR (CABO ACC) | | CÓDIGOS DE OBRA | |
| SUBSTITUI | | Nº DESENHO | |
| DM 009909/2012 | | 01-2666 | |
| | | 0313L5116900-402.002 | |