



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Estudo de Redes de Distribuição de Energia

Luís Manuel Passos

Relatório de Estagio

Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia

Elaborado sob a orientação de:

Prof. Dr. José Luís Argain

Ano

2014/2015

"Para vencer - material ou imaterialmente - três coisas definíveis são precisas: saber trabalhar, aproveitar oportunidades, e criar relações. O resto pertence ao elemento indefinível, mas real, a que, à falta de melhor nome, se chama sorte." - FERNANDO PESSOA

Declaração de autoria do trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright © Luís Manuel Passos

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao longo da realização do presente estágio tive um apoio excepcional da entidade acolhedora (EDP Distribuição – Energia S.A.) e de pessoas que me permitiram ultrapassar as mais diversas dificuldades. A todos eles gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, um forte agradecimento ao meu orientador industrial, o Engº António Pontes Estrela, pela paciência, disponibilidade e dedicação.

Ao meu colega Duarte Mendonça, pela preciosa informação técnica e tempo despendido.

Aos meus colegas do Departamento de Estudos de Rede aqui em Faro, ao Eng. Miguel Moreira e à equipa que em Évora ajudou a testar o programa de cálculo mecânico de linhas aéreas de média tensão.

Ao meu orientador académico, Prof. José Luís Argáin pelo apoio dispensado sempre que necessitei.

A todos os meus amigos e familiares que me apoiaram nesta cruzada.

Este documento foi escrito segundo as normas do Acordo Ortográfico de 1945, conforme com o Decreto nº 35 228, de 8 de Dezembro de 1945, e o Decreto-Lei nº 32/73 de 6 de Fevereiro.

Resumo

O presente relatório tem como objectivo descrever o estágio curricular realizado no ano lectivo 2014/2015 no âmbito da disciplina de Dissertação/Estágio/Projecto, do Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve, entre o dia 2 de Fevereiro e o dia 31 de Julho de 2015.

O estágio foi realizado na EDP DISTRIBUIÇÃO – Energia S.A., no Departamento de Estudos de Rede, na delegação de Faro.

O principal objectivo do meu trabalho neste estágio foi produzir um *software* que permita realizar o cálculo mecânico de linhas aéreas de média tensão (15-30kV), verificar as distâncias mínimas de segurança entre condutores, elaborar mapas de flechas e ainda preencher o mapa de montagem. Finalizado este primeiro objectivo, e na posse desta ferramenta, projectar linhas áreas de média tensão, postos de transformação e respectivas redes de baixa tensão.

Foram ainda analisados no âmbito deste estágio projectos de Serviço Público, relativos a Loteamentos/Urbanizações, redes de alimentação em baixa tensão e iluminação pública. Foi elaborada uma proposta de Guia Técnico de Projectos de Serviço Publico e nova *checklist* para análise dos mesmos.

No âmbito do novo paradigma das energias renováveis e da produção descentralizada, os conhecimentos adquiridos são primordiais, dado que com a contínua construção de parques eólicos e fotovoltaicos, é cada vez mais necessário quem domine o estado da arte no que toca a interligação à rede. Prevê-se que no futuro que uma boa parte da produção de energia se faça através de fontes renováveis em micro e mini produção, injectando em *smart grids*, em que todos vendem energia a todos num conceito puro de produção descentralizada. Daí ser de uma importância estratégica o estudo de redes de distribuição e a compreensão da gestão das mesmas para uma preparação técnica para o futuro que se avizinha.

Abstract

This report aims to describe the internship carried out under the discipline of Thesis / Internship / Project of the Master in Renewable Energy and Energy Management, Faculdade de Ciências e Tecnologia Faculdade de Ciências e Tecnologia of University of Algarve.

The internship was held in EDP DISTRIBUTION - Energy SA, Departamento de Estudos de Rede on the Faro's Branch.

The main purpose of my work at this internship was to produce a program (software) to aid in the mechanical calculation of medium voltage power lines (15-30kV), check the minimum safety distances between conductors, elaborate deflection maps and finally fill the assembly map. Finished this first goal and having this tool available, initiate the design of medium voltage power lines, transformer stations and their low voltage distribution networks.

Were also examined Public Service projects relating to Settlements/Housing developments, supply networks at low voltage and public lighting. A proposal of a Technical Guide of Public Service Projects and new checklist to analyze them was prepared.

Under the new paradigm of renewable energies and decentralized production, acquire this knowledge is paramount, the increase in construction of windfarms and photovoltaic parks is creating a great demand for such projects, being necessary to dominate the state of the art when it comes to grid connection. In the future, a great part of energy will be generated by renewable sources in micro or mini production, injecting in smart grids, in which all sell energy to all in a pure concept of decentralized production. Hence it is of strategic importance to the study of distribution networks and to understand their management for a technical preparation for the future that lies ahead.

Índice

Glossário.....	13
Introdução.....	14
1. Apresentação da empresa	16
2. Informação Geral.....	19
2.1 Identificação do estagiário.....	19
2.2 Identificação da empresa	19
2.3 Período de duração e carga horaria do estágio	19
2.4 Identificação do Orientador Docente.....	19
2.5 Identificação do Orientador Industrial.....	19
3. Noções sobre Redes de Distribuição	20
4. Estudo Prévio do projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão	21
4.1 Definição do traçado.....	21
4.2 Levantamento topográfico	23
4.3 Consultas para identificação de condicionantes	25
5. Elaboração do projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão	27
5.1 Considerações gerais	27
5.2 Definições relevantes.....	28
5.3 Materiais e Equipamentos utilizados nas LMT	29
5.3.1 Condutores	30
5.3.2 Isoladores	32
5.3.3 Armações.....	35
5.3.4 Apoios	37
5.4 Execução do Projecto	40
5.4.1 Cálculo mecânico dos cabos	41
5.4.2 Trabalho em CAD	63

5.4.3	Cálculo eléctrico.....	66
6.	Programa de Cálculo de Linhas Aéreas de Média Tensão.....	73
6.1	Interface.....	74
6.2	Cálculo da suficiência dos apoios.....	75
6.3	Mapa de Flechas	78
6.4	Verificação da distância mínima entre condutores.....	79
6.5	Mapa de Montagem.....	83
7.	Trabalho realizado.....	83
7.1	Projectos de redes de distribuição em média e baixa tensão e postos de transformação	83
7.2	Análise de projectos de serviço Público	85
8.	Conclusão	87
9.	Bibliografia.....	89

Índice de Figuras

Figura 1 - Cadeia de valor energético	20
Figura 2 - Central Autónoma (GPS)	24
Figura 3 - Unidade Móvel da Estação Autónoma	24
Figura 4 - Cabo de Alumínio - Aço (Al-Aço)	31
Figura 5 - Cadeia de Isoladores em Suspensão	33
Figura 6 - Cadeia de isoladores em amarração	33
Figura 7 - Tipos de Isolador	33
Figura 8 - Postes de betão e metálicos	38
Figura 9 - Apoio em Alinhamento	39
Figura 10 - Apoio em Ângulo	39
Figura 11 - Apoio em Reforço em Alinhamento.....	39
Figura 12 - Apoio de Reforço em Ângulo.....	39
Figura 13 - Apoio em Alinhamento e Derivação	39
Figura 14 - Apoio de Reforço em Derivação	39
Figura 15 - Apoio de Derivação em Ângulo	39
Figura 16 - Apoio de Reforço e Derivação em Ângulo	39
Figura 17 - Apoio em Fim de Linha.....	39
Figura 18 - Vão de nível.....	42
Figura 19 - Vão desnivelado	43
Figura 20 - Vão Nivelado (Forças próprias)	45
Figura 21 - Vão desnivelado (Forças Próprias).....	46
Figura 22 - Vãos contínuos	49
Figura 23 - Mudança de direcção no plano horizontal de uma LMT.....	50
Figura 24 - Apoio em ângulo (distribuição de forças)	51
Figura 25 - Diagrama de forças no apoio	52
Figura 26 - Efeito do vento no apoio de alinhamento	54
Figura 27 - Efeito do vento no apoio de ângulo	54
Figura 28 - Acção do vento sobre os cabos.....	58
Figura 29 – Distribuição de apoios numa Linha Aérea de Media Tensão	65
Figura 30 - Perfil da Linha Aérea de Média Tensão	65
Figura 31 - Menu principal PC-LMT	74
Figura 32 - Mapa de Montagem.....	75
	10

Figura 33 - Boletim de cálculo de Apoio	77
Figura 34 - Mapa de Flechas	78
Figura 35 - Distância mínima entre condutores	79
Figura 36 - Distância de garantia entre GAN e HPT4 ou HRFSC.....	81
Figura 37 - Distância de garantia entre VAN ou VAL e HPT4 ou HRFSC	81
Figura 38 - Distância de garantia entre TAL e HPT4 ou HRFSC.....	81
Figura 39 - Distância entre condutores (em ângulo)	82
Figura 40 - Sinalização de não cumprimento da distância mínima de segurança.....	82
Figura 41 - Etapas da apreciação de um projecto de serviço público	85

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Entidades a consultar	26
Tabela 2 - Cabos de Alumínio com alma de Alumínio.....	31
Tabela 3 - Cabos de Alumínio com alma de Aço	31
Tabela 4 - Cabos de Cobre	32
Tabela 5 - Classes de Isolador.....	34
Tabela 6 - Tipos de Isoladores (Vantagens e Desvantagens).....	35
Tabela 7 - Tipos de armação de MT aplicadas em postes de betão	36
Tabela 8 - Equações fundamentais dos cabos	44
Tabela 9 - Coeficientes de forma em função da superfície do objecto	55
Tabela 10 - Pressão dinâmica do vento	56
Tabela 11 - Coeficiente de redução (α).....	56
Tabela 12 - Coeficiente de forma (c)	57
Tabela 13 - Equação de Mudança de Estado.....	62
Tabela 14 - Distância de garantia para armações (sem gelo).....	80
Tabela 15 - Distância de garantia dada pelas diversas armações	81

Glossário

Alta Tensão (AT) – Níveis de tensão compreendidos entre 45 kV e 110 kV;

Baixa Tensão (BT) – Níveis de tensão compreendidos entre 50 V e 1 kV;

Baixa Tensão Especial (BTN) – Regime de BT referente a clientes com potência contratada superior a 41,4 kW;

Baixa Tensão Normal (BTN) – Regime de BT referente a clientes sem medição de potência activa e de potência reactiva, cuja potência contratada é inferior a 41,4 kVA;

Baixa Tensão Normal de Iluminação Pública (BTN-IP) – Regime de BT referente a clientes de iluminação pública.

Design Manager (DM) – Modo de trabalho do sistema SIT;

LMT – Linha de Média Tensão;

Sistema de Informação Técnica (SIT) – Software de gestão de rede;

Órgão de Corte de Rede (OCR) – Equipamento que permite detectar avaria e fazer o corte da linha onde se encontra instalado, fazendo o reporte do erro a uma central de gestão;

Média Tensão (MT) – Níveis de tensão compreendidos entre 1 kV e 45 kV;

Muito Alta Tensão (MAT) – Níveis de tensão superiores a 110 kV;

RRC – Regulamento das Relações Comerciais;

RESLEAT – Regulamento de Segurança Linhas Eléctricas de Alta Tensão

SEN – Sistema Eléctrico Nacional;

Introdução

O presente estágio teve como base um convite que me foi dirigido pela EDP Distribuição – Energia S.A, mais concretamente da Direcção de Rede e Clientes Sul – Departamento de estudos de Rede para realizar o estágio curricular.

A EDP Distribuição – Energia S.A. é a concessionária da exploração das linhas de média tensão e tem com principais atribuições:

- Estudar, projectar e executar obras de carácter não estruturante da rede;
- Realizar operações de reposição do serviço em toda a rede e realizar operações de manutenção de natureza planeada e correctiva em PT/PST e na rede BT/IP;
- Coordenar e acompanhar a execução das ordens de serviço e contagens;
- Gestão da relação com as autarquias, entidades oficiais e empresárias;

O departamento de estudos de rede tem as seguintes atribuições:

- Definição dos pontos de ligação e condições técnicas das novas ligações;
- Elaboração de propostas e sua apresentação ao planeamento da rede sempre que se ultrapassem os critérios pré-definidos no investimento MT/BT;
- Orçamentação e valorização das participações/indeminizações a ser pagas pelos clientes de MT;
- Realização de estudos e projectos sobre a evolução das redes MT/BT, incluindo ligação de novos clientes em MT/BT, remodelação e modificação das redes MT/BT;
- Análise de projectos de loteamentos e urbanizações;
- Carregamento das obras em SIT/DM;
- Actualização do SIT/MT;
- Elaboração de propostas a levar ao comité de investimento;
- Fiscalização e controlo das obras no terreno.

Assim, dada a crescente necessidade de interligação dos diversos projectos de unidades de produção de energias renováveis, nomeadamente parques eólicos e fotovoltaicos, bem como não em tao grande quantidade, unidades hídricas de produção de energia eléctrica, é uma crescente necessidade o domínio do estado de arte no que toca ao projecto de linhas aéreas de média tensão e postos de transformação. A sua importância é tao elevada que pode ser considerada como uma disciplina de excepção dentro da electrotecnia, que tanto abrange a área da electrotecnia pura, como as áreas de gestão de produção, produção de energia e energias renováveis, dada a sua abrangência.

Para além da importância das interligações à rede, cada vez mais a produção de energia deixará de se fazer em grandes centrais de produção, para se fazer cada vez mais a um nível deslocalizado, ou seja, a partir de cada casa, através de tecnologias renováveis e limpas, injectando assim na rede, num conceito em que todos vendem energia todos. Em Portugal temos a primeira *Smartgrid* experimental em Évora, a **Inovgrid**. Os conhecimentos que adquiri sobre gestão de redes de distribuição são importantíssimos para em termos profissionais acompanhar esta nova tendência que já está em passos muito lentos a tomar o seu lugar a nível de conceito de rede de distribuição.

1. Apresentação da empresa

A EDP foi criada em 1976, após a fusão de 13 empresas do sector energético que tinham sido nacionalizadas no ano anterior. Três décadas depois a empresa cresceu, conquistou mercados, alargou a actividade, expandiu negócios e mudou culturas.

ELECTRICIDADE
DE PORTUGAL
EDP
EMPRESA PÚBLICA

Hoje, a EDP ocupa o 280º lugar no ranking das marcas mais valiosas do mundo. De acordo com o estudo da consultora "Brand Finance" divulgado em Março de 2011, a empresa vale cerca de 2.775 milhões de euros. A marca foi acompanhando ao longo dos tempos as mudanças a que a empresa foi sujeita. (Carvalho, 2012)

1978: a primeira marca EDP



A primeira marca EDP nasceu em 1978 com a denominação de EDP - Electricidade de Portugal/Empresa Pública, sendo a sua identidade visual associado ao “E”, referente ao negócio da Electricidade.

Em meados da década de 80 a rede de distribuição da EDP cobria 97% do território de Portugal Continental e assegurava 80% do fornecimento de energia eléctrica em Baixa Tensão (Carvalho, 2012).

1993: mudança e dinamismo



Em 1991 a empresa muda a sua identidade jurídica e passa de Entidade Pública a Sociedade Anónima. A mudança visual acontece em 1993. Associado ao conceito de mudança e dinamismo. O símbolo estilizado da corrente representava as três áreas de actividade da empresa: produção, transporte e distribuição de energia. Apesar do dinamismo, para a altura, a verdade é que a marca não chegou aos clientes, e a empresa era percebida como “cara”, “abusiva” e “distante”.

Em Junho de 1997 ocorre a primeira fase de privatização da EDP, tendo sido alienado 30% do capital. Uma operação de grande sucesso em que a procura superou a oferta em mais de trinta vezes. Mais de oitocentos mil portugueses (cerca de 8% da população) tornam-se accionistas da EDP (Carvalho, 2012).

2004: Energias de Portugal



Para reverter a imagem de empresa pouco orientada para o cliente e que não comunicava com eficácia os produtos e serviços disponíveis, o Grupo desenvolveu, em 2003, o conceito central do que seria a nova marca: Proximidade! A EDP queria estar próxima dos clientes e *stakeholders*, mostrar que era uma empresa aberta, transparente e honesta, que tinha um preço justo e um serviço fiável, e que queria estar disponível para servir, ouvir, aconselhar, alertar e partilhar causas comuns.

Em 2004, dá-se o grande *rebranding* e reposicionamento da EDP. A nova identidade materializou um sorriso próximo e simples, de forma a transmitir uma EDP mais transparente, que ambiciona uma maior proximidade com os seus *stakeholders*. O encarnado simboliza a Paixão, Diferenciação, Emoção e Calor. Os valores da marca estavam bem patentes: conforto, simplicidade e responsabilidade social.

A EDP alterou também a sua assinatura. De “Electricidade de Portugal”, passa a identificar-se por “Energias de Portugal”, porque o seu negócio já abrangia outras actividades no sector da energia (Carvalho, 2012).

2011: uma marca humana, inovadora e sustentável



A marca EDP entrou numa nova fase da sua história. Na essência, o desejo de se apresentar como uma empresa humana, sustentável e inovadora. Estas são características intemporais e universais, independentemente das inovações de produto ou das mudanças competitivas. Como empresa dinâmica na vanguarda da área energética, a EDP tem agora uma marca que representa essa agilidade.

Em 1996 dão-se os primeiros passos de internacionalização da EDP e depois cinco fases de privatização: Maio de 1998, Junho de 1998, Outubro de 2000, Novembro de 2004 e Dezembro de 2005.

As unidades de negócio da empresa são:

- Comercialização
- Distribuição de Eletricidade
- EDP no Brasil
- Eólicas
- Gás na Península Ibérica
- Produção de Eletricidade

A empresa é hoje um dos maiores operadores energéticos da Península Ibérica, o maior grupo industrial português e o 3º maior produtor mundial de energia eólica e ainda a única empresa portuguesa que integra os índices Dow Jones de Sustentabilidade (World e STOXX), os mais exigentes do mundo, que distinguem as companhias com melhor desempenho nas questões ligadas à transparência, sustentabilidade e excelência na gestão económica, ambiental e social.

2. Informação Geral

2.1 Identificação do estagiário

Nome: - Luís Manuel Passos;

Curso: - Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia;

Morada: - Rua Coronel António Santos Fonseca, 10 R/C Esq – 8000-257 Faro;

Email: - luismanuelpassos@gmail.com

2.2 Identificação da empresa

Designação: - EDP Distribuição - Energia, S.A.;

Morada: - Praça Marques de Pombal, 12 1250-162 Lisboa

Actividade: - Fornecimento de Energia/Gestão de infra-estruturas eléctricas

Morada do Local de estágio: - Estrada da Penha, Faro

Telefone: - 289 00 6000;

2.3 Período de duração e carga horaria do estágio

O período de duração do estágio curricular será de 02 de Fevereiro até 31 de Julho. O horário será diurno (dias uteis) entre as 9:30 horas e as 12:30 horas e das 14:30 as 18:00, em regime de 32,5 horas semanais, perfazendo uma carga horaria total de 845 horas.

2.4 Identificação do Orientador Docente

Orientador: - Prof. Doutor José Luís Argain;

Gabinete: - Edifício 2, Gabinete 3.9, Campus de Gambelas – Faro;

Telefone: - 289 800100 extensão 7639

Email: - jargain@ualg.pt

2.5 Identificação do Orientador Industrial

Orientador: - Engº António Pontes Estrela;

Morada: - Ed. EDP, Estrada da penha, Faro;

Telefone: - 289 006000;

Email: - antoniopontes.estrela@edp.pt

3. Noções sobre Redes de Distribuição

Acompanhando a evolução da humanidade, tem havido uma crescente necessidade de energia para os mais diversos propósitos, desde a simples tarefa de cozinhar até ao mais complexo processo industrial. Para fazer face a estas necessidades crescentes de energia recorreu-se a uma diversidade de fontes que hoje em dia compõem o mix energético. Uma das formas de energia que a humanidade mais utiliza na actualidade é a energia eléctrica. As razões da preferência por este tipo de energia prendem-se com um baixo custo de transporte face a outras formas de energia, baixo índice de perda energética durante conversões noutras formas finais de utilização (luz, calor, movimento) e facilidade e baixo custo destas mesmas conversões.

Para que se possa usufruir da electricidade é necessário que esta seja produzida e posteriormente transportada e distribuída até à instalação do consumidor. Este percurso tem várias etapas: produção, transporte, distribuição e comercialização.

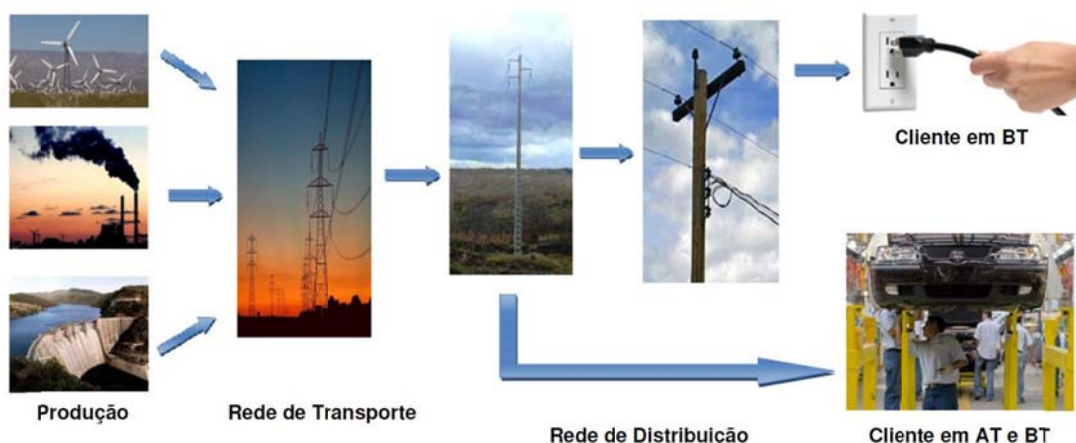


Figura 1 - Cadeia de valor energético

Fonte: - Portal do Consumidor de Energia - <http://www.erse.pt/>

Na etapa da produção, a electricidade é produzida com recurso a diversas tecnologias e a diferentes fontes primárias de energia (carvão, gás, fuel, água, vento, biomassa, entre outros). Em Portugal fontes de produção de electricidade predominantes são o carvão, gás natural, eólica e hídrica.

Depois de produzida a energia é necessário fazer o transporte da electricidade até aos pontos de consumo. Em Portugal a actividade de transporte é efectuada por uma única empresa – a Redes Energéticas Nacionais (REN). Além do transporte em muito alta tensão é necessário

fazer a distribuição de electricidade através das redes de distribuição em alta, média e baixa tensão, onde estão ligados a maioria dos consumidores finais. Em Portugal a actividade de distribuição é efectuada maioritariamente por uma única empresa – a EDP Distribuição – e também por algumas cooperativas de distribuição de energia eléctrica em Baixa Tensão.

A rede eléctrica nacional é constituída pela Rede Nacional de Transporte (RNT) que corresponde à rede de Muito Alta Tensão (MAT) – 400, 220 e 150 kV – cuja concessão foi concedida pelo estado às Redes Energéticas Nacionais (REN), e, pela Rede Nacional de Distribuição (RND), rede de Baixa Tensão (BT), Média Tensão (MT) e Alta Tensão (AT), concessionada pela Energias de Portugal Distribuição (EDP Distribuição – Energia S.A.).

É nesta ultima entidade, a concessionária das redes de distribuição (EDP Distribuição – Energia S.A.) que irei desenvolver a minha actividade, e todo o trabalho realizado debruça-se sobre este tipo de rede.

4. Estudo Prévio do projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão

4.1 Definição do traçado

O estudo da definição do corredor ou traçado será iniciado com a selecção prévia de uma área de estudo, tendo em consideração os pontos de ligação da rede e as principais características ou condicionantes de natureza física, ecológica e socioeconómica da região, previamente identificadas.

O traçado escolhido deverá ter o menor impacte ambiental global, de forma a otimizar as condicionantes técnicas económicas e ambientais.

Nesta área ao materializar um traçado base que deverá haver duas filosofias diferentes, consoante estamos em presença de uma linha de AT ou linha de MT, nomeadamente:

Linhas de AT, o traçado deverá ter as seguintes características:

- Ser tão rectilíneo quanto possível;
- Evitar a sobrepassagem de povoações, infra-estruturas em geral e patrimoniais, reservas naturais e agrícolas;

- Evitar zonas altamente expostas a ventos dominantes;
- Ter em conta os PDM das Câmaras que irá atravessar;
- Desenvolver-se sobretudo através de meias encostas, vales e zonas acessíveis;
- Ter em conta eventuais elementos recolhidos anteriormente, durante a construção e realização de outras linhas.

Linhas de MT, a definição do traçado deverá contemplar:

- Ser tão rectilíneo quanto possível;
- Desenvolver-se quanto possível em zonas acessíveis;
- Minorar o impacto com os proprietários;
- Ter em conta os PDM das Câmaras que irá atravessar;
- Evitar zonas altamente expostas a ventos dominantes.

Para a escolha do traçado ideal, deverão ser consultados todos os elementos topográficos das zonas a atravessar, de forma a obter-se uma ideia clara das características do terreno e o conhecimento, tão exacto quanto possível, de quaisquer outros elementos que de algum modo possam condicionar a realização do projecto, tais como:

- Relevo;
- Vias de comunicação existentes;
- Cursos de água;
- Florestas ou plantações;
- Aglomerados habitacionais;
- Linhas e cabos telefónicos;
- Linhas de transporte ou distribuição de energia já existentes.

No estabelecimento do traçado da linha deve ter-se em conta o disposto no artigo 5º e 6º do R.S.L.E.A.T. e ter em especial atenção que é proibida a passagem de linhas sobre escolas, recintos desportivos, estabelecimentos militares, antenas e refinarias.

Para além das condicionantes mencionadas, deve ter-se também em consideração os princípios gerais de orientação, em termos de facilidade construtiva, tais como:

- Acessos para instalação dos apoios;
- Limitação ao número e valor dos ângulos;
- Delimitação de vãos e apoios ao longo do perfil traçado.

Obedecendo a estes princípios gerais orientadores, o traçado deverá, sempre que possível, ser constituído por alinhamentos e reduzir ao mínimo o número de cruzamentos. No entanto deve respeitar-se o património cultural, estético e ecológico da paisagem, bem como reduzir o impacto dos prejuízos causados às propriedades particulares afectadas no decorrer dos trabalhos de construção da linha, bem como depois durante a exploração.

Deverá estabelecer-se ao longo da linha uma faixa de serviço com uma largura de 5 m, dividida ao meio pelo eixo da linha, na qual se efectuará o corte e decote de árvores necessários para tornar possível a sua montagem e conservação. Para o caso das linhas de 2ª classe, como é o caso das linhas até 30 kV, e com vista a garantir a segurança de exploração das linhas, a zona de protecção terá a largura máxima de 15 m. No caso de o traçado da linha atravessar locais contendo pinheiros, eucaliptos ou árvores de crescimento rápido, estas podem ser abatidas. No entanto, segundo as recomendações do R.S.L.E.A.T., Artigo 28º, recomenda-se evitar, sempre que possível o corte de árvores de fruto e de crescimento lento (carvalhos, sobreiros, etc.) que, pelo seu tipo de exploração, não são geralmente abatíveis, aspecto esse que deve ser considerado na elaboração do projecto da linha.

Após a elaboração de um primeiro traçado, é realizado uma picotagem com a equipa de topografia para validar ou eventualmente alterar o traçado escolhido em gabinete. São utilizadas estacadas de madeira e fita sinalizadora para demarcar a localização dos apoios, de modo a posteriormente proceder-se ao levantamento topográfico.

4.2 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico permite definir o perfil do terreno e a planta parcelar. Para a elaboração do perfil, devem ser considerados o maior número de pontos possível de modo a que este seja o mais fiel e exacto em relação a realidade do terreno.

Para além do perfil do terreno, o levantamento topográfico deve indicar os vértices de implantação de apoios, os pontos que caracterizam a parte superior de qualquer muro ou construção, árvores e respectiva altura, linhas de telecomunicações, linhas de BT, MT, AT, MAT, casas e outros obstáculos que se julguem importantes para posteriormente se garantir que a linha fica à distância de segurança.

Na planta parcelar deve ser representada a vizinhança de maior interesse, tal como vias de comunicação, cursos de água, linhas aéreas de energia e telecomunicações, edifícios ou outras construções limitações de terrenos, bem como o tipo de cultura e o nome dos proprietários.

Geralmente nesta planta o perfil da linha é rebatido de modo a representar a linha de forma rectilínea, coincidindo os pontos do perfil com os da planta parcelar.

O levantamento topográfico é efectuado com recurso a uma estação autónoma, que recebe sinal GPS. A estação base é georreferenciada num determinado local e seguidamente com a unidade móvel determina-se a distância e ângulo desde a estação base até ao ponto que se pretende levantar. Os pontos são guardados no disco rígido da central de base para posterior trabalho de gabinete.



Figura 2 - Central Autónoma (GPS)

Fonte: (Madureira, 2009)



Figura 3 - Unidade Móvel da Estação Autónoma

Fonte: (Madureira, 2009)

4.3 Consultas para identificação de condicionantes

Com a cartografia definida na Área de Estudo deverá proceder-se à realização de Consultas Formais abrangendo as entidades representativas dos poderes constituídos a nível local e regional, bem como de organizações não-governamentais interessadas.

O objectivo destas consultas é a recolha de informação relevante para a definição do traçado a considerar na fase de Projecto e de Licenciamento da instalação. A informação recolhida deverá abranger os seguintes temas, entre outros que se constatem relevantes para o objectivo pretendido:

- Servidões Aeronáuticas (actuais e propostas)
- Servidões Radioeléctricas (actuais e propostas)
- Servidões Rodoviárias (actuais e propostas)
- Imóveis de interesse público
- Património arqueológico
- Áreas Urbanas (identificação áreas de habitação, industriais e de expansão, quando esta informação esteja disponível nos PDM)
- Áreas Verdes e de Equipamento Desportivo
- Áreas Reservadas a Cemitérios
- Servidões de Lixeiras
- Aterros Sanitários
- Áreas de Protecção a Recursos Naturais
- RAN (Reserva Agrícola Nacional) e RAN sujeita a regime florestal
- Áreas Agrícolas Complementares
- Áreas de Vinhas
- Áreas sujeitadas a regime florestal
- Áreas REN (Reserva Ecológica Nacional)
- Espécies Arborícolas e Florestais Protegidas (p. e. Áreas de Montado de Sobro e Azinho, e de Olival)
- Outras áreas Florestais de Silvo-Pastorícia
- Recursos Hídricos
- Explorações Mineiras de Superfície (pedreiras e areeiros)

A título exemplificativo mas não vinculativo, indicam-se algumas condicionantes ao traçado e entidades a consultar.

ENTIDADES A CONSULTAR									
CONDICIONANTES	REFER	EP/INIR	ANA	FAP	ARH	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									

Tabela 1 - Entidades a consultar

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Após as consultas e na posse de todos os elementos restritivos, é seleccionado o traçado que justamente corresponda à optimização das condicionantes técnicas, económicas e ambientais já identificadas.

O Estudo Prévio da linha é elaborado tendo em conta os dados recolhidos e inclui de forma resumida o seguinte:

- Identificação da instalação
- Limites do projecto
- Caracterização da instalação
- Identificação das entidades consultadas evidenciando as respostas recebidas
- Identificação das condicionantes relevantes do traçado da instalação
- Estimativa de custos e de prazos resultantes do traçado estudado

5. Elaboração do projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão

5.1 Considerações gerais

Com a conclusão da fase de Estudo Prévio é definido o traçado da linha aérea que se pretende estabelecer. Inicia-se então a elaboração do projecto, com a materialização do traçado e levantamento do terreno.

O projecto deverá conter os elementos requeridos para o processo de licenciamento da instalação, assim como aqueles que são necessários à sua execução.

O **Regulamento de Licenças de Instalações Eléctricas (RLIE)** prevê a elaboração de Projectos-Tipo, que uma vez aprovados permitem a simplificação e a padronização de soluções. Neste âmbito a utilidade de publicações com o carácter de recomendações técnicas ficou patenteado nos resultados alcançados com a edição, em 1977, do “Projecto-Tipo de Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV”.

No mesmo espírito a DGE - Direcção Geral de Energia publicou em 1986 as “**Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão, até 30 kV**” que remodelam, actualizam e ampliam as recomendações Projecto-Tipo de 1977. Conforme explicitado pela DGE, na elaboração destas recomendações, continuaram a merecer a maior atenção os objectivos que, sem subalternização da segurança das linhas, mais importância têm conferido a este género de documentação técnica. Desses objectivos, que pesam não apenas no projecto mas também na execução e na exploração, sobressaem a normalização, a optimização das soluções e a sua uniformização, tanto no que respeita aos materiais empregados nas linhas como à concepção destas.

Por constituírem apenas recomendações, as regras nelas prescritas não são de aplicação obrigatória. Torna-se, porém, evidente o interesse que representa a observância das mesmas, já que foi a obtenção de um elevado grau de segurança, entre outras vantagens que presidiram à sua elaboração.

5.2 Definições relevantes

Para melhor compreendermos a terminologia associada às Linhas Aéreas de Transporte de Energia, é relevante a apresentação de alguns dos conceitos fundamentais. Assim, não se tratando de uma lista exaustiva, estas são as principais definições e conceitos para se poder compreender o projecto de linhas aéreas.

- **Anel ou cabo de guarda** - Anel metálico colocado num ou noutro extremo, ou em ambos, de uma cadeia de isoladores, para assegurar uma protecção contra os arcos de descarga eléctrica e uma melhor repartição do potencial pelos elementos da cadeia.
- **Apoio** – Elemento de uma linha destinado a suportar os condutores, cabos de guarda, os isoladores e a travessa. É o que na gíria popular se designa por poste.
- **Arco de Condutor** - Troço de condutor destinado a assegurar a continuidade eléctrica, sem esforço mecânico, entre dois troços de condutor de uma linha aérea, entre um condutor de uma linha aérea e um condutor de uma linha subterrânea ou entre um condutor de uma linha aérea e um aparelho.
- **Cadeia de Isoladores** - Associação de dois ou mais isoladores de cadeia destinada a garantir as condições de isolamento do condutor.
- **Cantão** – Porção de uma linha compreendida entre dois ou mais apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações nas extremidades e suspensão nos apoios interiores.
- **Catenária** - Forma de curva tomada por um condutor, comparável a uma corda infinitamente flexível e inextensível, suspensa entre dois apoios.
- **Comprimento do Vão** – Distância medida na horizontal entre dois apoios consecutivos.
- **Condutor** – Elemento destinado à condução eléctrica, podendo ser constituído por um fio, conjuntos de fios ou perfis adequados.
- **Filaça** – Dispositivo apropriado para fixar o condutor à cabeça do isolador rígido.
- **Flecha** – Distância vertical entre o ponto do condutor ou do cabo de guarda onde a tangente é paralela à recta que passa pelos pontos de fixação e a intersecção da vertical que passa por esse ponto com esta recta, supostos o condutor ou o cabo de guarda não desviados pelo vento.
- **Força Máxima ou Tracção Máxima** – Maior força de tracção que, numa linha aérea, pode existir no condutor, no cabo de guarda ou nos tensores de cabos isolados, na

hipótese de cálculo mais desfavorável, e que se verifica no ponto de fixação de cota mais elevada.

- **Força de colocação** - Força de tracção dada aos condutores, aos cabos de guarda ou aos tensores de cabos isolados de uma linha aérea na ocasião da sua montagem.
- **Haste de descarga** - Peça metálica disposta num ou noutro extremo, ou em ambos, de um isolador ou de uma cadeia de isoladores para assegurar uma protecção contra os arcos de descarga eléctrica.
- **Secção efectiva (de um condutor)** – Área da secção recta do fio ou da soma das áreas das secções rectas dos fios que constituem o condutor ou o cabo de guarda.
- **Secção nominal (de um condutor)** - Valor arredondado da secção efectiva, para efeitos de designação normalizada.
- **Tensão nominal da linha** – Tensão eléctrica pela qual a linha é designada (utiliza-se as unidade em kV).
- **Travessia** - Intersecção, em projecção horizontal, do traçado de uma linha com uma via pública ou particular, com um caminho-de-ferro não electrificado com teleféricos ou com rios.
- **Vão** – Porção de linha compreendida entre dois apoios consecutivos.
- **Vão desnivelado** – Vão no qual os pontos de fixação de um condutor em 2 apoios consecutivos não estão no mesmo plano.
- **Vão equivalente** – Vão fictício no qual as variações da tensão mecânica, devidas às variações da carga e da temperatura, são sensivelmente iguais às dos vãos reais do cantão.

5.3 Materiais e Equipamentos utilizados nas LMT

Uma linha de média tensão, na verdade é apenas um caminho por onde flui a energia eléctrica, uma auto-estrada de electrões desde os pontos de produção até ao consumidor.

Esta linha deve permitir o trânsito de energia de forma eficaz e em segurança, e para isto terão de ser cumprido o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão [RSLEAT – Decreto Regulamentar 1/92].

Segundo o RSLEAT, todas as características desses equipamentos devem cumprir o aí estabelecido assim como nas normas nacionais, do CENELEC, da CEI ou, mesmo, outras aceites pela DGEG (Direcção Geral de Energia, 1993)

As soluções existentes a este nível encontram-se perfeitamente definidas, sendo que a gama de produtos realmente utilizados está normalizada pela EDP Distribuição - Energia, S.A.. Assim, torna-se possível que, durante a execução dos projectos, existam soluções perfeitamente estandardizadas, levando a uma redução do tempo total necessário para a sua realização. Por outro lado quando são adquiridos os materiais, a normalização permite que se possam fazer melhores negócios, pois pode comprar-se em maiores quantidades. Além disso, é simplificado o processo de formação das equipas de manutenção sobre os equipamentos, levando a que, em situações de intervenção na rede, esta se faça de forma mais célere (Forte, 2006).

5.3.1 Condutores

Os elementos condutores são os principais responsáveis pelo trânsito de energia eléctrica, sendo construídos com materiais de elevada condutividade eléctrica, como o cobre ou o alumínio. Actualmente, a solução adoptada em redes aéreas MT, AT e MAT passa pelo uso de condutores de alumínio com alma de alumínio ou aço, em detrimento do cobre.

Os cabos de alumínio com alma de alumínio usam a designação de tipo “ASTER” ou “ALMELEC” enquanto os cabos de alumínio com alma de aço utilizam a designação “AL-AÇO” ou “Alumino-Aço”.

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

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

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

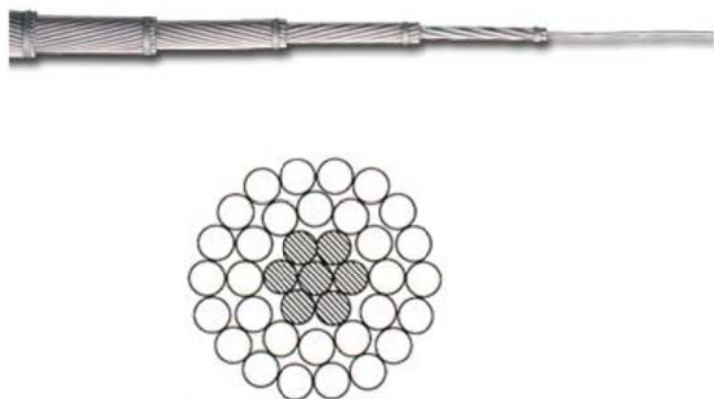


Figura 4 - Cabo de Alumínio - Aço (Al-Aço)

Fonte: - (Galvão, 2010)

Actualmente encontram-se em utilização as seguintes famílias de cabos:

Cabos de Alumínio com alma de Alumínio:

Tipo	Designação	Área	Nº de Fios	Diâmetro
ALMELEC	22	22	7	6
ALMELEC	35	34,4	7	7,5
ALMELEC	55	54,6	7	9,45
ALMELEC	75	75,5	19	11,25
ASTER	55	54,6	7	9,45
ASTER	117	117	19	14
ASTER	148	148,1	19	15,8
ASTER	288	288,3	37	22,1

Tabela 2 - Cabos de Alumínio com alma de Alumínio

Fonte: - DMA C33-251/N

Cabos de Alumínio com alma de Aço:

Tipo	Designação	Área	Nº de Fios	Diâmetro
AL-AÇO	30	30,62	6	7,08
AL-AÇO	50	49,48	6	9
AL-AÇO	70	69,73	6	10,65
AL-AÇO	90	87,96	6	12
AL-AÇO	160	157,92	26x7	16,32
AL-AÇO	235	235,08	26x7	19,89

Tabela 3 - Cabos de Alumínio com alma de Aço

Fonte: - DMA C33-251/N

Cabos de Cobre:

Tipo	Designação	Área	Nº de Fios	Diâmetro
Cobre	10	10,2	7	4,08
Cobre	16	15,89	7	5,1
Cobre	25	26	19	6,6
Cobre	35	35,85	19	7,8
Cobre	50	48,35	19	9
Cobre	70	70,92	19	10,9

Tabela 4 - Cabos de Cobre

Fonte: - DMA C33-251/N

5.3.2 Isoladores

Os isoladores têm como função evitar a passagem de corrente dos condutores para o apoio, e sustentar mecanicamente os cabos (Sequeira, 2009). Em linhas aéreas de alta tensão, são geralmente usados isoladores na forma de cadeia, quer em cadeias de suspensão geralmente usadas em apoios de alinhamento, quer em cadeias de amarração no caso de apoios de ângulo, reforço, fim de linha e derivação. As cadeias de isoladores são concebidas de modo a serem fixadas articuladamente as armações dos apoios. As cadeias são constituídas por vários isoladores de campânula de porcelana, vidro, ou resina artificial, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe. Além disso, poderão ser ainda providas de anéis de guarda (também designados anéis de Nicholson), isto é, anéis metálicos colocados num ou noutro extremo da cadeia, ou em ambos, para assegurarem uma protecção contra os arcos de descarga eléctrica e uma melhor repartição de potência pelos elementos da cadeia. A utilização de hastes de descarga dispostas do mesmo modo permite atingir o mesmo objectivo.

As figuras 2 e 3 representam os tipos de amarração em suspensão e em cadeia, respectivamente. Independentemente da sua constituição ou configuração, os isoladores devem estar suficientemente dimensionados para resistir aos esforços mecânicos actuantes, nomeadamente a acção do vento sobre os próprios isoladores e os esforços transmitidos pelos condutores (peso próprio, resultante da acção do vento e tensão mecânica de tracção).

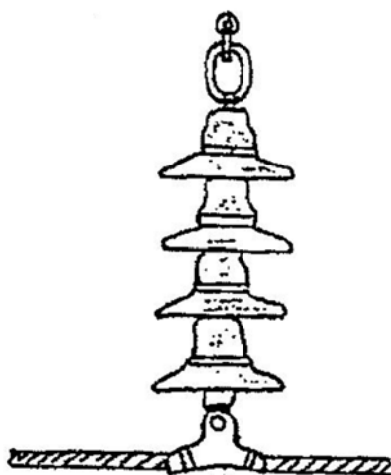


Figura 5 - Cadeia de Isoladores em Suspensão

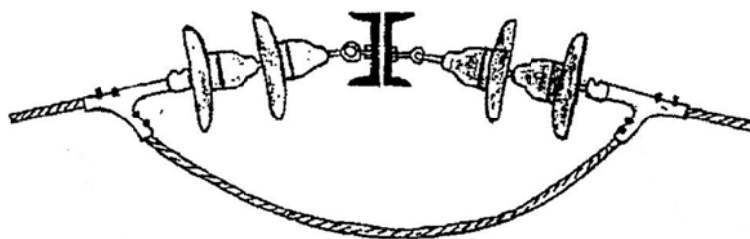


Figura 6 - Cadeia de isoladores em amarração

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Os isoladores consistem normalmente num corpo isolante com um ou mais dispositivos de fixação e têm como função evitar a passagem de corrente do condutor para o apoio e sustentar mecanicamente os cabos. A classificação dos isoladores, de acordo com o estipulado pela CEI, é feita com base no material com o qual o corpo isolante é fabricado: vidro, porcelana, resina ou compósito. Dentro destes isoladores existem um conjunto de diferentes configurações, que se apresentam na figura seguinte.

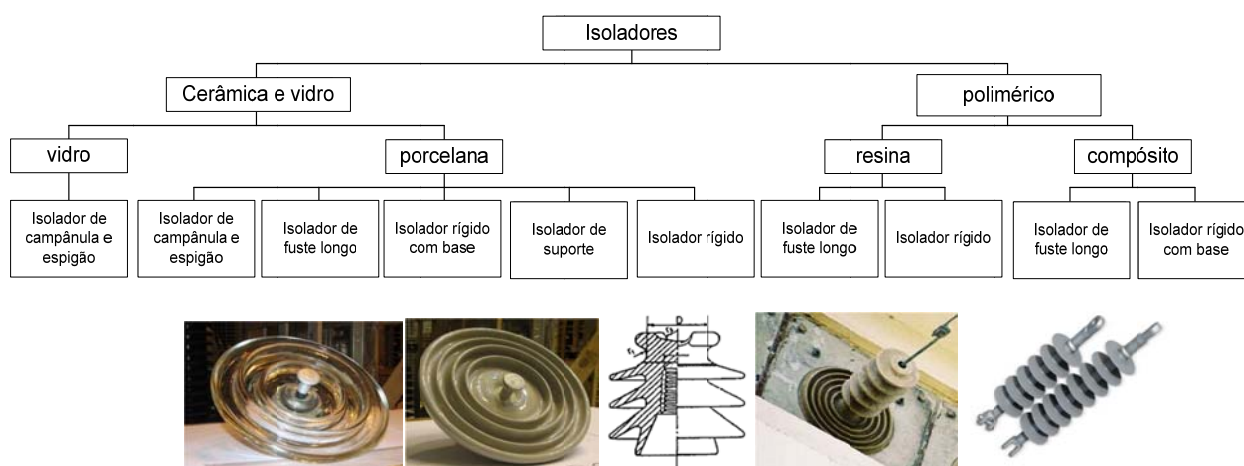


Figura 7 - Tipos de Isolador

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

De acordo com as normas, existem duas classes de isoladores tendo em conta a possível perfuração interna: classe A e classe B; cujas diferenças se definem na tabela seguinte.

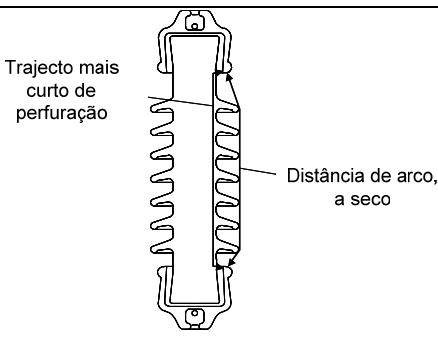
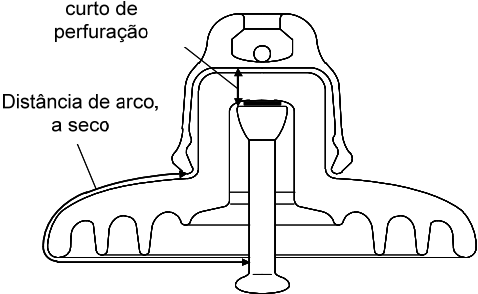
Classe	Características	Figura ilustrativa
Classe A	A distância mínima de perfuração do isolador é pelo menos igual a metade do comprimento do arco externo (à prova de perfurações)	 Trajecto mais curto de perfuração Distância de arco, a seco
Classe B	A distância mínima de perfuração do isolador é menor que a metade do comprimento do arco externo (perfurável)	 Trajecto mais curto de perfuração Distância de arco, a seco

Tabela 5 - Classes de Isolador

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

A EDP Distribuição tem utilizado, maioritariamente nos últimos anos, isoladores de porcelana. A experiência da EDP com este tipo de material não tem sido muito positiva, como o demonstra a sua elevada taxa de avarias, superior às divulgadas internacionalmente. Constata-se que isoladores rígidos e de cadeia são frequentemente afectados por defeitos invisíveis que provocam falhas intermitentes da linha (ex.: perfurações). Para mitigar este problema, deve considerar-se:

- Considerar no futuro a substituição dos isoladores rígidos por isoladores de classe A;
- Melhoria do controlo de qualidade na aquisição de isoladores;
- Técnicas de detecção de isoladores perfurados (câmara UV);
- Aplicação de outros materiais isolantes (vidro, poliméricos);

Relativamente aos diferentes materiais utilizados (vidro, porcelana, resina ou compósito), cada um apresenta diversas vantagens e desvantagens que devem pesar na escolha e que se apresentam na próxima tabela.

Material	Vantagem	Desvantagem
Vidro 	- Fiabilidade a longo prazo - Indicação visual de defeitos internos - Boa resistência à perfuração - Os isoladores dos diferentes fabricantes têm normalmente um bom desempenho	- Alvo para vândalos - Disrupção por bandas secas durante longos períodos de tempo poderá danificar o vidro - Material pesado - Não disponível em algumas regiões
Porcelana 	- Fiabilidade a longo prazo - Superfície resistente à disrupção por bandas secas - Não estilhaçam quando são atingidos por vândalos - Os isoladores dos diferentes fabricantes têm normalmente um bom desempenho	- Os defeitos internos não são muitas vezes visíveis - Em zonas de poluição forte poderá se necessário ter mais isoladores para equipar uma cadeia - Material pesado - Não disponível em algumas regiões
Compósito (polimérico, resina epóxida, EPDM, SiR) 	- Baixo peso - Baixo custo - Menos sensível ao vandalismo - Melhor desempenho face à poluição	- Tempo de vida útil variável - Anos de experiência insuficientes - Diferentes projectos e diferentes materiais no seu fabrico; - Sensíveis ao manuseamento - Defeitos internos nem sempre são visíveis
Resina 	- Baixo custo - Baixo peso	- Mau desempenho face à poluição - Erosão da superfície em climas húmidos - Tempo de vida variável

Tabela 6 - Tipos de Isoladores (Vantagens e Desvantagens)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

5.3.3 Armações

Os condutores das linhas aéreas são fixados a armações, por meio de isoladores rígidos ou cadeias de isoladores. O tipo de armação, conjunto de travessas metálicas empregue, determina a posição geométrica dos condutores de fase da linha aérea.

As armações para MT correspondem aos modelos normalizados pela DGE (até 30kV), às quais acrescem modelos definidos para AT que pretendem caracterizar situações não definidas por aqueles modelos normalizados. De acordo com o documento normativo DMA-C67-620/N, estão normalizadas 12 tipos de armações de aço a associar a postes de betão para linhas MT. Tendo em conta a sua aplicação e o tipo de isolamento utilizado, os 12 tipos de armações normalizadas são as apresentadas na tabela seguinte.

Tipo de armação	Refº EDP da armação	Descrição e aplicação da armação	Tipo de isolamento	Disposição
TAL	TAL	Alinhamento e pequenos ângulos (<= 20 graus)	Isol. rígidos (eixo vertical)	Triângulo
TAN	TAN 60 TAN 120	Ângulo Reforço Fim de linha	Cadeias de amarração	Triângulo
GAL	GAL	Alinhamento	Cadeias de suspensão	Galhardete
GAN	GAN 80 GAN 120	Ângulo	Cadeias de amarração	Galhardete
HTP	HTP4	Posto de transformação aéreo TP4	Cadeias de amarração	Esteira horizontal
VAL	VAL	Alinhamento	Isol. rígidos (eixo horizontal)	Esteira vertical
VAN	VAN	Ângulo Reforço Fim de linha	Cadeias de amarração	Esteira vertical
PAL	PAL	Alinhamento	Cadeias de suspensão	Pórtico
PAN	PAN	Ângulo Reforço Fim de linha	Cadeias de amarração	Pórtico
HRFSC/EDP*	HRFSC/EDP 80 HRFSC/EDP 100 HRFSC/EDP 120	Reforço Fim de linha Alinhamento e ângulo (poste com seccionador) Reforço (poste com seccionador) Derivação	Cadeias de amarração	Esteira horizontal
EVDAL	EVDAL - P02 EVDAL - P03 EVDAL - P04 EVDAL - M04	Alinhamento	Cadeias de suspensão	Esteira vertical dupla
EVDAN	EVDAN - M04 EVDAN - M06 EVDAN - M08 EVDAN - M10 EVDAN - G12	Ângulo	Cadeias de amarração	Esteira vertical dupla

Tabela 7 - Tipos de armação de MT aplicadas em postes de betão

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

5.3.4 Apoios

Os apoios das linhas aéreas, têm como única função garantir o devido distanciamento dos condutores, cabos de guarda, ao solo ou a outros obstáculos ao longo do traçado. Esse distanciamento é normalmente considerado segundo planos verticais que passam pelos cabos, onde devem ser garantidas todas as distâncias mínimas de segurança quer inferiormente, quer superiormente em relação a esses cabos. O distanciamento deve também ser considerado segundo planos horizontais que passam pelos cabos, devendo ser verificado lateralmente, considerando o eventual desvio dos cabos sob a acção de vento. As distâncias mínimas de segurança serão a principal condicionante da altura dos apoios.

Do comportamento mecânico dos condutores e cabos de guarda resultam acções que devem ser absorvidas pelos apoios, cuja definição do seu tipo será função da resistência mecânica oferecida.

Cada apoio é constituído pelo conjunto poste ou postes e respectivas armações, sendo a fixação dos condutores às armações realizada por intermédio de cadeias de acessórios e isoladores, que poderão ser de amarração (ancoragem) ou de suspensão. A fixação dos cabos de guarda às respectivas armações é assegurada por uma cadeia de acessórios sem intercalação de isoladores.

Os tipos de postes mais utilizados em apoios de linhas em Portugal, podem ser de betão armado ou estruturados com perfis de aço, normalmente designados por postes metálicos. Os postes de betão, pela sua estrutura típica carecem da utilização de armações para disposição e fixação dos condutores e cabos de guarda. Os postes metálicos já integram na sua estrutura as armações necessárias a essa fixação. Em ambos os casos as armações são normalmente formadas por estruturas perfiladas de aço constituindo conjuntos de travessas e de cabeçotes a acoplar à estrutura dos postes.

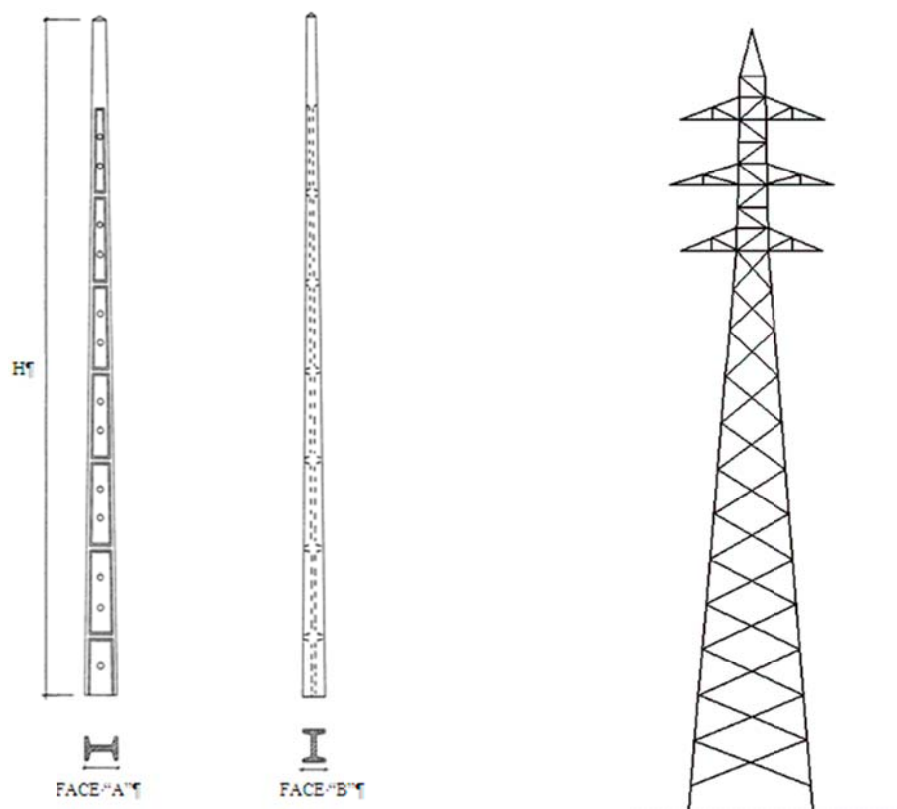


Figura 8 - Postes de betão e metálicos

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Os apoios, no que diz respeito a sua função, podem ser de:

- Alinhamento;
- Ângulo;
- Reforço em alinhamento;
- Reforço em ângulo;
- Derivação em alinhamento;
- Derivação em ângulo;
- Reforço em derivação em alinhamento;
- Reforço em derivação em ângulo;
- Fim de linha.

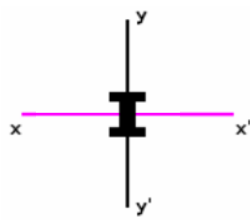


Figura 9 - Apoio em Alinhamento

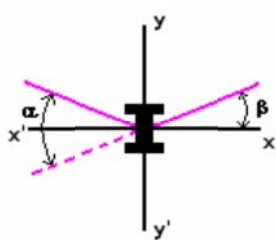


Figura 10 - Apoio em Ângulo

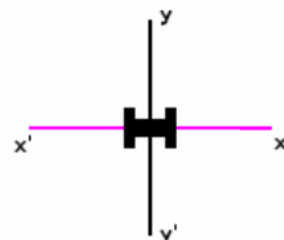


Figura 11 - Apoio em Reforço em Alinhamento

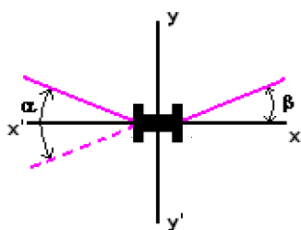


Figura 12 - Apoio de Reforço em Ângulo

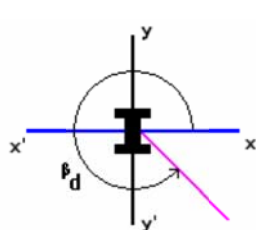


Figura 13 - Apoio em Alinhamento e Derivação

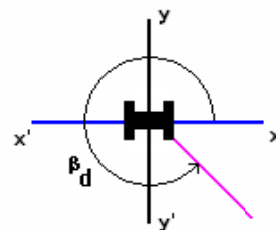


Figura 14 - Apoio de Reforço em Derivação

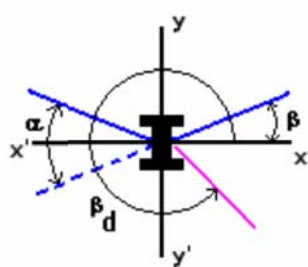


Figura 15 - Apoio de Derivação em Ângulo

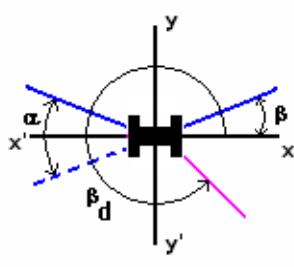


Figura 16 - Apoio de Reforço e Derivação em Ângulo

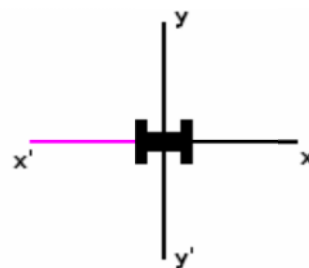


Figura 17 - Apoio em Fim de Linha

5.4 Execução do Projecto

O Projecto inicia-se com a materialização do traçado no terreno e realização do levantamento topográfico do perfil longitudinal e planta parcelar.

Na posse do perfil longitudinal e planta parcelar, que deverá integrar o cadastro de proprietários, devem ser considerados os seguintes passos:

- Assumir um conjunto de apoios tipo para cada função, sendo desejável um número tão reduzido quanto possível de soluções alternativas por função;
- Distribuição de apoios (sem esforço determinado) nos pontos obrigatórios (vértices e terminações do traçado)
- Assumir os pontos obrigatórios como apoios de amarração (ancoragem);
- Analisar os troços entre estes pontos, que se designam “cantões”. Avaliar o seu comprimento e estimar a necessidade de apoios intermédios em função desse comprimento e dos obstáculos;
- Distribuir os apoios de alinhamento (sem esforço determinado) ao longo de cada cantão;
- Verificar a necessidade de introduzir apoios de reforço nesses alinhamentos, o que alterará o comprimento dos cantões;
- Seleccionar as armações e definir a geometria de todos os apoios;
- Seleccionar o tipo de fixação e isoladores requeridos para cada apoio;
- Proceder ao cálculo mecânico de condutores e cabos de guarda;
- Proceder ao cálculo das acções sobre os apoios (devidas aos condutores, cabos de guarda, isoladores, armações e acção dos agentes atmosféricos sobre os componentes da linha);
- Elaborar os respectivos mapas de flechas;
- Proceder ao cálculo das fundações ou escolher as apropriadas em função das soluções já projectadas;
- Elaborar o mapa de montagem, que inclui todos os equipamentos, materiais e elementos a serem instalados durante a execução do projecto. Este mapa define tipos e quantidades.
- Elaborar a memória descritiva e justificativa, agregando os resultados dos cálculos efectuados e os cálculos eléctricos, térmicos e electromagnéticos;

- Identificar na memória descritiva todos os obstáculos relevantes e todos os obstáculos que careçam de autorização ou parecer sobre travessia ou cruzamento por outras entidades;
- Preparar as peças escritas e desenhadas para licenciamento

5.4.1 Cálculo mecânico dos cabos

O cálculo mecânico dos cabos é elemento fundamental para determinação das condições de estabelecimento da linha.

As condições de regulação dos cabos, determinarão a necessidade de colocar mais ou menos estruturas de apoio e a altura destas consoante o tipo e o número de obstáculos a ultrapassar.

As condições mecânicas de estabelecimento dos cabos terão que ser suportadas pelas estruturas de apoio, nomeadamente postes, armações, isoladores e acessórios de fixação dos cabos.

Dada a importância do comportamento mecânico dos cabos, este estudo deve ser o primeiro a realizar-se em termos de cálculos mecânicos, uma vez que condiciona todos os restantes elementos de uma linha aérea.

Para compreender o processo de cálculo, importa em primeiro lugar conhecer os princípios que servirão de base ao estudo do comportamento mecânico dos cabos.

Uma corrente de elos iguais, ao ser estendida entre dois pontos suficientemente elevados para que não se apoie sobre o solo em qualquer ponto intermédio, adquire uma forma característica, a *catenária* (palavra derivada do Latim, *catena* – corrente).

Se essa corrente for substituída por um fio suficientemente flexível e não elástico, com peso linear equivalente ao da corrente, não se alterará a forma da *catenária*.

Da mesma forma, podemos fazer uma analogia para os cabos da linha aérea, que podem igualmente ser considerados suficientemente flexíveis, quando os pontos de fixação estiverem razoavelmente afastados entre si, descrevendo quando suspensos nesses pontos, curvas semelhantes a *catenárias*.

A distância entre os pontos de fixação corresponde ao vão.

A forma da curva *catenária* será mais ou menos pronunciada, conforme maior ou menor seja a relação tração/peso linear do cabo. Esta relação define o parâmetro de *catenária*, que

corresponde aproximadamente ao raio de curvatura em metros, numa circunferência tangente à curva da *catenária*, no ponto onde essa tangente é horizontal.

5.4.1.1 Vãos nivelados e Vãos desnivelados

Considerando os cabos como estruturas homogêneas, perfeitamente flexíveis e inextensíveis (de facto esta característica não é verdadeira, pois os cabos estendem-se com as variações de temperatura), podem determinar-se as suas condições de equilíbrio quando apoiados em estruturas (apoios).

As equações fundamentais dos cabos suspensos são aquelas que visam o cálculo da sua forma (catenária), da sua flecha e do seu comprimento.

Estas equações podem enunciar-se com aproximação à forma hiperbólica (situação real) ou à forma parabólica (situação simplificada).

As equações serão referidas aos vãos de nível e aos vãos desnivelados, embora seja efectivo que não existe na prática o chamado vão de nível. Vejamos então as duas situações:

▪ Vão nivelado

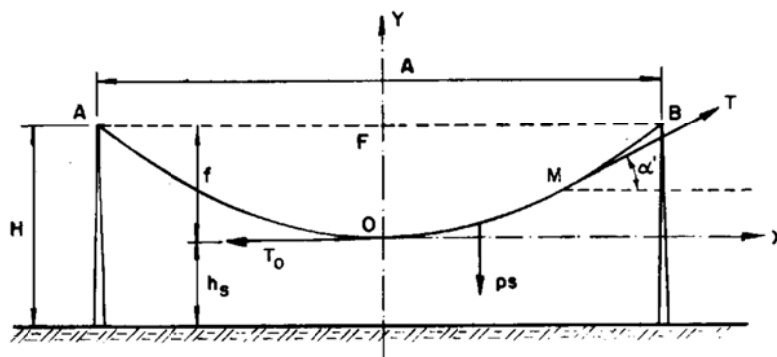


Figura 18 - Vão de nível

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

em que:

A – Vão, em metros;

H – Altura do solo aos pontos de fixação A e B, em metros;

f - flecha OF, em metros;

h_s – Altura do cabo ao solo, como mínimo deverá ser a distância de segurança, em metros;

T_0 – Tracção horizontal, em daN;

T – Tracção tangente à curva em M, em daN;

s – Comprimento do troço de cabo OM, em metros;

p_s – Peso do cabo correspondente ao troço OM [daN] (produto do peso linear p , em daN/m, pelo comprimento s , em metros);

α' – Ângulo da tracção T com a horizontal, em graus.

Analisando a figura anterior verifica-se que o cabo se encontra suspenso em dois pontos rígidos, ponto A e ponto B, separados entre si de uma distância A , que corresponde ao vão. Estando os pontos A e B à mesma altura a curva descrita pelo cabo é simétrica, sendo o ponto O, o seu ponto mais baixo e o vértice da curva a meio do vão AB.

▪ Vão desnivelado

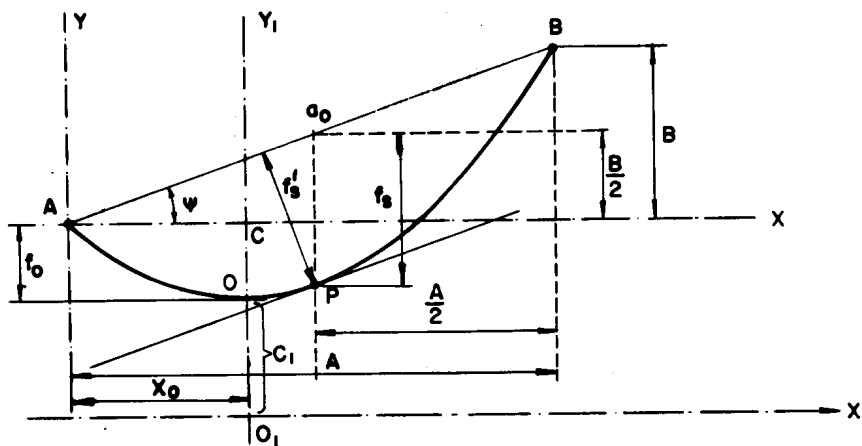


Figura 19 - Vão desnivelado

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

De forma análoga como no caso anterior, o cabo encontra-se suspenso entre os pontos A e B, separados de uma distância A entre eles, porém A encontra-se a uma altura inferior a B, fazendo com que a curva não seja simétrica.

em que:

A – Vão, em metros;

B – Desnível entre os pontos de fixação A e B, em metros;

f_s' - Flecha de meio vão, em metros;

f_s - Flecha de meio vão rebatida para um plano vertical, em metros;

f_0 – Flecha de nível vista a partir do ponto A, em metros;

C_1 – Parâmetro de catenária (k), em metros;

ψ – Ângulo da recta imaginária que passa nos pontos A e B, com a horizontal, em graus;

Equações fundamentais dos cabos

Designação		Vãos nivelados	Vãos desnivelados
Parâmetro da catenária k [m]		$k = \frac{T_0}{p}$	
Equação da catenária y [m]	Aproximação hiperbólica	$y = k \cdot \left(\cosh \frac{x}{k} - 1 \right)$	
	Aproximação parabólica	$y = \frac{x^2}{2 \cdot k} = \frac{p \cdot x^2}{2 \cdot T_0}$	
Equação da flecha f [m]	Aproximação hiperbólica	$f = k \cdot \left(\cosh \frac{A}{2 \cdot k} - 1 \right)$	$f_s = k \cdot \left(\cosh \frac{A}{2 \cdot k} - 1 \cdot \frac{1}{\cos(\arctg(B/A))} \right)$
	Aproximação parabólica	$f = \frac{A^2 \cdot p}{8 \cdot T_0} = \frac{A^2}{8 \cdot k}$	$f_s = \frac{A^2}{8 \cdot k} \cdot \frac{1}{\cos(\arctg(B/A))}$
Equação do comprimento do cabo L [m]	Aproximação hiperbólica	$L = 2 \cdot k \cdot \sinh \frac{A}{2 \cdot k}$	$L = \sqrt{B^2 + 4 \cdot k^2 \cdot \sinh^2 \frac{A}{2 \cdot k}}$
	Aproximação parabólica	$L = A + \frac{A^3}{24 \cdot k^2}$	$L = \sqrt{B^2 + A^2 \cdot \left(1 + \frac{A^2}{12 \cdot k^2} \right)}$

Tabela 8 - Equações fundamentais dos cabos

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

em que:

k – Parâmetro de catenária ou parâmetro de parábola, em metros;

T_0 – Tracção do cabo no ponto onde a tangente à curva é horizontal, em daN;

p – Peso linear do cabo, em daN/m;

A – Vão (distância entre dois apoios consecutivos), em metros;

B – Desnível entre os pontos de fixação do cabo nos apoios que definem o vão metros.

5.4.1.2 Forças verticais e horizontais nos apoios

Em cada apoio existe um conjunto de forças verticais e horizontais que resultam da acção da catenária sobre o apoio. Para os 2 tipos de vão, nivelado e desnivelado, temos duas situações distintas. Vejamos então os dois casos:

- Vão nivelado

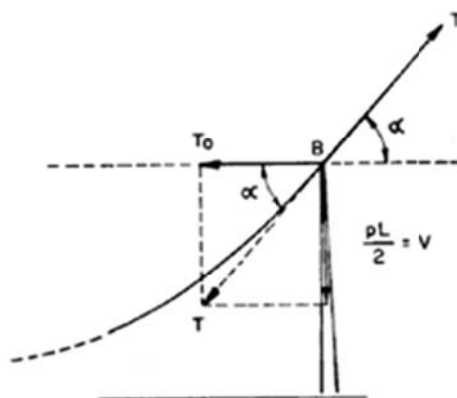


Figura 20 - Vão Nivelado (Forças próprias)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

em que:

B – Ponto de fixação do cabo na estrutura (apoio);

T_0 – Tracção horizontal, em daN;

T – Tracção tangente à curva no ponto B, daN;

p – Peso linear, em daN/m;

L – Comprimento de cabo, que se considera aproximadamente igual ao do vão, em metros;

V – Carga vertical em B traduzida pelo peso do cabo correspondente a meio vão, em daN;

α – Ângulo da tracção tangente com o plano horizontal, em graus;

Pela análise da figura atrás apresentada, pode concluir-se que a tracção T equilibra as acções da tracção T_0 e da carga vertical V , representando a reacção do apoio ao sistema de forças actuantes.

Assim sendo, este sistema de forças é composto por:

$$\begin{cases} T_0 = T \cdot \cos \alpha \\ V = T \cdot \sin \alpha = \frac{p \cdot L}{2}, \text{ em } [daN] \end{cases} \quad (5.1)$$

Pela análise do sistema de equações (5.1), verifica-se que, sendo T_0 constante, a tracção T varia ao longo da curva do cabo, desde : $T = T_0$ no vértice da curva até ao seu valor máximo nos pontos de fixação.

Conclui-se ainda que a carga vertical V é nula no vértice da curva e assume o seu valor máximo nos pontos de fixação do cabo, sendo nestes pontos considerada a carga vertical transmitida ao apoio pelo cabo e que tem que ser absorvida por este.

▪ Vão desnivelado

Para um vão desnivelado, ou seja, com os pontos de fixação nos apoios desnivelados, poderão obter-se equações gerais para determinar a tracção (T), a carga vertical (V) e o ângulo (α) seja ou não o vão desnivelado.

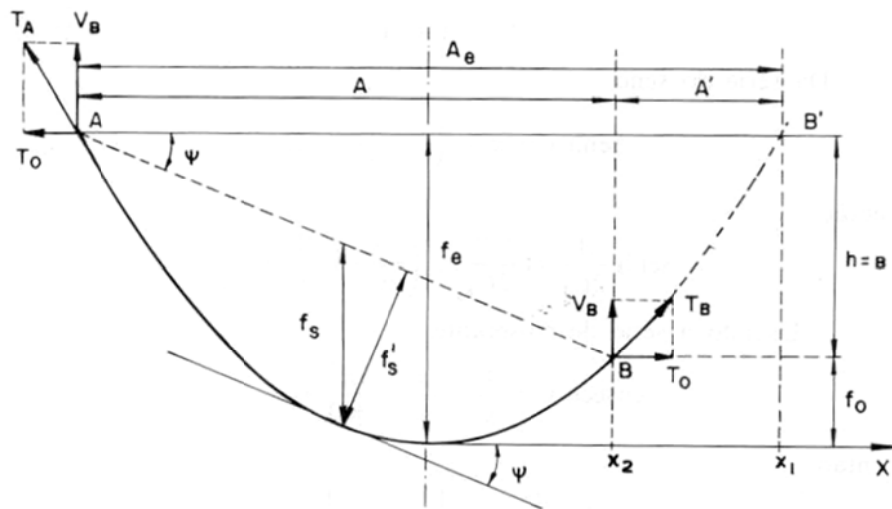


Figura 21 - Vão desnivelado (Forças Próprias)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

em que:

Pontos A, B – Pontos de fixação do cabo no vão real;

Ponto B' – Ponto de fixação do cabo no vão fictício AB' ;

A – Comprimento do vão real, em metros;

A' – Comprimento entre B e B' , equivalente ao necessário para um vão de nível fictício AB' ;

Ae – Comprimento do vão fictício, em metros;
 h - desnível entre os pontos de fixação A e B nos apoios, em metros;
 VA – Carga vertical no ponto de fixação A , em daN;
 VB – Carga vertical no ponto de fixação B , em daN;
 TA – Tracção axial no ponto A , em daN;
 TB – Tracção axial no ponto B , em daN;
 T_0 – Tracção axial no vértice da curva, em daN;

Partindo da figura anterior, em que o cabo se encontra fixo nos pontos A e B desnivelados entre si por uma altura h , podem determinar-se as expressões que permitirão calcular os valores da carga vertical e da tracção axial nos pontos A e B .

O princípio básico de todas as considerações sobre este caso, consiste na ideia de um vão de nível fictício, cujo valor pode ser determinado, e, a partir daí desenvolver o mesmo tipo de raciocínio para o vão nivelado. Este vão fictício resulta do prolongamento da curva entre os pontos de fixação desnivelados até um ponto ao mesmo nível do ponto de altura maior.

Para um vão de nível fictício (A_e), resultará uma flecha de nível fictícia (f_e).

Consideremos a aproximação hiperbólica da equação da catenária:

$$y = k \cdot \left(\cosh \frac{x}{k} - 1 \right) \quad (5.2)$$

Aplicando a equação anterior às curvas AB' e AB teremos o seguinte sistema de equações :

$$\begin{cases} y_1 = k \cdot \left(\cosh \frac{x_1}{k} - 1 \right) \\ y_2 = k \cdot \left(\cosh \frac{x_2}{k} - 1 \right) \end{cases} \quad (5.3)$$

Donde resulta que o desnível h , pode ser dado por:

$$h = 2 \cdot k \cdot \sinh \frac{x_1 + x_2}{2 \cdot k} \cdot \sinh \frac{x_1 - x_2}{2 \cdot k} \quad (5.4)$$

Sendo que a origem do eixo do xx é no ponto onde a tangente à curva do cabo é horizontal, pode ainda retirar-se da figura que:

$$\begin{cases} A = x_1 + x_2 \\ A' = x_1 - x_2 \end{cases} \quad (5.5)$$

Pelo que o desnível h pode representar-se por:

$$h = 2 \cdot k \cdot \text{Senh} \frac{A}{2 \cdot k} \cdot \text{Senh} \frac{A'}{2 \cdot k}, \text{ em } [m] \quad (5.6)$$

Partindo da equação do desnível pode deduzir-se a equação que permitirá determinar o comprimento entre os pontos B e B' (A') para completar um vão fictício de nível. Essa equação de A' é dada por:

$$A' = 2 \cdot k \cdot \text{arcSenh} \left(\frac{h}{2 \cdot k} \cdot \text{Co sec} h \frac{A}{2 \cdot k} \right), \text{ em } [m] \quad (5.7)$$

Por análise da figura anterior tiramos que o comprimento do vão fictício é dado pela seguinte expressão:

$$A_e = A + A', \text{ em } [m] \quad (5.8)$$

Tendo em conta a expressão para determinação da carga vertical no ponto de fixação do cabo obtida para os vãos de nível, para cada um dos pontos de fixação, em vãos desnivelados, a carga vertical será:

$$\begin{cases} V_A = \frac{A_e \cdot p}{2} \\ V_B = \frac{A_e - A'}{2} \cdot p \end{cases}, \text{ em } [m] \quad (5.9)$$

Pela análise da mesma figura pode retirar-se o seguinte sistema de equações das tracções axiais nos pontos de fixação:

$$\begin{cases} T_A^2 = T_0^2 + V_A^2 \\ T_B^2 = T_0^2 + V_B^2 \end{cases} \quad (5.9)$$

Simplificando a expressão (5.9) obteremos os valores das tracções em A e B:

$$\begin{cases} T_A = \sqrt{T_0^2 + V_A^2} \\ T_B = \sqrt{T_0^2 + V_B^2} \end{cases}, \text{ em } [m] \quad (5.10)$$

Assim, considerando o referido na figura 11, as componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e cabos de guarda devem ser absorvidas pelos apoios. Mais uma vez todas as acções devem ser reportadas ao sistema de eixos horizontais cartesiano xy .

Cada ponto de fixação está assente num apoio. Conforme se pode observar o cabo estendido entre os pontos de fixação A e B , corresponde a um vão genérico A , com desnível h entre esses pontos. Em cada apoio é imposta uma tracção T com duas componentes: uma horizontal representada por T_0 que é a tracção no vértice da curva descrita pelo cabo; outra vertical correspondente a uma acção vertical devida ao peso do cabo.

No caso de vãos contínuos, a situação é composta como se apresenta na figura seguinte:

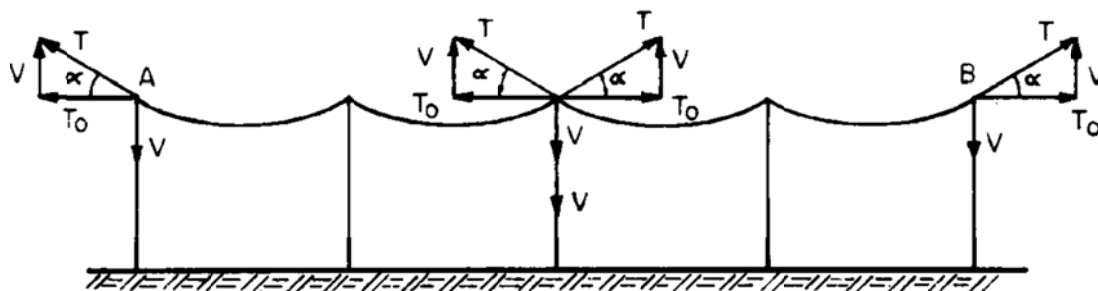


Figura 22 - Vãos contínuos

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Em cada apoio intermédio verifica-se uma resultante horizontal devida à tracção. No caso em que as componentes horizontais das tracções são iguais como no caso da figura a resultante é nula. Nos apoios onde se regista uma diferença de tracção horizontal ou nos apoios a instalar nos vértices da linha, a resultante assume um valor por vezes bastante elevado para os apoios, obrigando a um dimensionamento cuidadoso dos mesmos.

Veja-se agora uma situação onde exista mudança de direcção na linha, isto é num vértice em plano horizontal:

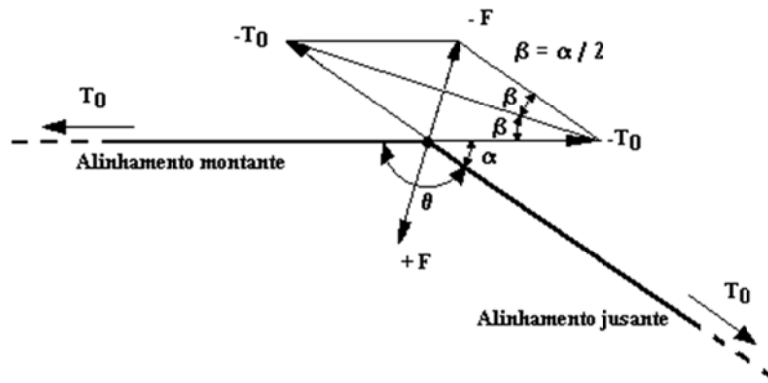


Figura 23 - Mudança de direcção no plano horizontal de uma LMT

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Como se pode observar existirá uma componente na direcção da bissectriz do ângulo, mesmo que as tracções a montante e a jusante sejam de igual valor.

A componente na direcção da bissectriz será a força F que vale:

$$F = 2 \cdot T_0 \cdot \sin \beta \quad (5.11)$$

Se as tracções a montante e a jusante não forem iguais e tiverem o valor T_{01} e T_{02} respectivamente então a força F será, considerando que seguimos a linha de montante para jusante:

$$F = T_{01} \cdot \sin \beta + T_{02} \cdot \sin \beta \quad (5.12)$$

$$F = (T_{01} + T_{02}) \cdot \sin \beta \quad (5.13)$$

No entanto se as tracções não são iguais surgirá também uma componente horizontal $F_{\perp}$ em quadratura com F , ou seja:

$$F_{\perp} = T_{01} \cdot \cos \beta - T_{02} \cdot \cos \beta \quad (5.15)$$

$$F_{\perp} = (T_{01} - T_{02}) \cdot \cos \beta \quad (5.16)$$

Para enquadrar estas forças horizontais resultantes das acções devidas às tracções dos cabos, observe-se a disposição de um apoio em ângulo, com dois vãos adjacentes A_1 e A_2 estando os cabos traccionados a T_{01} e T_{02} respectivamente:

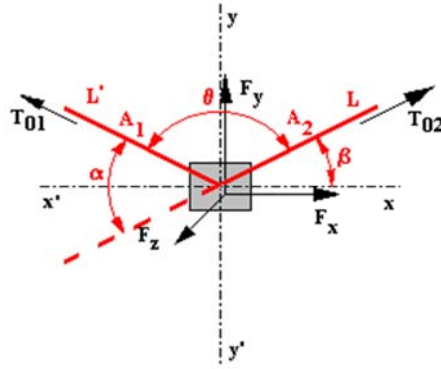


Figura 24 - Apoio em ângulo (distribuição de forças)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

As componentes horizontais das tracções exercidas por um cabo qualquer serão então dadas por um sistema de equações onde enquadram essas componentes no sistema de eixos xy. Assim:

$$\begin{cases} T_x = (T_{01} - T_{02}) \cdot \cos \beta \text{ [N]} \\ T_y = (T_{01} + T_{02}) \cdot \sin \beta \text{ [N]} \end{cases} \quad (5.17)$$

Nos apoios em alinhamento o ângulo β é nulo logo o sistema virá:

$$\begin{cases} T_x = (T_{01} - T_{02}) \text{ [N]} \\ T_y = 0 \text{ [N]} \end{cases} \quad (5.18)$$

Se as tracções a montante e a jusante tiverem valor igual, então todas as resultantes serão nulas nos apoios em alinhamento, aparecendo apenas uma componente na direcção da bissectriz do ângulo da linha (eixo $y'y$).

Deste modo podemos escrever um sistema de equações genérico que se adapta a qualquer situação quer de alinhamento quer de ângulo. O sistema será então:

$$\begin{cases} T_x = (T_{01} - T_{02}) \cdot \cos \beta \text{ [N]} \\ T_y = (T_{01} + T_{02}) \cdot \sin \beta \text{ [N]} \end{cases} \quad (5.19)$$

em que:

T_x – Força de tracção, em Newton, resultante na direcção do eixo $x'x$ (nos caso dos apoios em ângulo corresponde à direcção normal à bissectriz do ângulo θ da linha)

T_y – Força de tracção, em Newton, resultante na direcção do eixo $y'y$ (nos caso dos apoios em ângulo corresponde à direcção da bissectriz do ângulo θ da linha)

T_{01} – Força de tracção horizontal exercida por um cabo a montante, em Newton

T_{02} – Força de tracção horizontal exercida por um cabo a jusante, em Newton

β - Ângulo que os condutores fazem com a directriz da normal à bissectriz do ângulo de desvio da linha (no caso dos apoios de alinhamento tem valor zero), em graus

No cálculo das acções sobre os apoios, são determinadas as acções longitudinais, transversais e verticais exercidas por cada cabo, respectivas cadeias e acessórios no ponto de fixação da respectiva armação, segundo direcções paralelas a um sistema de eixos cartesiano xyz . Este cálculo permite assim avaliar em primeira instância as acções incidentes sobre as armações. A combinação do resultado destas acções, determina a acção total sobre os apoios.

Na utilização de postes de betão e segundo as recomendações para projecto de linhas aéreas de alta tensão da Direcção Geral de Energia, todas as acções calculadas deverão ser reduzidas a um ponto que dista em 0,25 m do topo da cabeça destes postes. Os esforços nominais apresentados pelos fabricantes são também calculados para esse ponto e portanto a comparação entre o resultado obtido e o valor disponível para cada poste só faz sentido se calculado para esse mesmo ponto.

Para selecção dos postes a utilizar em cada apoio, recorre-se aos diagramas de utilização fornecidos pelos fabricantes. No caso dos apoios metálicos os valores nominais de esforço admissível fornecidos pelo fabricante são muitas vezes relativos às armações indicando o esforço admissível em cada ponto de aplicação.

Para o cálculo das acções incidentes sobre os apoios, tomam-se três componentes segundo os eixos cartesianos xyz , conforme esquema seguinte:

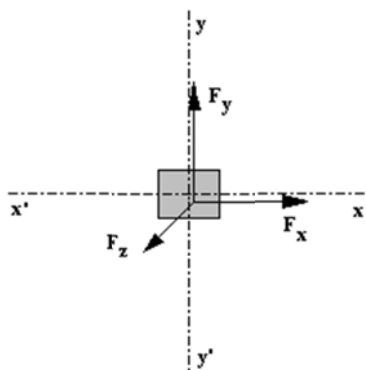


Figura 25 - Diagrama de forças no apoio

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

As acções exercidas sobre os apoios podem-se dividir em dois tipos: acções normais e acções excepcionais, cada qual com componentes segundo o sistema de eixos considerado.

As acções normais referem-se a todos os esforços que terão que ser absorvidos pelos apoios, sem pôr em causa a sua integridade, considerando as situações mais desfavoráveis que se possam verificar, sem que seja interrompido o regime normal de exploração das linhas. Incluem-se nas acções normais a sobrecarga própria de vento, a sobrecarga de tracção devida à sobrecarga de vento, as acções resultantes da desigualdade de duas tracções aplicadas a um mesmo apoio e as acções verticais, devidas ao peso próprio dos equipamentos das linhas, exercidas sobre os apoios.

As acções excepcionais referem-se às sobrecargas de esforço que possam surgir, derivado à interrupção física de um qualquer condutor ou cabo de guarda. A interrupção física de qualquer cabo condutor ou de guarda, provocará desigualdades de tracção que poderão originar momentos de torção ou de flexão gravosos para os apoios. As devidas sobrecargas deverão ser absorvidas pelo menos por alguns dos apoios de uma linha, dado que o emprego exclusivo de apoios dimensionados para estas condições torna-se muito dispendioso e eventualmente desnecessário.

Nas acções excepcionais incluem-se também as acções verticais resultantes considerando a interrupção física de qualquer um dos condutores ou cabos de guarda.

O cálculo das acções exercidas sobre os apoios, com excepção das acções verticais, obedece a uma equação simples da física, que diz que uma força uniformemente distribuída sobre uma superfície, exerce uma pressão por unidade de área dessa superfície, ou seja:

$$F = P \cdot S \quad [N] \quad (5.20)$$

em que:

F – força actuante sobre a superfície S , em N ;

P – pressão exercida pela força F , na superfície S , em $N.m^{-2}$;

S – superfície sobre a qual incide a força F , em m^2 ;

▪ Acção do vento

O vento exerce uma acção sobre todos os elementos expostos da linha, nomeadamente condutores e cabos de guarda, apoios, travessas ou armações e isoladores. A situação mais

desfavorável será quando o vento incide perpendicularmente aos elementos da linha em direcção horizontal.

Nos apoios de alinhamento a figura seguinte é ilustrativa da direcção do vento a considerar:

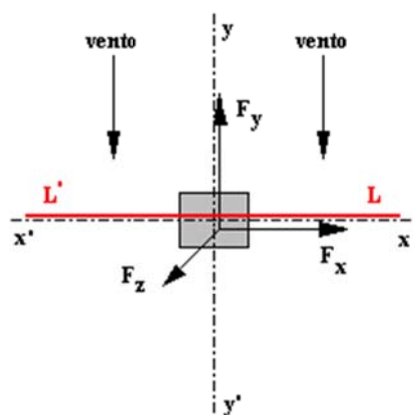


Figura 26 - Efeito do vento no apoio de alinhamento

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Analogamente, nos apoios em ângulo considera-se:

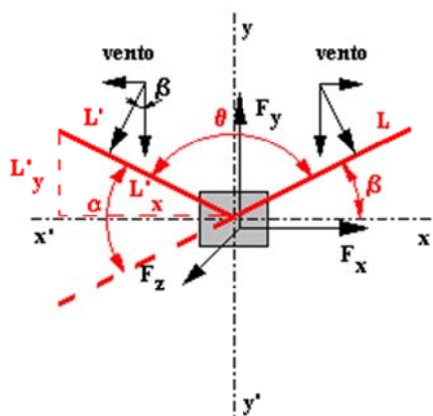


Figura 27 - Efeito do vento no apoio de ângulo

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Como se pode observar, considerando-se o vento actuando normalmente sobre todas as superfícies da linha, decompõe-se a sua acção em duas componentes segundo os eixos $x'x$ e $y'y$, devendo ser igualmente decompostas as superfícies batidas. Assume aqui maior importância a componente da acção do vento segundo a direcção da bissetriz do ângulo, pois os vértices da linha são geralmente ângulos graves.

A cada superfície específica pode ser atribuído um coeficiente de forma relativo à rugosidade apresentada por essa superfície. Para os apoios e travessas o coeficiente de forma depende do tipo de estrutura considerado e terá o valor indicado no quadro seguinte:

TIPO DE ESTRUTURA	CONSTITUIÇÃO	COEFICIENTE DE FORMA c
ESTRUTURAS SIMPLES	Secção-circular →  → 	0,60
	Secção quadrada → 	1,75
	Secção rectangular →  → 	1,85 (1)
		1,40 (2)
	Perfil corrente de postes de betão armado →  → 	1,60 (3)
		1,40 (4)
	Perfil metálico de abas largas (Perfil Grey) →  → 	1,55
		1,85
	Perfil metálico normal →  → 	2,00
		1,70
	Perfil metálico normal →  →  → 	1,80
		2,05
		1,40
	Perfil metálico de abas iguais (cantoneira) →  → 	1,90
		1,70
	Perfil metálico de abas desiguais (cantoneira) →  → 	2,00
		2,00
ESTRUTURAS RETICULADAS	Base quadrada ou rectangular, de faces opostas idênticas constituídas por perfis metálicos normais Vento normal à face	$3,2 - 2,8 \frac{S_c}{S_t}$ (5)
	Base quadrada ou rectangular, de faces opostas idênticas constituídas por tubos metálicos normais Vento normal à face	$2,24 - 1,96 \frac{S_c}{S_t}$ (5)
OUTRAS ESTRUTURAS	Perfis metálicos normais →  → 	1,25
		1,50
	Perfis metálicos normais ligados por barras ou cantoneiras → 	2,60 (6)

Tabela 9 - Coeficientes de forma em função da superfície do objecto

Fonte: RESLEAT – DR 1/92

A acção do vento será então, dada pela equação:

$$F_v = \alpha \cdot c \cdot q \cdot S \text{ [N]} \quad (5.21)$$

em que:

α - Coeficiente de redução;

c - Coeficiente de forma;

q - Pressão dinâmica do vento, em Pascal;

S - Área da superfície sobre a qual o vento incide, em metros quadrados.

O artigo 13º do RSLEAT, define as condições em que a pressão do vento deve ser considerada e quais os seus valores máximos em função da altura acima do solo a que se encontra o elemento da linha sobre o qual se pretende calcular a acção do vento.

Na tabela seguinte indicam-se os valores regulamentares para a pressão dinâmica do vento máximo habitual, sendo que a pressão dinâmica do vento reduzido se toma como sendo 40% daquele valor:

Altura acima do solo [m]	Pressão dinâmica do vento - q [Pa]	
	Vento máxima habitual	Vento reduzido
Até 30	750	300
De 30 a 50	900	360
Acima de 50	1050	420

Tabela 10 - Pressão dinâmica do vento

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

No caso das linhas e em particular dos cabos devem ser considerados alguns coeficientes, redutores ou não, relativamente ao valor da pressão dinâmica do vento.

Para expressar esses aspectos deverá em primeiro lugar ser aplicado um coeficiente de redução α , que é na realidade um coeficiente de efectividade do vento. De facto, as frentes de vento que possam pressionar os cabos não terão, caso geral, a envergadura dos vãos considerados, sendo as condições de pressão diferentes das que ocorrem por exemplo num “túnel de vento”. Por isso este coeficiente é inferior a 1 no caso dos condutores e cabos de guarda. No caso dos apoios, travessas e isoladores, por serem elementos concentrados no espaço, este coeficiente toma o valor 1.

Este coeficiente de redução está regulamentado pelo artigo 14º do RSLEAT, sendo o seu valor o que se indica na tabela seguinte, consoante o elemento da linha que estivermos a considerar:

Elemento	Coeficiente de redução - α
Cabos condutores e cabos de guarda	0,6
Apoios, travessas e isoladores	1,0

Tabela 11 - Coeficiente de redução (α)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Em segundo lugar deverá ser considerado um coeficiente de forma c , que pretende traduzir a rugosidade do elemento batido pelo vento. Sendo os cabos condutores e o cabo de guarda considerados de forma cilíndrica, estes possuem alguma rugosidade que será tanto mais notável quanto menor for o seu diâmetro. Os valores de coeficiente de forma estão regulamentados no artigo 15º do RSLEAT., conforme o quadro se indica na tabela seguinte:

Elemento	Diâmetro - D [mm]	Coeficiente de forma - c
Condutores nus e cabos de guarda	Até 12,5	1,2
	De 12,5 até 15,8	1,1
	Acima de 15,8	1,0

Tabela 12 - Coeficiente de forma (c)

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Para determinar o esforço unitário transmitido a cada apoio devido à acção do vento sobre os cabos, será necessário aplicar o valor da pressão dinâmica do vento, afectada dos coeficientes de redução e de forma, ao diâmetro (do cabo) batido pelo vento.

A zona batida projectada em plano vertical e perpendicular à direcção da acção do vento equivale ao diâmetro do cabo. De acordo com o artigo 10º do mesmo regulamento o esforço unitário devido ao vento é obtido pela expressão:

$$F_v = \alpha \cdot c \cdot q \cdot D, \text{ em [daN/m]} \quad (5.22)$$

em que:

α - Coeficiente de redução;

c – Coeficiente de forma;

q – Pressão dinâmica do vento, em Pascal;

D – Diâmetro do cabo, em metros.

Para cada apoio a acção do vento traduz-se numa força horizontal, transversal ao sentido da linha (situação mais desfavorável), sendo a superfície do cabo batida pelo vento, a considerar, igual ao produto do diâmetro do cabo pelo meio vão que lhe está adjacente, no caso de um vão isolado, ou pela soma dos dois meios vãos adjacentes, no caso de existirem vãos contínuos. Assim sendo a acção do vento sobre o cabo pode ser obtido pela expressão seguinte:

$$F_v = \alpha \cdot c \cdot q \cdot D \cdot \frac{A_1 + A_2}{2}, \text{ em [daN]} \quad (5.23)$$

em que:

α - Coeficiente de redução;

c - Coeficiente de forma;

q - Pressão dinâmica do vento, em Pascal;

D - Diâmetro do cabo, em metros;

A_1 e A_2 - Vãos adjacentes ao apoio considerado, em metros.

A acção do vento sobre um cabo distribui-se uniformemente ao longo deste, segundo uma direcção horizontal, em sentido transversal ao eixo longitudinal do cabo. Se considerarmos no limite, apenas a força do vento o cabo passará a descrever uma *catenária* no plano horizontal, no caso de apoios cujos pontos de fixação se encontram nivelados. No entanto, há que considerar simultaneamente o peso próprio do cabo que actua verticalmente. Isto traduz-se num peso aparente resultante das duas acções, conforme se mostra na figura seguinte:

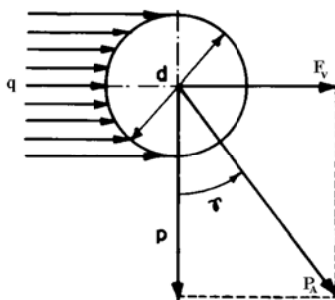


Figura 28 - Acção do vento sobre os cabos

Fonte: ProjLEAT – Projecto de Linhas Aéreas de MT e AT (EDP 2012)

Sob a acção simultânea da pressão do vento e do seu peso próprio, o cabo sofre um aumento aparente do seu peso, que passa a actuar no plano da *catenária* deslocada.

Pela análise da figura acima, conclui-se que o peso aparente do cabo pode ser obtido pela expressão seguinte:

$$P_A = \sqrt{p^2 + F_v^2}, \text{ em [daN/m]} \quad (5.24)$$

em que:

F_v - Acção do vento sobre o cabo, em daN/m;

p - Peso linear do cabo, em daN/m;

P_A - Peso aparente do cabo, em daN/m.

O aumento aparente de peso provoca o aumento das tracções axiais T e T_0 e o aparecimento de uma componente horizontal de sentido transversal nos pontos de fixação, que deverá ser absorvido pelos apoios.

- Efeito da variação da temperatura

Estando as linhas instaladas no meio exterior e expostas às condições atmosféricas, ficam sujeitas a variações de temperatura de amplitude acentuada ao longo de cada dia e principalmente ao longo do ano.

A temperatura do cabo depende, a cada instante, do equilíbrio entre o calor ganho e o calor cedido ao meio ambiente.

O ganho de calor deve-se ao efeito de Joule, provocado pela passagem de corrente nos cabos e ao aquecimento pelo calor solar resultado da exposição às radiações solares.

Por outro lado, os cabos perdem calor para o meio ambiente por irradiação e por convecção.

As perdas de calor por irradiação dependem da diferença de temperatura do cabo e do meio ambiente, enquanto as perdas por convecção dependem dessa mesma diferença e da velocidade do vento que o envolve.

No cálculo mecânico dos cabos é usual atribuir aos mesmos o valor da temperatura ambiente, com acréscimos no caso das temperaturas superiores devidas aos efeitos externos. O máximo acréscimo a considerar corresponde à situação de flecha máxima, que para uma fase de projecto é de fundamental utilidade, pois permite avaliar a distância aos diversos obstáculos e ao solo de modo a garantir as distâncias mínimas regulamentares. Simultaneamente estará também em causa a distribuição dos apoios pelo terreno em número e com altura necessária para respeitar as condições de segurança.

A flecha máxima corresponderá a uma situação de sol intenso e cargas eléctricas elevadas, com ausência de vento.

Por outro lado para os cabos envolvidos neste projecto, são conhecidos os coeficientes de dilatação térmica linear, que sendo significativos, provocam contracções e dilatações consideráveis com a variação de temperatura. O aumento da temperatura provoca a dilatação dos cabos, e uma redução de temperatura a sua contracção. As variações de comprimento resultantes são directamente proporcionais aos coeficientes de dilatação térmica linear e à variação de temperatura. Para aumento de comprimento teremos de igual modo aumento de flecha e para diminuição de comprimento redução de flecha.

Sendo a tracção T_0 inversamente proporcional à flecha, esta também será influenciada pela variação de temperatura, ou seja, para aumento de temperatura teremos aumento de comprimento e diminuição de tracção. Para diminuição de temperatura teremos diminuição de comprimento e aumento de tracção.

Para cálculo da variação das condições de equilíbrio dos cabos utiliza-se a **equação de mudança de estado**, onde estão incluídas as variações de temperatura e a influência da acção do vento.

▪ Equação de Mudança de Estado

Considerando inicialmente um vão isolado da linha, com comprimento A , sendo L_1 o comprimento de cabo à temperatura conhecida θ_1 , admitindo um vão de nível, se a temperatura variar para um valor θ_2 o comprimento de cabo também variará, pelas razões já expostas, assumindo um valor L_2 .

A expressão que rege a variação de comprimento em função da temperatura é:

$$L_2 = L_1 + L_1 \cdot \alpha_t \cdot (\theta_1 - \theta_2), \text{ em [m]} \quad (5.25)$$

em que:

L_1 – Comprimento do cabo a temperatura θ_1 [m];

L_2 – Comprimento do cabo a temperatura θ_2 [m];

θ_1 – Temperatura inicial

θ_2 – Temperatura final

Com a variação de comprimento por variação da temperatura será provocada uma variação da tracção. Essa variação obedece à **Lei de Hooke**: “as deformações elásticas são proporcionais às tensões aplicadas”.

Sendo L_1 o comprimento do cabo à tracção conhecida T_{01} , se a temperatura variar para um valor θ_2 o comprimento de cabo também variará, pelas razões já expostas, assumindo um valor L_2 e portanto variará também a tracção, que passará a Ter o valor T_{02} .

A variação de comprimento em função da tracção pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$L_2 = L_1 + L_1 \cdot \frac{T_{02} - T_{01}}{E \cdot S}, \text{ em [m]} \quad (5.26)$$

em que:

E – Módulo de elasticidade do cabo, em daN/mm²;

S – Área da secção transversal do cabo, em mm²;

T_{01} – Tracção inicial;

T_{02} – Tracção final.

Pode então concluir-se que uma variação de temperatura, provoca uma variação de comprimento do cabo, conforme define a seguinte equação :

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_1 \cdot \alpha_t \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{L_1 \cdot (T_{02} - T_{01})}{E \cdot S}, \text{ em } [m] \quad (5.27)$$

Substituindo L_1 e L_2 pelas suas expressões fundamentais:

$$\begin{cases} L_1 = 2 \cdot k_1 \cdot \text{Senh} \frac{A}{2 \cdot k_1} \\ L_2 = 2 \cdot k_2 \cdot \text{Senh} \frac{A}{2 \cdot k_2} \end{cases} \quad (5.28)$$

E sendo, respectivamente:

$$\begin{cases} k_1 = \frac{T_{01}}{p} \\ k_2 = \frac{T_{02}}{p} \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} k_1 = \frac{T_{01}}{p_A} \\ k_2 = \frac{T_{02}}{p_A} \end{cases} \quad (5.29)$$

(Sem vento) (Com vento e/ou gelo)

Obtém-se a seguinte equação de equilíbrio:

$$2 \cdot \left(k_2 \cdot \text{Senh} \frac{A}{2 \cdot k_2} - k_1 \cdot \text{Senh} \frac{A}{2 \cdot k_1} \right) = L_1 \cdot \alpha_t \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{L_1 \cdot (T_{02} - T_{01})}{E \cdot S} \quad (5.30)$$

Da mesma forma, quando se considera a curva do cabo equivalente a uma parábola, obtém-se a equação de equilíbrio:

$$\frac{A^3}{24} \cdot \left(\frac{1}{k_2^2} - \frac{1}{k_1^2} \right) = L_1 \cdot \alpha_t \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{L_1 \cdot (T_{01} - T_{02})}{E \cdot S} \quad (5.31)$$

Se considerarmos que o comprimento de cabo terá aproximadamente o comprimento do vão ($L_1 \cong A$), pode simplificar-se a equação de equilíbrio, à qual se atribui a designação de

equação de mudança de estado, pois a partir de um estado inicial 1 onde são conhecidos T_{01} , θ_1 e k_1 , podemos determinar as variáveis T_{02} , θ_2 e k_2 correspondentes ao estado final 2.

Equação de mudança de estado	Aproximação hiperbólica	$2(k_2 \sinh \frac{A}{2k_2} - k_1 \sinh \frac{A}{2k_1}) = A \cdot \alpha_t (\theta_2 - \theta_1) + \frac{A}{E \cdot S} (T_{02} - T_{01})$
	Aproximação parabólica	$\frac{A^2}{24} \left(\frac{1}{k_2^2} - \frac{1}{k_1^2} \right) = \alpha_t (\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{E \cdot S} (T_{02} - T_{01})$

Tabela 13 - Equação de Mudança de Estado

em que:

A – comprimento do vão [m];

T_{01} – tracção horizontal no estado inicial [daN];

T_{02} – tracção horizontal no estado final [daN];

E – módulo de elasticidade do cabo [daN/mm²];

S – secção do cabo [mm²];

θ_1 – temperatura do cabo no estado inicial [°C];

θ_2 – temperatura do cabo no estado final [°C];

α_t – coeficiente de dilatação térmica linear [1/°C];

k_1 – parâmetro do cabo no estado inicial [m];

k_2 – parâmetro do cabo no estado final [m].

Passo a passo podem determinar-se as condições de regulação dos cabos para diferentes valores de temperatura final, ou seja, determina-se qual a tracção desses estados finais, e consequentemente qual a flecha a aplicar aos cabos através das equações dos cabos suspensos atrás definidas.

Para resolver a equação de mudança de estado devem ser utilizados métodos numéricos.

O processo a seguir será tomando como estado inicial uma situação extrema (condições mais desfavoráveis de Inverno ou de Primavera), onde são conhecidos os valores t_{01} , p_1 e θ_1 . Para cada estado final fixa-se um θ_2 , com um p_2 calculado previamente e calcula-se então t_{02} .

A partir de t_{02} , calcula-se T_{02} , o parâmetro k_2 e a flecha de regulação do cabo.

5.4.2 Trabalho em CAD

O trabalho de desenho inicia-se com a materialização do traçado no terreno e realização do levantamento topográfico do perfil longitudinal e planta parcelar.

Na posse do perfil longitudinal e planta parcelar, que deverá integrar o cadastro de proprietários, o trabalho deve ser realizado pela seguinte sequência de trabalho:

- Assumir um conjunto de apoios tipo para cada função, sendo desejável um número tão reduzido quanto possível de soluções alternativas por função;
- Distribuição de apoios (sem esforço determinado) nos pontos obrigatórios (vértices e terminações do traçado);
- Assumir os pontos obrigatórios como apoios de amarração (ancoragem);
- Analisar os troços entre estes pontos, que se designam “cantões”. Avaliar o seu comprimento e estimar a necessidade de apoios intermédios em função desse comprimento e dos obstáculos;
- Definir os locais (apoios de amarração) para terminação de bobinas de cabo incorporando fibra óptica, quando esteja previsto, que deverão ser preferencialmente acessíveis a viatura para execução de fusões ópticas e colocação de caixas de junção;
- Distribuir os apoios de alinhamento (sem esforço determinado) ao longo de cada cantão;
- Verificar a necessidade de introduzir apoios de reforço nesses alinhamentos, o que alterará o comprimento dos cantões;
- Seleccionar as armações e definir a geometria de todos os apoios;
- Seleccionar o tipo de fixação e isoladores requeridos para cada apoio;
- Proceder ao cálculo mecânico de condutores e cabos de guarda;
- Proceder ao cálculo das acções sobre os apoios (devidas aos condutores, cabos de guarda, isoladores, armações e acção dos agentes atmosféricos sobre os componentes da linha);
- Proceder ao cálculo das fundações ou escolher as apropriadas em função das soluções já projectadas;
- Fornecer os elementos necessários para elaboração e completagem das peças desenhadas do projecto;
- Preparar as peças escritas e desenhadas para licenciamento;

- Agregar ao projecto uma lista de componentes e de elementos por apoio (mapa de montagem);

Na posse do perfil longitudinal do terreno e da respectiva planta parcelar, agregados numa única peça desenhada, conforme especificado, o primeiro passo do projecto consiste na distribuição de apoios ao longo do perfil.

A distribuição de apoios deve tomar como ponto de partida, apoios tipo que sejam tomados como referência para implantação. As características principais a definir para esses apoios tipo são:

- Altura total;
- Altura útil (distância entre o condutor inferior e o solo);
- Geometria tipo que se pretende estabelecer na linha projectada (geometria das armações e dos condutores a fixar nos apoios);
- Esforço não determinado (não relevante durante a distribuição dos apoios).

Deve contudo ter-se noção do vão ideal para o condutor a utilizar na linha e que se recomenda ser maior ou igual ao comprimento do vão crítico, do parâmetro de catenária de flecha máxima e valor da flecha máxima respectivos.

Seguidamente o projectista deve analisar todo o perfil e planta parcelar, de forma a identificar locais obrigatórios e locais preferenciais para colocação de apoios, assim como locais de impedimento e locais que apresentem restrições à colocação de apoios.

Um exemplo de local preferencial para colocação de apoios é na proximidade de obstáculos a cruzar superiormente, conseguindo com essa aproximação ao obstáculo uma optimização da altura do apoio a colocar, evitando o atravessamento no terço interior dos vãos onde a perda de cota devida à flecha dos condutores é mais acentuada.

Como locais de impedimento referem-se a proximidade de cursos de água (10 m de afastamento às margens do leito, para cursos de água não navegáveis e 30 m de afastamento para cursos de água navegáveis), as zonas de estrada de estradas classificadas ou as zonas de caminho-de-ferro.

As zonas de declive acentuado, ou de solos pouco consolidados serão zonas de restrição, que verificando-se ser necessária a sua utilização para implantação de apoios, carecerão de um estudo particular sobre as condições de montagem dos apoios e sobre o dimensionamento das suas fundações.

Como pontos obrigatórios do traçado indicam-se os extremos da linha e os vértices do traçado. Estes pontos devem ser marcados com apoios de amarração para ancoragem de condutores quando for o caso.

Na figura seguinte ilustra-se uma distribuição de apoios pelos vértices de um traçado:

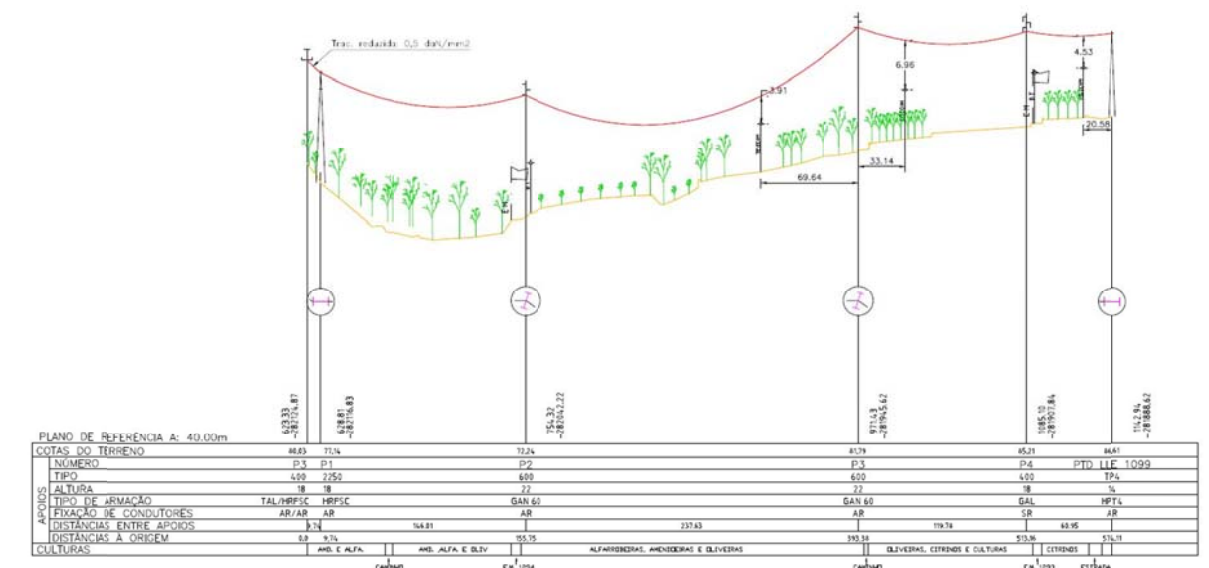


Figura 29 – Distribuição de apoios numa Linha Aérea de Media Tensão

Fonte: Linha FR15-77-3-1-4-1 Pedra de Agua 3, projecto de Luís Passos



Figura 30 - Perfil da Linha Aérea de Média Tensão

Fonte: Linha FR15-77-3-1-4-1 Pedra de Agua 3, projecto de Luís Passos

Os apoios de amarração definem os cantões da linha, devendo ser avaliado o seu comprimento. A comparação deste comprimento com o do vão ideal para o tipo de condutor a utilizar permitirá estimar a necessidade de utilização de apoios intermédios e o seu número.

Quando as linhas são equipadas com cabos incorporando fibras ópticas, a definição dos apoios terminais das bobinas assume especial relevância, pois é recomendado que os seus locais de implantação sejam acessíveis a viaturas para execução de fusões ópticas e colocação de caixas de junção. Sendo apoios terminais de cabos, deverão ser apoios de amarração, pelo que, definem novos cantões ao longo do traçado.

Definidos os apoios de amarração, devem agora distribuir-se os apoios de alinhamento, que deverão ser apoios de suspensão (solução mais económica do que a amarração).

Realizada a distribuição dos apoios, o projectista deve efectuar uma primeira classificação de apoios de reforço, tendo em consideração que o RSLEAT impõe um limite máximo de 15 apoios entre apoios de reforço consecutivos. A verificar-se a necessidade de introduzir novos apoios de amarração decorrentes desta imposição, redefinem-se os cantões. A alocação de apoios de reforço a vértices do traçado traduz-se numa optimização de recursos com benefício económico na generalidade das linhas.

Definidos os locais de implantação e sistema de fixação em termos de amarração ou suspensão, devem seleccionar-se as armações a utilizar e definir-se a geometria da cabeça dos apoios.

Depois de efectuado todo o desenho complementar, deve passar-se ao cálculo e dimensionamento dos apoios, e para isso deve-se recorrer a uma ferramenta de cálculo.

Foi por mim desenvolvido o programa de cálculo PC-LMT que permite determinar os esforços a que os apoios estão sujeitos e assim concluir as peças desenhadas do projecto, definindo então o tipo de apoio. Irei abordar esse *software* no próximo capítulo.

5.4.3 Cálculo eléctrico

O Artigo 83º do Decreto - Lei 43335, de 19 de Novembro de 1960 diz:

Os valores nominais das tensões a adoptar no transporte ou na grande distribuição serão de 6000 V, 15 000 V, 30 000 V, 60 000 V, 100 000 V, 150 000 V e 220 000 V, devendo o material ser dimensionado para as tensões eficazes máximas definidas pela Comissão Electrotécnica Internacional.

A escolha da tensão de transporte deve, então, recair sobre uma das tensões normalizadas e geralmente aquela que minimize os custos. O aspecto económico e de grande importância no projecto de linhas aéreas. Quanto maior for a tensão nominal, associada a uma dada potencia a transmitir, menor será a secção dos condutores a aplicar, mantendo-se o valor das perdas. Ora a diminuição da secção dos condutores contribui para a redução dos custos da linha, não só pelo facto de condutores de menor secção serem mais baratos, mas também porque desta maneira se diminui o peso da linha e consequentemente os esforços sobre os apoios, permitindo usar apoios mais baratos. No entanto, com o aumento da tensão, aumenta significativamente o custo dos isoladores a aplicar na linha. A tensão de transporte mais económica é assim definida por uma condição de equilíbrio e como já referido, a escolha deve

recair sobre a tensão normalizada mais próxima do valor calculado, seja esta inferior ou superior.

No caso em que uma linha se destina a ampliar uma rede existente, ou se admite que futuramente venha a ligar-se a ela, a solução mais corrente e mais económica esta em adoptar a mesma tensão, sendo que as vantagens que eventualmente podem resultar da utilização de uma dada tensão diferente, são atenuadas pelos encargos de instalação e de exploração de subestações.

5.4.3.1 Resistência

A resistência eléctrica de um condutor é definida pela seguinte expressão:

$$R = \frac{\rho_{\theta} \cdot l}{S} [\Omega] \quad (5.32)$$

em que:

ρ_{θ} – Resistividade do condutor a uma temperatura θ em $[\Omega/\text{km}]$;

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

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

Deste modo, a resistência quilométrica é definida pela expressão:

$$R_K = \frac{R}{l} = \frac{\rho_{\theta}}{S} [\Omega/\text{km}] \quad (5.33)$$

Assim, a resistividade do condutor é definida por:

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} \cdot [1 + \beta(\theta - 20)] [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}] \quad (5.34)$$

em que:

ρ_{θ} – Resistividade do condutor a uma temperatura θ em $[\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}]$;

ρ_{20} – Resistividade do condutor a 20°C em $[\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}]$;

β – Coeficiente de temperatura da resistividade;

A resistividade a 20°C e o seu coeficiente de temperatura são dados conhecidos e característicos de cada tipo de condutor.

No entanto a resistência pode ser influenciada por outros factores, tais como o efeito pelicular o de kelvin e as perdas magnéticas. Irei abordar esses factores nos próximos pontos.

5.4.3.2 Efeito pelicular ou de Kelvin

Salvo indicação em contrário, a resistência eléctrica atribuída a um condutor refere-se a corrente continua. Porem, quando o condutor é atravessado por uma corrente alternada, o efeito pelicular (ou efeito Kelvin) faz aumentar essa resistência, embora para diâmetros de condutores usuais, este efeito seja pouco significativo (Sequeira, 2009).

Existem várias fórmulas empíricas que dão a relação entre os valores de resistência em corrente alternada R_a e em corrente continua R_c . Uma delas diz que, num condutor unifilar a resistência linear em corrente alternada é dada por:

$$\frac{R_a}{R_c} = f(x) \text{ sendo } x = \pi \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot \mu_r}{\rho}} \quad (5.35)$$

em que:

d – Diâmetro do condutor em cm;

ρ – Resistividade eléctrica do condutor [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 10^{-5}$]

f – Frequência (corrente alternada, europa 50Hz) [Hz];

μ_r – Permeabilidade magnética relativa do condutor (igual 1 para o cobre, alumínio e respectivas ligas);

Segundo Lord Rayleigh:

$$\frac{R_a}{R_c} = 1 + \frac{10^{-8}}{12} \cdot \left(\frac{\omega \cdot \mu}{R_c}\right)^2 - \left(\frac{10^{-16}}{180}\right) \cdot \left(\frac{\omega \cdot \mu}{R_c}\right)^4 \quad (5.36)$$

em que:

μ – Permeabilidade magnética do condutor;

ω – Frequência angular ou pulsão $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ [$\text{rad} \cdot \text{S}^{-1}$]

Segundo Still:

$$\frac{R_a}{R_c} = 1 + \frac{\sqrt{1+(a \cdot D^2 \cdot f)^2} - 1}{2} \quad (5.37)$$

em que:

a – é a constante igual a 0,0105 para o cobre e 0,0063 para o alumínio

D – Diâmetro do condutor em polegadas (1 pol $\rightarrow$ 25,4 mm);

ρ – Resistividade eléctrica do condutor [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 10^{-5}$]

f – Frequência (corrente alternada, europa 50Hz) [Hz];

Os condutores de alumínio-aço funcionam como se fossem tubulares, dado que a alma de aço não participa na condução de corrente. Neste tipo de condutores, para as dimensões usuais (secção de alumínio não superior a 600 mm²) e à frequência de 50 Hz, o aumento da resistência devido ao efeito pelicular é geralmente inferior a 6% (Sequeira, 2009).

5.4.3.3 Perdas magnéticas na alma do aço

Nos condutores de alumínio-aço, cada fio de alumínio comporta-se com um solenóide de grande passo que produz na alma de aço uma magnetização alternada. Como as diferentes camadas de fios de alumínio são alternadamente enroladas num sentido e no outro, se o condutor tiver duas camadas, o efeito dessa magnetização é quase nulo. Se tiver três camadas, o efeito é sensível, mas ainda pequeno, não excedendo 2 a 3% o aumento da resistência aparente (Sequeira, 2009).

5.4.3.4 Coeficiente de Auto-Indução

O coeficiente de auto-indução de uma linha de AT, é definido pela seguinte expressão:

$$L = \left[\frac{\mu}{2n} + 4,6 \cdot \log \left(\frac{D}{r_l} \right) \right] \times 10^{-4} \text{ [H/km]} \quad (5.38)$$

em que:

μ – Permeabilidade magnética do condutor (assume o valor 1 para condutores de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos de alumínio-aço e assume o valor 200 para cabos de aço galvanizado;

n – Número de condutores por fase;

D – Distância entre condutores;

r' – Raio fictício definido por: $r' = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$

r – Raio do condutor;

R – Raio da circunferência que passa pelos condutores que formam a fase.

Assim no caso de apenas 1 única fase, $n=1$ e $r'=r$, o coeficiente de auto-indução é definido por:

$$L = \left[0,5 + 4,6 \cdot \log \left(\frac{D}{r'} \right) \right] \times 10^{-4} \text{ [H/km]} \quad (5.39)$$

5.4.3.5 Capacidade

A capacidade linear de serviço de um condutor de linha, e por definição, a relação entre a carga capacitiva electrostática desse condutor, sobre um comprimento unitário e a diferença de potencial existente, em cada instante, entre o condutor e o seu involucro (terra para linhas aéreas), quando os condutores respectivos são sujeitos a um sistema polifásico simétrico de diferenças de potencial em relação a esse involucro (Távora, desc.) citado por (Sequeira, 2009).

Em linhas trifásicas, a capacidade é definida por:

$$C = \frac{24,2}{\log \left(\frac{D}{r'} \right)} \times 10^{-9} \text{ [F/km]} \quad (5.40)$$

em que:

D – Distância equivalente entre condutores em mm;

r' – Raio fictício em mm.

5.4.3.6 Condutância

Se o isolamento das linhas fosse perfeito, não haveria nenhuma corrente entre os condutores e os apoios, nem superficialmente nem através do isolamento. Neste caso a condutância seria nula. Mas na realidade, existe uma corrente, ainda que muito pequena porque a resistência do isolamento não é infinita (Checa, 1985). A existência de uma corrente de perditância pode resultar da presença transitória de depósitos condutores a superfície dos isoladores ou do fenómeno de efeito de coroa. Assim, o valor da condutância varia com as condições atmosféricas, tipo de isolamento, numero de isoladores na cadeia, apoios por quilometro de linha e estado da superfície do condutor. Numa linha bem isolada e com tempo seco a condutância é praticamente nula.

O seu valor é definido pela expressão:

$$G = \frac{p}{U_s^2} \times 10^{-3} \text{ [S/km]} \quad (5.41)$$

em que:

p – Potencia perdida em kW/km;

U_s – Tensão eficaz simples em kV.

5.4.3.7 Reactância

A reactância é dada pelo produto da frequência angular ω (rad/s) da corrente alternada pelo coeficiente de auto-indução sendo este ultimo igual a relação entre o fluxo magnético e a intensidade de corrente eléctrica que o produz. Ora num qualquer sistema trifásico, o fluxo magnético que terá que ser considerado não será o produzido por um condutor, mas sim produzido pelos vários condutores quando percorridos por determinados valores de corrente (Rodrigues & Vieira, 2007). Considerando como forma de simplificação de cálculos, que as linhas são percorridas por correntes trifásica equilibradas e de sequência directa, alimentadas por um sistema de tensões trifásicas equilibradas e de sequência directa, poder-se-á então determinar o valor da reactância indutiva dada pela seguinte expressão (Sequeira, 2009):

$$X = \omega \cdot L \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad (5.42)$$

Ou seja, substituindo a expressão de L temos que:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left[\frac{\mu}{2n} + 4,6 \cdot \log \left(\frac{D}{r'} \right) \right] \times 10^{-4} \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad (5.43)$$

em que:

f – Frequência (corrente alternada, europa 50Hz) [Hz]

μ – Permeabilidade magnética do condutor (assume o valor 1 para condutores de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos de alumínio-aço e assume o valor 200 para cabos de aço galvanizado;

n – Número de condutores por fase;

D – Distância entre condutores;

r' – Raio fictício definido por: $r' = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$

r – Raio do condutor;

R – Raio da circunferência que passa pelos condutores que formam a fase.

5.4.3.8 Susceptância

A susceptância é definida pela expressão:

$$B = \omega \cdot C \text{ } [S/\text{km}] \quad (5.44)$$

em que:

ω – Frequência angular em rad/s;

C – Capacidade da linha em F/km;

5.4.3.9 Impedância

A impedância é definida pela expressão:

$$Z = R + jX \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad (5.45)$$

em que:

R – Resistência em Ω/km ;

X – Reactância em Ω/km ;

5.4.3.10 Admitância

A admitância é definida pela expressão:

$$Y = G + jB \text{ [S/km]} \quad (5.46)$$

em que:

G – Condutância em S/km;

B – Susceptância em S/km;

6. Programa de Cálculo de Linhas Aéreas de Média Tensão

Com o intuito de mais facilmente aprender a calcular linhas aéreas de média tensão, a partir de uma ideia original do Eng. António Estrela, foi-me lançado o desafio de produzir um programa que conseguisse verificar a suficiência do cálculo mecânico do projecto da linha.

A EDP dispõe de um *software* denominado DM que permite realizar o projecto integral, desenho CAD e verificação dos cálculos, porém para se utilizar este software é necessário estar ligado ao servidor da EDP e a sua utilização é penosamente lenta e demorada, e não é amigável do utilizador.

Assim, o conceito foi criar um programa que fosse um *stand alone*, não dependesse de qualquer plataforma para funcionar, que fosse passível de ser utilizado por qualquer pessoa em qualquer lugar, independentemente de ter ou não acesso à internet.

No caso do DM e outros programas de cálculo, a forma como os cálculos são efectuados não é clara para o utilizador, dado que são apenas apresentados os resultados finais e isso pode levar a que se tenha pouca confiança nos resultados.

Neste programa desde o início que se pretendeu que os outputs deste programa fossem claros e transparentes mostrando a origem dos resultados e como estes foram obtidos, por forma a dar confiança ao utilizador. Para além do cálculo da suficiência dos apoios, este programa permite também a verificação da distância mínima de segurança entre condutores, factor determinante na escolha do tipo de armação em função do comprimento do vão. Para concluir o projecto, é ainda necessário elaborar o mapa de flechas e preencher o mapa de montagem. Assim, dotou-se o programa de meio para conseguir desempenhar estas duas ultimas tarefas de forma rápida e expedita, permitindo assim imprimir os respectivos relatórios de modo a serem adicionados ao projecto para licenciamento.

Este programa permite calcular linhas até um número máximo de 60 apoios (o que para o tipo de linhas que temos no Algarve nunca será excedido), no entanto este número poderá ser aumentado para qualquer valor múltiplo de 30, ou seja, 60, 90, 120, 150 e assim sucessivamente, dado que basta adicionar paginas no mapa de montagem

6.1 Interface

O menu principal encontra-se dividido em 3 grandes grupos.

Figura 31 - Menu principal PC-LMT

Neste programa utilizou-se a filosofia de cores em que os campos a verde são relativos a inputs (dados introduzidos pelo utilizador) e os campos a rosa serão outputs (dados gerados pelo programa).

O primeiro grupo encontra-se em cima, e nele estão contidos os campos relativos a identificação do projecto, que posteriormente irão ser utilizados nos diversos relatórios que este programa permite emitir,

O segundo grupo encontra-se do lado esquerdo, e nele estão contidas todas as informações relativas aos condutores a utilizar, tracção máxima e tipo de zona.

O terceiro grupo encontra-se mais a direita e tem a informação relativa a linha, distância entre vãos, tipo de armação e amarração.

No lado mais a esquerda encontra-se um rectângulo com um conjunto de botões, onde é possível escolher o tipo de apoio que queremos calcular ou aceder ao mapa de montagem.

TENSÃO (KV): 15		POLLUÇÃO FORTE? N		ARMATUROS A MONTAR NOS POSTES		MACIÇOS DE FUNDAÇÃO		TIPO SECC.		CADEIAS AMARRAÇÃO / SUSPENSÃO		PRE-FORMAÇÕES		LIGADORES		FERRAGENS		OBSERVAÇÕES			
APÓIOS		A PARTIR TOPO		FACE		DESENHOS E TIPOS		COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE: C7		H		ALARRAÇÃO		SUSPENSÃO		VARIAÇÕES PROTECÇÃO		ALINHAMENTO		OBSERVAÇÕES	
NP	GÊNERO	ALTURA TOTAL DOS POSTES (m) E TIPO	USINA	INSTALAÇÃO	USINA	NP / TIPO	SECCIONADOR	ISOLADOR	N / R	ALARRAÇÃO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO
01	AL	18000	USINA	INSTALAÇÃO	USINA	NP / TIPO	SECCIONADOR	ISOLADOR	N / R	ALARRAÇÃO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO
02	DER	18000	USINA	INSTALAÇÃO	USINA	NP / TIPO	SECCIONADOR	ISOLADOR	N / R	ALARRAÇÃO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO
03	AL	18000	USINA	INSTALAÇÃO	USINA	NP / TIPO	SECCIONADOR	ISOLADOR	N / R	ALARRAÇÃO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO	ALINHAMENTO	SUSPENSÃO	VARIAÇÕES PROTECÇÃO

Figura 32 - Mapa de Montagem

No bloco principal, na frente de cada vão e de cada apoio existe um botão. Ao clicar nesse botão estamos a activar esse apoio para calculo, ou no caso do vão, a calcular o mapa de flechas correspondente a esse vão.

6.2 Cálculo da suficiência dos apoios

Como já foi referido no ponto 5.4.1.3, de acordo com o RESLEAT, é necessário recorrer à equação de mudança de estado para calcularmos as forças a que os apoios estão sujeitos. Para isso, introduziremos a tração máxima e a temperatura de referencia (15°C) e obteremos então a respectiva tração nas condições do vão (comprimento, secção do condutor, tracção máxima, etc). Neste programa entramos em linha de conta, para além do efeito do vento no condutor, também com mesmo efeito sob as cadeias de isoladores e sob as travessas. Após validado o cálculo é gerado o respectivo *report*, que poderá no caso de se tratar de um apoio de derivação, ser anexo ao processo para licenciamento. Para perceber melhor como funciona o mecanismo de validação dos apoios, vide o Anexo II - Tutorial do PC-LMT.

A inovação neste programa reside no facto de através de método de cálculo numérico, resolver-se a equação de mudança de estado sem recorrer a métodos iterativos, obtendo assim o valor exacto da tracção. Recorrendo ao cálculo do Δ (6.1) da equação cubica, determinamos quantos zeros ela tem. A partir dai, construímos as raízes pela lei geral dos zeros (6.2) da função cubica.

$$\Delta = b^2 \cdot c^2 - 4ac^3 - 4b^3d - 27a^2d^2 + 18abcd \quad (6.1)$$

em que:

$\Delta > 0$ – 3 raízes reais distintas;

$\Delta < 0$ – 1 raiz real e duas raízes complexas conjugadas;

$\Delta = 0$ – 1 raiz dupla real.

A partir daqui utilizando a lei geral dos zeros da equação cubica, é fácil determinar os zeros da mesma. A equação de mudança estado apenas poderá ter $\Delta < 0$ ou $\Delta = 0$, ou seja, tem apenas 1 raiz real ou então a raiz é dupla.

Pela equação geral dos zeros, teremos:

$$x_k = -\frac{1}{3a} \cdot \left(b + u_k C + \frac{\Delta_0}{u_k C} \right), k \in \{1, 2, 3\} \quad (6.2)$$

em que:

$$C = \sqrt[3]{\frac{\Delta_1 + \sqrt{\Delta_1^2 - 4\Delta_0^3}}{2}} \text{ e } u_1 = 1; u_2 = \frac{-1 + i\sqrt{3}}{2}; u_3 = \frac{-1 - i\sqrt{3}}{2} \quad (6.3)$$

e sendo que:

$$\Delta_0 = b^2 - 3ac \quad (6.4)$$

$$\Delta_1 = 2b^3 - 9abc + 27a^2d \quad (6.5)$$

Após o cálculo das tracções, devem ser aplicadas as hipóteses de cálculo de acordo com o regulamento e tipo de apoio preconizado, calculada a respectiva carga de vento sobre o cabo, isoladores e respectiva travessa. O resultado será apresentado num boletim onde está contida toda a informação.

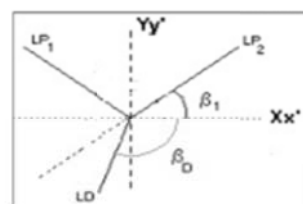


distribuição

APOIO EM DERIVAÇÃO

LINHA AÉREA: FR15-62-7 PICOITO

APOIO: P5



CALCULO DO APOIO		Linha Principal				Linha derivada	
		montante		jusante			
condutor		ASTER		ASTER		ASTER	
Secção	[mm²]	55		55		55	
Secção real	[mm²]	54,6	S ₁	54,6	S ₂	54,6	S _d
Diametro	[mm]	9,45	D ₁	9,45	D ₂	9,45	D _d
Peso linear	[daN/m]	0,145922	P ₁	0,145922	P ₂	0,145922	P _d
peso aparente	[daN/m/mm²]	0,002672564	w ₁	0,002672564	w ₂	0,002672564	w _d
coeficiente de elasticidade	αt	0,000023	αt ₁	0,000023	αt ₂	0,000023	αt _d
Elasticidade	E	6800		6800		6800	
Coeficiente de forma - c		1,2	c ₁	1,2	c ₂	1,2	c _d
vãos adjacentes	[m]	91,26	a ₁	167,66	a ₂	26,92	a _d
vãos equivalente	[m]	143,47	a _{e1}	184,60	a _{e2}	26,92	a _{ed}
Vão crítico	[m]	98,13	Ac ₁	98,13	Ac ₂	98,13	Ac _d
Coeficiente de redução - α		0,6			α _p	0,6	α _d
Localização		Zona A - Altura < 30 m					
Pressão do vento/verão	[Pa]	750			q _p	750	q _d
Pressão do vento/inverno	[Pa]	300			q _p	300	q _d
Acção do vento	HIP 1	0,5103			FV _{1-1M}	0,5103	FV _{1-1M}
t _{max}	[daN/mm²]	8	t _{1max}	8	t _{2max}	8	t _{dmax}
tmáx - Hip 1	[daN/mm²]	7,98	t ₁₁	7,97	t ₂₁	4,77	t' ₁
tmáx - Hip 2	[daN/mm²]	3,28	t ₁₂	2,77	t ₂₂	4,78	t' ₂
Apoio							
Ângulo c/ linha vento	[gr]	6,92			β _p	51,38	β _d
Altura	[m]	18		Y		X	
Tipo	Alinhamento			F750		S750	
Apoio	1600			1600		740	
Pior Caso	BEM DIMENSIONADO			609,31		625,22	
Apoio Preconizado	tipo	18P04/1600					
Coeficientes de redução do esforços aos pontos de aplicação considerados							
	Qt.	Linha Principal			Linha Derivada		
Armação	1x	GAN 80			HRFSC 80 D		
Amarração	-	AR			AR		
Isoladores	3x	U100BLP			U100BLP		
HIPOTESE 1 - Vento perpendicular a linha principal ou paralelo à bissetriz do Ângulo da linha principal							
Acção do Vento	[daN]	223,87			V ₁	42,02	V' ₁
Tração dos condutores	[daN]	-1,59			T _{x1}	441,19	T' _{x1}
	[daN]	132,93			T _{y1}	-460,75	T' _{y1}
Esforços totais	[daN]	439,60					F _{x1}
Esforços totais	[daN]	609,31					F _{y1}
HIPOTESE 2 - Vento paralelo a linha principal ou perpendicular à bissetriz do Ângulo da linha principal							
Acção do Vento	[daN]	39,49			V ₂	42,75	V' ₂
Tração dos condutores	[daN]	-78,32			T _{x2}	-442,29	T' _{x2}
	[daN]	50,44			T _{y2}	-461,89	T' _{y2}
Esforços totais	[daN]	625,22					F _{x2}
Esforços totais	[daN]	411,46					F _{y2}

Figura 33 - Boletim de cálculo de Apoio

6.3 Mapa de Flechas

De modo a regular os condutores, é necessário estar-se na posse do mapa de flechas do respectivo vão. Num mapa de flechas são indicados o tipo de condutor, as diversas temperaturas ambiente (de -10°C até 50°C), a respectiva tracção a regular para cada valor de temperatura ambiente, o valor da flecha para cada temperatura e ainda o parâmetro da catenária. Este *software* permite ainda detectar automaticamente o cantão, e indicar no caso de existirem vários vãos em suspensão, o vão equivalente, o vão de regulação e o vão de verificação.

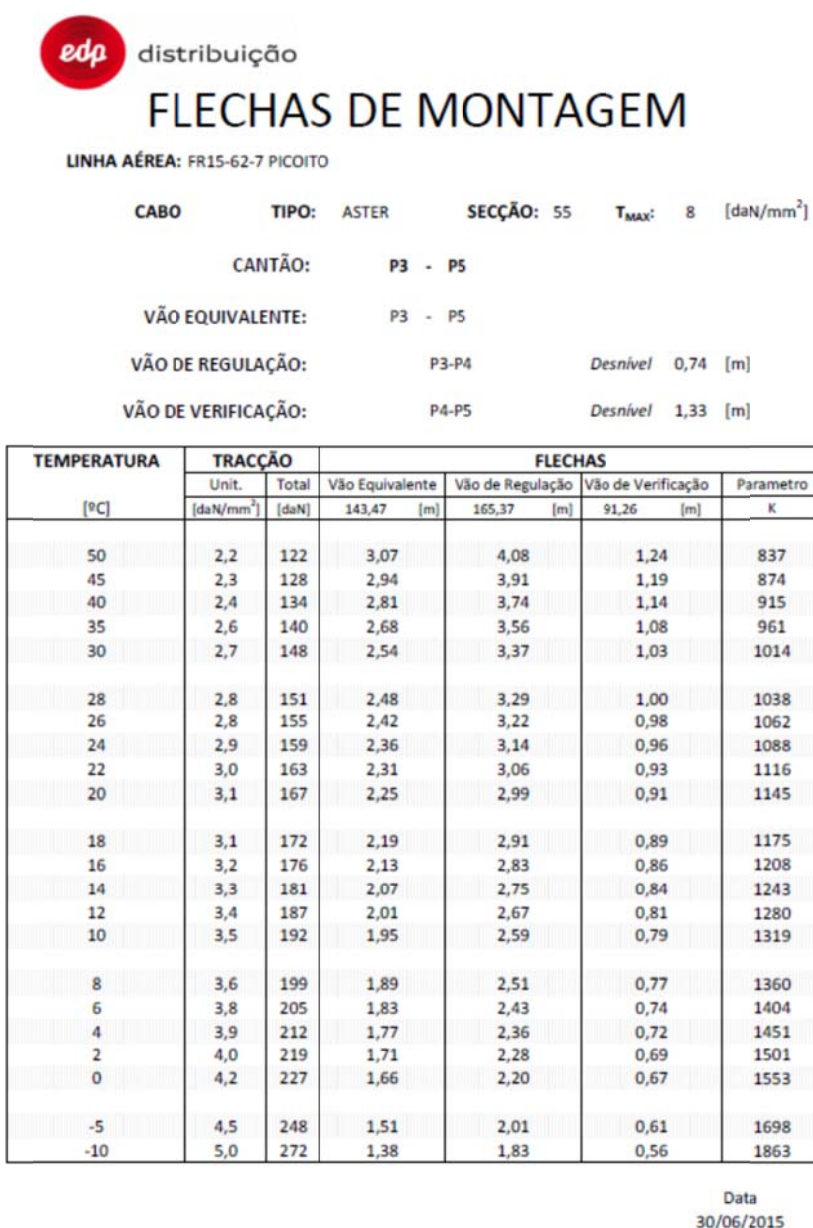


Figura 34 - Mapa de Flechas

6.4 Verificação da distância mínima entre condutores

A distância entre condutores é muito importante, visto que o contacto entre condutores leva a graves problemas técnicos e a interrupção da continuidade do serviço.

O artigo 31º, do regulamento, estabelece as condições de cálculo da distância entre condutores. Segundo este artigo, os condutores nus deverão ser estabelecidos por forma a não poderem aproximar-se perigosamente, atendendo às oscilações provocadas pelo vento, não devendo, entre eles, observar-se uma distância D , em metros, arredondada ao decímetro, inferior à dada pela expressão:

$$D = 0,75 \cdot k \cdot \sqrt{f + d} + \frac{U}{200} \quad (6.6)$$

em que:

D – Distância entre condutores a meio vão;

k – Coeficiente relativo a natureza dos condutores;

f – Flecha máxima (obtida a 50°C);

d – comprimento das cadeias de isolador susceptíveis de oscilar;

U – Nível de tensão em kV.

A flecha máxima é obtida através do mapa de flechas do respectivo vão para a temperatura de 50°C.

Deste modo, é necessário comparar o valor obtido a meio vão pela equação (6.6), com a distância de garantia dada pelas armações também a meio vão. Caso a distância obtida em (6.6) seja superior a distância de garantia, não está garantida a distância mínima entre condutores.

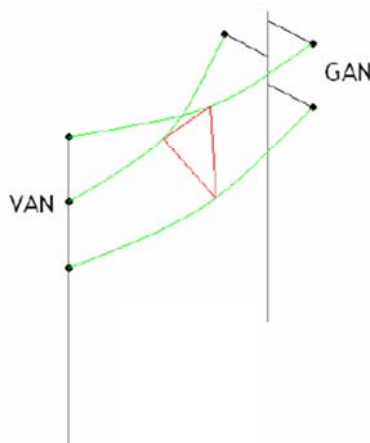


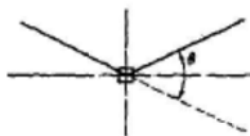
Figura 35 - Distância mínima entre condutores

Esta distância de garantia tem de ser calculada em função dos valores presentes no Projecto Tipo EDP, conforme se apresenta na tabela seguinte, que variam em função do ângulo β :

QUADRO 5.2

Distâncias de garantia em zonas sem gelo
armações para apoios de alinhamento, ângulo e reforço
(Ângulos em graus)

β	k	β	k	ARMAÇO	DISTANCIA DE GARANTIA (m)
0	1.00	50	0.92	HAL	1.10 para $\beta = 0$ k para $0 < \beta \leq 20$
1	1.00	51	0.92		
2	1.00	52	0.92	HAN	0.89.k
3	1.00	53	0.91	HNF	0.89.k
4	1.00	54	0.91	HSC	0.89.k
5	1.00	55	0.91	HNFSC	0.89.k
6	1.00	56	0.90	TAL	1.69 para $\beta = 0$ 1.35.k para $0 < \beta \leq 20$
7	1.00	57	0.90	TAN	1.41 para $0 \leq \beta \leq 83.09$ 1.77.k para $\beta > 83.09$
8	1.00	58	0.90	TRF	1.41 para $0 \leq \beta \leq 83.09$ 1.77.k para $\beta > 83.09$
9	1.00	59	0.89	GALI	1.45 para $\beta = 0$ $\left[(1.02.k)^2 + 0.5 \right]^{0.5}$ para $0 < \beta \leq 20$
10	1.00	60	0.89	GAL	2.20 para $\beta = 0$ $\left[(1.77.k)^2 + 0.75 \right]^{0.5}$
11	1.00	61	0.89	BAN	1.50 para $\beta = 0$
12	1.00	62	0.88	VAL	1.31 para qualquer β
13	0.99	63	0.88	VAN	1.50 para qualquer β
14	0.99	64	0.88	PRF	2.04.k
15	0.99	65	0.87		
16	0.99	66	0.87		
17	0.99	67	0.86		
18	0.99	68	0.86		
19	0.99	69	0.86		
20	0.99	70	0.85		
21	0.99	71	0.85		
22	0.99	72	0.84		
23	0.98	73	0.84		
24	0.98	74	0.84		
25	0.98	75	0.83		
26	0.98	76	0.83		
27	0.98	77	0.82		
28	0.98	78	0.82		
29	0.97	79	0.81		
30	0.97	80	0.81		
31	0.97	81	0.80		
32	0.97	82	0.80		
33	0.97	83	0.79		
34	0.96	84	0.79		
35	0.96	85	0.79		
36	0.96	86	0.78		
37	0.96	87	0.78		
38	0.96	88	0.77		
39	0.96	89	0.77		
40	0.95	90	0.76		
41	0.95	91	0.76		
42	0.95	92	0.75		
43	0.94	93	0.74		
44	0.94	94	0.74		
45	0.94	95	0.73		
46	0.94	96	0.73		
47	0.93	97	0.71		
48	0.93	98	0.72		
49	0.93	99	0.71		
50	0.92	100	0.71		



Exemplo: Armação TAL; $\beta = 0$ graus; $D = 1.69$ m
Armação TAL; $\beta = 20$ graus; $D = 1.35 \times 0.99 = 1.34$ m

Tabela 14 - Distância de garantia para armações (sem gelo)

Do ponto de vista da programação é quase impraticável usar uma tabela como a anterior, dadas as especificidades e variações existentes, então optou-se por uma abordagem geométrica do problema. Diz o Teorema de Tales que *quando duas rectas transversais*

cortam um conjunto de rectas paralelas, as medidas dos segmentos delimitados nas transversais são proporcionais.

Aplicando o teorema de Tales a duas travessas, se estas estiverem sobrepostas num ponto comum de alinhamento, e ligando com uma linha recta os pontos de amarração dos condutores na travessa temos uma representação 2D das duas travessas sobrepostas. A meio vão (a meia distância entre elas), o ponto equidistante situa-se a meio da distância entre os pontos de ligação dos condutores. Como as distâncias são proporcionais, apenas teremos de unir os pontos médios dos 3 segmentos e construir um triângulo. Para determinar a distância menor, basta determinar a distância do lado mais pequeno do triângulo. Assim, teremos por exemplo as seguintes combinações de armações:

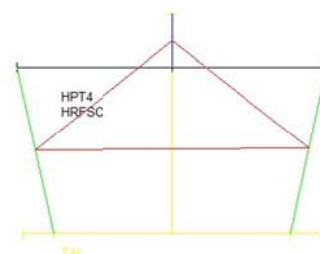
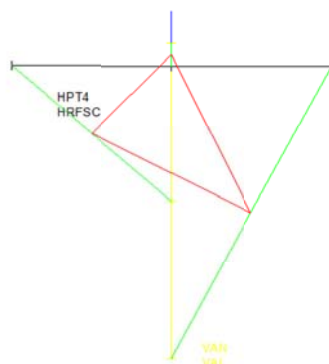
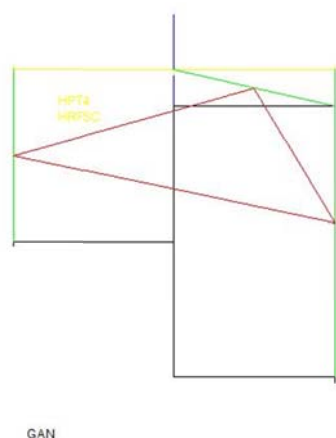


Figura 36 - Distância de garantia entre GAN e HPT4 ou HRFSC

Figura 37 - Distância de garantia entre VAN ou VAL e HPT4 ou HRFSC

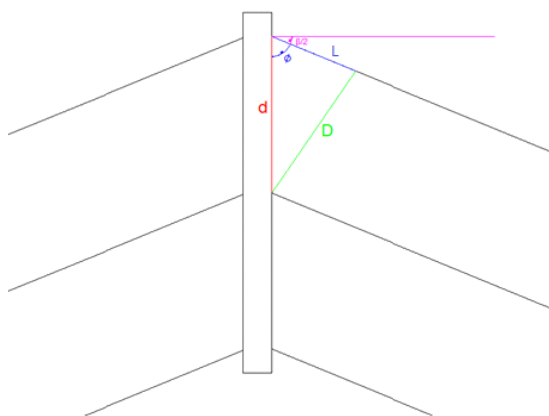
Figura 38 - Distância de garantia entre TAL e HPT4 ou HRFSC

Foram realizadas as medições para todas as combinações possíveis e registados os valores na tabela abaixo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	TAL	TAN 60	TAN 120	GAL	GAN 80	GAN 120	HPT4	VAL	VAN	PAL	PAN	HRFSC 80	HRFSC 100	HRFSC 120	HRFSC 80 D	HRFSC 100 D	HRFSC 120 D
1	TAL	0,885	1,394	1,394	1,296,6	1,438	1,438	1,067	0,459	0,459	1,79	1,49	1,067	1,067	1,067	1,067	1,067
2	TAN 60	1,394	0,885	0,885	1,296	1,296	1,296	1,001	0,443	0,443	1,67	1,54	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
3	TAN 120	1,394	0,885	0,885	1,296	1,296	1,296	1,001	0,443	0,443	1,67	1,54	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
4	GAL	1,296,6	1,296	1,296	1,92	1,92	1,92	0,87	1,355	1,355	1,377	1,26	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
5	GAN 80	1,438	1,296	1,296	1,92	1,92	1,92	0,87	1,2	1,2	1,38	1,26	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
6	GAN 120	1,438	1,296	1,296	1,92	1,92	1,92	0,87	1,2	1,2	1,38	1,26	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
7	HPT4	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
8	VAL	0,459	0,443	0,443	1,355	1,2	1,2	0,622	0,875	0,875	1,23	1,1	0,622	0,622	0,622	0,622	0,622
9	VAN	0,459	0,443	0,443	1,355	1,2	1,2	0,622	0,875	0,875	1,23	1,1	0,622	0,622	0,622	0,622	0,622
10	PAL	1,79	1,67	1,67	1,377	1,38	1,38	1,64	1,23	1,23	2,335	2,185	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
11	PAN	1,49	1,54	1,54	1,26	1,26	1,26	1,46	1,1	1,1	2,185	2,035	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
12	HRFSC 80	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
13	HRFSC 100	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
14	HRFSC 120	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
15	HRFSC 80 D	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
16	HRFSC 100 D	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
17	HRFSC 120 D	1,067	1,001	1,001	0,87	0,87	0,87	0,885	0,622	0,622	1,64	1,46	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885

Tabela 15 - Distância de garantia dada pelas diversas armações

Relativamente ao efeito que o ângulo β produz sobre a distância mínima entre condutores, conforme se verifica pela figura abaixo, em travessas em esteira em que os 3 condutores se encontram a mesma cota, com o aumento do ângulo β a distância entre condutores diminui. Assim, em função do ângulo, podemos para uma determinada situação calcular se essa distância está ou não salvaguardada, e no caso de não estar, escolher outro tipo de armação que permita fazer tal ângulo. O cálculo é efectuado da seguinte forma:



Em que

$$\theta = 90 - (\beta/2)$$

d = distância entre olhais da travessa

$$L = d * \cos(\theta)$$

$$D = L * \text{tg}(\theta)$$

Figura 39 - Distancia entre condutores (em ângulo)

No caso de não estarem garantidos pelo menos um dos casos referidos (distância de garantia e distância em ângulo) o utilizador será notificado com um ponto de exclamação junto ao indicador da distância mínima, indicado que esta não esta cumprida.

DADOS						
7-8	D	Linha Principal				
ACTIVO	[m]	Vão	Largura	β_s	Armação	Ar
Dist. Cond.				0,00	PAN	
Flechas	1,04932	1-2	203,80	45,00	HRFSC 80	
Flechas	1,04932	2-3	203,80	!	0,885	
				20,00	HRFSC 80	
Flechas	0,66896	3-4	123,00		0,885	
				30,00	HRFSC 80	
Flechas	0,92617	4-5	178,00	!	0,885	
				32,00	HRFSC 100	
Flechas	0,51141	5-6	32,00		1,001	
				35,00	TAN 60	

Figura 40 - Sinalização de não cumprimento da distância mínima de segurança

6.5 Mapa de Montagem

A folha de cálculo permite efectuar o preenchimento automático do mapa de montagem, evitando assim esquecimentos, falhas ou enganos no preenchimento.

Para isso basta clicar no botão à frente da linha que se pretende preencher para que esta seja automaticamente preenchida com os dados do apoio activo nesse momento.

Nas situações de remodelação de linhas, em que existem troços em que apenas se substitui o condutor, e são mantidas as travessas existentes, estas estão disponíveis numa base dados que contem todos os modelos descontinuados e que poderão ser adicionados a lista manualmente. Para mais esclarecimentos sobre o funcionamento do mapa de montagem, vide o Anexo II - Tutorial do PC-LMT.

7. Trabalho realizado

7.1 Projectos de redes de distribuição em média e baixa tensão e postos de transformação

Durante o estágio realizei diversos projectos de redes de distribuição em média e baixa tensão (aéreas e enterradas) e postos de transformação.

As redes aéreas foram projectadas utilizando a folha de cálculo por mim desenvolvida.

Foram realizados os seguintes projectos (para consulta dos mesmos vide os diversos anexos):

- Modificações na rede de baixa tensão do projecto da Nova Variante de Faro;
- Linha Media Tensão (LMT) FR15-184-6-2-1 Fonte da Mesquita, respectivo posto de transformação e Rede de baixa tensão;
- Alteração ao projecto da LMT FR15-76-2-1-11 SALIR ALTE;
- Projecto da LMT FR15-191-1-8-12 CUMEADA 3;
- Revisão e re-cálculo do projecto do posto de transformação particular da empresa Fresh Cut na Luz de Tavira e LMT FR15-62-7-7-3 FRESH CUT;
- Projecto da LMT FR15-85-1 Várzeas do Moinho e do Posto de Transformação de Distribuição (PTD) SLV 685.
- Projecto da LMT FR-15-76 Monte do Poço 2 e do PTD LLE 1100 e respectiva rede de baixa tensão;
- Alteração a Rede de Baixa Tensão (RBT) do PTD OLH 384 Águas Santas;
- Projecto da LMT FR15-77-5-2-1-1 Arzinha 3 e do PTD LLE 1118 ARZINHA 3 e respectiva rede de baixa tensão;

- Projecto da LMT FR15-71-3-2-1-4 CALIÇOS 3 e respectivas derivadas, PTD 547 Calijos 3 e ainda a rede de baixa tensão;
- Projecto da rede subterrânea que alimenta o PTC da SOPORSAL, em substituição da rede aérea;
- Projecto da LMT FR15-76-2-1-6 TÔR, novo PTD e novas ligações a rede da baixa tensão existente;
- Conclusão do projecto da nova linha de alimentação ao Posto de Transformação de Cliente da Empresa INDUSTRIAL FARENSE, no Areal Gordo, PTC FAR 553 INDUSTRIAL FARENSE.
- Posto de transformação PTD VRS 189, na praia de Manta Rota, para alimentação da ETAR;
- Projecto do PTD VRS 188, Estação elevatória da Fonte Santa;
- Projecto de remodelação da LMT FR15-61-1-5-2-1-2 TAVIRA SUCATA;
- Projecto da LMT FR15-184-6-2-2 MESQUITA BAIXA, do PTD SBA 100 e respectiva rede de baixa tensão;
- Loteamento Recova (TAVIRA), desenho de projecto de solução de alimentação;
- Projecto do desvio da LMT FR15-47-2 Hotel EVA, para construção do terminal de autocarros urbanos de Faro;
- Projecto de alteração da LMT FR15-18-5-4 nas quatro águas em Tavira;
- Projecto da LMT FR-15-77-3-1-4-1 Pedra de água 3, respectivo PTD e remodelação da rede de baixa tensão;
- Projecto da LMT FR15-62-7 PICOITO e respectivas derivadas, em Tavira;
- Projecto da LMT FR 15-62-7-7 FAIANA em Tavira;
- Alteração do traçado das LMT FR15-103 e FR15-217 motivada pela construção da nova Rotunda da Variante de Quarteira;
- Projecto de alteração da LMT FR15-22 SE TAVRA-OLHÃO;
- Projecto da LMT FR15-61-1-5 Fonte Salgada;
- Projecto da LMT FR15-61-1-5-2 FORNO J. FAUSTINO;
- Projecto da LMT FR15-61-1-5-8 FONTE SALGADA 3, do PTD TVR 458 e respectiva rede de baixa tensão;
- Projecto da LMT FR15-3-39 Sapal do Chão 2, PTD CTM 199 e respectiva rede de baixa tensão;
- Posto de transformação PTD TVR 464 Cerro da Ria;

- Projecto do Posto de Seccionamento e Posto de Transformação Cliente PS/PTC VRS 190 EE Beira Mar e LMT FR15-24-1-1;
- Desenho de solução de alimentação ao Parque Fotovoltaico da Mexilhoeira Grande;
- Projecto da LMT FR15-103-4-2 FORTE NOVO POENTE e do PTD LLE 1119 e respectivas injeções na rede;

7.2 Análise de projectos de serviço Público

São considerados projectos de serviço público os relativos as infra-estruturas eléctricas de urbanizações ou loteamentos, em ambiente urbano ou rural. Entende-se por infra-estruturas eléctricas as redes de distribuição em baixa ou media tensão, postos de transformação de distribuição e ainda as redes de iluminação pública.

Ao ser licenciada uma nova urbanização ou loteamento, o promotor é responsável por mandar elaborar os projectos das especialidades, e no caso da especialidade de redes eléctricas, este deve ser submetido ao distribuidor para este dar o seu parecer.

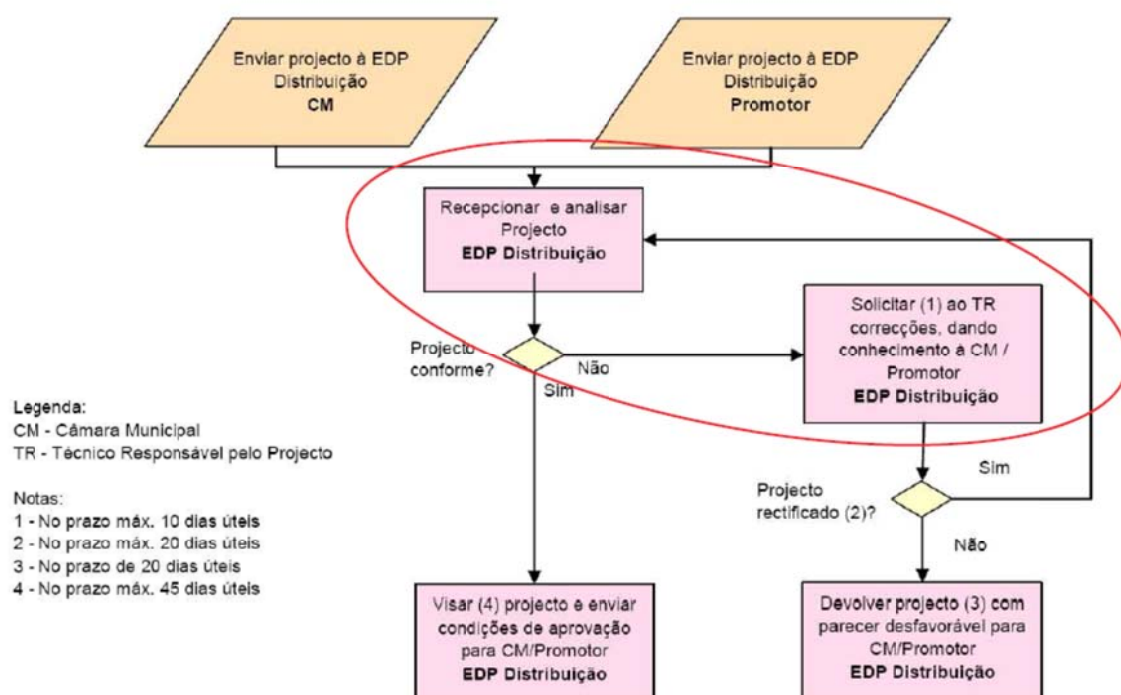


Figura 41 - Etapas da apreciação de um projecto de serviço público

Fonte: - (Forte, 2006)

O projecto deve então ser analisado e verificado o cumprimento do previsto na legislação em vigor e dos requisitos do distribuidor.

Entre outra legislação, os projectos devem ser apreciados ao abrigo do Guia Técnico de Urbanizações; este documento contém regras para a concepção, aprovação e ligação à rede de projectos de serviço público.

Para auxiliar os projectistas na elaboração dos projectos de serviço público, a EDP disponibiliza aos projectistas um conjunto de documentos que contem informações avulsas sobre como deve ser elaborado o projecto.

Após a análise de alguns projectos, verifiquei que alguns dos erros cometidos pelos projectistas eram recorrentes, e poderiam estar associados a alguma deficiência na comunicação entre a EDP e os projectistas, e devido a dispersão dos documentos de apoio.

Assim, numa iniciativa que partiu de uma sugestão minha, elaborei o **Guia Técnico de Projectos de Serviço Público**, que é uma compilação dessa informação avulsa, devidamente organizada num documento de consulta simples, para consulta vide anexo XXXV.

Após a análise de alguns projectos utilizando a *checklist* fornecida pela EDP, detectei que o trabalho de análise se tornava bastante difícil, dado que a forma como os campos da *checklist* se organizavam não era a melhor, pois obrigava a saltar dentro do projecto, ou seja, não seguia o normal encadeamento dos documentos.

Dessa forma, elaborei uma nova *checklist* de acordo com o que me pareceu ser as melhores práticas para a análise de projectos, para consulta vide Anexo XXXIV.

No decurso deste estágio, foi ainda realizado um estudo luminotécnico de uma urbanização, de modo a verificar se a solução preconizada pela Câmara Municipal de Lagoa, a ser executada no âmbito do contrato de concessão da rede de distribuição estava ou não a cumprir o previsto pela portaria nº 454/2001 no que toca ao valor da luminância, para consulta vide Anexo XL.

Os projectos de Serviço Público analisados foram os seguintes:

- Processo nº 9398 – Sítio da Tavagueira – Albufeira;
- Processo nº 9531 – Fundo especial de Investimento Imobiliário – Tavira;
- Processo nº 10223 – Sulei S.A. – Loteamento Chão das Donas – Portimão;
- Processo nº 10276 – Loteamento na Alagoa – Castro Marim;

8. Conclusão

O projecto de uma linha aérea de média tensão, apesar de ser um processo sistemático com diversas fases que o compõem, é, sem dúvida, um desafio para qualquer engenheiro. Desde a minha entrada no ensino superior até à presente data, sempre considerei o projecto de linhas aéreas de média tensão como a mais nobre área dentro do sector de projecto electrotécnico, após este estágio reforço e confirmo essa certeza. Nos tempos actuais, e com a introdução dos sistemas de produção de energia renovável, parques eólicos e fotovoltaicos, esta área ganhou uma enorme importância, dada a necessidade de ligar estes meios de produção à rede e garantir o normal funcionamento dos equipamentos. Em termos de projecto, um técnico que tenha a capacidade de projectar um parque eólico ou fotovoltaico e simultaneamente tiver a capacidade de projectar a ligação a rede e demais sistemas inerentes, possui uma vantagem competitiva sobre os demais, dada a extrema especificidade desta área.

A ferramenta de cálculo PC-LMT para o cálculo das solicitações mecânicas nos apoios é um desenvolvimento muito importante no que toca a elaboração destes projectos, dado que permite um grau de confiança no cálculo muitíssimo elevado, dá certeza ao projectista sobre o trabalho efectuado e permite poupar imenso tempo. O facto de elaborar o mapa de flechas e preencher automaticamente o mapa de montagem permite sem qualquer dúvida, uma enorme poupança de tempo e eliminação de eventuais erros de preenchimento.

São diversas as aplicações para este *software*, não apenas a elaboração de projectos, mas também a manutenção, dado que no caso do furto de condutores ou avaria em que seja necessário substituir os condutores existentes por outros de tipo diferente, em que seja necessário averiguar se os apoios suportam essa alteração e calcular os novos parâmetros de regulação, este programa tem um enorme potencial se distribuído as equipas dos piquetes de manutenção. Um PC portátil com o *Microsoft Office* instalado é o suficiente para que este programa corra em qualquer sítio, consumindo por isso poucos recursos materiais, tendo em conta a mais-valia que ele gera para a empresa que o adopte, que neste caso é a resolução imediata da avaria pelo piquete, não necessitando de apoio técnico de *back office*, garantindo assim uma continuidade de serviço, não existindo prejuízo (energia não vendida) pelo facto da linha estar temporariamente desligada.

A versatilidade do programa é imensa e as suas bibliotecas não são estanques, podendo ser actualizadas ao longo dos tempos, sempre que houver alteração de materiais, cabos, travessas, isoladores, etc.

Relativamente a desenvolvimentos futuros, um desenvolvimento possível deste programa seria a aplicação da equação de mudança de estado mas a redes de baixa tensão (cabos torçada ou cabo LXS). No projecto de redes de baixa tensão os vãos são calculados com abacos e os apoios são dimensionados com enorme coeficiente de segurança (sobredimensionamento), dado que não existe *software* disponível para este cálculo. Esta aplicação permitiria poupar imenso dinheiro na optimização dos apoios e manter o mesmo nível de qualidade e segurança das redes.

Na área da análise de projectos de serviço público, penso que ainda há imenso caminho a percorrer, a criação do Guia Técnico de Projectos de Serviço Publico é um primeiro passo para a centralização da informação, mas penso que não é suficiente. Devido a fraca qualidade dos projectos que são apresentados para aprovação seria importante lançar um programa de seminários de formação e sensibilização a projectistas e alunos das universidades dos cursos da especialidade com o intuito de lhes transmitir o que se pretende na elaboração de um projecto de serviço publico e quais os preceitos e requisitos a cumprir. Disponibilizei-me para organizar esse programa, se for do interesse da EDP.

O balanço do estágio que faço é muito positivo. Aprendi a calcular linhas aéreas de média tensão, que são o princípio base da rede de distribuição de energia, e com particular importância no momento actual com o fomento das energias renováveis. Com o aumento de parques eólicos e fotovoltaicos, este tipo de projecto é cada vez mais requerido pelos promotores e são poucos os que o sabem projectar, tornando-se numa oportunidade de negocio. Já recebi inclusive convite para realizar três projectos de ligação de centrais Mini-hídricas em Moçambique.

Foram 6 meses de trabalho duro mas muito compensador que tenho a certeza vão nortear a minha carreira para uma nova área no futuro próximo.

9. Bibliografia

- Belchior, G. N. (2011). *Coordenação de projectos de Alta Tensão com Geração Renovável*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Carvalho, M. I. (2012). *Data Governance: Estudo e Aplicação na EDP Distribuição*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Checa, L. M. (1985). *Linhas de Transporte de Energia*, ISBN: 9789726410980. Lisboa: CETOP.
- EDP. (09 de 2010). DRE-C11-040/N. *Guia Técnico de Terras*. Lisboa, Portugal: DTI – Direcção de Tecnologia e Inovação.
- EDP. (2011). *Manual de ligações à rede eléctrica de serviço público*. Lisboa: EDP.
- Fernandes, R. J. (2006). *Guia Técnico do Projectista de Linhas Aéreas de Transporte de Energia*. Dissertação de Mestrado.
- Ferreira, J. R. (2004). *Sistemas eléctricos de energia I*. Obtido em 07 de Janeiro de 2015, de FEUP.PT: <http://paginas.fe.up.pt/~mam/Linhas-01.pdf>
- Labegalini, P. R., Labegalini, J. A., Fuchs, R. D., & Almeida, M. T. (1992). *Projectos Mecânicos de Linhas Aéreas de Transmissão*. São Paulo: EDGARD BLÜCHER.
- Rodrigues, G. S., & Vieira, S. S. (2007). *Projecto Global de um sistema integrado de Distribuição de Energia Eléctrica*. Desc.: Desc.
- Sequeira, N. J. (2009). *Projecto de Linha Aérea de Alta Tensão de acordo com a norma EN50341-1*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Távora, F. (desc.). *Linhas de Transmissão de Energia Eléctrica*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Zoppetti, J. G. (1978). *Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión*. São Paulo: Gustavo Gili.

ANEXOS

ANEXOS

- I. Notícia da apresentação do estágio no seminário EDP;
- II. Tutorial do programa PC-LMT;
- III. Projecto da Nova Variante de Faro;
- IV. Projecto LMT FR15-184-6-2-1 Fonte da Mesquita;
- V. Projecto LMT FR15-76-2-1-11 Salir Alte;
- VI. Projecto LMT FR15-191-1-8-12 Cumeada 3;
- VII. Projecto do PTC e FR15-62-7-7-3 Fresh Cut;
- VIII. Projecto LMT FR15-85-1 Várzeas do Moinho;
- IX. Projecto LMT FR-15-76 Monte do Poço 2;
- X. Rede de Baixa Tensão do PTD OLH 384 Águas Santas;
- XI. Projecto LMT FR15-77-5-2-1-1 Arzinha 3;
- XII. Projecto LMT FR15-71-3-2-1-4 Calços 3;
- XIII. Projecto LMT FR15-76-2-1-6 Tôr;
- XIV. Projecto PTC FAR 533 Industrial Fareense;
- XV. Projecto PTD VRS 189 Manta Rota-Praia;
- XVI. Projecto PTD VRS 188 EE Fonte Santa;
- XVII. Projecto remodelação da LMT FR15-61-1-5-2-1-2 TAVIRA SUCATA;
- XVIII. Projecto LMT FR15-184-6-2-2 MESQUITA BAIXA;
- XIX. Loteamento Recova;
- XX. Projecto de alteração da LMT FR15-47-2 Hotel EVA;
- XXI. Projecto de alteração da LMT FR15-18-5-4 Quatro Aguas (Tavira);
- XXII. Projecto da LMT FR-15-77-3-1-4-1 Pedra de água 3;
- XXIII. Projecto da LMT FR15-62-7 PICOITO e respectivas derivadas;
- XXIV. Projecto da LMT FR 15-62-7-7 FAIANA;
- XXV. Projecto da Via Distribuidora de Quarteira, alteração à FR15-103 e FR15-217;
- XXVI. Projecto de alteração da FR15-22 SE TAVRA-OLHÃO;
- XXVII. Projecto da LMT FR15-61-1-5 Fonte Salgada 3;
- XXVIII. Projecto das LMT FR15-61-1-5-2 FORNO J. FAUSTINO e FR 15-61-1-5 Fonte salgada;
- XXIX. Projecto da LMT FR15-3-39 Sapal do Chão 2;

- XXX. Projecto da LMT FR15-24-1-1 e PS/PTC VRS 190 EE Beira Mar;
- XXXI. Solução de ligação à rede do Parque Fotovoltaico da Mexilhoeira Grande;
- XXXII. Alteração da Linha de Media Tensão da Sopursal (Tavira);
- XXXIII. Projecto da LMT FR15-103-4-2 FORTE NOVO POENTE e novo PTD;
- XXXIV. Checklist para verificação de Projectos de Serviço Público;
- XXXV. Guia Técnico de Projectos de Serviço Público;
- XXXVI. Análise do Projecto de Serviço Público nº 9398;
- XXXVII. Análise do Projecto de Serviço Público nº 9531;
- XXXVIII. Análise do Projecto de Serviço Público nº 10223;
- XXXIX. Análise do Projecto de Serviço Público nº 10276;
- XL. Estudo Luminotécnico (para o Município de Lagoa).