

Projecto Seminário Trabalho Final de Curso

RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR

Projecto

Linhas de Média Tensão de 15 KV
Redes de Distribuição em Baixa Tensão
Redes de Iluminação Pública
Postos de Transformação

Trabalho realizado por:

José Manuel Carreira Nunes



ASPC - Departamento de Projecto e Construção



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Ramo Sistemas de Energia



Relatório de estágio curricular

Título:

Projecto de Linhas de Média Tensão, redes de Baixa Tensão, Iluminação Pública e Postos de Transformação.

Local de trabalho:

EDP – Distribuição Energia S.A.

Área de Rede Ave/Sousa – Departamento de Projecto e Construção

Lugar da Agra

4560 – Penafiel

Aluno:

José Manuel Carreira Nunes

Orientador FEUP:

Professor José Luís Pinto Perreira da Silva

Orientador da Empresa:

Eng.º Francisco Reis Moreira

Objectivos:

- Projectos linhas de Média Tensão
- Projectos Baixa Tensão
- Projectos de Iluminação Pública
- Análise de projectos de Loteamento

Estágio curricular do 5º ano da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Ramo de Sistemas de Energia, com o apoio financeiro do programa de estágios no ensino superior PRODEP III.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero dirigir os meus agradecimentos ao meu orientador, o Professor José Luís Pinto Pereira da Silva, pela sua disponibilidade e pelo acompanhamento exercido durante os últimos meses, e ao meu supervisor da EDP, o Eng. Francisco Reis Moreira pela oportunidade de ter efectuado o meu estágio curricular numa empresa consolidada como é o caso da EDP.

Quero também deixar uma palavra de apreço aos engenheiros José Manuel Moura, Nuno Barros, José Miguel Costa e Jorge Bessa e ao Sr. Dias do departamento de Projecto e Construção por prestarem toda a orientação e ensinamentos necessários para o meu bom desempenho durante esta experiência.

Agradeço, em geral, a todos os funcionários que tão bem me receberam e acompanharam ao longo do estágio, tornando a minha integração neste departamento fácil e rápida.

A minha família e pessoas mais próximas, um abraço pelo apoio que me foi dado.

Porto, Julho de 2005

José Manuel Carreira Nunes

ÍNDICE

1. Introdução	5
2. Projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão	6
2.1. Introdução	7
2.2. Equipamentos	8
2.2.1. Condutores	9
2.2.2. Apoios	10
2.2.2.1. Classificação de apoios	10
2.2.2.2. Tipos de esforços	11
2.2.2.3. Armações	11
2.2.2.4. Isoladores / Tipos de amarrações	12
2.2.2.5. Fundações	13
2.3. Cálculo Eléctrico	13
2.3.1. Determinação da intensidade/densidade de corrente	14
2.3.2. Determinação das perdas de energia	15
2.3.3. Determinação da intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível	16
2.3.4. Determinação das quedas de tensão	17
2.4. Cálculo Mecânico	18
2.4.1. Traçado da linha	19
2.4.2. Estados atmosféricos tipo, coeficiente de sobrecarga	20
2.4.2.1. Acção dos agentes atmosféricos sobre linhas aéreas	21
2.4.2.2. Coeficiente de sobrecarga	22
2.4.3. Determinação da tensão de montagem	22
2.4.4. Geometria das linhas	24
2.4.4.1. Determinação das flechas	25
2.4.5. Estabilidade de apoios	26
2.4.6. Distâncias regulamentares entre condutores das linhas e obstáculos	32
2.4.7. Afastamento entre condutores	34
2.4.8. Dimensionamento de maciços	35
2.4.9. Breves considerações sobre o software 'SIT'	39
2.5. Projectos efectuados	40
2.5.1. Linha aérea à 15kV Figueiró (Stª. Cristina) – Espanha	40

3. Redes de Baixa Tensão, Iluminação Pública e Postos de Transformação 58

3.1. Enquadramento	59
3.2. Análise e Apreciação de Projectos de Loteamentos	61
3.2.1. Descrição	61
3.3. Redes de Baixa Tensão e Iluminação Pública	63
3.3.1. Introdução	64
3.3.2. Projecto de remodelação de redes de BT e Iluminação Pública	64
3.3.2.1. Dimensionamento da Rede de Distribuição em Baixa Tensão	64
3.3.2.2. Dimensionamento da Rede de Iluminação Pública	69
3.4. Postos de Transformação	75
3.4.1. Descrição	76
4. Conclusão	78
5. Bibliografia	79
6. Anexos	80
6.1. Anexo I – Análise e Apreciação de Projectos de Loteamentos	81
6.2. Anexo II – Projectos de Linhas Aéreas de Média Tensão	82
6.3. Anexo III – Projectos de Redes de Distribuição em Baixa Tensão	83
6.4. Anexo IV – Projectos de Iluminação Pública	84

1.Introdução

Foi muito gratificante para mim poder realizar o meu estágio curricular na EDP – Distribuição, logo no departamento de projecto e construção, que abrange as áreas que gosto particularmente, onde tive a possibilidade de poder assimilar e aplicar grande parte dos conhecimentos adquiridos na faculdade.

Este estágio permitiu-me alargar os meus horizontes e testar as minhas limitações e dificuldades em aplicar a teoria adquirida aos casos reais que iam surgindo. Graças aos ensinamentos e experiências que me foram transmitidas pelos vários profissionais que comigo contactaram, foi-me possível aperceber de muitos pormenores importantes quer na elaboração de projectos, quer, simplesmente, na observação de redes.

Devo dizer que, para mim, este estágio foi mais do que um simples estágio curricular. Fiquei muito satisfeito e entusiasmado pelo facto de ter realizado projectos que serão implementados na realidade.

O objectivo primordial deste estágio foi o de adquirir experiência profissional na área de projecto e construção, nas suas diversas vertentes. Esse objectivo, foi atingido através do exercício de actividades semelhantes às desempenhadas pelos profissionais que gentilmente disponibilizaram a sua ajuda e saber na orientação do meu estágio. Por outro lado, é inquestionável que o contacto frequente com os responsáveis de estágio no seu local de trabalho, me trouxe a percepção daquilo que é, de facto, o dia-a-dia de trabalho de um Engenheiro Electrotécnico.

2. Projecto de Linhas Aéreas de Média Tensão

2.1. Introdução

Os projectos de Linhas Eléctricas de Média Tensão que realizei durante o meu período de estágio corresponderam à Linhas Eléctricas de 15 KV. Na grande maioria dos casos os condutores utilizados foram em alumínio-aço de 50 mm².

No período de elaboração destes projectos, e em quaisquer projectos de linhas eléctricas de transmissão de energia, é necessário analisar e satisfazer diferentes aspectos e condições sem os quais a viabilidade dos mesmos se tornaria impossível. Entre as várias questões a ter em conta passo a citar:

- Condições técnicas, nomeadamente, limites impostos pelos equipamentos, tais como esforços máximos a serem aplicados aos apoios e condutores, assim como, limites impostos para quedas de tensão, níveis de aquecimento, perdas de energia, rendimentos;
- Condições de segurança, especialmente relacionadas com afastamentos entre condutores, entre condutores e objectos próximos da linha, entre condutores e o solo, entre condutores e outras linhas. Essas distâncias não deverão ser inferiores as estipuladas no Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18/2/92);
- Condições económicas, procurando-se, face as possibilidades de concepção possíveis, minimizar os encargos financeiros inerentes à construção da linha de transmissão de energia eléctrica (matérias primas, mão de obra);
- Condições burocráticas relacionadas, de acordo com o traçado da linha eléctrica, com pedidos de autorização para colocação de apoios aos proprietários dos terrenos onde se prevê esta instalação, sendo que, estes serão indemnizadas e ressarcidos monetariamente por eventuais danos causados quando da instalação caso essa situação se verifique efectivamente.
- Condições ambientais, relativas à inserção da instalação no meio ambiente e sua preservação. Dependendo da fauna e flora existente no local de inserção da linha eléctrica esta estará sujeita ao cumprimento de um conjunto de disposições regulamentares que deverá respeitar. É exemplo disso o impedimento do corte de árvores de fruto e demais árvores protegidas tais com carvalho, sobreiros, entre outras;

- Condições associadas à escolha do traçado da linha eléctrica, relacionadas com questões de diversa natureza, nomeadamente:

- Questões ambientais;
- Questões técnicas;
- Questões relacionadas com a topografia do terreno;
- Questões burocráticas.

A concretização de um projecto de Linhas de Transmissão de Energia Eléctrica passa pela realização dos seguintes cálculos:

- Cálculo eléctrico:
 - Cálculo da intensidade de corrente de serviço;
 - Cálculo das quedas de tensão;
 - Cálculo das perdas de energia;
- Cálculo mecânico:
 - Dimensionamento dos apoios (cálculos dos esforços);
 - Determinação da tensão de montagem dos condutores;
 - Cálculos de flechas de regulação;
 - Cálculo da distância de afastamento entre condutores;
 - Dimensionamento de maciços.

Todos os cálculos efectuados e decisões tomadas no projecto deverão respeitar as condições anteriormente enunciadas, as disposições legais alusivas as Linhas Eléctricas de Alta Tensão, nomeadamente o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão e normas internas da entidade responsável pelo empreendimento, neste caso a EDP – Distribuição, por forma a elaborar-se um projecto rigoroso.

2.2. Equipamentos

A EDP – Distribuição possui um Departamento de Qualificação e Auditoria (APQA), responsável pela aprovação ou homologação de produtos/equipamentos, que estabelece quais os produtos e fornecedores qualificados para o fornecimento à EDP e ao mercado terceiro.

Portanto, todo o equipamento utilizado pela EDP é devidamente testado respeitando às disposições do Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.) e ainda normas e especificações internas.

Irei aqui fazer uma breve descrição de alguns dos equipamentos, empregados pela EDP, que constituem uma linha eléctrica de média tensão à 15 kV.

2.2.1. Condutores

Actualmente a maioria das linhas aéreas de média tensão à 15kV que são projectadas apresentam condutores nus multifilares em alumínio-aço escolhidos em detrimento dos condutores em cobre.

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

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

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

O recurso a condutores em alumínio-aço é mais vantajoso que o recurso a condutores em cobre, daí à preferência da EDP – Distribuição pelos condutores em alumínio-aço. Da comparação entre condutores em alumínio-aço e em cobre com a mesma resistência, logo com as mesmas perdas, verifica-se que os condutores em alumínio-aço apresentam:

- um maior diâmetro, o que permite reduzir o efeito de coroa;
- uma maior resistência mecânica e são mais leves o que permite reduzir as flechas, que desta forma possibilita reduzir a altura dos apoios a empregar, e aumentar os vãos reduzindo assim o número de apoios, isoladores e armações.

2.2.2. Apoios

Numa linha aérea um apoio não é constituído somente pelo poste mas também pela sua respectiva fundação e ainda pelos elementos que suportam os condutores (armação e isoladores).

Nas linhas de Média Tensão à 15 kV podem ser utilizados apoios de dois tipos construtivos:

- Betão armado;
- Metálicos.

Por parte da EDP – Distribuição existe uma preferência pelos apoios de betão, utilizados sempre que possível, uma vez que os apoios metálicos são, na generalidade, muito mais caros que os apoios de betão e ainda pelo facto do apoio metálico mais baixa homologado pela EDP possuir um altura fora do solo igual de 29,8m (F10CM/27) e uma base de grandes dimensões.

Os apoios metálicos são normalmente utilizados numa das seguintes situações:

- Quando não for possível transportar um poste de betão e/ou colocá-lo no seu local de implantação;
- Quando não for possível, para um poste de betão, suportar os esforços mecânicos que lhe seriam aplicados.

2.2.2.1. Classificação de apoios

De acordo com o disposto no artigo 4.º do R.S.L.E.A.T. os apoios de uma linha aérea podem ser classificados da seguinte forma:

- Apoios de alinhamento, que correspondem aos apoios situados num troço rectilíneo da linha;
- Apoios de ângulo, que correspondem aos apoios situados num ângulo da linha;
- Apoios de derivação em alinhamento/ângulo, que correspondem aos apoios em alinhamento/ângulo onde se estabelecem uma ou mais derivações;
- Apoios de reforço em alinhamento/ângulo, que correspondem aos apoios destinados a suportarem esforços longitudinais para reduzir as consequências resultantes da rotura de condutores;

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

2.2.2.2. Tipos de esforços

Os apoios de uma linha aérea sofrem solicitações de diversos tipos. Essas solicitações, esses esforços, classificam-se da seguinte forma:

- Esforços verticais, devido ao peso dos condutores e a possíveis depósitos de gelo ou neve sobre eles;
- Esforços transversais, que resultam quer da acção do vento sobre os apoios, quer das tracções dos condutores quando estes formam ângulo;
- Esforços longitudinais se os esforços mecânicos aplicados ao apoio pelos condutores dos dois vãos adjacentes são diferentes ou se o apoio só suporta condutores de um dos lados.

De acordo com o tipo de apoio estão associados diferentes tipos de esforços de entre os mencionados anteriormente.

2.2.2.3. Armações

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

Na EDP – Distribuição são utilizadas as seguintes armações normalizadas:

- Armação em esteira horizontal (HRFSC/HPT4);
- Armação em triângulo ângulo/alinhamento (TAN/TAL);
- Armação em galhardete ângulo/alinhamento (GAN/GAL);
- Armação em esteira vertical;
- Armação em pórtico.

A designação dos vários tipos de armações corresponde à disposição dos condutores na armação, isto é, a forma como estes são colocados.

As armações mais utilizadas correspondem as armações em triângulo e em esteira horizontal. A disposição dos condutores em esteira horizontal é normalmente

utilizada em derivações e finais de linha enquanto que para o percurso normal utiliza-se normalmente a disposição em triângulo para não causar problemas de afastamento de condutores que poderia acontecer utilizando a disposição em galhardete.

Todavia, caso se verifiquem problemas no afastamento entre condutores será sempre possível baixar a travessa da armação em triângulo.

2.2.2.4. Isoladores / Tipos de amarrações

Nas linhas aéreas de 15kV poderão ser utilizados isoladores rígidos ou isoladores em cadeia.

Os isoladores rígidos são constituídos por vários isoladores de campânula de porcelana ou vidro, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe. Os isoladores rígidos são fixos rigidamente a armação do apoio, garantindo por si só as condições de isolamento do condutor.

São normalmente utilizados em apoios de alinhamento cujos comprimentos dos vãos adjacentes não sejam muito grandes nem a diferença entre eles seja muito significativa.

Os isoladores em cadeias são fixos articuladamente a armação do apoio, garantindo por si só, ou associado a outros idênticos, em forma de cadeia, as condições de isolamento do condutor.

Os isoladores em cadeia, tal como os isoladores rígidos, são constituídos por vários isoladores de campânula de porcelana, vidro ou resina artificial, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe podendo constituir cadeias de amarração ou cadeias de suspensão.

As cadeias de suspensão correspondem a cadeias verticais ou em V onde os condutores das linhas se encontram suspensos tal como se pode ver na figura ao lado.

As cadeias de amarração correspondem a cadeias horizontais usadas normalmente em apoios de ângulo, apoios fim de linha e apoios onde a utilização de isoladores rígidos não seja possível.

As cadeias de amarração poderão ser ascendentes ou descendentes conforme a colocação das linhas.

As cadeias poderão ainda ser simples (AS), constituídas, nas linhas aéreas de 15kV, por apenas dois isoladores, simples reforçadas (ASR), constituídas por três isoladores ou com hastes (ASH) por forma a poder quebrar os isolamento. As cadeias de amarração mais utilizadas pela EDP – Distribuição são as cadeias de amarração reforçadas e as cadeias de amarração simples com hastes colocadas normalmente de três em três apoios.

2.2.2.5. Fundações

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

Mais a frente neste relatório serão mencionadas as hipóteses de cálculo utilizadas para o dimensionamento dos maciços de fundação, hipóteses essas referentes ao método de Sulzberger.

Na EDP – Distribuição esse dimensionamento não é normalmente realizado pois o fabricante dos apoios apresenta a partida, para cada tipo de apoio, as dimensões das fundações.

2.3. Cálculo Eléctrico

O cálculo eléctrico tem como objectivo a determinação da tensão nominal de uma linha de transmissão de energia eléctrica e da secção transversal dos condutores que a constituem de forma a assegurar que não sejam excedidas as limitações técnicas impostas pelos condutores, nomeadamente as intensidades de corrente máximas admissíveis, as intensidades de corrente de curto-circuito máximas admissíveis, quedas de tensão, perdas de energia e também a resistência mecânica.

Na EDP – Distribuição esta tarefa é realizada pelo departamento de planeamento de rede da empresa e não pelo departamento de projecto e construção da EDP – Distribuição onde realizei o meu estágio curricular.

Para linhas eléctrica com comprimentos não muito grandes, como é o caso da maioria das linhas MT por mim projectadas uma vez que estas correspondiam a ramais para a alimentação de novos Postos de Transformação, poder-se-á afirmar com

alguma convicção que as quedas de tensão e perdas de energia nessas linhas são praticamente insignificantes, como se poderá comprovar mais a frente neste relatório.

No cálculo eléctrico efectuado consideraram-se as admitâncias lineares dos condutores desprezáveis em virtude do pequeno comprimento das linhas e da tensão nominal das mesmas, 15 kV. Considera-se também que a tensão no início da linha é igual à sua tensão nominal.

Há também um aspecto que não foi focado neste relatório nomeadamente o cálculo da secção mais económica contudo poderá salientar-se que o respectivo cálculo poderá ser realizado por aplicação da Lei de Kelvin, para linhas curtas, e por aplicação do método de Frey para linhas longas.

2.3.1. Determinação da intensidade/densidade de corrente

A expressão abaixo determina o valor da intensidade de corrente de serviço (I_S) que circula nos condutores das linhas de transmissão de energia eléctrica:

$$I_S = \frac{P}{\sqrt{3} \times (U_C \pm 5\%) \times \cos\phi} \text{ (A)}, \cos\phi = 0.9$$

onde:

P - Potência (VA);

U_C - Tensão composta (V);

$\cos\phi$ - Factor de potência.

Assume-se um factor de potência igual à 0.9 uma vez que as linhas de M.T. alimentam na sua maioria instalações tipicamente domésticas.

Em anexo encontra-se encontra-se os gráficos que indicam a intensidade da corrente máxima admissível, em regime permanente, para uma linha em alumínio – aço, em função da temperatura ambiente e considerando a temperatura máxima do condutor. Os gráficos foram elaborados com base nas fórmulas de Kwipers e Brown.

A densidade de corrente (d) é determinada a partir da seguinte expressão:

$$d = \frac{I_s}{S} \text{ (A / mm}^2\text{)}$$

onde:

I_s – Intensidade de corrente de serviço (A);

S – Secção do condutor (mm²);

$\cos\phi$ – Factor de potência.

2.3.2. Determinação das perdas de energia

As perdas de energia calculadas representam perdas por dissipação térmica que se verificam nas linhas. Para isso é necessário determinar a resistência linear do condutor utilizado. A resistência, por unidade de comprimento, é fruto do quociente da resistividade e da secção dos condutores que constituem as linhas.

$$R = \frac{\rho}{S} \text{ (}\Omega\text{/km)}$$

Ora o valor da resistividade linear, expressa em $\Omega\text{/km}$, é conhecido, de acordo com a natureza do condutor, à uma temperatura igual à 20°C. Caso a temperatura, no local onde se situa a linha, seja diferente desse valor será necessário efectuar uma correcção do valor da resistividade para essa mesma temperatura.

A resistividade linear é dada pela expressão:

$$\rho = \rho_{20^\circ\text{C}} [1 + \alpha_{20^\circ\text{C}} (\theta_{\text{local}} - 20)]$$

onde:

ρ - Resistividade do condutor

$\rho_{20^\circ\text{C}}$ - Resistividade do condutor a 20°C

$\alpha_{20^\circ\text{C}}$ - Coeficiente de termoresistividade (1/°C)

θ_{local} - Temperatura local (°C)

O valor do coeficiente de termoresistividade depende do tipo de material utilizado exemplo disso são o cobre e o alumínio que apresentam os seguintes valores:

$$\alpha_{20^\circ\text{C}} \text{ (cobre)} = 0.00393/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{20^{\circ}\text{C}} (\text{alumínio}) = 0.00403/^{\circ}\text{C}$$

Assim sabendo o valor da resistência linear do condutor e a corrente de serviço é possível determinar as perdas de energia:

$$P = 3 \times R \times I_s \text{ (W)}$$

onde:

$R \text{ (}\Omega\text{)} = \text{Resistência linear (}\Omega/\text{km)} \times L \text{ (km)}$;

I_s – Intensidade de corrente de serviço (A).

2.3.3. Determinação da intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível

No cálculo dessas intensidades de corrente admite-se por um lado, que os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras e por outro que a duração do curto-circuito é baixa.

A consideração destas hipóteses permite na expressão a seguir indicada se tome o valor eficaz da corrente permanente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito. Esta simplificação é inteiramente admissível tratando-se de curto-circuitos em linhas de distribuição de tensão igual a 15 kV equipadas com condutores de secções não muito elevadas.

A expressão que permite determinar a intensidade da corrente de curto – circuito máxima admissível pressupõe que a duração do curto – circuito é suficientemente baixa para que o aquecimento dos condutores seja adiabático e que são desprezáveis as variações, com a temperatura, do calor específico e da massa do material do condutor.

Essa expressão é a seguinte:

$$I_{max} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} \cdot \frac{S}{\sqrt{t}} \text{ (kA)}$$

em que:

$I_{m\acute{a}x}$ - Valor eficaz máximo admissível da corrente permanente de curto – circuito (kA);

S - Secção condutora, que nos cabos de alumínio – aço corresponde à secção do alumínio (mm²);

t - Duração do curto – circuito (seg.);

k_1 – Constante do material condutor (mm²/kA.s^{1/2});

k_2 – Coeficiente de temperatura.

Os valores de K_1 encontram-se na tabela seguinte:

Material do condutor	K_1 (mm ² /kA)
Cobre	4.419
Alumínio – aço	6.902
Ligas de alumínio	6.902

Adoptando a temperatura inicial do condutor em 50C e para a temperatura final as temperaturas indicadas abaixo calcularam-se os valores para a constante k_2 :

Material do condutor	Temperatura final (C)	K_2
Cobre	170	1.685
Alumínio – aço	160	1.732
Ligas de alumínio	160	1.809

2.3.4. Determinação das quedas de tensão

O cáculo da queda de tensão nos condutores da linha é determinado através da seguinte expressão:

$$\Delta U = U_I - U_O = \sqrt{3} \times I_x (R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) \text{ (V)}$$

onde:

R – Resistência do condutor (Ω);

X – Reactância do condutor (Ω);

$\cos \varphi = 0.9$;

$\sin \varphi = \sin(\arccos(0.9))$;

em que a reactância do condutor é dada por:

$$X = 2\pi \times f \times L \text{ (H)}$$

onde:

f – Frequência da rede (Hz);
L – Indutância do condutor (km).

Antes de mais é necessário determinar o valor da indutância e para isso é inevitável saber qual o tipo de armação que está a ser utilizado em cada um dos apoios extremos da linha, pois, de acordo com o tipo de armação os condutores poderão apresentar entre si diferentes afastamentos. Mais a frente neste relatório irei enunciar diversos tipos de armações utilizadas pela EDP – Distribuição.

A expressão utilizada para o cálculo da indutância em linhas eléctricas trifásicas é dada por:

$$L = \left[0.5 + 2 \ln \left(\frac{D}{r} \right) \right] \times 10^{-4} \text{ (H/km)}$$

onde:

D – Distância entre condutores (km);
r – Raio do condutor (km).

Esta expressão representa a indutância interna e externa em cada um dos condutores das linhas pois a indutância está associada ao fluxo magnético dentro e à volta dos condutores.

Para o cálculo da indutância deverá escolher-se a maior distância compreendida entre condutores, o que corresponde há um maior valor de indutância e por sua vez há uma maior queda de tensão.

2.4. Cálculo Mecânico

O cálculo mecânico é essencial nas linhas aéreas de transmissão de energia eléctrica de forma a serem asseguradas as condições de segurança bem como as condições de estabilidade da linha. O cálculo mecânico têm por objectivos essenciais:

- A determinação das tensões de montagem a aplicar aos condutores de acordo com as condições atmosféricas que se verifiquem na altura da sua colocação por forma a assegurar que a ruptura dos condutores não se verifique independentemente das condições atmosféricas que vierem a verificar-se;

- Dimensionamento dos apoios no que consiste a verificação da estabilidade dos mesmos através da determinação da sua resistência mecânica com base nas hipóteses de cálculo, associadas a cada tipo de apoio, patentes nas recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30kV da Direcção Geral de Energia bem como a verificação da estabilidade dos maciços de fundação;

- Escolher convenientemente a altura dos postes de modo a que os condutores venham a verificar as distâncias mínimas impostas pelo Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.) por forma a evitar-se uma aproximação exagerada dos condutores à objectos próximos da linha.

- Verificar o afastamento entre condutores de forma a serem cumpridas as distâncias regulamentares em vigor, de acordo com o disposto no R.S.L.E.A.T., de modo a evitar-se eventuais arcos que possam formar-se quando da passagem de uma eventual descarga para assim garantir o devido isolamento entre condutores.

2.4.1. Traçado da Linha

Sendo dados os pontos que correspondem à extremidade emissão e recepção da linha a projectar, podem considerar-se traçados muito variados. O traçado ideal seria o correspondente a um segmento de recta, no entanto, na maior parte das vezes, surgem razões que obrigam a abandonar essa hipótese.

A escolha de um traçado viável, sem ter um comprimento exagerado da linha, implica o recurso a cartas da região que forneçam informação adequada sobre diversos aspectos, tais como:

- relevo
- vias de comunicação existentes
- cursos de água
- florestas ou plantações
- aglomerados habitacionais;

Após a escolha do traçado inicial, é necessário obter informação complementar sobre pormenores que normalmente não são visíveis nas cartas, tais como:

- linhas e cabos telefónicos

- linhas de transporte ou distribuição de energia já existentes
- construções recentes que ainda não estejam indicadas nas cartas;

Estas informações complementares permitem realizar as correcções necessárias ao traçado inicial e, a partir, daí será possível iniciar os contactos com todas as entidades públicas e privadas envolvidas nos estudos para prosseguimento do projecto.

Tal como imposto no Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (aplicável aos 15KV), os traçados escolhidos devem ter em atenção vários factores. Da observação dos projectos que estudei e elaborei no estágio, um factor adquire especial importância pela frequência com que surge: refiro-me às travessias de zonas povoadas. Portanto, há que ter precauções acrescidas quando se tem travessias sobre edifícios, estradas, vias férreas, edifícios com valor histórico, sendo por vezes necessário reforçar as condições mecânicas de forma a garantir a segurança de pessoas e bens.

2.4.2. Estados atmosféricos tipo, coeficiente de sobrecarga

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

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

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

- Estado de inverno, estado atmosférico caracterizado pela menor temperatura previsível para a região onde a linha se vai implantar, pela possibilidade da existência de manga de gelo e pela existência de vento reduzido.

- Estado de primavera também designado estado de vento máximo, estado atmosférico caracterizado pela temperatura média previsível para a região onde a linha se vai implantar, pela existência de vento muito intensos e ausência de manga de gelo.

- Estado de verão também designado estado de flecha máxima, estado atmosférico caracterizado pela temperatura máxima previsível para a região onde a linha se vai implantar, pela ausência de vento e mangas de gelo nos condutores.

2.4.2.1. Acção dos agentes atmosféricos sobre linhas aéreas

Tal como se referiu anteriormente os agentes atmosféricos nomeadamente o vento, a temperatura e o gelo exercem nos condutores e componentes da linha acções diferentes de acordo com as características das regiões e as estações do ano.

No cálculo das linhas aéreas, o vento deverá considerar-se, de acordo com o R.S.L.E.A.T. actuando numa direcção horizontal e a força proveniente da sua acção considerar-se-á paralela àquela direcção e será determinada pela expressão:

$$F = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s$$

em que:

F , em newtons (N), é a forma proveniente da acção do vento;

α , é o coeficiente de redução que é igual à 0,6 nos condutores de cabos de guarda e à 1 nos apoios travessas e nos isoladores;

c , é o coeficiente de forma que varia nos condutores de cabos de guarda e nos apoios travessas e nos isoladores;

q , em (Pa), é a pressão dinâmica do vento;

s , em metros quadrados, é a área da superfície batida pelo vento.

Quanto à temperatura o R.S.L.E.A.T.indica os seguintes valores:

- estado de inverno: -5°C sem manga de gelo
-10°C com manga de gelo
- estado de primavera: +15°C
- estado de verão: +50°C para linhas de 2ª classe (até 40 kV)

Relativamente a manga de gelo uma vez que as linhas por mim projectadas não se encontravam em zonas de gelo esta não foi considerada. Se estas zonas o fossem então deveria-se considerar mangas de gelo com espessuras de 10mm e densidade igual a 0.9.

2.4.2.2. Coeficiente de sobrecarga

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

O coeficiente de sobrecarga confere ao peso próprio do condutor um agravamento que traduz a acção do vento e do gelo como se as respectivas acções se resumissem a um aumento de peso próprio dos condutores.

O coeficiente de sobrecarga é então determinado pela expressão:

$$m = \frac{\sqrt{\left\{ w_v \cdot \sigma + w_g \cdot \frac{\pi}{4} \left[(d + 2e)^2 - d^2 \right] \right\}^2 + F^2}}{w_v \cdot \sigma}$$

em que

σ - secção do condutor

d - diâmetro do condutor

e - espessura da manga de gelo

w_v - peso específico volumétrico do condutor (kg.mm⁻²)

w_g - peso específico volumétrico do gelo (kg.mm⁻²)

2.4.3. Determinação da tensão de montagem

A determinação da tensão de montagem a aplicar aos condutores de um dado vão faz-se por aplicação da equação de estados relacionando o estado de montagem com o estado atmosférico mais desfavorável.

A equação dos estados corresponde a seguinte equação:

$$\theta_1 + \frac{t_1}{\alpha \cdot E} - \frac{m_1 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_1^2} = \theta_2 + \frac{t_2}{\alpha \cdot E} - \frac{m_2 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_2^2}$$

em que:

θ_1, θ_2 - Temperatura no estado atmosférico 1 e 2 respectivamente (°C);

t_1, t_2 - Tensão de montagem aplicada aos condutores no estado atmosférico 1 e 2 respectivamente (daN.mm⁻²);

E - Módulo de elasticidade ou módulo de Young (kg.mm⁻²);

ω - Peso específico linear (kg.m⁻¹);

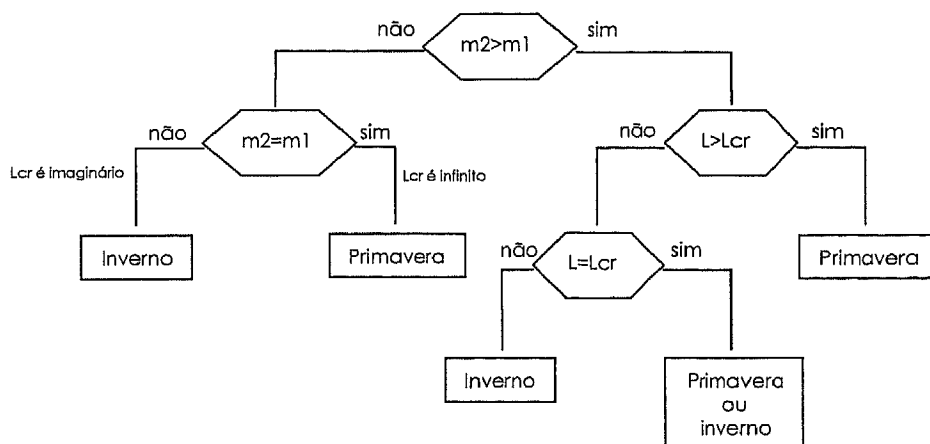
α - Coeficiente de dilatação térmica (°C⁻¹);

σ - Secção dos condutores (mm²);

L - Comprimento do vão (m);

m_1, m_2 – Coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos 1 e 2 respectivamente.

Para o cálculo da tensão de montagem será então necessário determinar o estado atmosférico mais desfavorável. Isto é feito a partir da seguinte árvore de decisão.



onde:

m_1, m_2 – Correspondem respectivamente aos coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos de inverno e de primavera;

L_{cr} – Vão crítico

O vão crítico é o vão, relativo a uma dada tensão máxima, para o qual os condutores ficam sujeitos a essa tensão em ambos os estados, o de inverno e o de primavera, e determina-se pela seguinte expressão:

$$L_{cr} = \frac{\sigma \cdot t_{max}}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}}$$

onde:

θ_1, θ_2 - Temperatura no estado atmosférico de inverno e de primavera respectivamente (°C);

σ – Secção dos condutores (mm²);

α – Coeficiente de dilatação térmica (°C⁻¹);

m_1, m_2 – Correspondem respectivamente aos coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos de inverno e de primavera;

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

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

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

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

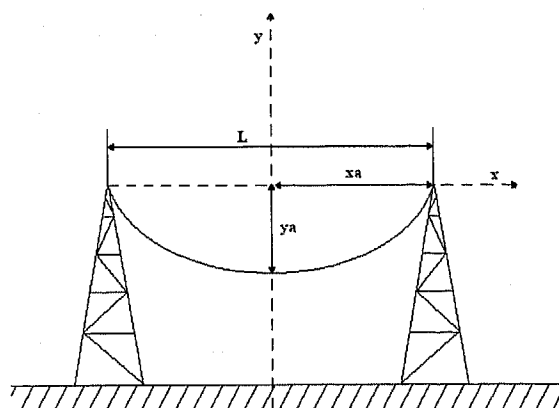
2.4.4. Geometria das linhas

A melhor aproximação da curva que os condutores de uma linha eléctrica fazem entre dois apoios adjacentes é a catenária. Embora essa curva seja apenas uma aproximação, aproximação essa por excesso, é a que melhor traduz as curvas dos condutores.

Contudo, dada a morosidade dos cálculos a efectuar, é possível aproximar a catenária por uma aproximação parabólica.

Embora essa aproximação conduza a valores de flechas dos condutores aproximados por defeito, o erro cometido é praticamente insignificante na medida em que as linhas por mim projectadas não apresentaram vãos com comprimentos superiores à 300m.

De acordo com a topologia do terreno os vãos poderão ser classificados como vãos em declive ou vãos em patamares.



Vãos em patamar

Na figura ao lado está representado um vão em patamar. As equações que traduzem a aproximação parabólica dos vãos em patamar são as seguintes:

$$- y_a = \frac{x_a^2}{2.a}$$

$$- x_a = \frac{L}{2}$$

Nas expressões acima "a" corresponde ao parâmetro da

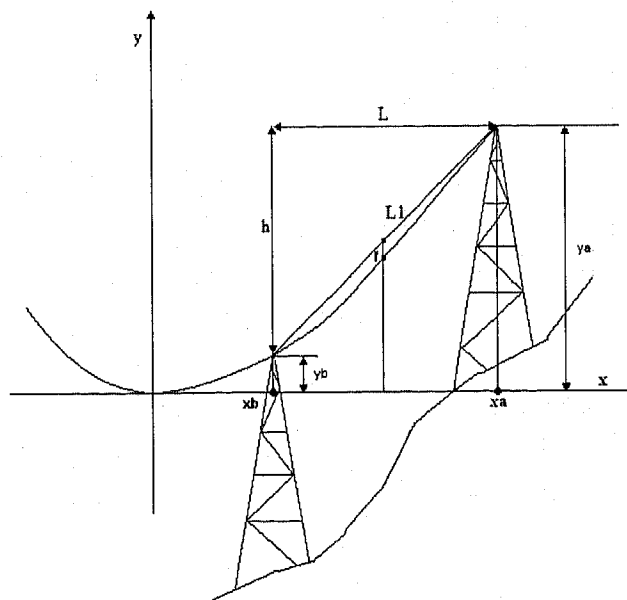
catenária e é definido pelo quociente entre a tensão mecânica de montagem com o produto do coeficiente de sobrecarga do estado de montagem com o peso específico volumétrico do condutor.

Na figura ao lado está representado um vão em declive. As equações que traduzem a aproximação parabólica dos vãos em declive são as seguintes:

$$- y_a = \frac{x_a^2}{2.a}$$

$$- x_a = \frac{a.h}{L} + \frac{L}{2}$$

$$- x_b = \frac{a.h}{L} - \frac{L}{2}$$



Vãos em declive

2.4.4.1. Determinação das flechas dos condutores

O cálculo das flechas dos condutores na aproximação parabólica é diferente caso estejamos a falar de vãos em patamares ou vãos em declive.

A flecha dos condutores é determinada a meio para um temperatura ambiente igual à 50°C.

Nos vãos em patamares a flecha dos condutores é determinada a partir da expressão:

$$flecha = \frac{L^2 \cdot w_v}{8 \cdot t_m}$$

sendo

L – O seu significado está patente na figura correspondente;

w_v – Peso específico volumétrico (kg.mm⁻²);

t_m – Tensão mecânica no estado de flecha máxima;

Nos vãos em declive a flecha dos condutores é determinada a partir da expressão:

$$flecha = \frac{L \cdot L_1 \cdot w_v}{8 \cdot t_m}$$

sendo

L, L₁ – Os seus significados estão patentes na figura correspondente;

w_v – Peso específico volumétrico (kg.mm⁻²);

t_m – Tensão mecânica no estado de flecha máxima;

A EDP – Distribuição, de acordo com as Recomendações para as Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV, utiliza para o cálculo das flechas de regulação a expressão dos vãos em patamar independentemente da sua classificação.

A regulação dos vãos é realizada de cantão em cantão, isto é, na porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações. A expressão que permite determinar o vão equivalente é a seguinte:

$$vão \text{ equivalente} = \sqrt{\frac{L_1^3 + L_2^3}{L_1 + L_2}}$$

2.4.5. Estabilidade de apoios

A verificação da estabilidade dos apoios de uma linha aérea consiste em calcular as solicitações mecânicas que lhe são impostas, para depois escolher o tipo

de apoio que melhor se adequa. As solicitações que são aplicadas podem ser de diversos tipos:

- Sobrecarga de vento sobre o apoio, travessas, isoladores e condutores e cabos de guarda;
- Tracções mecânicas exercidas pelos condutores das linhas principais e derivadas;
- Peso do próprio apoio, das travessas, isoladores, dos condutores das linhas principais e derivadas.

O R.S.L.E.A.T. e as Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV estabelecem, para cada tipo apoio e consoante as características dos vãos adjacentes, um conjunto de hipóteses de cálculo que permitem determinar os esforços transversais, longitudinais e verticais aplicados aos apoios de uma linha eléctrica.

Nessas hipóteses de cálculo estão patentes fórmulas à utilizar para a determinação dos esforços bem como condições de cálculo e observações particulares a cada cálculo.

Para essas hipóteses de cálculo consideram-se, segundo o regulamento, os seguintes pressupostos:

- Linhas com três condutores e sem cabos de guarda;
- Esforços considerados a 25 cm do topo;
- Esforços do vento sobre isoladores e armações desprezáveis;
- Pesos de isoladores e armações.

Conforme o R.S.L.E.A.T. nomeadamente nos artigos 56.º à 62.º, são consideradas, de acordo com a função do apoio, duas hipóteses de cálculo que diferem conforme a direcção do vento à insidir na linha. Nas Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV, nomeadamente no quadro 9.1. ao quadro 9.13. estão indicadas as fórmulas a empregar em cada tipo de apoio.

Apesar dos pressupostos considerados acima à EDP – Distribuição não despreza os esforços do vento nos isoladores e armações arbitrando para tal um valor de 12 daN, 3 daN por condutor, aos esforços transversais considerados nas hipótese 1 de cálculo.

Abaixo estão enunciadas as hipóteses de cálculo e as fórmulas associadas a alguns tipos de apoio para a determinação da resistência mecânica dos mesmos.

Hipóteses de cálculo dos apoios de derivação

De acordo com o artigo 58.º do R.L.S.E.A.T.:

- 1- Os apoios de derivação deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, consideradas não simultaneamente:

Hipótese 1:

A sobrecarga de vento actuando, normalmente à direcção da linha principal se o apoio for de alinhamento ou segundo a direcção da bissectriz do ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;

Simultaneamente, a sobrecarga de vento actuando, com a direcção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas;

Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de +15°C, com vento actuando segundo a direcção atrás considerada;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas;

Hipótese 2:

A sobrecarga do vento actuando, na direcção da linha principal o apoio for de alinhamento ou segundo a normal à bissectriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;

Simultaneamente, a sobrecarga de vento actuando, com a direcção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas;

Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas

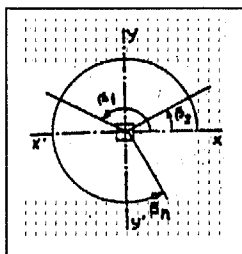
derivadas à temperatura de +15°C, com vento actuando segundo a direcção atrás considerada;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas;

Apoios de derivação (caso geral)

De acordo com as Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV, capítulo 9, quadro 9.12.

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha principal ou paralelo à bissetriz do ângulo da linha principal):



- Esforço no sentido normal à linha principal ou no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal (eixo yy)

$$F_y = 3 \cdot \left| \sum_{i=1}^n W_i \cdot \cos^2(\beta_i) \cdot S_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin(\beta_i) \right|$$

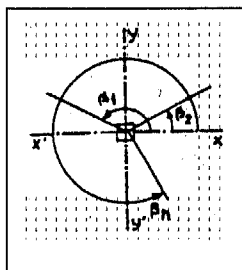
- Esforço no sentido da linha principal ou no sentido normal à bissetriz do ângulo da linha principal (eixo xx)

$$F_x = 3 \cdot \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos(\beta_i) \right|$$

- Esforço vertical (eixo zz)

$$F_z = 3 \cdot \sum_{i=1}^n W_i' \cdot S_i$$

Hipótese 2 (vento paralelo à linha principal ou perpendicular à bissetriz do ângulo da linha principal):



- Esforço no sentido normal à linha principal ou no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal (eixo yy)

$$F_y = 3 \cdot \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin(\beta_i) \right|$$

- Esforço no sentido da linha principal ou no sentido normal à bissectriz do ângulo da linha principal (eixo xx)

$$F_x = 3 \cdot \left[\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin^2(\beta_i) \cdot S_i + \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos(\beta_i) \right| \right]$$

- Esforço vertical (eixo zz)

$$F_z = 3 \cdot \sum_{i=1}^n W_i' \cdot S_i$$

Hipóteses de cálculo dos apoios de ângulo

De acordo com o artigo 57.º do R.L.S.E.A.T.:

- 1 - Os apoios de ângulo deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, consideradas não simultaneamente:

Hipótese 1:

A sobrecarga de vento actuando, segundo a direcção da bissectriz do ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;

Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda à temperatura de +15°C, com vento actuando segundo a direcção da bissectriz do ângulo;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda;

Hipótese 2:

A força horizontal, de valor igual a um quinto do da resultante das forças provenientes da acção do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo sobre os condutores e cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio, actuando no eixo do apoio, na direcção normal à bissectriz do ângulo, à altura daquela resultante;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda;

Hipóteses de cálculo dos apoios de ângulo

De acordo com o artigo 56.º do R.L.S.E.A.T.:

- 2 - Os apoios de alinhamento deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, consideradas não simultaneamente:

Hipótese 1:

A sobrecarga de vento actuando, normal à direcção da linha, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;

Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções dos condutores e dos cabos de guarda à temperatura de +15°C, com vento actuando segundo a direcção da bissectriz do ângulo;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda;

Hipótese 2:

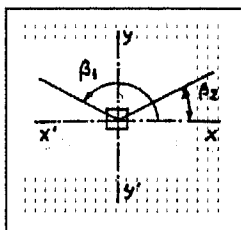
A força horizontal, de valor igual a um quinto do da resultante das forças provenientes da acção do vento normal à direcção da linha sobre os condutores e cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio, actuando no eixo do apoio, na direcção normal à bissectriz do ângulo, à altura daquela resultante;

Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda;

Apoios de ângulo e alinhamento (caso geral)

De acordo com as Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV, capítulo 9, quadro 9.10.

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha principal ou paralelo à bissetriz do ângulo):



- Esforço no sentido normal à linha ou no sentido da bissetriz do ângulo (eixo yy)

$$F_y = 3 \cdot \left| \sum_{i=1}^2 W_i \cdot \cos^2(\beta_i) \cdot S_i + \left| \sum_{i=1}^2 T_i \cdot \sin(\beta_i) \right| \right|$$

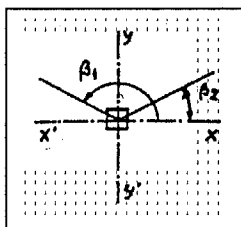
- Esforço no sentido da linha ou no sentido normal à bissetriz do ângulo (eixo xx)

$$F_x = 3 \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_i \cdot \cos(\beta_i) \right|$$

- Esforço vertical (eixo zz)

$$F_z = 3 \cdot \sum_{i=1}^2 W'_i \cdot S_i$$

Hipótese 2 (sem vento):



- Esforço no sentido da linha ou no sentido normal à bissetriz do ângulo (eixo xx)

$$F_x = \frac{1}{5} \cdot 3 \cdot \sum_{i=1}^2 W_i \cdot \cos^2(\beta_i) \cdot S_i$$

- Esforço vertical (eixo zz)

$$F_z = 3 \cdot \sum_{i=1}^2 W'_i \cdot S_i$$

2.4.6. Distâncias regulamentares entre condutores das linhas e obstáculos

O R.S.L.E.A.T. define, de acordo com o obstáculo, quais as distâncias mínimas que os condutores das linhas eléctricas deverão manter destes mesmos obstáculos.

Abaixo enuncio, na parte aplicável as linhas eléctricas de Média Tensão à 15 kV, alguns artigos onde estão patentes as distâncias regulamentares a manter.

Esses artigos referem-se constituem as principais distâncias a ter em conta na realização de um projecto de uma linha eléctrica.

- Distância dos condutores ao solo (Art.º 27)

1 - Deverá observar-se entre condutores nus das linhas e o solo, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, uma distância D , em metros, arredondada ao decímetro, não inferior à dada pela expressão

$$D = 6.0 + 0.005 \cdot U$$

em que U , em kV, é a tensão nominal da linha.

3 - Em locais de difícil acesso essa distância poderá ser reduzida de 1 m.

Na EDP – Distribuição é assumida uma distância mínima ao solo de 7 m.

- Distância dos condutores às árvores (Art.º 28)

1 - Entre os condutores nus das linhas, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, e as árvores deverá observar-se uma distância D , em metros, arredondada ao decímetro, não inferior à dada pela expressão

$$D = 2.0 + 0.0075 \cdot U$$

em que U , em Kilovolts, é a tensão nominal da linha.

O valor de D não deverá ser inferior a 2.5m.

Na EDP – Distribuição é assumida uma distância mínima ao solo de 3 m.

- Distância dos condutores aos edifícios (Art.º 29)

1 – Na proximidade de edifícios, com excepção dos exclusivamente adstritos ao serviço de exploração de instalações eléctricas, as linhas serão estabelecidas por forma a observar-se, nas condições de flecha máxima, o seguinte

a) Em relação às coberturas, chaminés e todas as partes salientes susceptíveis de serem normalmente escaladas por pessoas, os condutores nus deverão

ficar, desviados ou não pelo vento, a uma distância D , em metros, arredondada ao decímetro, não inferior à dada pela expressão

$$D = 3.0 + 0.0075 \cdot U$$

em que U , em Kilovolts, é a tensão nominal da linha.

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

- Distância entre duas linhas (Art.º 109)

1 – Nos cruzamentos de linhas de alta tensão em condutores nus com outras linhas de alta ou de baixa tensão, também em condutores nus, nas condições de flechas mais desfavoráveis, deverá manter-se uma distância D , em metros, arredondada ao decímetro, não inferior à dada pela expressão

$$D = 1.5 + 0.01 \cdot U + 0.005 \cdot L$$

em que:

U , em kilovolts, é a tensão nominal da linha de maior tensão;

L , em metros, é a distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha superior.

O valor de D não deverá ser inferior a 2m.

- Distância dos condutores às linhas de telecomunicações (Art.º 113º)

Nos cruzamentos de linhas de alta tensão com linhas de telecomunicação, a distância mínima entre as duas linhas deverá obedecer ao disposto no nº 1 e 2 ou 3 do artigo 109.º, conforme se trate de linhas de alta tensão em condutores nus ou em cabos isolados.

2.4.7. Afastamento entre condutores

Atendendo as oscilações provocadas pelo vento os condutores de uma linha elétrica deverão apresentar uma distância entre si igual ou superior às distâncias mínimas regulamentares a fim de evitar-se eventuais arcos que possam formar-se

quando da passagem de uma eventual descarga para assim garantir o devido isolamento entre condutores.

Como fora mencionado anteriormente o afastamento de condutores aumenta com a tensão mecânica aplicada aos condutores da linha, sendo que, para uma tensão constante, o referido afastamento irá diminuir com o aumento do comprimento do vão.

De acordo com o disposto no artigo 31.º do R.L.S.E.A.T.:

1 – Os condutores nus serão 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 décímetro, inferior à dada pelas expressões:

$$a) D = 0.75 \cdot k \cdot \sqrt{f + d} + \frac{U}{200}, \text{ Para linhas de 2ª classe;}$$

$$b) D = k \cdot \sqrt{f + d} + \frac{U}{150}, \text{ Para linhas de 3ª classe;}$$

em que:

f , é a flecha máxima dos condutores (m);

d , é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha (m);

U , é a tensão nominal da linha (kV);

k é um coeficiente dependente da natureza dos condutores e cujo valor é:

0.6, para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço

0.7, para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

2.4.8. Dimensionamento de maciços

Conforme o referido inicialmente no ponto 2.2.2.5. deste relatório os maciços de fundação para cada apoio deverão ser dimensionados por forma a que sob o efeito das solicitações máximas a que for submetido não se verifique o derrubamento do apoio.

Quando do dimensionamento dos maciços a que ter em conta vários critérios nomeadamente:

- a natureza dos terrenos;
- a responsabilidade da linha;
- a função do apoio;
- os esforços envolvidos;
- a altura do apoio.

Os maciços têm a função de transmitir ao solo os esforços resultantes do seu peso próprio e das forças exteriores que lhe estão aplicadas (forças de tracção, forças devidas à acção do vento e peso, dos apoios e todos os outros componentes que lhe estão associados).

Estes diversos esforços conduzem a que os maciços podem ser solicitados à tracção, compressão, torção em torno de um eixo horizontal e mesmo à flexão.

O cálculo dos maciços de fundação realizados usando o método de Sulzberger deverão respeitar o disposto no art. 74.º do R.S.L.E.A.T. referente ao cálculo de fundações.

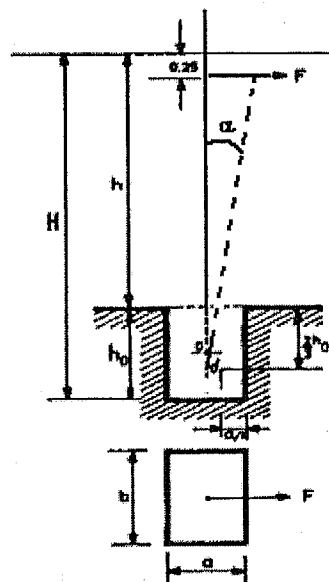
O método Sulzberger só é aplicável a maciços construídos sem cofragem e com enchimento total da cova aberta no solo e baseia-se nas seguintes hipóteses de cálculo:

Hipótese 1:

Admite-se que o terreno onde está encastrado o maciço de fundação se comporta elasticamente quando há pequenos deslocamentos do maciço, e que a reacção do terreno é proporcional ao produto dos deslocamentos do maciço pelos módulos de elasticidade correspondentes. Estes são dados pelo coeficiente de compressibilidade do terreno, que traduz o esforço necessário, em daN, para enterrar de 1 cm uma placa de 1 cm² de superfície, esforço que se exprime em daN/cm³;

Hipótese 2:

Admite-se, também, que para terrenos de natureza e composição uniforme, o coeficiente de compressibilidade é nulo à superfície do solo, aumentando de forma aproximadamente proporcional com a profundidade.



Nestas recomendações apenas se consideram maciços de betão com forma paralelepipedica, por serem os de uso mais generalizado nas fundações dos postes de betão armado.

A figura abaixo representa um poste de betão com uma altura H , uma altura útil h e uma profundidade de enterramento h_0 onde F representa a resultante de forças aplicadas ao apoio reduzida a 0,25m do seu topo.

Índice da figura:

- H , altura do poste de betão;
- h , altura útil do poste de betão;
- h_0 , profundidade de enterramento;
- F , resultante das forças aplicadas reduzida a 0,25m do topo do poste;
- a , dimensão do maciço, em planta, paralela à direcção da força F ;
- b , dimensão do maciço, em planta, normal àquela direcção;
- α , ângulo de rotação do maciço;
- o' , ponto situado a $2/3$ da profundidade de enterramento e a $1/4$ da largura do maciço medida do lado onde se exerce a força F .

O dimensionamento dos maciços passa pela determinação de vários momentos, nomeadamente, o momento derrubante da força F e o momento resistente da cova (paredes e fundo) onde o maciço é colocado que também chamado de momento estabilizante.

As expressões dos vários momentos apresentadas de seguida são aplicáveis apenas a apoios que verifiquem a relação $H/h_0 > 5$.

Essas expressões são portanto aplicáveis aos apoios de média tensão à 15 kV uma vez que todos eles possuem alturas iguais ou superiores à 14 m.

O momento derrubante da força F em relação a um eixo de rotação situado em O' , correspondente à situação de terrenos normais, é dado pela expressão seguinte:

$$M_d = F \cdot \left(h - 0.25 + \frac{2}{3} h_0 \right), [daN \cdot m]$$

Por sua vez o momento estabilizante tem duas componentes principais, uma das quais é devida ao encastramento do maciço no solo, e é dada por:

$$M_{e1} = \frac{b \cdot h_0^3}{36} \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha, [daN \cdot cm]$$

em que C_0 é o valor do coeficiente de compressibilidade do terreno à profundidade h_0 , dado por:

$$C_0 = \frac{C_{2m}}{2} \cdot h_0, [daN \cdot cm^{-3}]$$

sendo C_{2m} o valor do coeficiente de compressibilidade à profundidade de 2m.

A outra componente é devida à reacção do terreno no fundo da cova, provocada pelo peso do maciço de fundação, do apoio e dos condutores, e é dada por:

$$M_{e2} = P \cdot \left(\frac{a}{2} - 0.47 \cdot \sqrt{\frac{P}{b \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \right), [daN \cdot cm]$$

em que P é o peso total do apoio, do maciço e dos condutores.

O peso do maciço é calculado pela expressão:

$$2400 \cdot \left(a \cdot b \cdot h_0 - \frac{P_{pe}}{2500} \right), [daN]$$

em que P_{pe} é o peso da parte enterrada do poste e $2400 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-1}$ é o valor adoptado para o peso específico do betão.

Como a inclinação do apoio deixa de estar limitada a partir de $\text{tg } \alpha \leq 0.01$, deve adoptar-se um coeficiente de segurança de 1.5 sempre que momento derrubante ultrapassar o momento estabilizante. Deverá multiplicar-se o momento derrubante por 1.5 sempre que o momento estabilizante devido ao encastramento do maciço no solo for desprezável quando comparada com o momento estabilizante devido à reacção do terreno no fundo da cova.

A condição que permite verificar se um maciço é correctamente dimensionado é a seguinte:

- quando $M_{e1} < M_{e2}$:

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq S \left(\frac{M_{e1}}{M_{e2}} \right)$$

- quando $M_{e1} \geq M_{e2}$:

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq 1$$

2.4.9. Breves considerações sobre o software 'SIT'

O 'SIT' → Sistema de Informação Técnica, é um software que tem como principal função suportar a gestão da informação relativa ao cadastro físico das redes eléctricas de distribuição. Este sistema é baseado num Sistema de Informação Geográfica (através de cartografia digital), sobre o qual foi desenvolvido um modelo de dados da rede e implementado um conjunto de funcionalidades.

Assim, este sistema permite que, cada elemento do sistema contenha informação espacial, geométrica, alfanumérica e topológica e é capaz de relacionar essa informação entre os vários elementos.

Este sistema permite visualizar a rede eléctrica do país e obter informação relativa aos equipamentos da rede, esquemas unifilares, características e topologias associadas.

2.5. Projectos efectuados

Neste ponto irei apresentar o projecto de uma das várias linhas aéreas de média tensão à 15 kV que projectei. Serão apresentados todos os cálculos realizados durante o projecto, bem como todas as observações efectuadas na sua realização.

O projecto desta linha realizada na EDP - Distribuição vai ao encontro de tudo o que foi mencionado anteriormente.

O projecto será dividido em três partes:

- Cálculo eléctrico;
- Cálculo mecânico;
- Dimensionamento de maciços.

Esta linha aérea têm por objectivo alimentar um novo posto de transformação aéreo.

2.5.1. Linha aérea à 15kV Figueiró (Stª. Cristina) - Espanha

O objectivo deste projecto será projectar uma linha aérea de Média Tensão em Alumínio-Aço (Al-Aço) de 50 mm² à derivar de uma linha principal também ela em Al-Aço de 50 mm², chamada "LN PT Figueiró (Stª. Cristina)- Chamusca nº 228/AMT". A linha irá derivar da linha principal no apoio número 5 classificado como um apoio de derivação em ângulo.

Deste mesmo apoio deriva ainda uma outra linha chamada "LN PT Figueiró (Stª. Cristina)-Canido nº 259/AMT" também ela em Al-Aço de 50 mm².

O projecto desta linha parte desde já com o conhecimento do tipo de condutor a utilizar, nomeadamente condutores em Al-Aço de 50 mm², definido anteriormente pelo departamento de planeamento de rede da EDP – Distribuição e pelo conhecimento do número e do local de implantação dos postes da linha, que constitui uma tarefa mais delicada sendo que envolve aspectos burocráticos, nomeadamente pedidos de autorização a efectuar aos proprietários dos terrenos onde se prevê a instalação dos apoios da linha.

Um dos primeiros objectivos será procurar efectuar a derivação sem ter de se substituir o apoio de derivação da linha já existente. Para tal será necessário saber quais as tensões máximas de montagem a aplicar aos vãos adjacentes de forma a

que o apoio possa suportar os esforços aplicados, e assim manter a sua estabilidade, e manter as distâncias de segurança definidas no R.S.L.E.A.T. tanto de objectos próximos da linha como edifícios, ao solo, árvores, linhas de telecomunicações ou outras linhas eléctricas como entre condutores.

Esta linha irá possuir, para além do apoio de derivação, mais cinco apoios sendo um deles um Posto de Transformação aéreo equipado com um transformador de 100 kVA.

Em anexo encontra-se a planta do projecto onde estão descritas os comprimentos dos vários vãos bem como os vários objectos existentes sob a linha e ainda os ângulos que os condutores fazem entre si.

Cálculo eléctrico

Dados da linha:

- Conductor Al-Aço 50 mm²
- S (Secção) = 49.48 mm²
- ρ (resistividade) = 0.028264 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- d (Diâmetro) = 9 mm
- P (Potência) = 100 kVA
- U_c (Tensão composta) = 15 kV
- $\cos\phi$ (Factor de potência) = 0.9

- Cálculo da intensidade de corrente

A intensidade de corrente de serviço nos condutores da linha:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times (U_c \pm 5\%) \times \cos\phi} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times (15 \times 10^3 \pm 5\%) \times 0.9} = 4.073 \text{ A}$$

De acordo com o indicado nas recomendações para linhas eléctricas de média tensão até 30kV a intensidade da corrente máxima admissível, em regime permanente à uma temperatura ambiente de 20°C, para uma linha em alumínio – aço

de 50 mm² e considerando uma temperatura máxima do condutor igual à 50°C, é de 178 A.

Logo, dado que a intensidade de corrente máxima admissível dos condutores é superior a intensidade de corrente de serviço, não se verificarão quaisquer problemas de aquecimento nos condutores nem o perigo destes se degradarem.

A densidade de corrente foi determinada pela expressão:

$$d = \frac{I_s}{S} = \frac{4.073}{49.48} = 0.0823 \text{ (A / mm}^2\text{)}$$

- Perdas de energia

As perdas de energia nomeadamente as perdas por dissipação térmica foram determinadas a partir das expressões:

Resistência óhmica por fase:

$$R_{(20^\circ\text{C})} = \frac{\rho}{S} = \frac{0.028264}{49.48} \times 721.83 = 0.4123 \text{ (}\Omega\text{/m)}$$

Perdas de energia por resistência óhmica:

$$P = 3 \times R_{(20^\circ\text{C})} \times I_s^2 = 3 \times 0.4123 \times 4.073^2 = 20.519 \text{ (W)}$$

$$\frac{20.519}{100 \times 10^3} \cdot 100 = 0.020519\%$$

Esta energia corresponde à 0.020519 % da potência total transportável.

Conclui-se que as perdas de energia verificadas são praticamente insignificantes relativamente a potência transportável.

- Intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível

A intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível, de acordo com o que fora referido no ponto 2.3.3., para um curto-circuito com uma duração de 0.5 seg. é igual à:

$$I_{max} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} \cdot \frac{S}{\sqrt{t}} = \frac{1}{6.902 \times 1.732} \cdot \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{0.5}} = 11.83 \text{ (kA)}$$

- Determinação das quedas de tensão

Sabendo que a queda de tensão depende da indutância e esta da distância entre condutores, será necessário determinar o afastamento entre os vários condutores da linha. Esta linha possui três tipos de armações cada uma delas com diferentes distâncias entre condutores.

Para o cálculo da indutância deverá escolher-se a maior distância compreendida entre condutores, o que corresponde há um maior valor de indutância e por sua vez há uma maior queda de tensão.

A maior distância entre condutores é de 1.69 m que se verifica nas armações em triângulo usadas nos apoios em ângulo.

Assumindo-se que os condutores estão afastados entre si de 1.69 m, a indutância calculada será igual à:

$$L = \left[0.5 + 2 \times \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \times 10^{-4} = \left[0.5 + 2 \times \ln\left(\frac{0.00169}{0.0000045}\right) \right] \times 10^{-4} = 0.001236 \text{ (H/km)}$$

$$L = 0.001236 \times 0.72183 = 0.000892 \text{ H}$$

onde:

D – Distância entre condutores (km);

r – Raio do condutor (km).

A queda de tensão nos condutores da linha será igual à:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_s \times (R_{(20^\circ\text{C})} \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) = \sqrt{3} \times 4.073 \times (0.4123 \times 0.9 + 2\pi \times 50 \times 0.000892 \times \sin(\arccos(0.9))) = 3.34795 \text{ (V)}$$

o que equivale à:

$$\Delta U = \frac{3.34795}{15750} \cdot 100 = 0.02209 \text{ \% da tensão de serviço.}$$

Tal como as perdas de energia as quedas de tensão são praticamente insignificantes.

Pode concluir-se, de acordo com as condições de cálculo adoptadas, que o cálculo eléctrico nas linhas de Média Tensão à 15 kV que não apresentem comprimentos muito significativos não é relevante no projecto da linha como se pode observar pelos resultados obtidos no cálculo eléctrico.

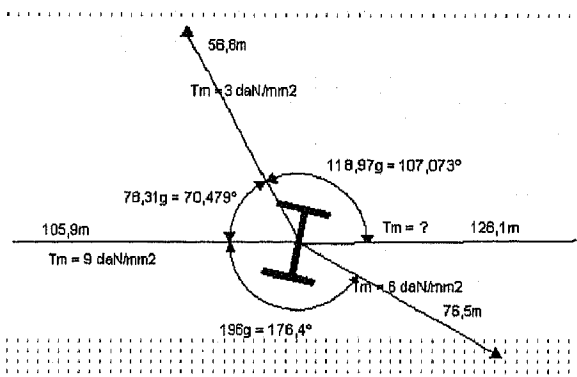
Cálculo mecânico

Agora irá determinar-se os esforços aplicados aos vários apoios que constituem a linha.

- Apoio de derivação

O apoio de derivação corresponde ao apoio número 5 da linha principal e é classificado como um apoio de derivação em ângulo. A linha principal, bem como a derivação existente e a nova linha são constituídas por condutores em Al-Aço de 50 mm².

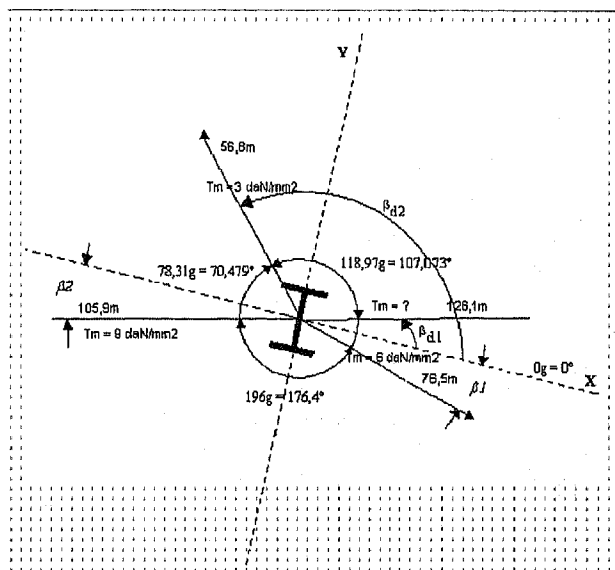
A linha principal chega ao apoio de derivação com uma tensão máxima de montagem de 9 daN/mm², a derivação existente sai do mesmo apoio com 3 daN/mm² e os condutores da linha principal que chegam ao PT da mesma linha possuem uma tensão máxima de montagem de 6 daN/mm² conforme o indicado na figura ao lado.



De acordo com as hipóteses de cálculo associadas a este tipo de apoio, já enunciadas neste relatório, estão abaixo indicados os cálculos efectuados no dimensionamento deste apoio.

O apoio está orientado segundo a bissetriz do ângulo da linha principal como se pode ver na figura abaixo.

Na EDP – Distribuição os ângulos são dados em graus, porém os cálculos são efectuados com os ângulos representados em graus.



Em primeiro lugar é necessário determinar os valores dos ângulos β_1 , β_2 , β_{d1} e β_{d2} .

$$\beta_1 = \left(400 - \frac{200 - 196}{2} \right) \cdot 0.9 = 358.2^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_1 - 176.4 = 181.8^\circ$$

$$\beta_{d1} = \left(400 - \left(118.97 + 78.31 + 196 + \left(\frac{200 - 196}{2} \right) \right) \right) \cdot 0.9 = 4.248^\circ$$

$$\beta_{d2} = \beta_{d1} + 107.073 = 111.321^\circ$$

Aqui a questão reside em saber qual a tensão mecânica a aplicar aos condutores da nova linha que deriva do apoio de derivação de forma a que, tendo em conta os esforços a ele aplicados, não seja necessário proceder à sua substituição. Há também necessidade de verificar se para a tensão mecânica considerada os condutores cumprem as distâncias mínimas regulamentares. A tensão que me permitiu atingir esse objectivo foi um tensão igual à 5 daN/mm².

Hipótese 1 (vento paralelo à bissectriz do ângulo da linha principal):

Cálculo de F_y

Os 12 daN patentes na fórmula abaixo dizem respeito aos esforços aplicados ao apoio e praticados pela acção do vento na armação e nos isoladores sendo esses repartidos pelos vários vãos.

$$F_y = \left[3 \cdot W_{s1} \cdot \cos^2(\beta_1) \cdot \frac{S_1}{2} + 12 + 3 \cdot W_{s2} \cdot \cos^2(\beta_2) \cdot \frac{S_2}{2} + 12 + 3 \cdot W_{d1} \cdot \cos^2(\beta_{d1}) \cdot \frac{S_{d1}}{2} + 12 + 3 \cdot W_{d2} \cdot \cos^2(\beta_{d2}) \cdot \frac{S_{d2}}{2} + 12 + 3 \cdot |T_{s1} \cdot \sin(\beta_1) + T_{s2} \cdot \sin(\beta_2) + T_{d1} \cdot \sin(\beta_{d1}) + T_{d2} \cdot \sin(\beta_{d2})| \right]$$

em que:

W_i – Esforço unitário devido ao vento (daN/m) é igual à:

$$W = (\alpha \cdot c \cdot q \cdot d) \cdot 0,981$$

$\alpha = 0,6$ para condutores e cabos de guarda

$c = 1,2$ para condutores com um diâmetro inferior a 12,5mm

$q = 750$ Pa = 75 kgf/m² correspondente ao 1º escalão (vento máximo)

$d = 9$ mm

$$F_y = \left[3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(358,2) \cdot \frac{76,5}{2} + 12 + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(181,8) \cdot \frac{105,9}{2} + 12 + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(4,248) \cdot \frac{126,1}{2} + 12 + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(111,321) \cdot \frac{56,8}{2} + 12 + 3 \cdot |49,48 \cdot 6 \cdot \sin(358,2) + 49,48 \cdot 9 \cdot \sin(181,8) + 49,48 \cdot 5 \cdot \sin(4,248) + 49,48 \cdot 3 \cdot \sin(111,321)| \right] = 673,25 \text{ daN}$$

Cálculo de F_x

$$F_x = [3 \cdot |T_{s1} \cdot \cos(\beta_1) + T_{s2} \cdot \cos(\beta_2) + T_{d1} \cdot \cos(\beta_{d1}) + T_{d2} \cdot \cos(\beta_{d2})|]$$

$$F_x = [3 \cdot |49,48 \cdot 6 \cdot \cos(358,2) + 49,48 \cdot 9 \cdot \cos(181,8) + 49,48 \cdot 5 \cdot \cos(4,248) + 49,48 \cdot 3 \cdot \cos(111,321)|] = 133,146 \text{ daN}$$

Cálculo de F_z

$$F_z = \left[3 \cdot W_{s1} \cdot \frac{S_1}{2} + 3 \cdot W_{s2} \cdot \frac{S_2}{2} + 3 \cdot W_{d1} \cdot \frac{S_{d1}}{2} + 3 \cdot W_{d2} \cdot \frac{S_{d2}}{2} \right]$$

em que:

W'_i – Peso específico linear do condutor (kg/m) é igual à 0.173 (kg/m).

$$F_z = \left[3 \cdot 0,173 \cdot \frac{76,5}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{105,9}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{126,1}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{56,8}{2} \right] = 94,7954 \text{ daN}$$

Hipótese 2 (vento perpendicular à bissetriz do ângulo da linha principal):

Cálculo de F_y

$$F_y = [3 \cdot |T_{s1} \cdot \sin(\beta_1) + T_{s2} \cdot \sin(\beta_2) + T_{d1} \cdot \sin(\beta_{d1}) + T_{d2} \cdot \sin(\beta_{d2})|]$$

$$F_y = [3 \cdot |49,48 \cdot 6 \cdot \sin(358,2) + 49,48 \cdot 9 \cdot \sin(181,8) + 49,48 \cdot 5 \cdot \sin(4,248) + 49,48 \cdot 3 \cdot \sin(111,321)|] = 399,88 \text{ daN}$$

Cálculo de F_x

$$F_x = \left[3 \cdot W_{s1} \cdot \sin^2(\beta_1) \cdot \frac{S_1}{2} + 3 \cdot W_{s2} \cdot \sin^2(\beta_2) \cdot \frac{S_2}{2} + 3 \cdot W_{d1} \cdot \sin^2(\beta_{d1}) \cdot \frac{S_{d1}}{2} + 3 \cdot W_{d2} \cdot \sin^2(\beta_{d2}) \cdot \frac{S_{d2}}{2} + 3 \cdot |T_{s1} \cdot \cos(\beta_1) + T_{s2} \cdot \cos(\beta_2) + T_{d1} \cdot \cos(\beta_{d1}) + T_{d2} \cdot \cos(\beta_{d2})| \right]$$

em que:

W_i – Esforço unitário devido ao vento (daN/m) é igual à:

$$W = (\alpha \cdot c \cdot q \cdot d) \cdot 0,981$$

$\alpha = 0,6$ para condutores e cabos de guarda

$c = 1,2$ para condutores com um diâmetro inferior a 12,5mm

$q = 750 \text{ Pa} = 75 \text{ kgf/m}^2$ correspondente ao 1º escalão (vento máximo)

$d = 9 \text{ mm}$

$$F_x = \left[3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \sin^2(358,2) \cdot \frac{76,5}{2} + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \sin^2(181,8) \cdot \frac{105,9}{2} + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \sin^2(4,248) \cdot \frac{126,1}{2} + 3 \cdot (0,981 \times 0,6 \times 1,2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \sin^2(111,321) \cdot \frac{56,8}{2} + 3 \cdot |49,48 \cdot 6 \cdot \cos(358,2) + 49,48 \cdot 9 \cdot \cos(181,8) + 49,48 \cdot 5 \cdot \cos(4,248) + 49,48 \cdot 3 \cdot \cos(111,321)| \right] = 169,02 \text{ daN}$$

Cálculo de F_z

$$F_z = \left[3 \cdot W'_{s1} \cdot \frac{S_1}{2} + 3 \cdot W'_{s2} \cdot \frac{S_2}{2} + 3 \cdot W'_{d1} \cdot \frac{S_{d1}}{2} + 3 \cdot W'_{d2} \cdot \frac{S_{d2}}{2} \right]$$

em que:

W'_i – Peso específico linear do condutor (kg/m) é igual à 0,173 (kg/m).

$$F_z = \left[3 \cdot 0,173 \cdot \frac{76,5}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{105,9}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{126,1}{2} + 3 \cdot 0,173 \cdot \frac{56,8}{2} \right] = 94,7954 \text{ daN}$$

Depois de calculados os esforços resta então saber se apoio suporta os esforços que nele são aplicados.

Visto tratar-se de um apoio do tipo RS9 é ponto aceite que este tipo de apoio é capaz de suportar a cabeça 900 daN.

É prática da EDP – Distribuição considerar que nestes apoios, assim como nos apoios metálicos, os esforços totais aplicados à cabeça do apoio correspondem ao somatório das componentes das forças na hipótese 1 segundo Y e X. Neste pressuposto, ao aplicar-se uma tensão de 5 daN/mm² aos condutores da nova linha que deriva da linha principal, o apoio de derivação mantém a sua estabilidade uma vez que $F_y + F_x$ é igual à:

$$F_y + F_x = 673,25 + 133,146 = 806,396 \text{ daN}$$

e é inferior aos 900 daN.

Caso a estabilidade do apoio não se verifique deverá procura-se adoptar tensões mecânica de montagem a aplicar aos condutores da nova linha mais baixas. Se ainda assim não se consiga garantir a estabilidade do apoio poderão adoptar-se outras medidas tais como:

- Tentar rodar o apoio por forma a que este fique orientado segundo a bissetriz do ângulo compreendido entre o vão da linha principal, o vão de 105.9 m, e o vão da nova linha, o de 126.1 m, o que permitia de alguma forma melhorar a estabilidade o que levaria a que apoio fica-se praticamente em alinhamento;

- Tentar diminuir as tensões dos vãos adjacentes por forma a aproximar a resultante das forças, nas suas diferentes componentes, em cada um dos lados do apoio;

- Substituir o apoio por outro que suporte os esforços acima considerados.

Os cálculos efectuados na realidade não estão correctamente certos, uma vez que essas hipóteses de cálculo partem, segundo o regulamento, do pressuposto que os esforços são considerados à 0.25 cm do topo do apoio, o que não é verdade. De

acordo com o tipo de armação os condutores possuem diferentes alturas em relação ao solo.

Deveria portanto efectuar-se uma correcção aos somatórios das forças segundo as componentes Y e X de forma a adaptar as fórmulas de cálculo as alturas onde são aplicados os esforços no apoio.

A correcção poderá ser realizada por um coeficiente que relacione a altura do apoio com a altura ao solo a que estão colocados os condutores no apoio (armação).

Este coeficiente é dado pela expressão abaixo e deverá ser multiplicado ao somatório das forças segundo X e Y:

$$\text{Coef. de correcção} = \frac{H_i}{H_u - 0.25}$$

em que:

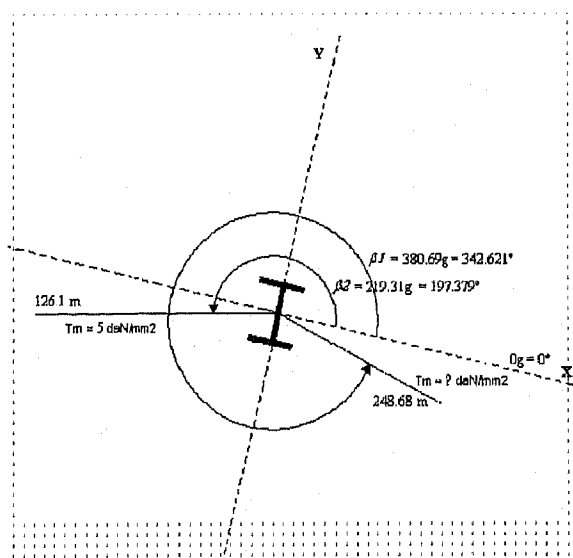
- H_i , corresponde a altura que os condutores têm ao solo;
- H_u , corresponde a altura do apoio.

Outro ponto a salientar diz respeito a forma como se considera que os esforços totais aplicados a estes tipos de apoios e aos apoios metálicos corresponde ao somatório das componentes Y e X da força aplicada ao apoio. Esta via de determinação não é propriamente correcta, contudo dada a experiência prática acumulada demonstra-se que na realidade essa determinação é viável.

- Apoio número 1

O apoio número um, como se pode ver na figura ao lado, é considerado como um apoio em ângulo.

Visto que já fora determinado a tensão mecânica de montagem a aplicar aos condutores do vão de comprimento de 126.1m resta então determinar qual a



tensão de montagem a aplicar aos condutores do outro vão adjacente.

A escolha da tensão mecânica neste caso está de certa forma limitada pois um dos vãos apresenta um comprimento bastante significativo, um vão de 248.68 m. A tensão mecânica não poderá ser muito baixa pois correria-se o risco de verificarem-se certas situações impossíveis do ponto de vista regulamentar tais como:

- Os condutores poderiam aproximar-se exageradamente do solo ou objecto próximos da linha;
- Os afastamentos regulamentares mínimos entre condutores poderiam não verificar-se. Todavia essa situação, caso ocorresse, poderia ser resolvida com o aumento das travessas das armações ou, no caso das armações em triângulo, baixando a travessa da armação onde estão colocados dois dos três condutores da linha e assim aumentar o afastamento entre condutores.

A minha escolha recaiu nos 8 daN/mm² porém a partida não se verificaram no vão de 248.68 m os afastamentos mínimos regulamentes entre condutores. Contudo tal como mencionei a pouco essa situação resolveu-se baixando a travessa da armação em triângulo ficando a travessa situada a 1.25m do topo.

Hipótese 1 (vento paralelo à bissetriz do ângulo):

Cálculo de F_y

$$F_y = \left[3 \cdot W_{s1} \cdot \cos^2(\beta_1) \cdot \frac{S_1}{2} + 12 + 3 \cdot W_{s2} \cdot \cos^2(\beta_2) \cdot \frac{S_2}{2} + 12 + 3 \cdot |T_{s1} \cdot \sin(\beta_1) + T_{s2} \cdot \sin(\beta_2)| \right]$$

em que:

W_i – Esforço unitário devido ao vento (daN/m) é igual à:

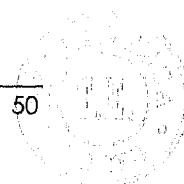
$$W = (\alpha \cdot c \cdot q \cdot d) \cdot 0.981$$

$\alpha = 0,6$ para condutores e cabos de guarda

$c = 1,2$ para condutores com um diâmetro inferior a 12,5mm

$q = 750 \text{ Pa} = 75 \text{ kgf/m}^2$ correspondente ao 1º escalão (vento máximo)

$d = 9 \text{ mm}$



$$F_y = \left[3 \cdot (0.981 \times 0.6 \times 1.2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(342.621) \cdot \frac{248.68}{2} + 12 + 3 \cdot (0.981 \times 0.6 \times 1.2 \times 75 \times 9 \times 10^{-3}) \cdot \cos^2(197.369) \cdot \frac{126.1}{2} + 12 + 3 \cdot (49.48 \cdot 8 \cdot \sin(342.621) + 49.48 \cdot 5 \cdot \sin(197.369)) \right] = 844.502 \text{ daN}$$

Cálculo de Fx

$$F_x = [3 \cdot (T_{s1} \cdot \cos(\beta_1) + T_{s2} \cdot \cos(\beta_2))] =$$

$$F_x = [3 \cdot (49.48 \cdot 8 \cdot \cos(342.621) + 49.48 \cdot 5 \cdot \cos(197.369))] = 424.991 \text{ daN}$$

Cálculo de Fz

$$F_z = \left[3 \cdot W'_{s1} \cdot \frac{S_1}{2} + 3 \cdot W'_{s2} \cdot \frac{S_2}{2} \right]$$

em que:

W'₁ – Peso específico linear do condutor (kg/m) é igual à 0.173 (kg/m).

$$F_z = \left[3 \cdot 0.173 \cdot \frac{248.68}{2} + 3 \cdot 0.173 \cdot \frac{126.1}{2} \right] = 97.255 \text{ daN}$$

Neste caso apenas é calculada a Hipótese 1 visto que de acordo disposto no R.S.L.E.A.T, "É desnecessária a verificação da Hipótese 2 em apoios de betão e em apoios metálicos de base quadrada".

Depois de analisados os esforços calculados na Hipótese 1, poderá escolher-se um apoio de Betão. Consultando o catálogo de apoios que contém os diagramas de esforços úteis, pode-se concluir que o Poste MM04 – 2250-1000/16m da Cavan adapta-se perfeitamente às exigências dos esforços.

No dimensionamento de apoios em ângulo com vãos adjacentes com comprimentos muito diferentes e com idênticas tensões mecânicas aplicadas aos condutores de cada vão, as fórmulas de cálculo enunciadas neste relatório indicam que a resultante das forças aplicadas no apoio segundo a componente X é nula.

Porém ao assumir-se este facto como um dado adquirido estaríamos a cometer um erro crasso pois tendo os vãos adjacentes comprimentos muito diferentes

a tensão mecânica dos condutores em temperaturas extremas, -5°C e 50°C , poderá ser bastante diferente em cada um dos vãos e desta forma a componente X da força aplicada ao apoio não será zero.

Portanto nestas situações convém que o apoio esteja sobredimensionado em relação aos esforços calculados pelas expressões regulamentares.

Os apoios número 2, 3 e 4 tal como o apoio número 1 correspondem a apoios em ângulo, portanto não irei efectuar aqui novamente a demonstração dos cálculos pois estaria a repetir a anterior demonstração.

O apoio onde está colocado o transformador é um um apoio pré-definido, designado por TP4, com 14 m e uma altura útil de 12 m.

Para os diferentes Tipos de PT aéreos existentes, do tipo AI e AS, existem projectos tipos definidos pela Direcção Geral de Energia que prevêm para o último vão da linha de Média Tensão um vão máximo de 120 m em AI-Aço de 50mm² à tensão mecânica máxima de 8 daN/mm². Uma vez que estas condições se verificam, pois o vão é inferior aos 120m, sendo esse de 62.63 m e sendo a tensão mecânica igual à 8 daN/mm², não se procedeu ao dimensionamento do respectivo apoio.

Afastamento entre condutores

Os afastamentos entre os condutores da nova linha deverão ser calculados em cada um dos vãos da linha. Esses afastamentos variam de acordo com o comprimento dos vãos, as tensões mecânicas máximas aplicadas aos condutores associados a estes vãos, as características dos condutores e o tipo de armações.

Como foi dito neste relatório o afastamento entre condutores para linhas eléctricas de Média Tensão à 15 kV é dado pela expressão:

$$D = 0.75 \cdot k \cdot \sqrt{f + d} + \frac{U}{200}, \text{ Para linhas de 2ª classe;}$$

em que:

f , é a flecha máxima dos condutores (m);

d , é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha (m);

U , é a tensão nominal da linha (kV);

k é um coeficiente dependente da natureza dos condutores e cujo valor é:

0.6, para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço

0.7, para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

Esta análise será realizada vão à vão.

Em primeiro lugar deverá determinar-se o estado atmosférico mais desfavorável, para depois calcular, através da equação dos estados, a tensão de montagem, de acordo com a temperatura do local durante a colocação da linha, associado à tensão mecânica de montagem máxima aplicada aos condutores no estado atmosférico mais desfavorável.

De seguida será então determinada, com o conhecimento da tensão de montagem, as flechas de regulação dos condutores nos diferentes vãos da linha.

Vão 5 – 1 (vão entre os apoios 5 e 1) de 126 m

1º - determinação do estado atmosférico mais desfavorável

Estado de primavera

– $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$

– $T_{\max} = 5 \text{ daN/mm}^2$

– Pressão do vento:

$$P_{(1^\circ \text{ escalão})} = 750 \text{ Pa}$$

$$P_{(2^\circ \text{ escalão})} = 900 \text{ Pa}$$

$$F = \alpha \cdot c \cdot q \cdot d =$$

$$= 0.6 \cdot 1.2 \cdot 18.75 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0.1215 \text{ N}$$

- Coeficiente de sobrecarga:

$$m_1 = \frac{\sqrt{0.0035^2 + 0.1215^2}}{0.0035 \cdot 49.48} = 2.979$$

- Vão crítico:

$$L_{cr} = \frac{49.48 \cdot 5}{0.173} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 0.000019 \cdot (15 - (-5))}{2.979^2 - 1.539^2}} = 53.54 \text{ m}$$

Estado de inverno

– $\theta_1 = -5^\circ\text{C}$

– $T_{\max} = 5 \text{ daN/mm}^2$

– Pressão do vento:

$$P_{(1^\circ \text{ escalão})} = 187.5 \text{ Pa}$$

$$P_{(2^\circ \text{ escalão})} = 225 \text{ Pa}$$

$$F = \alpha \cdot c \cdot q \cdot d =$$

$$= 1 \cdot 1.2 \cdot 18.75 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0.2025 \text{ N}$$

- Coeficiente de sobrecarga:

$$m_1 = \frac{\sqrt{0.0035^2 + 0.2025^2}}{0.0035 \cdot 49.48} = 1.539$$

De acordo com o diagrama de decisão patente no ponto 1.4.2. o estado atmosférico mais desfavorável corresponde ao estado de Primavera dado que o seu

coeficiente de sobrecarga é maior que o estado de Inverno e o vão em causa ter um comprimento maior que o vão crítico.

De seguida deverá determinar-se a tensão mecânica verificada nos condutores no estado de flecha máxima, isto é, no estado de Verão.

$$\theta_m + \frac{t_m}{\alpha \cdot E} - \frac{m_m \cdot \omega^2 \cdot L_m^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_m^2} = \theta_2 + \frac{t_2}{\alpha \cdot E} - \frac{m_2 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_2^2}$$

em que:

$$\theta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 5 \text{ daN.mm}^{-2}$$

$$E = 8100 \text{ kg.mm}^{-2}$$

$$\omega = 0.173 \text{ kg.m}^{-1}$$

$$\alpha = 0.000019 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\sigma = 49.48 \text{ mm}^2$$

$$L = 126.1 \text{ m}$$

$$m_1 = 1$$

$$m_2 = 2.979$$

A tensão mecânica verificada nos condutores no estado de flecha máxima é igual à 1.611 daN/mm². Resta agora determinar o valor da flecha máxima e a distância mínima regulamentar.

$$f = \frac{L^2 \cdot w_v}{8 \cdot t_m} \quad \text{e} \quad D = 0.75 \cdot k \cdot \sqrt{f + d} + \frac{U}{200}$$

sendo

$$L = 126.1$$

$$\omega = 0.0035 \text{ kg.mm}^{-2}$$

$$t_m = 1.611 \text{ daN/mm}^2$$

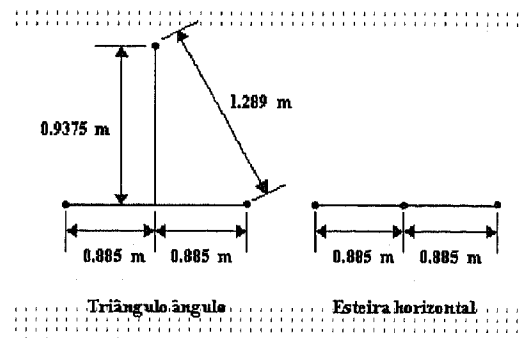
$$k = 0.6$$

$$d = 0$$

$$U = 15 \text{ kV}$$

A distância mínima regulamentar entre condutores a meio vão para uma flecha máxima igual à 4.3183 m, que corresponde à flecha determinada, é de 1.01 m.

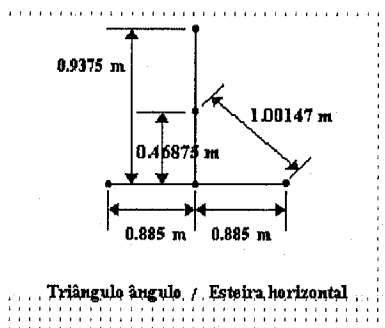
Falta agora determinar qual a menor distância real verificada entre condutores a meio do vão.



As armações utilizadas nos apoios deste vão são uma armação em triângulo ângulo e uma armação em esteira horizontal com as dimensões indicadas na figura ao lado.

Sobrepondo as armações enunciadas poderá saber-se facilmente qual a menor distância verificada entre condutores a meio do vão.

Como se pode ver na figura abaixo essa distância é igual à 1,00147 m que é inferior ao afastamento mínimo regulamentar.



Será necessário portanto aumentar o afastamento entre condutores. A solução adoptada passou por baixar a travessa da armação em triângulo ângulo. A travessa passou a estar a 1,25 m do topo do apoio, ficando os condutores afastados entre si de 1,08344 m (menor distância entre condutores).

Nos restantes vãos da linha não se verificaram problemas nos afastamentos entre condutores a não ser no maior vão da linha. Neste vão tal como fiz anteriormente decidi baixar a travessa de uma armação em ângulo de forma a serem cumpridas as distâncias regulamentares.

Para a montagem da linha será necessário, por parte do projectista, fornecer à empresa encarregue da montagem as flechas de regulação dos condutores, associadas as tensões mecânicas a aplicar aos mesmos, em cada um dos vãos para várias temperaturas, de acordo com a temperatura no local da instalação.

Dimensionamento de maciços

Indo ao encontro do que foi dito no ponto 2.4.8. deste relatório irei realizar abaixo o dimensionamento do apoio número 1 desta linha. Este apoio é um MM04 – 2250-1000/16m da Cavan com as seguintes características:

$$Peso_{\text{apolo 16m}} = 3760 \text{ kg}$$

$$Peso_{\text{apolo 14m}} = 3010 \text{ kg}$$

Sendo um apoio de 16 m verifica a condição $H/h_0 > 5$ logo poderão utilizar-se as fórmulas enunciadas no ponto 1.4.7.

Dimensionamento

Dados:

$$F = 2250 \text{ daN};$$

$$Peso_{\text{apolo 16m}} = 3760 \text{ kg};$$

$$Peso_{\text{apolo 14m}} = 3010 \text{ kg};$$

$$h_0 = 2;$$

$$C_{2m} = 4;$$

$Peso_{\text{apolo 14m}} = 3010 \text{ kg}$ (considera-se o peso do apoio de 14m de forma a não considerar o peso da parte enterrada do poste)

$$Peso_{\text{condutores adjacentes}} = 3 \cdot 0.173 \cdot \frac{25+92}{2} \text{ daN} =$$

$$Peso_{\text{maciço}} = 2400 \times (1.8 \times 2.2 \times 2.2) \text{ daN}$$

Momento derrubante M_d :

$$M_d = F \cdot \left(h - 0.25 + \frac{2}{3} h_0 \right) = 2250 \cdot \left(14 - 0.25 + \frac{2}{3} \cdot 2 \right) = 33937.5 \text{ [daN} \cdot \text{m]}$$

Momento estabilizante M_{e1} :

$$M_{e1} = \frac{b \cdot h_0^3}{36} \cdot C_0 \cdot \tan \alpha = \frac{2.2 \cdot 200^3}{36} \cdot \frac{4 \cdot 2}{2} \cdot 0.01 = 19555.6 \text{ [daN} \cdot \text{cm]}$$

Momento estabilizante M_{e2} :

$$M_{e2} = P \cdot \left(\frac{a}{2} - 0.47 \cdot \sqrt{\frac{P}{b \cdot C_0 \cdot \tan \alpha}} \right) = P \cdot \left(\frac{1.8}{2} - 0.47 \cdot \sqrt{\frac{P}{2.2 \cdot \frac{4 \cdot 2}{2} \cdot 0.01}} \right) = 15682.2 \text{ [daN} \cdot \text{cm]}$$

em que P é o peso total do apoio, do maciço e dos condutores.

Neste caso quando $M_{e1} > M_{e2}$

A condição que permite verificar se um maciço é correctamente dimensionado é a seguinte:

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq 1 \Leftrightarrow \frac{35237.8}{33937.5} = 1.03 > 1$$

Verificada esta condição conclui-se que o apoio é estável. Os apoios restantes da linha são determinados de forma semelhante.

3. Redes de Baixa Tensão, Iluminação Pública e Postos de Transformação

3.1. Enquadramento

No que respeita as redes de Baixa Tensão, Iluminação Pública e Postos de Transformação o meu trabalho realizado nas instalações da EDP – Distribuição em Penafiel consitiu na análise e realização de projectos do tipo enunciados acima.

Este capítulo estará dividido em duas áreas temáticas, nomeadamente a análise e apreciação de projectos e a realização de projectos de infra-estruturas eléctricas.

A análise e apreciação de projectos consistiu em analisar projectos, já realizados por gabinetes de engenharia ou engenheiros, e que deram entrada na EDP com vista ao licenciamento dos mesmos. Durante o meu período passado na EDP analisei vários projectos de loteamentos, nomeadamente, projectos incluindo redes de baixa tensão, ou/e redes de iluminação pública e/ou postos de transformação.

A outra área temática diz respeito a realização de projectos de novas infra-estruturas eléctricas ou remodelação de infraestruturas eléctricas existentes na sua maioria redes de Iluminação Pública, mas também redes de Baixa Tensão e Postos de Transformação.

Esses projectos surgiram na sequência de pedidos das Câmaras Municipais.

Durante o meu estágio curricular tive a oportunidade de realizar sete projectos de infra-estruturas eléctricas à pedido das Câmaras Municipais de Lousada e Paços de Ferreira.

Para a Câmara Municipal de Paços de Ferreira realizei os seguintes projectos:

- Infra-estruturas eléctricas no Largo Padre Jalhay e Rua da Cavada:
 - Rede de Distribuição em Baixa Tensão;
 - Rede de Iluminação Pública.

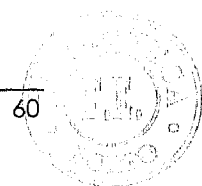
- Infra-estruturas eléctricas na Avenida dos Templários (Troço entre a Av. D. Sílvia Cardoso e Av. João XXXIII):
 - Rede de Distribuição em Baixa Tensão;
 - Rede de Iluminação Pública.

- Infra-estruturas eléctricas na Arruamento junto do Parque Urbano de Freamunde;

- Rede de Iluminação Pública.

Para a Câmara Municipal de Lousada realizei o seguinte projecto:

- Infra-estruturas eléctricas nos Acessos ao Complexo Desportivo Municipal:
- Rede de Iluminação Pública.



3.2. Análise e Apreciação de Projectos de Loteamentos

3.2.1 Descrição

A análise e apreciação de projectos consistiu em analisar projectos, já realizados por gabinetes de engenharia e engenheiros, no sentido de verificar o cumprimento das normas em vigor e regras técnicas impostas pela EDP para estes casos com vista ao licenciamento dos mesmos projectos. Em termos práticos, analisei alguns projectos de loteamento, nomeadamente, projectos incluindo redes de baixa tensão, ou/e redes de iluminação pública e/ou postos de transformação.

A minha experiência no estudo dos Projectos de Loteamento foi curta, mas elucidativa. Comecei por me inteirar da Legislação afecta a este assunto, nomeadamente:

- Decretos-Lei n.º 448/91 e 334/95, no que respeita ao regime dos loteamentos urbanos.
- Decreto-Lei n.º 445/91, sobre o regime de licenciamento de obras particulares;
- Decreto-Lei n.º 83/94, respeitante ao regime jurídico do certificado de conformidade dos projectos de obras sujeitas a licenciamento municipal;
- Decreto-Lei n.º 92/95, que estabelece as regras de execução de ordens de embargo, de demolição ou de reposição de terreno nas condições em que se encontravam antes do início das obras.
- Decreto-Lei n.º 555/99 com a redacção que lhe foi pelo Decreto-Lei n.º 177/2001 de 4 de Junho, que define o regime jurídico do Licenciamento Municipal das operações de loteamento, das obras de urbanização e das obras particulares.

No final de cada análise é preenchida uma ficha de apreciação de projecto, apresentada em anexo, onde se fazem as possíveis observações que, de seguida, serão informadas ao Técnico Responsável pelo projecto, no sentido de efectuar as devidas correcções. Nesta ficha de apreciação ou guia de análise, são apresentados os diversos elementos que um projecto de um loteamento deverá possuir para ser aprovado pela EDP:

- Constituição da Projecto
- Materiais Normalizados
- Aspectos Regulamentares
- Cálculos Eléctricos.

Assim que estiverem reunidas todas as condições, o projecto será aprovado.

3.3. Redes de Baixa Tensão e Iluminação Pública

3.3.1. Introdução

Nesta parte do relatório são mencionadas a metodologia, as condições de cálculo bem como as considerações tomadas nos projectos de remodelação de infra-estruturas eléctricas existentes.

Durante o meu período na EDP tive a oportunidade de realizar, no que diz respeito a redes de distribuição em baixa tensão, dois projectos de remodelações.

3.3.2. Projecto de remodelação de redes de Baixa Tensão e Iluminação Pública

Um projecto deste tipo desenvolve-se em várias etapas.

Numa primeira etapa será necessário efectuar um levantamento no terreno das infra-estruturas das redes eléctricas existentes, do número e tipos de consumidores alimentados pela rede de modo a se obter informações acerca das potências consumidas e, desta forma, ter uma ideia dos trânsitos de potências na rede, pois ao contrário do acontece na realização de projectos de raiz, não se possuem, nestes projectos, os valores exactos das potências contratadas das instalações a alimentar.

Deverão ainda obter-se informações sobre possíveis planos de desenvolvimento urbanísticos ou industriais.

Numa etapa posterior irá efectuar-se, depois de recolhidas as informações necessárias para o projecto, o dimensionamento das redes.

Numa última etapa deverão contactar-se, no caso das câmaras municipais, as pessoas responsáveis pelas infra-estruturas eléctricas do município com intuito de discutir o projecto realizado e esclarecer eventuais aspectos não considerados no mesmo.

3.3.2.1. Dimensionamento da Rede de Distribuição em Baixa Tensão

No levantamento das infra-estruturas existentes são recolhidas várias informações nomeadamente:

- São identificados os tipos de condutores utilizados na rede a remodelar;
- São identificadas o número e o tipo de instalações alimentadas a partir rede a remodelar;

- São identificados os tipos de condutores utilizados nas chegadas bem como os apoios onde essas são efectuadas;

- São identificados os tipos de condutores utilizados nas chegadas;

- São identificados os postos de transformação que alimentam a rede existente;

Com essa informação irão determinar-se os locais onde se colocarão os armários de distribuição da rede subterrânea e irá efectuar-se o dimensionamento da rede.

Nos projectos efectuados os armários de distribuição ficaram colocados junto das instalações à alimentar conforme o indicado na planta em anexo.

O dimensionamento foi realizado a partir de equivalências efectuadas entre condutores aéreos em torçada com condutores específicos para redes subterrâneas de forma a que os novos cabos subterrâneos, que irão substituir os condutores em torçada, consigam transportar sem problemas de aquecimento e de sobrecarga, à máxima potência transportável pelos condutores aéreos respectivos.

No quadro abaixo estão representadas as equivalências existentes entre cabos em torçada e cabos do tipo subterrâneo colocados em vala ou em tubos. As equivalências são efectuadas apenas entre cabos normalizados pela EDP.

	AEREO	VALA	TUBO	
	LXS 4x16+16	TODOS	TODOS	$I_s \leq I_n \leq I_z$ $I_f \leq 1,45 \cdot I_z$
	LXS 4x25+16	TODOS	TODOS	
	LXS 4x50+16	LSVAV 4x50	LSVAV 4x95	
	LXS 4x70+16	LSVAV 4x95	LSVAV 4x95	
	LXS 4x95+16	LVAV 3x150+70	LVAV 3x150+70	

I_s é a corrente de serviço na canalização

I_z é a corrente máxima admissível na canalização em regime permanente

I_n é a corrente estipulada do fusível (NP – 3524)

I_f é a corrente convencional de fusão do fusível (NP – 3524)

Por exemplo o cabo LXS 4x16+16 mm² pode ser substituído por qualquer outro cabo do tipo subterrâneo quer a sua disposição seja em vala ou em tubo.

		I_z (A)	$1,45 \cdot I_z$ (A)	I_f (A)	I_n (A)	I_{cs} (A)	P (kVA)
VALA	LSVAV 4x35	130	188,5	160	100	541	69,28
	LSVAV 4x50	150	217,5	200	125	600	86,60
	LSVAV 4x95	235	340,75	320	200	1200	138,56
	LVAV 3x150+70	310	449,5	400	250	1460	173,21
	LVAV 3x185+95	355	514,75	504	315	2050	218,24
TUBO	LSVAV 4x35	104	150,8	128	80	420	55,43
	LSVAV 4x50	120	174	160	100	541	69,28
	LSVAV 4x95	190	275,5	256	160	870	110,85
	LVAV 3x150+70	250	362,5	320	200	1200	138,56
	LVAV 3x185+95	285	413,25	400	250	1460	173,21
AEREO	LXS 4x16+16	75	108,75	101	63	290	43,65
	LXS 4x25+16	100	145	128	80	420	55,43
	LXS 4x50+16	150	217,5	200	125	600	86,60
	LXS 4x70+16	190	275,5	256	160	870	110,85
	LXS 4x95+16	230	333,5	320	200	1200	138,56

No quadro ao lado estão indicados para cada cabo o calibre do fusível de protecção a ele associado, a sua potência máxima transportável e a intensidade de corrente de

curto-circuito (5 seg).

O dimensionamento deverá respeitar, na parte aplicável, o disposto no R.S.R.D.E.E.B.T., de modo à que a queda de tensão máxima nas canalizações não ultrapasse os limites regulamentares, assim como, garantir as protecções contra curto-circuitos e sobrecargas previstas regulamentarmente.

Abaixo são mencionadas as condições a respeitar no dimensionamento com vista ao cumprimento das normas regulamentares em vigor.

Protecção contra sobrecargas

De acordo com o disposto no artigo 128.º do R.S.R.D.E.E.B.T. as canalizações estarão protegidas contra sobrecargas se se verificarem as seguintes condições:

$$\begin{aligned}I_s &\leq I_n \leq I_z \\I_f &\leq 1.45 I_z\end{aligned}$$

em que:

I_s é a corrente de serviço na canalização
 I_z é a corrente máxima admissível na canalização em regime permanente
 I_n é a corrente estipulada do fusível (NP – 3524)
 I_f é a corrente convencional de fusão do fusível (NP – 3524)

As equivalências enunciadas no quadro anterior permitem assegurar a verificação destas condições.

Protecção contra curto-circuitos

De acordo com o disposto no artigo 130.º do R.S.R.D.E.E.B.T. as canalizações eléctricas deverão ser protegidas contra curto-circuitos de tal forma que a corrente seja interrompida antes que esta possa atingir o limite máximo de temperatura admissível para a canalização.

Portanto, a intensidade nominal dos aparelhos de protecção contra curto-circuitos deverá ser determinada de modo que a corrente de curto-circuito seja cortada antes de a canalização atingir a sua temperatura limite admissível.

Desta forma teremos de verificar que o tempo de fadiga térmica da canalização (t_{fr}) seja inferior ao tempo de corte, ou actuação, do aparelho de protecção (t_a). O tempo de corte do aparelho deverá também ser inferior a 5 segundos (artigo 156º do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão).

$$t_a \leq t_{ft}$$

$$t_a \leq 5 \text{ seg}$$

sendo:

- t_{ft} → tempo de fadiga térmica da canalização (s);
 t_a → tempo de corte (actuação) do aparelho de protecção (s);

Isto significa que, para que um dado fusível possa actuar em tempo útil para garantir essa protecção, a impedância do circuito em defeito, desde o fusível até ao extremo da canalização, não deve ser superior a um dado valor.

Nos quadros abaixo estão indicados os valores dos comprimentos máximos das canalizações protegidas contra curto – circuitos por fusíveis de alto poder de corte do tipo gG (NP – 3524).

Comprimentos máximos admissíveis (l_{max}) em redes subterâneas em função do fusível usado na protecção da canalização contra curto-circuitos (In)

Tipo de cabo e secção	I_n A	l_{max} m	Tipo de cabo e secção	I_n A	l_{max} m
LVAV 4x16	160	40	LVAV 4x95	315	120
	125	80		250	165
	100	75		200	205
	80	100		160	280
	63	140		125	415
LVAV 4x25	50	190	LVAV 3x120+70	100	460
	200	35		315	110
	160	70		250	155
	125	110		200	200
	100	120		160	265
LVAV 4x35	80	155	LVAV 3x150+70	125	380
	63	225		100	425
	250	80		315	120
	200	75		250	175
	160	105		200	210
LVAV 4x50	125	150	LVAV 3x185+75	160	290
	100	170		125	415
	80	215		100	460
	315	35		315	155
	250	70		250	225
LVAV 4x70 (—)	200	110	LVAV 4x70 (—)	200	270
	160	150		160	375
	125	215		125	545
	100	240		100	605
	80	310		80	780
LVAV 4x70 (—)	315	70	LVAV 4x70 (—)	140	210
	250	125		125	305
LVAV 4x70 (—)	200	150	LVAV 4x70 (—)	100	340
	160	190		80	460

Nota: os valores de fusíveis de protecção contra curto-circuitos assinalados com **negrito**, são os valores de fusíveis de protecção contra sobrecargas, que estão assinalados a **negrito**, são indicados apenas para efeitos de aplicação dos comprimentos máximos na "regra do triângulo" em relação à protecção destas canalizações contra curto-circuitos em canalizações derivadas.

Comprimentos máximos admissíveis (l_{max}) em redes aéreas em torção em função do fusível usado na protecção da canalização contra curto-circuitos (In)

Tipo de cabo e secção	I_n A	l_{max} m	Tipo de cabo e secção	I_n A	l_{max} m
LXS 4x16	125	50	LXS 4x70	315	90
	100	75		250	125
	80	100		200	160
	63	140		160	210
	50	190		125	305
LXS 4x25	40	245	LXS 4x95	100	340
	32	335		80	435
	160	75		63	625
	125	110		315	120
	100	120		250	165
LXS 4x50	80	150	LXS 4x70 (—)	200	205
	63	225		160	280
	50	300		125	415
	40	380		100	460
	32	525		80	590
LXS 4x50	200	110	LXS 4x70 (—)	63	650
	160	150		315	120
	125	215		250	165
	100	240		200	205
	80	310		160	280
LXS 4x50	63	450	LXS 4x70 (—)	125	415
	50	570		100	460
	40	755		80	590
	315	120		63	650
	250	165		50	825

Nota: os valores de fusíveis de protecção contra curto-circuitos assinalados com **negrito**, são os valores de fusíveis de protecção contra sobrecargas, que estão assinalados a **negrito**, são indicados apenas para efeitos de aplicação dos comprimentos máximos na "regra do triângulo" em relação à protecção destas canalizações contra curto-circuitos em canalizações derivadas.

Os comprimentos máximos são determinados através da expressão:

$$L_{\max} = \frac{0,95 \cdot U_s}{\left(1 + \alpha \cdot (\theta_{\max} - 20)\right) \cdot \sum_{i=1}^n (R_{Fi}^{20^\circ} + R_{Ni}^{20^\circ}) \cdot I_{cc5\text{seg}}}$$

sendo:

$0,95 \cdot U_s$ → 95% da tensão simples existindo neutro, ou 95% da tensão composta na ausência do mesmo

(corresponde a uma diminuição de 5% da tensão após a ocorrência do defeito)

α → coeficiente de termoresistividade, [Cobre: $\alpha=0,00393^\circ\text{C}^{-1}$ | Alumínio: $\alpha=0,00403^\circ\text{C}^{-1}$]

$\theta_{\max}$ → temperatura da alma condutora (145 °C)

R_F, R_N → resistências de fase e de neutro do cabo l , respectivamente a 20°C (Ω/km)

$I_{cc5\text{seg}}$ → corrente de curto-circuito mínima, é a corrente que resulta de um curto-circuito franco fase-neutro no ponto mais afastado do circuito que garante a actuação da protecção em 5 seg. (A).

n → número de troços envolvidos entre o Q.G.B.T. do PT e a saída que se está a proteger, incluindo esta.

Selectividade

É necessário garantir a selectividade entre fusíveis desde os PT's até aos pontos extremos da rede. Atendendo ao disposto nos comentários 1 e 2 do artigo 132º do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão, em caso de defeito, deverá actuar apenas o aparelho de protecção situado imediatamente a montante do referido defeito.

Para que a selectividade seja assegurada, é preciso que o tempo de funcionamento do aparelho colocado a montante seja maior do que o aparelho colocado a jusante. Desta maneira é preciso ter em atenção o dimensionamento das protecções de maneira a garantir a selectividade.

Quedas de Tensão

Atendendo ao artigo.9º do R.S.R.D.E.E.B.T. as variações de tensão em qualquer ponto da rede de distribuição não deverão ser superiores a $\pm 8\%$ da tensão nominal sendo que em centros urbanos recomenda-se uma variação máxima de 5%.

O cálculo das quedas de tensão é efectuado troço a troço, sendo a queda de tensão na entrada da instalação de utilização, a soma de todos os troços que ligam a entrada até ao PT que a alimenta.

Para o cálculo da queda de tensão, utilizou-se a seguinte expressão aproximada (despreza-se a indutância, pois para Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão, esta é muito baixa):

$$\Delta U \cong R_{20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha(\theta_{\max} - 20)) \cdot C \cdot I_s \text{ (V)}$$

sendo:

$R_{20^{\circ}\text{C}}$ - resistência do cabo a 20°C (Ω / km)
 α - coeficiente de termoresistividade ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
 θ_{max} - temperatura da alma condutora (70 °C)
 C - comprimento do cabo (km)
 I_s - corrente de serviço (A)

As remodelações das redes de baixa tensão do tipo aéreo na Rua da Cavada e no Largo do Padre Jalhay e na Avenida dos Templários (Troço entre a Av. D. Sílvia Cardoso e Av. João XXXIII) foram efectuadas de acordo com os pressupostos referidos anteriormente.

Em anexo são apresentados as plantas dos projectos acima mencionados.

3.3.2.2. Dimensionamento da Rede de Iluminação Pública

Relativamente a Iluminação Pública o projecto de remodelações de redes existentes é estruturado de forma semelhante aos projectos de novas redes.

As redes de Iluminação Pública deverão ser concebidas de forma a serem cumpridas as disposições regulamentares em vigor.

As redes de Iluminação Pública são muito semelhantes as redes de distribuição em Baixa Tensão, como tal, deverão respeitar, na parte aplicável, o disposto no R.S.R.D.E.E.B.T., de modo à que a queda de tensão máxima nas canalizações não ultrapasse os limites regulamentares, assim como, garantir as protecções contra curto-circuitos e sobrecargas previstas regulamentarmente.

De acordo com a Portaria 454/2001 de 05/01 deverão ser garantidos, conforme a zona de implantação, os seguintes níveis de iluminância e de uniformidades globais.

	Iluminância (lux)		Uniformidade global
	Arruamentos e largos principais	Periferias	

Zonas rurais			
- Redes subterrâneas	15	10	0.35
- Redes aéreas	10	5	0.35

Zonas urbanas e sedes de freguesias			
	25	20	0.4

Núcleos Antigos			
	20	15	0.35

A segurança na circulação nocturna de peões e veículos é garantida através de uma iluminação pública adequada. Os condutores devem ter uma percepção, em tempo útil, de todos os detalhes necessários. A segurança de todos depende fortemente de uma iluminação adequada. Nesse sentido, é necessário ter em atenção alguns aspectos, nomeadamente:

- procurar manter níveis de luminância e iluminância uniformes;
- iluminar as imediações da via;
- ter atenção à limitação do encandeamento;
- dar boa orientação visual.

Para se efectuar uma boa observação dos objectos, principalmente os seus contornos, será necessária uma uniformidade satisfatória da distribuição da luminância ao longo da via. Este factor é um dos mais importantes para o cálculo da instalação, estando o conforto visual directamente ligado ao grau de uniformidade obtido.

Nos vários projectos que efectuei utilizei, com o objectivo de garantir uma boa uniformidade da iluminação nos arruamentos, armaduras do tipo Sintra 1, equipadas com lâmpadas de 150W de vapor de sódio em alta pressão, colunas com altura útil de 10m e braços de 1,25m, com espaçamento de 30m.

Nestes termos efectuei um estudo luminotécnico com base num programa de cálculo de iluminação pública desenvolvido Schröder (Ulysse) considerando vias de duas faixas com 7 m de comprimento.

Este programa é uma ferramenta preciosa na ajuda do calculo luminotécnico uma vez que permite fazer de uma forma simples cálculos que seriam bastante demorados utilizando os métodos tradicionais como o método dos nove pontos ou método do factor de utilização.

Os resultados obtidos neste cálculo estão representados nas figuras seguintes:

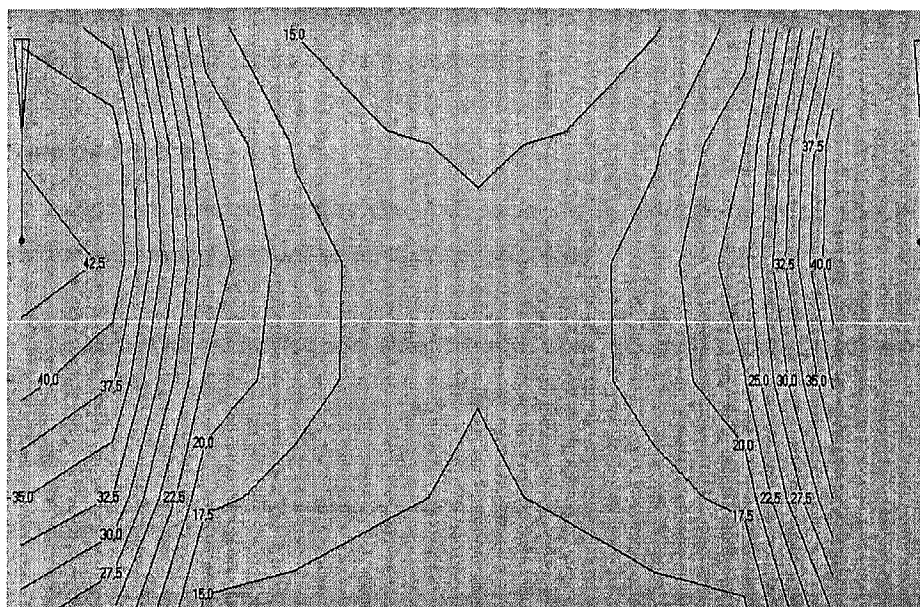
Opções de resultado

Malha: Malha na estrada

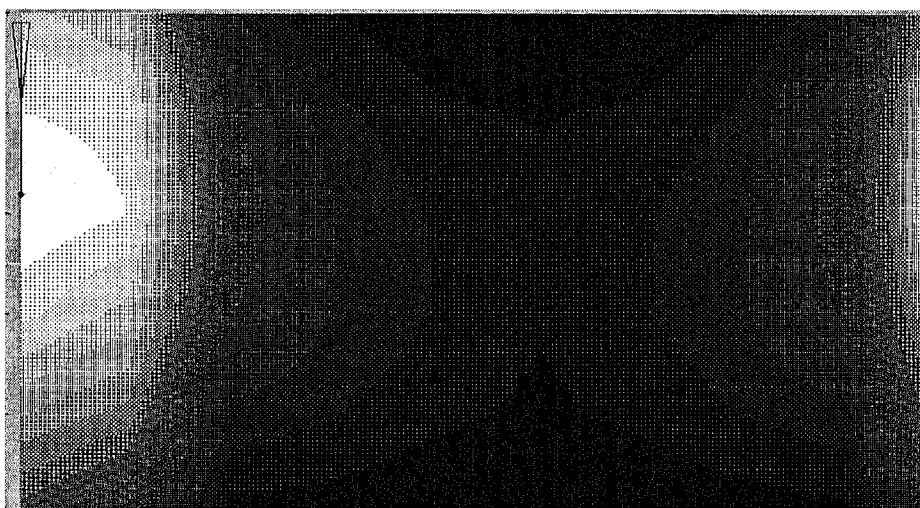
Iluminância

Min: 13.10 Méd: 22.79 Max: 43.79 Ug: 29.9 Uo: 57.5

Uniformidade Global (Uo) e Valor Médio da Iluminância



Curvas isolux



Escala de cinzentos

Por análise dos resultados obtidos conclui-se que os níveis médios de iluminação (curvas isolux) são cumpridos e que a uniformidade (escala de cinzentos) obtida com a disposição das luminárias prevista é superior à regulamentar (Portaria 454/2001 de 05/05).

Abaixo enuncio a metodologia de cálculo utilizada nos vários projectos de redes de Iluminação Pública por mim realizados.

Corrente de Serviço

Uma vez que as cargas de uma rede de iluminação pública são cargas monofásicas deverá efectuar-se uma análise por fase.

As correntes de serviço são determinadas com recurso a expressão abaixo:

$$I_s = \frac{P_{Total}}{U_s} (A)$$

em que:

P_{Total} - Potência total das lâmpadas alimentadas pela mesma fase;
 U_s - Tensão simples (V).

Para o dimensionamento das canalizações deverá considera-se a corrente de arranque. Essa corrente é obtida pela multiplicação da corrente de serviço por um factor de valor 1,5.

Protecção contra sobrecargas

A protecção contra sobrecargas deverá obedecer ao enunciado nas redes de baixa tensão.

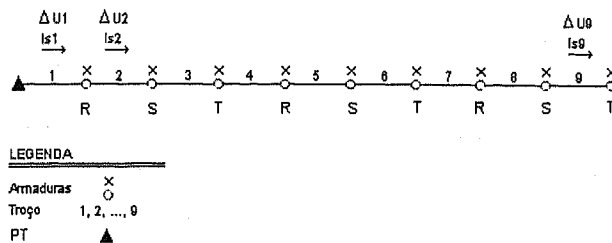
Protecção contra curto-circuitos

Também aqui a protecção contra curto-circuitos deverá obedecer ao enunciado nas redes de baixa tensão.

Quedas de tensão

Sendo as cargas monofásicas a queda de tensão deverá ser calculada não apenas no condutor de fase mas também no de retorno. Nos cálculos efectuados irá considera-se que a queda de tensão no condutor de neutro é idêntica ao condutor de fase, todavia, dado o desequilíbrio existente entre fases, essa queda tensão será inferior à do condutor de fase.

Por forma a obter-se um valor para a queda tensão o mais real possível o seu cálculo deverá ser efectuado por troços como o representado na figura abaixo.



A expressão que permite determinar essa queda de tensão é:

$$\Delta U \cong 2 \cdot \left(\frac{\rho_{20^\circ\text{C}}}{S} \cdot (1 + \alpha(\theta_{\text{max}} - 20)) \right) \cdot \sum_{i=1}^n C_i \cdot I_{s_i} \quad (\text{V})$$

sendo:

- $\rho_{20^\circ\text{C}}$ - resistividade do cabo a 20°C (Ω / km)
- α - coeficiente de termoresistividade ($^\circ\text{C}^{-1}$)
- θ_{max} - temperatura da alma condutora (70°C)
- C_i - comprimento do troço i (km)
- I_i - corrente no troço i (A)
- S - Secção do condutor (mm^2)

Os projectos que realizei foram concebidos de acordo com o mencionado acima.

O principal problema nas redes de iluminação pública é protecção contra curto-circuitos. Na maioria dos casos os comprimentos das vias a iluminar são bastante elevados o que corresponde um problema no que respeita ao cumprimento da protecção contra curto-circuitos. Os comprimentos máximos admissíveis nos cabos do tipo LSVAV 4x16 mm², que foram os cabos utilizados nos projectos que realizei, em função do fusível usado estão mencionados na tabela abaixo:

CABO LSVAV 4x16 mm ²			
I_n	I_f	I_{cc}	L_{max}
16	28	85	478,69
25	44	100	406,89
32	51	125	325,51
40	64	170	239,35
50	80	220	184,95

Nos vários projectos que realizei apresentavam, numa primeira vista, problemas no cumprimento das condições de curto-circuito e quedas de tensão.

Exemplo disso foi o projecto da iluminação pública dos acessos ao Complexo Desportivo de Lousada. A rede de iluminação ficou com um comprimento de aproximadamente 1 km, com 31 colunas de iluminação e alimentada apenas por um Posto de Transformação.

Ora utilizando somente um circuito de iluminação não se conseguiriam verificar as condições mencionadas acima. A solução passou por dividir a rede em duas, isto é, estabelecer dois circuitos de iluminação.

Um dos circuitos, constituído por cabos do tipo LSVAV 4x16mm², virá directamente do Q.G.B.T. do Posto de Transformação e alimentará as primeiras 14 colunas de iluminação.

O outro circuito não será alimentado directamente do P.T. mas sim de um armário de distribuição colocado à frente da última coluna alimentada pelo anterior circuito.

Este armário será alimentado a partir do Q.G.B.T. do P.T. por meio de um cabo do tipo LSVAV 4x95mm². Por sua vez o circuito de iluminação proveniente desse armário será constituído por cabos do tipo LSVAV 4x16mm² e será protegido por um fusível com um calibre que permita garantir a protecção contra curto-circuitos, sobrecargas e quedas de tensão excessivas.

Em anexo são apresentados as plantas dos projectos de iluminação pública por mim realizados.

3.4. Postos de Transformação

3.4.1. Descrição

Os Postos de Transformação foram o assunto menos aprofundado durante o estágio. Por esse motivo pretendo apenas tecer alguns comentários frizando os aspectos abordados nesse período.

Este ponto não se refere ao dimensionamento de Postos de Transformação mas sim à avaliação das condições técnicas existentes nos mesmos no intuito de verificar se estão ou não reunidas as condições técnicas e regulamentares para o estabelecimento ou remodelação de redes de distribuição.

Os equipamentos utilizados nos postos de transformação são normalizados. Quando do projecto de um Posto de Transformação a EDP – Distribuição impõe aos projectistas a utilização obrigatória de determinados equipamentos nomeadamente:

- O Quadro Geral de Baixa Tensão deverá ser do tipo CA1 ou CA2 de acordo com o projecto tipo da D.G.E.;
- A ligação entre o transformador de potência e o Quadro Geral de Baixa Tensão deverá ser realizada por dois cabos do tipo LSVV 380mm² para cada fase e um cabo do mesmo tipo para o neutro;
- A ligação ao primário do transformador de potência deverá ser feita por três cabos do tipo LXHIOV 1x120mm²;
- O transformador de potência a utilizar deverá obedecer à norma DMA C-52-125/N da EDP;

A parte aplicável aos P.T.'s nos vários projectos de redes de distribuição em Baixa Tensão e Iluminação Pública consistiu na abordagem dos seguintes aspectos:

- Verificar se a potência dos transformadores existentes é suficiente para alimentar a totalidade das cargas em jogo. Se a potência do transformador existente não for suficiente este deverá então ser substituído. Essa situação implica a verificação do calibre do interruptor geral do Q.G.B.T.;
- Verificar se os fusíveis existentes no Q.G.B.T. possuem os calibres pretendidos para a protecção das novas redes a implementar. Caso isso não se verifique então deverá efectuar-se a sua substituição;

- Verificar se o Posto de Transformação está dotado de todos os equipamentos de segurança de acordo com as recomendações e regulamentos em vigor para o efeito.

4. Conclusão

O balanço que posso efectuar da minha passagem pela EDP é bastante positivo. Este período permitiu-me consolidar e aprofundar grande parte dos conhecimentos adquiridos em muitas cadeiras leccionadas na faculdade. A integração num ambiente de trabalho foi crucial para a aplicação prática desses conhecimentos teóricos, através da realização de actividades muito interessantes e com utilidade real.

Em suma, considero-me bastante satisfeito com o trabalho desenvolvido e com o conhecimento adquirido ao longo do período de estágio, estando também extremamente consciente que o mesmo resultou de um esforço genuíno da minha parte e da entidade acolhedora, que proporcionou uma oportunidade profissional de grande valor e mérito.

Posso considerar que este estágio foi produtivo pois, com a orientação dos profissionais que comigo trabalharam, pude aprender quais as abordagens que se devem efectuar quando da concepção de um projecto.

Nem sempre as melhores soluções técnicas são as melhores soluções a aplicar, temos de ter em conta sempre os factores económicos, sendo esses hoje em dia os mais importantes, cumprindo sempre os aspectos técnicos.

5. Bibliografia

- Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão, até 30 kV da Direcção Geral de Energia (DGE);
- Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.);
- Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão (R.S.R.D.E.E.B.T.);
- Portaria n.º454/2001 de 05/05 do Diário da República;
- Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18/2/92
- Catálogo de postes de betão Cavan;
- Guia Técnico Solidal;
- Normas para apreciação de projectos - EDP Distribuição;
- Apontamentos das disciplinas:
 - Concepção de Instalações Eléctricas;
 - Produção e Transporte de Energia I;
 - Sistemas Eléctricos de Energia I;
 - Instalações Eléctricas;
 - Técnicas de Alta Tensão.

