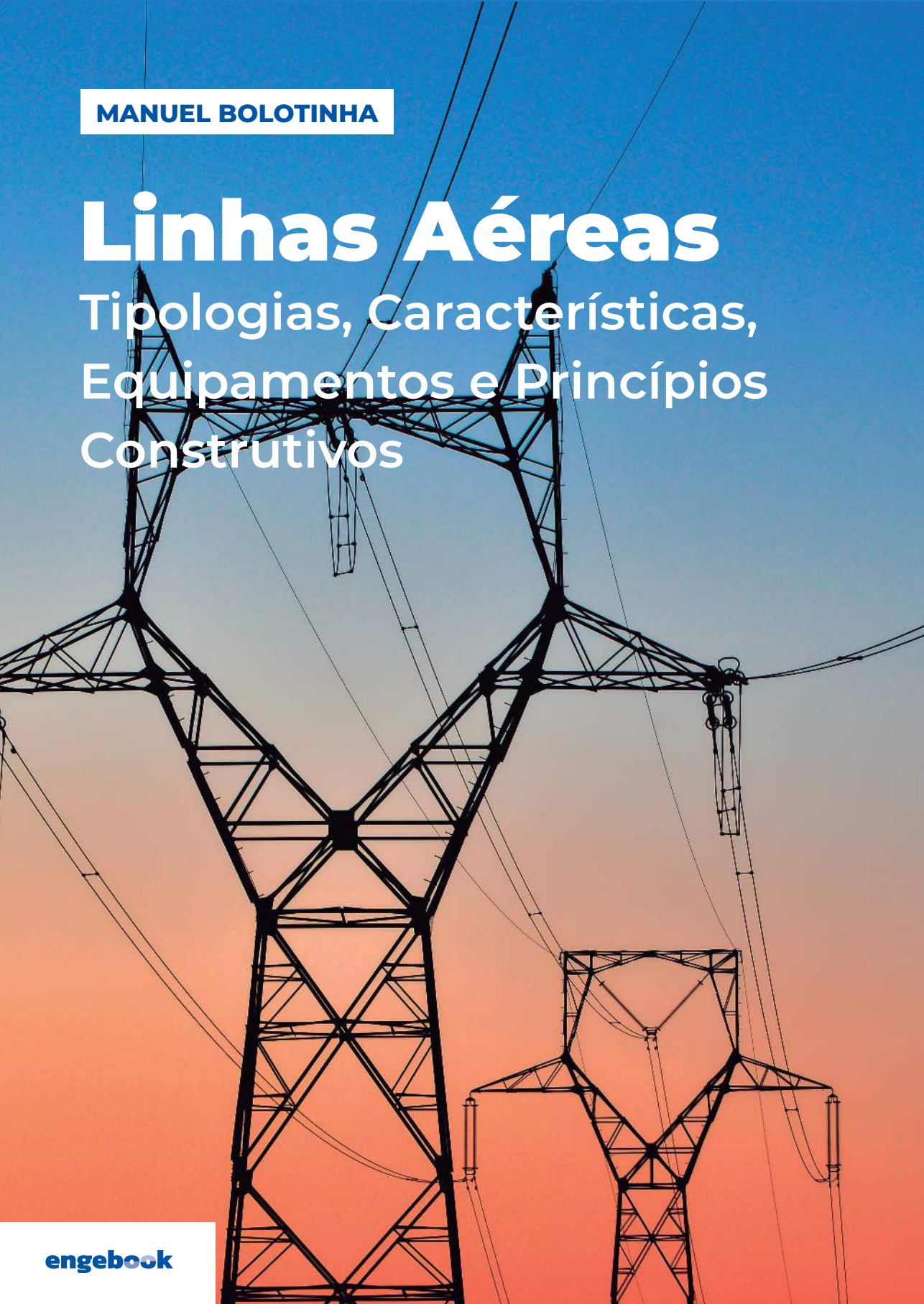
MANUEL BOLOTINHA

Linhas Aéreas

Tipologias, Características, Equipamentos e Princípios Construtivos



engebook

AUTOR
Manuel Bolotinha

TÍTULO
LINHAS AÉREAS - Tipologias, Características, Equipamentos e Princípios Construtivos

EDIÇÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO
Tel: 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt

CHANCELA
Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO
Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 . Fax 220 104 871 . E-mail: info@booki.pt . www.booki.pt

PARCEIRO DE COMUNICAÇÃO
oelectricista – Revista Técnica

REVISÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN
Delineatura - Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO
Novembro, 2020

DEPÓSITO LEGAL
470736/20

A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.
Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2020 | Todos os direitos reservados à Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Por opção do autor, este livro não segue o novo Acordo Ortográfico de 1990.

CDU
621.3 Engenharia Elétrica

ISBN
Papel: 9789899017306
E-book: 9789899017313

Catalogação da publicação
Família: Electrotecnia
Subfamília: Produção, Transporte e Distribuição de Energia Elétrica

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS E TABELAS ..... **IX**

SIGLAS E ACRÓNIMOS ..... **XVII**

1. A FUNÇÃO DAS LINHAS AÉREAS **21**

2. COMPARAÇÃO ENTRE REDES AÉREAS E SUBTERRÂNEAS MT, AT E MAT **29**

3. NORMAS, REGULAMENTOS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA **33**

3.1. INTRODUÇÃO 35

3.2. REGULAMENTOS 35

3.3. NORMAS 36

3.4. OUTROS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 34

4. TENSÕES E FREQUÊNCIAS NOMINAIS DAS REDES BT, MT, AT E MAT **39**

5. REGIME DE NEUTRO DAS REDES BT, MT, AT E MAT **43**

5.1. ASPECTOS GERAIS 45

5.2. REDES MT 46

5.3. REDES BT 51

6. CONSTITUIÇÃO DAS REDES AÉREAS MT, AT E MAT (CABOS NUS) **57**

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS 59

6.2. TIPOS DE APOIOS E CONFIGURAÇÃO DAS LINHA AÉREAS 62

6.2.1. Tipos de Apoios 62

6.2.2. Configurações das Linhas de Aéreas – Aspectos Gerais 65

6.2.3. Configurações das Linhas de Média Tensão 65

6.2.4. Configurações das Linhas de Alta e Muito Alta Tensão 68

6.3. POSTES 70

6.3.1. Tipos de Postes e Características Gerais 70

6.3.2. Postes de Betão 70
6.3.3. Postes Metálicos 74
6.4. ARMAÇÃO DOS POSTES DE BETÃO 76
6.5. CABOS 78
6.6. ISOLADORES 80
6.7. AMORTECEDORES 89
6.8. LIGAÇÕES À TERRA 90
6.9. BALIZAGEM DIURNA E NOCTURNA DOS POSTES 93
6.10. PROTECÇÃO DA AVIFAUNA 96
6.11. APARELHAGEM DE SECCIONAMENTO E CORTE 96
6.12. PLATAFORMAS DE MANOBRA OU DE EQUIPOTENCIALIDADE 98
6.13. DISPOSITIVOS ANTI-NIDIFICAÇÃO 99
6.14. CHAPAS DE "PERIGO DE MORTE" E DE IDENTIFICAÇÃO/NÚMERO DO APOIO 99

7. PROTECÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DAS LAMT, LAAT E LAMAT 101

8. TRANSPOSIÇÃO DAS LINHAS MAT 105
8.1. INTRODUÇÃO 107
8.2. DEFINIÇÃO DE TRANSPOSIÇÃO 108
8.3. RAZÕES TÉCNICAS DAS TRANSPOSIÇÕES E VANTAGENS 108
8.4. COMO DEVEM SER FEITAS AS TRANSPOSIÇÕES 109

9. TRANSIÇÃO LINHA AÉREA/CABO SUBTERRÂNEO (LAMT, LAAT E LAMAT) 111

10. MACIÇOS DE FUNDAÇÃO DAS LAMT; LAAT E LAMAT (CABOS NUS) 117
10.1. CRITÉRIOS GERAIS E DE PROJECTO 119
10.2. PROCESSOS E MÉTODOS CONSTRUTIVOS 120
10.3. CAPEAMENTO DOS MACIÇOS 123
10.4. ENSAIOS DO BETÃO 124

11. PRINCÍPIOS GERAIS DE MONTAGEM DAS LAMT, LAAT E LMAT (CABOS NUS) 127
11.1. CRITÉRIOS GERAIS DE ORGANIZAÇÃO DO ESTALEIRO 129
11.2. PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM 131

12. LINHAS AÉREAS MT COMPACTAS PROTEGIDAS 155
12.1. ASPECTOS GERAIS 157
12.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CABOS DE FASE E MENSAGEIRO 160
12.3. UNIÕES DE CABOS E LIGADORES 161
12.4. ESPAÇADORES, SEPARADORES, OUTROS MATERIAIS POLIMÉRICOS E ISOLADORES 163
12.5. ACESSÓRIOS, FERRAGENS E ARMAÇÕES 165
12.6. MONTAGEM E DESENROLAMENTO DOS CABOS 169

12.7. DESCARREGADORES DE SOBRETENSÕES 176
12.8. LIGAÇÃO À TERRA DO CABO MENSAGEIRO 176
12.9. PRINCÍPIO GERAL DE SEGURANÇA 176

13. LINHAS AÉREAS MT COM CABOS ISOLADOS EM TORÇADA 177

14. LINHAS AÉREAS BT. ASPECTOS GERAIS 183

15. LINHAS AÉREAS BT COM CABOS ISOLADOS EM TORÇADA 187
15.1. CABOS E ACESSÓRIOS 189
15.1.1. Cabos 189
15.1.2. Acessórios 191
15.3. APOIOS E INSTALAÇÃO DOS CABOS 192
15.4. CABOS EM FACHADAS 194
15.5. LIGAÇÃO DOS CABOS EM TORÇADA 195
15.6. LIGAÇÃO DO NEUTRO À TERRA 196

16. LINHAS AÉREAS BT COM CABOS ISOLADOS PRÉ-REUNIDOS, OU MULTIPLEXADOS. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS 197

17. CRITÉRIOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DAS LINHAS AÉREAS ... 203

18. DEFEITOS E PROTECÇÕES DAS LINHAS AÉREAS 209
18.1. TIPOS DE DEFEITOS 211
18.2. PROTECÇÕES 212
18.2.1. Considerações Gerais 212
18.2.2. Protecção Diferencial 214
18.2.3. Protecção de Distância 214
18.3. RELIGAÇÃO 218

19. LINHAS AÉREAS MAT DE CORRENTE CONTÍNUA 221

20. FISCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS 229
20.1. ORGANIZAÇÃO E CONSTITUIÇÃO DA EQUIPA DE FISCALIZAÇÃO 231
20.2. FUNÇÕES DA EQUIPA DE FISCALIZAÇÃO 232
20.3. PLANO DE INSPECÇÕES E ENSAIOS 233
20.4. FUNÇÕES DOS FISCAIS EM OBRA 234

21. CRITÉRIOS BASE DE SEGURANÇA 237
21.1. ASPECTOS GERAIS 239
21.2. PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE (PSS) 240
21.3. TÉCNICO DE HIGIENE E SEGURANÇA 241

21.4. IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS 242
21.4.1. Introdução 242
21.4.2. Movimentação Mecânica de Cargas 242
21.4.3. Abertura de Covas (Caboucos) 243
21.4.4. Betonagem 244
21.4.5. Utilização de Gruas Móveis 244
21.4.6. Assemblagem e Montagem de Postes 245
21.4.7. Operação de Desenrolamento de Cabos 246
21.4.8. Colocação de Cabos e Lingas de Aço 248
21.4.9. Fixação de Cabos 249
21.5. EQUIPAMENTOS DE PROTECÇÃO (EPI E EPC) 250

ANEXOS CCLIII

ANEXO 1 – RELAÇÃO DE NORMAS RELEVANTES CCLV
A1.1. NORMAS EN, NP E NP EN CCLV
A1.2. NORMAS IEC CCLVI
A1.3. NORMAS ISO CCLVI

ANEXO 2 – CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DOS ELÉCTRODOS DE TERRA DAS LA ... CCLVIII

ANEXO 3 – CRITÉRIOS GERAIS DE PROJECTO DE EXECUÇÃO DAS LA CCLX
A3.1. ASPECTOS GERAIS CCLX
A3.2. DIMENSIONAMENTO ELÉCTRICO DOS CABOS CCLXII
A3.3. DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DOS CABOS E DOS APOIOS CCLXIII

ANEXO 4 – EXEMPLO DO REGISTO DE NÃO CONFORMIDADE CCLXV

ANEXO 5 – LISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE DE SEGURANÇA (EXEMPLO) CCLXVI

ANEXO 6 – SISTEMA DE UNIDADES CCLXX

BIBLIOGRAFIA CCLXXIII

CAPÍTULO 1

A FUNÇÃO DAS LINHAS AÉREAS

De uma forma geral as **LAMAT** e **LAAT**, constituídas por **cabos nus**, e nalguns casos as **LAMT**, dependendo das *características* e *tensão nominal da rede e características* do **sistema electroprodutor**, integram o **sistema de transporte de energia** e destinam-se a **interligar o sistema tradicional de produção de energia** (*centrais hidroeléctricas e centrais térmicas*) e eventualmente **centrais fotovoltaicas**, às diversas **SE MAT/MAT/AT** e à *interligação* entre **sistemas electricamente independentes**.

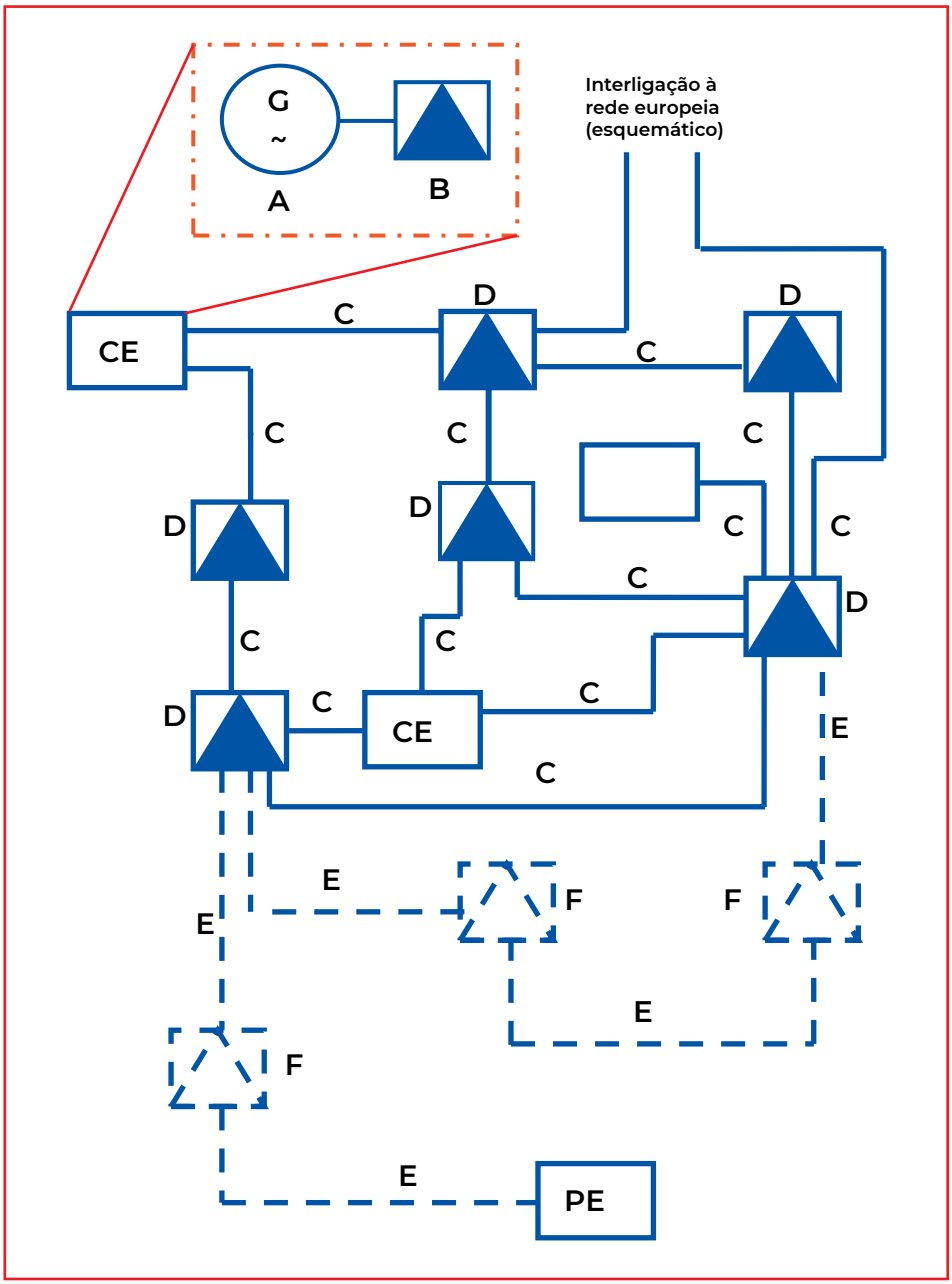
Em *Portugal* o *sistema de transporte de energia* é constituído pelas **LAMAT** de **150 kV, 220 kV e 400 kV** e por *cabos subterrâneos para os mesmos níveis de tensão*, como por exemplo acontece na *SE Alto Mira* (**cabos de 220 kV**), que são propriedade da **REN**, e ainda algumas **LAAT** e *cabos subterrâneos* de **60 kV**, estabelecendo a **Rede Nacional de Transporte de Energia Eléctrica**, habitualmente designada por **rede primária**, que, por sua vez, se encontra ligada à rede europeia, através da rede espanhola.

Podem ainda ser utilizadas na alimentação de *SE AT e SE MAT privadas*, de clientes com **elevados requisitos de potência** (*refinarias, papeleiras, cimenteiras, etc.)*

A generalidade das **LAAT** de **60 kV**, conjuntamente com *cabos subterrâneos do mesmo nível de tensão*, particularmente nas *zonas urbanas*, destinam-se à *alimentação* das **SE AT/MT** da **rede de distribuição da EDP**. Aquelas *linhas aéreas* são também utilizadas na *ligação* de **parques eólicos** às referidas *SE da EDP*.

A *RNT*, onde se incluem as **linhas aéreas de 150 kV, 220 kV e 400 kV**, e a **rede de 60 kV** tem uma configuração em **anel emalhado**, com uma *complexidade importante*. Na Figura 1 representa-se esquematicamente a configuração **daquelas redes**, integrando as *centrais eléctricas*.

As **centrais fotovoltaicas** são habitualmente ligadas às *SE MAT/MAT/AT* através de *LMAT ou LAAT*, e como tal não estão representadas na Figura 1.1.



CAPÍTULO 2

COMPARAÇÃO ENTRE REDES AÉREAS E SUBTERRÂNEAS MT, AT E MAT

As *redes de média, alta e muito alta tensão* podem ser **aéreas e subterrâneas**, consoante a sua localização e inserção nas *malhas urbanas*.

As *RMT aéreas* são principalmente instaladas em **zonas rurais** e, nalguns casos, em **zonas semi-urbanas**, enquanto a *RMT subterrâneas* são **predominantemente** instaladas em **zonas urbanas**.

As *redes* de **60 kV**, cuja função foi analisada no capítulo anterior, tanto podem ser *instaladas em zonas rurais*, situação em que são **aéreas**, como em *zonas urbanas e sub-urbanas*, sendo nesta situação **predominantemente subterrâneas**.

Já as *redes de muito alta tensão* (em *Portugal*, *tensões* **superiores a 60 kV**) são habitualmente **aéreas**, instaladas em *zonas rurais*, uma vez que, habitualmente, as *SE que interligam* se situam preferencialmente na **periferia** das *zonas urbanas* e a *solução cabos subterrâneos* pode **originar custos incomportáveis** e ser **tecnologicamente mais complexa**, devido aos **requisitos técnicos** para a *construção de cabos isolados* para **tensões e potências elevadas**.

Comparativamente às *redes subterrâneas*, as *redes áereas* apresentam diversas **desvantagens**:

- Ocupam mais espaço.
- Têm maior impacto visual.
- O campo eléctrico gerado pode afectar a saúde das pessoas a ele submetidas.
- São afectadas por tempestades, designadamente descargas atmosféricas, que contribuem para a diminuição da qualidade e continuidade do serviço.

CAPÍTULO 3

NORMAS, REGULAMENTOS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

3.1. INTRODUÇÃO

O *projecto e a construção* das **Linhas Aéreas de Alta, Muito Alta, Média e Baixa Tensão** (*LAMAT, LAAT, LAMT e LABT*), e as características dos respectivos equipamentos obedecem a um conjunto de *documentos legais* – os **Regulamentos** – e a **normas nacionais e internacionais** e ainda a um a um **conjunto de documentos normativos** *emitidos pelas entidades legalmente habilitadas para o efeito*, designadamente, no caso de *Portugal*, a **DGEG** e pelas *entidades concessionárias das redes de transporte de energia e de distribuição de energia*, que em *Portuga*l são a *REN* e a *EDP Distribuição*[4], respectivamente

3.2. REGULAMENTOS

Em *Portugal* deve ser observado o **RSLEAT**[5], publicado pelo *Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18 de Fevereiro*, para as *LAMT, LAAT e LAMAT* e o **RSRDEEBT**, publicado pelo *Decreto Regulamentar nº 90/84 de 26 de Dezembro*, para as *LABT*.

4 Doravante, neste Manual, por questões de simplificação, a *EDP Distribuição* será apenas referida como **EDP**.

5 O *RSLEAT* aplica-se a **linhas aéreas e a cabos isolados** (*subterrâneos*) cuja **tensão** é **> 1 kV** em **CA**.

CAPÍTULO 4

TENSÕES E FREQUÊNCIAS NOMINAIS DAS REDES BT, MT, AT E MAT

As **tensões nominais** das *redes de transportes e distribuição de energia* **variam de país para país**, apresentando uma *larga gama de valores*. Na Tabela 4.1 apresentam-se alguns dos mais habituais valores daquelas tensões, bem como os correspondentes **valores mais elevados** que essas *tensões podem ter e que os equipamentos* **devem poder suportar**.

Tabela 4.1. – Tensões nominais das redes de baixa, média, alta e muito alta tensão

Nível de Tensão	Tensão Mais Elevada (kV ef)	Tensões Normalmente Utilizadas em Portugal (kV ef)		Tensões Nominais Mais Comuns em Diversos Países (kV ef) 50 (ou 60) Hz, 1m (kV ef)	Tensões Suportáveis Mínimas[6]	
		EDP (Distribuição)	REN (Transporte)		50 (ou 60) Hz, 1m (kV ef)	Ao Choque Atmosférico (kV pico)
Baixa Tensão (BT)	≤ 1 (CA) ≤ 1,5 (CC)	0,23-0,4		0,11-0,19; 0,127-0,22; 0,23-0,4; 0,5; 0,6; 0,66	≤ 2	≤ 12

6 Designando a tensão de pico por U_p e o valor eficaz dessa tensão por U_{ef}, verifica-se a seguinte relação: $U_{ef} = U_p/\sqrt{2} \approx 0{,}71U_p$

CAPÍTULO 5

REGIME DE NEUTRO DAS REDES BT, MT, AT E MAT

5.1. ASPECTOS GERAIS

A escolha do **regime de neutro**[8] de um *equipamento ou de uma rede* é um problema importante para os engenheiros que se dedicam ao *projecto* e à *definição* das *condições de exploração* das *redes e equipamentos*, devendo a **solução a adoptar** resultar de um **consenso** entre *ambos os técnicos*, tendo em atenção as **obrigações legalmente estabelecidas para a continuidade e qualidade do serviço**[9] e o *estipulado nos contratos de fornecimento de energia eléctrica* para os **clientes "mais importantes"** – *indústria, aeroportos, hospitais, etc.*

Os principais **objectivos** dos *regimes de neutro* são:

- *Aumentar a segurança das pessoas.*
- *Minimizar danos causados nos equipamentos por defeitos à terra internos.*
- *Limitar os esforços electrodinâmicos devidos às correntes de curto-circuitos externos fase-terra.*
- *Limitar as consequências de sobretensões transitórias nos materiais de isolamento de equipamentos e redes.*

8 **Regime de neutro** um *equipamento* (gerador ou transformador) ou de uma *rede* - forma como o **neutro desse equipamento** ou **dessa rede** está ligado **à terra**.

9 Em *Portugal* estas "obrigações" são definidas pela **ERSE**, que tem definido o **número e o total máximo de horas de interrupção do fornecimento de energia eléctrica** e o **tempo máximo de duração de cada interrupção**, bem como **os valores máximos e mínimos da tensão e frequência** e a **máxima distorção da onda electromagnética**

Figura 5.3. – Ligação do neutro à terra através de uma resistência

Em **funcionamento normal**, o *neutro do transformador* está *praticamente* ao **mesmo potencial** da *terra* (o *valor da resistência* é **relativamente baixo**) e a **resistência** é percorrida pela **corrente residual**, devido principalmente às **harmónicas de 3ª ordem**.

Em *Portugal*, os **valores normalizados** pela *EDP* para a **resistência de neutro** são os *correspondentes* a **correntes de defeito fase-terra** de **1000 A** (*redes subterrâneas*) e **300 A** (*redes mistas – aérea/subterrânea*), indicando-se na Tabela 3 os valores das **correntes homopolares** ($\mathbf{3I_0}$) e das **resistências mínimas** ($\mathbf{R_{min}}$), em função da *tensão nominal da rede*.

Tabela 5.2. – Correntes e resistências mínimas, a 20 °C, em função da tensão nominal da rede

Tensão nominal da rede[12] U_n (kV)	10/√3		15/√3		30/√3	
$3I_0$ (A)	300	1000	300	1000	300	1000
R_{min} a 20 °C (Ω)	58	17,5	87	26	174	52

As **vantagens** deste sistema são as seguintes:

- Bom compromisso entre um valor baixo da corrente de defeito e fácil eliminação de sobretensões.
- Não exige equipamento com isolamento fase-terra dimensionado para tensões compostas (fase-fase).
- Sistemas de protecção simples e selectivos.

12 Tensão simples.

CAPÍTULO 6

CONSTITUIÇÃO DAS REDES AÉREAS MT, AT E MAT (CABOS NUS)

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As **LAAT e LAMAT** ligam através de **cabos nus** a *SE MAT/MAT/AT* do tipo **AIS**, nos respectivos *pórticos de amarração*, ou por **cabos isolados** em *SE MAT/MAT/AT* do tipo **AIS** *inseridas na malha urbana* e a *SE MAT/MAT/AT* do tipo **GIS**, também por **cabos isolados**. Este *tipo de ligação* **requer** que seja realizada uma **transição linha aérea/cabo isolado** (ver Capítulo 9).

As **LAMT** ligam aos *QMT* das *SE AT/MT* do tipo **AIS** ou dos *PT MT/BT* através de *cabos isolados*, sendo igualmente **necessária** a realização de uma **transição linha aérea/cabo isolado**.

As **LAMT, LAAT e LAMAT,** cujas **características eléctricas** principais são a *tensão* (**kV**) e a sua *natureza* (**CA** ou **CC**) e a *frequência* (**50 Hz** ou **60 Hz**, conforme os países), são constituídas por:

- Apoios[15] – *postes de betão e armações e postes metálicos, recticulados, em aço galvanizado* – incluindo os respectivos **maciços de fundação** (ver Capítulo 10)
- Cabos nus[16]
- Cadeias de isoladores, amortecedores e acessórios
- Sistema de protecção contra descargas atmosféricas – **SPDA** (ver Capítulo 7)

15 Doravante, nesta obra as designações *apoio* e *poste* serão usadas indiscriminadamente com o mesmo sentido.

16 Doravante designados apenas por **cabos**.

6.13. DISPOSITIVOS ANTI-NIDIFICAÇÃO

A **nidificação das aves**, particularmente as cegonhas, nos *apoios da linha*, devido à *libertação de excrementos e outras matérias orgânicas*, que se **depositam nos isoladores**, podem causar a **diminuição da linha de fuga da cadeia de isoladores**, e dar origem a um *defeito* **fase-terra**. Para obviar a esta situação nas *LA* (mais habitualmente nas **LAMT**) é necessário instalar **dispositivos anti-nidificação**, que devem seguir o estipulado no *CE* da *Obra* ou as instruções do *D.O.* e também ao documento **DFT-C11-310/N** da *EDP*.

Figura 6.59. – Dispositivo anti-nidificação

6.14. CHAPAS DE "PERIGO DE MORTE" E DE IDENTIFICAÇÃO/NÚMERO DO APOIO

Depois de completada a fixação dos cabos e respectivos acabamentos, deve proceder-se à colocação dos **conjuntos sinaléticos**, que constam de **chapas de perigo de morte** e **placas de numeração dos postes** com a *indicação do concessionário da linha*, como se representa na Figura 6.60.

Figura 6.60. – Sinalização de perigo de morte e de identificação do apoio

CAPÍTULO 7

PROTECÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DAS LAMT, LAAT E LAMT

Os **SPDA** das *LA* devem ser estabelecidos, em *Portugal*, de acordo com as normas *IEC, NP e EN* e com o *Guia Técnico de Pára-raios* publicado pela **DGEG**, que estabelece também os métodos de cálculo, para garantir que as *sobretensões geradas* **não alcancem valores suficientemente elevados** que possam **danificar os equipamentos**, considerando o **níveis de protecção** (**I, II, III, IV – muito elevado; elevado; normal; fraco**) definidos por aqueles documentos para os *tipos de instalações a proteger*.

A *protecção* das *LAAT e LAMAT* contra **descargas atmosféricas** é realizada por meio de um **cabo de guarda** instalado ao longo de todo o percurso, montado no topo dos postes, como se mostra na Figura 7.1.

Figura 7.1. – Cabos de guarda

CAPÍTULO 8

TRANSPOSIÇÃO DAS LINHAS MAT

8.1. INTRODUÇÃO

Ao abordar o tópico das **transposições** das *linhas eléctricas*, que praticamente apenas se verificam nas *LAMAT* de *tensões nominais iguais e superiores* a **150 kV**, abordar-se-ão basicamente *três temas*:

1. Definição de transposição
2. Razões técnicas das transposições e vantagens
3. Como devem ser feitas as transposições

Por questões de simplificação esquemática das *transposições*, as **fases** serão identificadas por cores – **vermelho**, **verde** e **azul**, a que correspondem, respectivamente a **identificação das fases** como **0**, **4** e **8**[34], isto é:

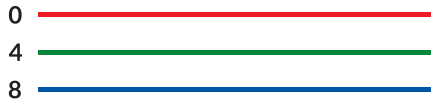


Figura 8.1. – Codificação das fases

34 A escolha das *cores e referências das fases* foi **puramente arbitrária**, mas de uma forma geral considerou-se **0** como **L1, 4** como **L2** e **8** como, identificação habitual das fases em **MAT** e **AT**.

As **vantagens** da *transposição* das *LAMAT* são as seguintes:

- Redução do desequilíbrio electrostático e electromagnético entre fases, que contribui para o desequilíbrio da tensão.
- Redução das correntes induzidas nos cabos de linhas nos mesmos apoios ou pa ralelas, o que minimiza o arco eléctrico que se forma na abertura dos disjuntores aquando de uma manobra de desenergização ou de um disparo por defeito de uma linha aérea. O esforço do disjuntor é menor, o que aumenta a sua vida útil.
- Redução das perdas da linha aérea.
- Redução do acoplamento indutivo nas linhas de telecomunicações que se encontrem na vizinhança.

8.4. COMO DEVEM SER FEITAS AS TRANSPOSIÇÕES

A **localização exacta das transposições** depende de uma *análise da linha e das linhas adjacentes*. Essa análise deve ser feita tendo também em consideração o **comprimento da linha, a geometria dos apoios, a potência a transportar, o valor da tensão e a impedância da linha**.

Como *regra geral*, dependendo do *comprimento da linha* ou da existência de *cantões*[38] *muito longos*, pode considerar-se que a *localização das transposições* resulta da *divisão do comprimento total da linha ou do cantão* em **três partes iguais**, como se exemplifica na Figura 8.3.

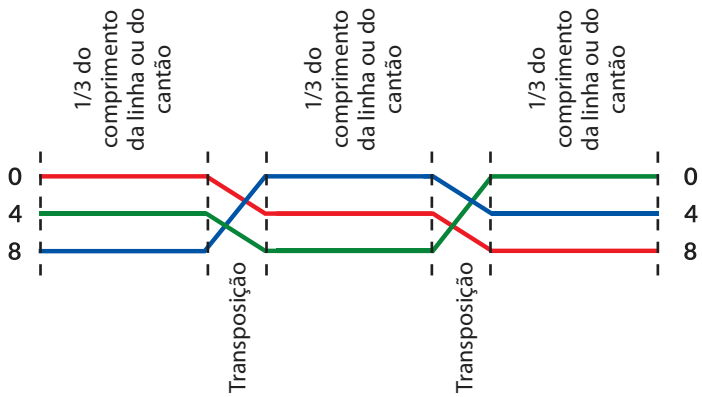


Figura 8.3. – Transposição de uma LAMAT ou de um cantão da linha

38 Para definição de cantão ver Capítulo 6.1.

CAPÍTULO 9

TRANSIÇÃO LINHA AÉREA/CABO SUBTERRÂNEO (LAMT, LAAT E LAMAT)

A **transição linha aérea/cabo subterrâneo** acontece habitualmente nas seguintes situações:

- *LAMT*: Ligação ao **QMT** de uma **SE AT/MT** ou de um **PT MT/BT**, em **derivação** da *rede aérea*.
- *LAAT e LAMAT*: Ligação a um *painel* de uma **SE do tipo AIS**, quando as linhas es tão *inseridas na malha urbana*, ou a um **GIS**.
- Em ambas as situações: quando é necessário que uma *rede aérea* passe a *rede sub terrânea*, para que **não haja atravessamento** de uma zona *suburbana ou urbana* pela *LA* ou na *travessia de vias de circulação*, quando as **condições locais** assim o exigirem.

Essa **transição** é efectuada num **apoio específico** da *LA*, onde são instaladas **caixas terminais de cabo e DST** para a **protecção contra descargas atmosféricas** do *cabo isolado*, evitando a **propagação pelo cabo de uma eventual descarga atmosférica** na *LA*.

Nas *LAMT*, em algumas situações é também instalado um *interruptor ou um seccionador* para **isolar o troço subterrâneo**.

As Figuras 9.1. e 9.2. ilustram esta transição.

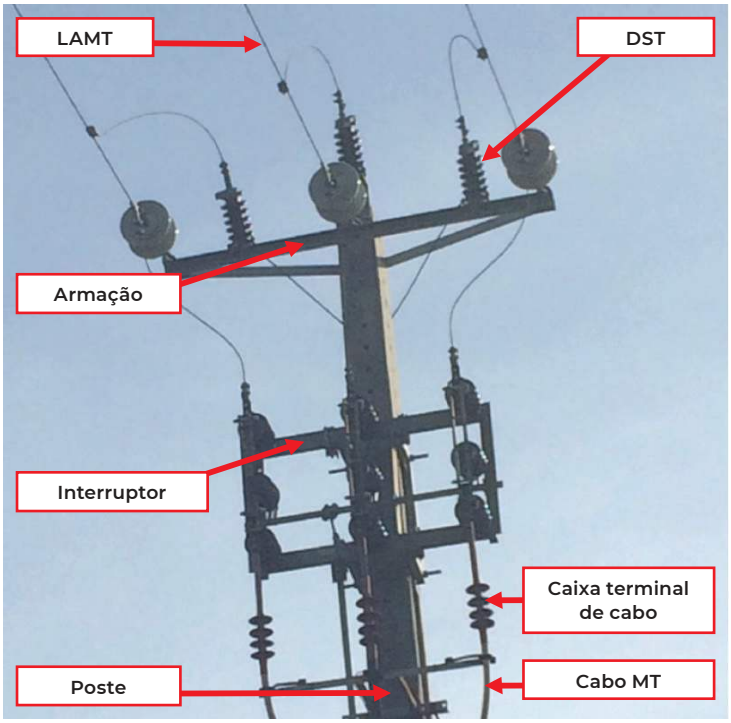


Figura 9.1. – Transição rede área/rede subterrânea – LAMT

Figura 9.2. – Transição rede área/rede subterrânea – LAAT

CAPÍTULO 10

MACIÇOS DE FUNDAÇÃO DAS LAMT; LAAT E LAMAT (CABOS NUS)

10.1. CRITÉRIOS GERAIS E DE PROJECTO

É através das **fundações** que são *transmitidos ao solo os esforços resultantes de todas as solicitações exteriores que lhe estão aplicadas.* Assim, o **maciço de fundação** deve ser **dimensionado** de modo a que, sob o *efeito das* **solicitações máximas** *a que possa vir a ser submetido*, **não ocorram aumentos perigosos da flecha dos condutores e muito menos o derrubamento do apoio**.

Os *critérios* para o **dimensionamento dos maciços de fundação**, que estão indicados no *RSLEAT*, e que devem obedecer aos **Eurocódigos**[39], são:

- *Natureza dos terrenos*
- *Responsabilidade da linha*
- *Função do apoio*
- *Esforços envolvidos*
- *Altura do apoio*

As *fundações* poderão constituir, **um maciço único** ou então **dois ou quatro maciços** *separados, de acordo com o apoio a que se destinam*.

39 Os **Eurocódigos** são as *Normas NP EN 1990, 1991, 1992, 1993, 1997 e 1998* que vieram substituir os regulamentos aplicáveis aos trabalhos de construção civil, designadamente o REBAP *(Regulamento de Estruturas em Betão Armado e Pré-esforçado).*

CAPÍTULO 11

PRINCÍPIOS GERAIS DE MONTAGEM DAS LAMT, LAAT E LMAT (CABOS NUS)

11.1. CRITÉRIOS GERAIS DE ORGANIZAÇÃO DO ESTALEIRO

O **estaleiro de apoio** à *montagem das LA* constitui uma **infra-estrutura importante** para um **bom desenvolvimento** dos *trabalhos de montagem*. Como os *volumes de trabalho na construção das LA* **não são**, na generalidade, **muito elevados**, tal justifica que a *infra-estrutura de estaleiro* seja **pouco complexa e relativamente simples**, mas **suficientemente flexível** para *facilmente se adaptar a uma obra* que normalmente se **estende por vários quilómetros**.

O *estaleiro*, se possível, deve procurar **cumprir os seguintes requisitos**:

- *Localização*, tanto quanto possível, **equidistante dos pontos extremos** da *LA* para *minimização de custos de deslocação*.
- A proximidade de *centro urbano* para vantagens logísticas.
- Dispor de uma *zona de escritórios, de zona social* (refeitório, balneários, *WC*, etc.) e de *portaria* (para **controlo de acessos de pessoas, materiais e equipamentos ao estaleiro**
- Ter **acessíveis**, *ligações de água, energia eléctrica e comunicações*.
- Ter **espaço exterior** para *guarda de viaturas e máquinas*.
- Ter uma **zona delimitada** para *armazenamento das bobinas de cabo, apoios* (de betão e/ou metálicos) e *outras estruturas metálicas a aplicar na obra*.
- Ter **espaço interior em armazém fechado** para **guarda de ferramentas e materiais e equipamentos de pequenas dimensões** (*porcas, parafusos e anilhas; isoladores e acessórios de cadeias, equipamentos de seccionamento, etc.*).
- Ter um **posto de socorros** *equipado e funcional*.

- A *organização do estaleiro* **deve estar ajustada ao apoio logístico à montagem** e **respeitar as exigências** do *D.O.* referidas no *CE* da *Obra*.

Na Figura 11.1. exemplifica-se um *modelo de organização de estaleiro*.

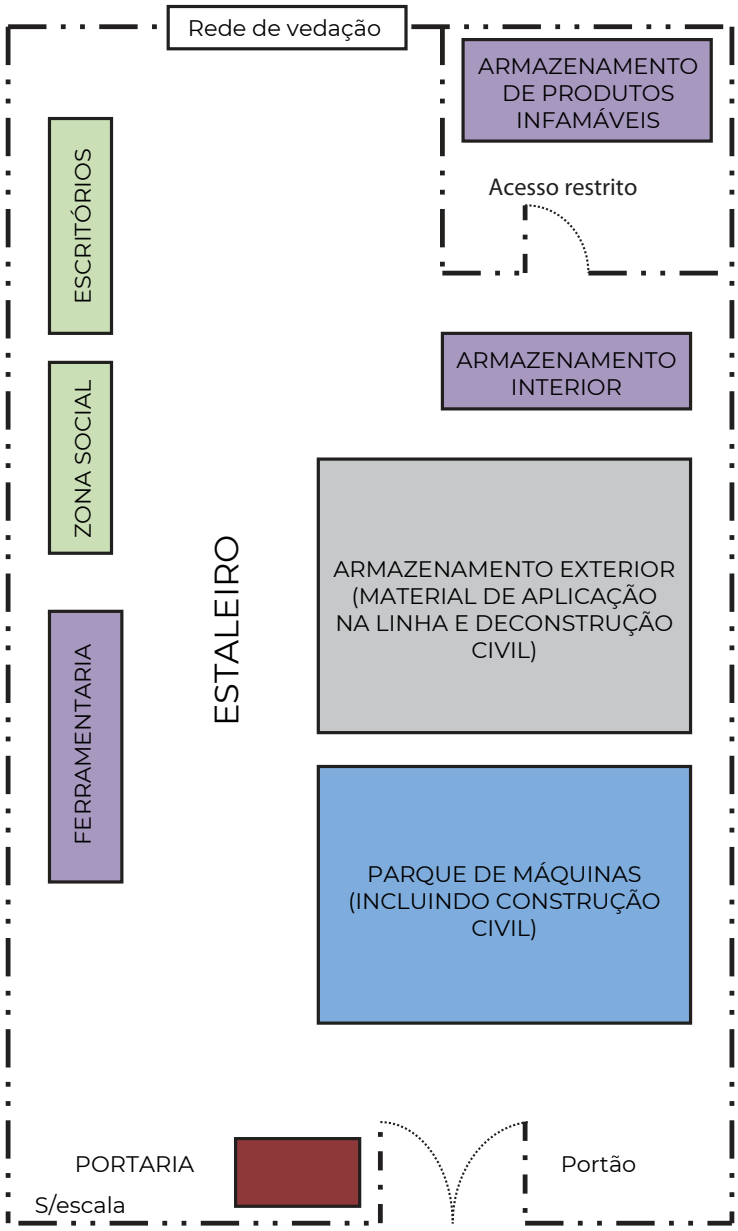


Figura 11.1. – Exemplo da organização de um estaleiro

A *obra* deve ser **organizada por tipos de trabalhos** (*desmatação e corredor da linha; piquetagem dos apoios; construção civil; montagem de apoios; montagem de roldanas, de isoladores e ligadores; desenrolamento e montagem de cabos; regulação de cabos; etc.*), sendo esse *princí-*

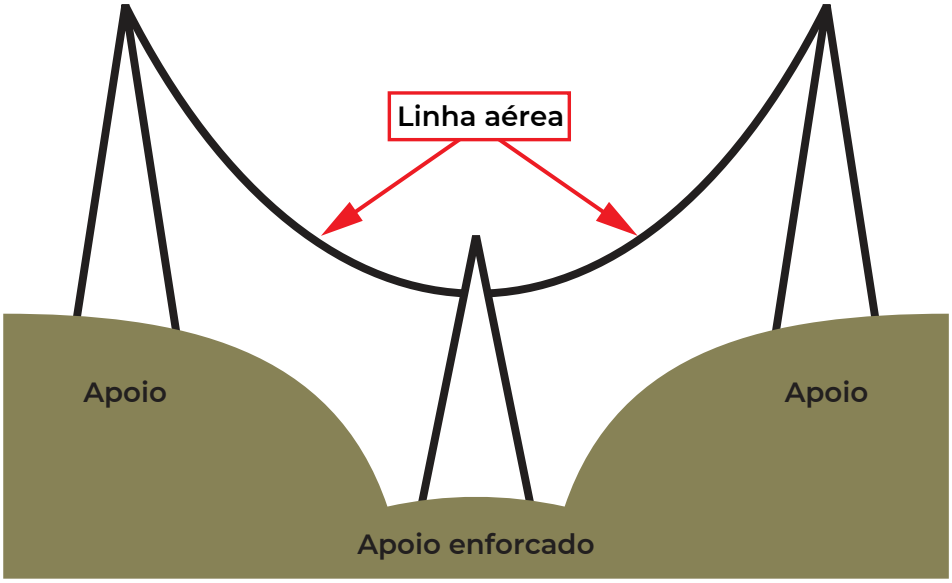


Figura 11.20. – Representação esquemática de um apoio enforcado

Estes apoios são projectados como *apoios de amarração*, devendo ser colocadas **roldanas de retenção** *ancoradas ao solo, à saída das roldanas de desenrolamento suspensas nos braços*, como se representa na Figura 11.21., para **obrigar os cabos a permanecerem nas golas das rodalnas**.

Sobretudo no *desenrolamento do cabo tensor*, o **escape deste cabo da gola** é uma **situação geradora de acidentes no desenrolamento de cabos em tensão mecânica**.

Uma **eventual sobrecarga** no *decorrer do puxo dos cabos* pode **aumentar a tensão mecânica, a elevação do cabo tensor, a sua saída da gola e eventual prisão na estrutura da roldana, de consequências gravosas**. A colocação *de roldanas de retenção e especial vigilância nestes apoios em fase de desenrolamento* são **medidas eficazes e obrigatórias**.

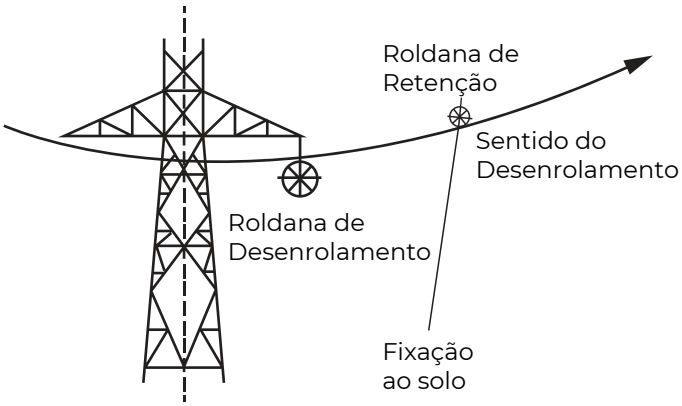


Figura 11.21. – Colocação de uma roldana de retenção à saída da roldana de desenrolamento

9) *Regulação dos cabos*

Figura 11.23. – Prensa de cravar

Nas *ligações alumínio-cobre* e a fim de evitar a **corrosão electrolítica do alumínio em presença do cobre (ou do aço) e de um electrólito**, como é o caso das instalações exteriores (**a água funciona como electrólito**) deverão ser utilizados **ligadores bimetálicos**.

Nos **ligadores bimetálicos com chapa bimetálica**, esta deve ultrapassar em alguns milímetros a zona de contacto. A *placa bimetálica* deve ser protegida por uma **pintura betuminosa** que **evite a infiltracção de água**.

É fundamental que, ao aplicar o *ligador*, as **superfícies de contacto dos cabos estejam limpas de qualquer contaminação ou oxidação**. *Esta limpeza deve ser feita escovando os cabos na zona de contacto com escovas apropriadas.*

A *localização das junções entre cabos* (Figura 11.24.) **não se deve verificar muito próxima dos postes**, pois ficariam **sujeitas a esforços de vibrações muito acentuadas**, fazendo assim **perigar a sua durabilidade**. Sempre que possível, as *junções* devem ser colocadas nos **arcos condutores** (*sem tracção mecânica*) **entre cadeias de amarração**.

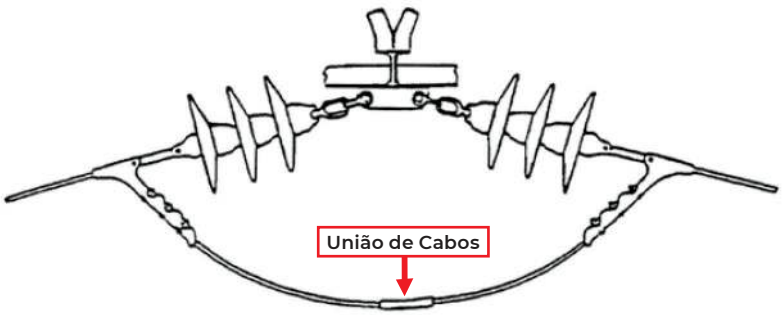


Figura 11.24. – Localização de junção entre cabos condutores

CAPÍTULO 12

LINHAS AÉREAS MT COMPACTAS PROTEGIDAS

12.1. ASPECTOS GERAIS

Desenvolvidas particularmente no *continente americano*, designadamente no *Brasil*, as **LAMT compactas protegidas**[45] são basicamente constituídas por **três cabos de fase** *cobertos*, mas **não isolados**, *apoiados em separadores*, *sustentados* por um **cabo de guarda**[46]**, ou mensageiro**, e *respectivos acessórios*, sendo montadas em **postes de betão**.

A *linha* diz-se **compacta**, porque os *cabos são instalados* num **espaçador**, que *impossibilita o contacto directo entre os cabos*, **compactando a linha**. O **esforço mecânico** é *exercido* no **cabo mensageiro**, pelo que os *cabos de fase* são *sujeitos a esforços de tracção* **inferiores** aos do referido *cabo mensageiro*.

No *Brasil* os elementos deste **tipo de rede** (*postes; cabos; isoladores; espaçadores e separadores; ferragens; acessórios diversos*) devem **obedecer** às seguintes *Normas ABNT/NBR*[47]:

- 5460 – Sistemas Elétricos de Potência – Terminologia
- 14039 – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 a 36,2 kV

45 Doravante as ***LAMT*** *compactas protegidas* serão designadas apenas por **LAMT compactas**.

46 Este *cabo de guarda* **tem também a função** de *protecção da linha contra descargas atmosféricas*.

47 Doravante as normas *ABNT/NBR* serão referidas apenas como **Normas NBR.**

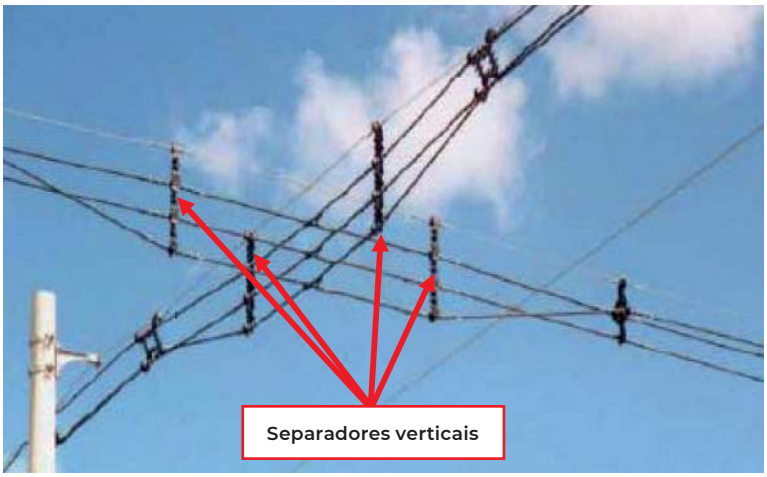


Figura 12.8. – Separadores verticais empregues para afastamento de cabos na situação de cruzamento de duas linhas compactas

Os *espaçadores e separadores* devem obedecer às *Normas NBR 16094 e 16095*.

Os *cabos de fase*, quer nos *espaçadores* quer nos *separadores*, são "amarrados" nos **berços** daqueles *acessórios* a **isoladores de pino** (ver Capítulo 6.6) e *fixados* por meio de **anéis de amarração** em material polimérico, como representado na Figura 12.9.

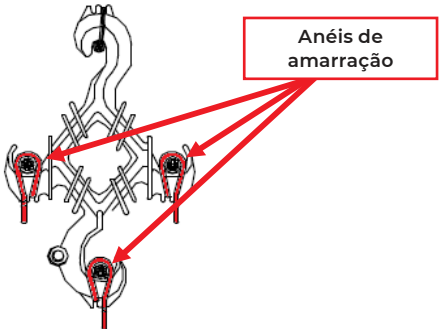


Figura 12.9. – Anéis de amarração fixando os cabos nos berços do espaçador

Para **redução da vibração** dos cabos as *LAMT compactas* dispõem de **braço anti-balanço**, que se representa na Figura 12.10.

Figura 12.10. – Braço anti-balanço

CAPÍTULO 13

LINHAS AÉREAS MT COM CABOS ISOLADOS EM TORÇADA

Os **cabos em torçada auto-sustentados MT** são utilizados nas *redes aéreas* em *locais* onde as **condições de segurança não permitem** a execução de *LAMT com cabos nus ou compactos* e a realização de uma *rede subterrânea* se revela **impraticável** (*solo rochoso; terreno acidentado; zonas arborizadas*) e em **locais com elevado teor de poluição e salinidade**, ou em **instalações temporárias**.

Os *cabos em torçada MT* são constituídos por **três cabos isolados** (*um por fase*) e um **cabo tensor** *agrupados* em **feixe cableado**, devendo obedecer a:

- *RSLEAT*
- ***DRP-C11-603/N*** – *Redes aéreas de média tensão em cabo torçada – Recomendações de projeto* (**EDP**)
- *Norma IEC 60502-2 – Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV)*
- *Norma CENELEC HD 620 S1/A3 – Distribution cables with extruded insulation for rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV to 20,8/36 (42) kV*

As principais **características** dos *cabos MT em torçada* são:

- *Alma condutora*: **alumínio**
- *Secções*: **35 mm²; 50 mm²; 70 mm²; 95 mm²; 120 mm²; 150 mm²**
- *Isolação*: **XLPE**
- *Blindagem*: **fita ou fio de cobre**

- *Bainha exterior*: **PVC, LDPE ou HDPE**
- *Cabo tensor*: **aço galvanizado, com revestimento em PVC, 50 mm²**
- *Tensões estipuladas*[52]: **6/10(12) kV; 8,7/15(17,5) kV; 12/20(24) kV; 18/30(36) kV**

A Figura 13.1. apresenta um exemplo de um *cabo MT em torçada*.

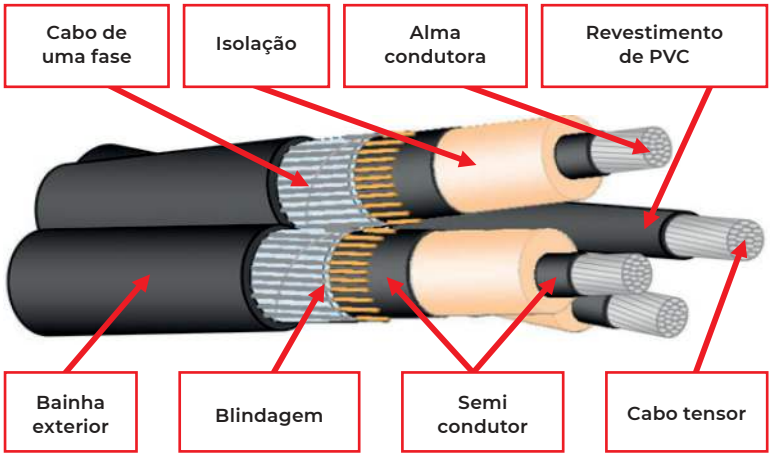


Figura 13.1. – Cabo MT em torçada

Os **acessórios** a utilizar na **instalação** de *cabos MT em torçada* são do **mesmo tipo** dos *utilizados na instalação de LA com cabos BT em torçada* (ver Capítulo 15), mas **específicos** para os *cabos MT*, designadamente no que se refere às **tensões da rede** e aos **esforços mecânicos que devem suportar**:

- *Pinças de suspensão e amarração*
- *Consolas e ferragens para fixação das pinças nos postes de betão*
- *Caixas de união* (**termo-retrácteis**) *e terminais de cabo*

O cabo é montado em **tensão mecânica** apoiado em *postes de betão*, fazendo-se o seu **desenrolamento, esticamento e regulação** de acordo com os **procedimentos** e os *meios de montagem* referidos nos capítulos anteriores, havendo o cuidado de **evitar danos no cabo** durante a *realização daquelas operações* e impedindo que o **cabo arraste no chão** para que a *bainha exterior ou alguma bainha interior* **não fique danificada ou afectada**.

Será utilizada **amarração** nos *postes de fim de linha, nos de ângulo, e nos de alinhamento onde se situem derivações importantes.*

52 Os *cabos isolados* para **tensões superiores a 1 kV** são definidos pelas tensões $\mathbf{U_0/U(U_m)}$, em que:
- U_0 é a tensão estipulada à frequência industrial entre condutor e blindagem ou bainha (*valor eficaz*).
- U é a tensão estipulada à frequência industrial entre quais dois condutores (*valor eficaz*).
- U_m é a tensão mais elevada à frequência industrial entre quaisquer dois condutores (*valor eficaz*), para o qual o cabo e seus acessórios foram concebidos.

CAPÍTULO 14

LINHAS AÉREAS BT. ASPECTOS GERAIS

Na generalidade dos países dos *continentes asiático e africano*, em *alguns países do continente americano* e nalgumas *regiões europeias*, em *linhas antigas*, como acontece nalgumas zonas do *interior de Portugal*, as **LABT** são construídas com **cabos nus de cobre ou de alumínio**, *apoiados* em **postes de madeira ou de betão** (Figura 14.1.) e que podem ainda incluir os *cabos* destinados à **iluminação pública**.

Figura 14.1. – RBT aérea com condutores nus

Estas *redes eléctricas BT*, ditas *tradicionais*, que como foi referido atrás ainda se encontram em serviço em vários países, estão **expostas às influências do meio ambiente**, como sejam *tempestades, descargas atmosféricas, humidade, depósito de poeiras, salitre nas zonas litorais,*

CAPÍTULO 15

LINHAS AÉREAS BT COM CABOS ISOLADOS EM TORÇADA

15.1. CABOS E ACESSÓRIOS

15.1.1. Cabos

Actualmente as *LABT* são constituídas por **cabos em torçada**, com *condutores* em **alumínio** e com *isolação* em **XLPE**, com os *condutores* **agrupados em feixe** e *apoiados* em **postes de betão** ou nas f**achadas dos edifícios** quando a *densidade de construção, a largura das vias de circulação e as condições gerais* **não permitem a montagem de postes**.

Na *Europa* existem **duas concepções distintas** dentro dos *cabos em torçada*:

- *Feixe com neutro tensor* (**sistema francês**) – Figura 15.1.
- *Feixe sem neutro tensor* (**sistema escandinavo**) – Figura 15.2.

No *sistema francês* **todos os esforços de tracção e de sustentação** são **suportados** pelo **condutor de neutro**, enquanto no *sistema escandinavo* esses **esforços** são **suportados** por **todos os condutores do cabo**.

Nos cabos deste *tipo* os **condutores de fase** são em **alumínio multifilar** e o **neutro tensor** é em **Almelec** (*liga de Al+Si+Mg* – **alumínio, silício e magnésio**), **com secção s** com os *seguintes limites*: **54,6 mm² ≤ s < 80 mm²**

pluviais, respeitando as distâncias regulamentares e através de *troços oblíquos*, *se a mudança de nível for inferior a* **1,5 m**.

As **ferragens de fixação** não devem ser aplicadas a menos de **0,50 m** dos *ângulos salientes das fachadas, ou dos topos das paredes.*

Os *cabos* devem ser montados de modo a que a sua **distância ao solo**, ou a **obstáculos** ou as **zonas acessíveis a pessoas**, *seja superior* aos seguintes valores:

- **0,30 m** acima da abertura de portas ou janelas.
- **0,50 m** abaixo e aos lados de portas ou janelas desde que estas não tenham varandas.
- **1,00 m** abaixo e aos lados de portas ou janelas, se estas tiverem varandas.
- **2,25 m** acima do solo, desde que tal não prejudique o acesso a propriedades.
- **2,00 m** nos ramais ou troços comuns de ramais.

Na Figura 15.5. mostra-se um exemplo de um cabo em torçada instalado numa fachada.

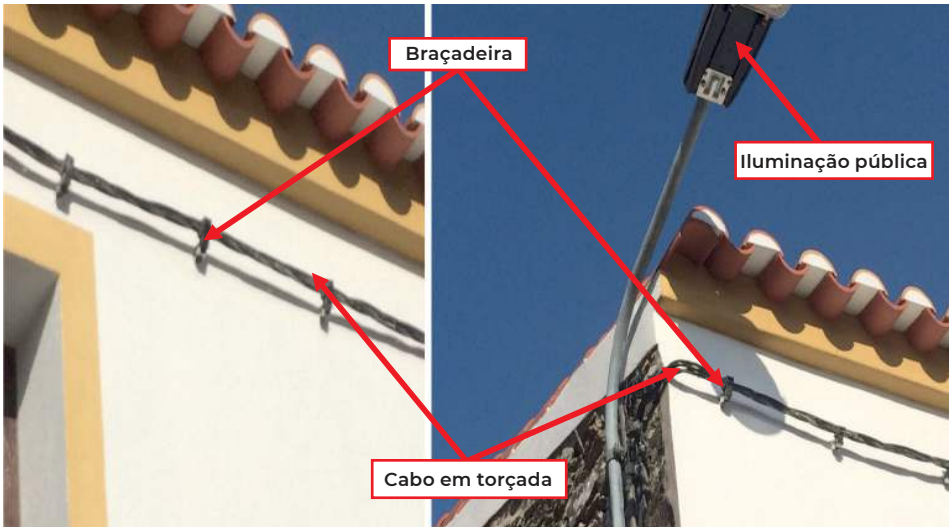


Figura 15.5. – Cabo em torçada montado em fachada

15.5. LIGAÇÃO DOS CABOS EM TORÇADA

Nas **ligações** a realizar nos *cabos da rede tensa* deverão ser observados os seguintes *procedimentos*:

- A **distância mínima** entre *qualquer ligador e um acessório da rede* (*braçadeira, pinça, berço, etc.*) deve ser de **0,15 m**.
- *Entre quaisquer dois ligadores de derivação*, a **distância mínima** deve ser de **10 cm**, *respeitando-se o passo da torçada*. No caso de *ramais com origem num poste*, os **condutores do ramal** devem ser *fixados ao feixe da rede*, por meio de **braçadeiras de neoprene**.

CAPÍTULO 16

LINHAS AÉREAS BT COM CABOS ISOLADOS PRÉ-REUNIDOS, OU MULTIPLEXADOS. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Como já referido no Capítulo 14, basicamente esta *LABT*, que **não** é uitilizada em *Portugal*, é **composta por cabos isolados, pré-reunidos e cableados à volta de um cabo nu multifilar**, de *liga de alumínio*, que *funciona* como **suporte e neutro da rede**.

O *cabo nu* denominado **tensor ou mensageiro** *suspende os cabos isolados de fase* e *assegura também* a **protecção mecânica e eléctrica**, sendo **ligado à terra** em *múltiplos pontos*.

Dentro desta *tecnologia* existe ainda uma *outra versão*, onde o *cabo tensor ou mensageiro* é **igualmente isolado** ou seja **muito semelhante à rede torçada**, no *respeitante ao formato do feixe de cabos*, *sendo neste capítulo analisada a versão* com **cabo tensor nu**.

Os **postes** utilizados podem ser **metálicos, de madeira ou de betão armado**, sendo os **mais usuais e aconselhados** os de *betão armado*, de **formato redondo de interior oco** (*secção de coroa circular*) e **em duplo T**, com **9 m de altura média** e **esforços à cabeça** de **150/300 daN**, nos de *alinhamento*, e **300/600 daN**, nos de *ângulo, reforço e fim de linha*.

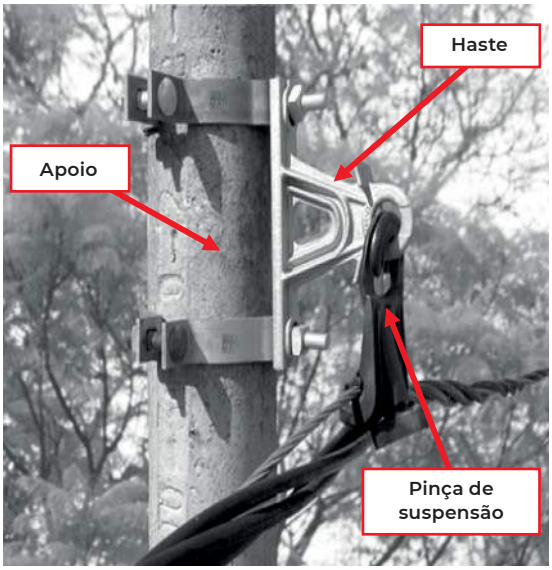


Figura 16.2. – Haste e grampo de suspensão

As **vantagens mais significativas** neste tipo de *LA*, comparativamente com as *LA tradicionais de condutores nus*, são as seguintes:

- Redução no número de interrupções no fornecimento de energia devidas a contacto acidentais nos cabos, ramos de árvores e outros.
- Aumento da segurança para pessoas e avifauna nas aproximações inadvertidas aos condutores em tensão.
- Diminuição do impacto visual negativo devido ao menor desbaste de ramos, e até corte de árvores, comparativamente às redes nuas, nos traçados urbanos com arborização ornamental.
- Podem ser instaladas nos mesmos apoios das *LAMT compactas protegidas*.

Em resumo, a **maior vantagem** das *LA de cabos isolados pré-reunidos* reside na **melhoria do nível de qualidade da energia distribuída, aumentando assim a fiabilidade do sistema e também na redução de custos de manutenção**.

São *LA* que têm *vantagens* para **zonas densamente arborizadas, zonas com altos índices de descargas atmosféricas e zonas urbanas**. No entanto, sobretudo nos *centros urbanos*, as **redes mais indicadas são as subterrâneas**, como já referido anteriormente, mas cujo **custo** é **muito mais elevado**.

Se são *inúmeras e evidentes as vantagens comparativamente à rede tradicional* **já o mesmo não se poderá afirmar em relação às redes em torçada**, onde não se **vislumbram vantagens significativas**.

CAPÍTULO 17

CRITÉRIOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DAS LINHAS AÉREAS

As *empresas concessionárias de transporte e distribuição de energia* têm, habitualmente, um **Plano de Manutenção Preventiva** (**PMP**) para as suas *LA*, onde é definida a **periodicidade das intervenções** e o **tipo de acções** .

As *acções de manutenção*, e a sua *periodicidade*, a realizar nos diversos equipamentos e sistemas de uma *LA* são normalmente estabelecidas de acordo com a **criticidade e fiabilidade requerida à LA, experiência de exploração e condução das LA, do histórico de avarias dos equipamentos[59] e das recomendações dos fabricantes.**

A implementação de um **plano de manutenção preventiva** deverá previamente, na *componente técnica*, **determinar uma hierarquização das instalações**, classificando-as em **escalões** (**A; B; C**, por **ordem decrescente** de *criticidade da LA*), em *função dos valores que assumirem os denominados* **Índices de Criticidade** (**Ic**), que traduzem a sua importância na *rede de transporte ou de distribuição.*

A **manutenção preventiva** de uma *LA* consiste numa **inspecção visual e termográfica**, *cujos resultados determinam as acções a desenvolver*, sendo necessário, para tal, realizar uma

59 As **avarias** nos *equipamentos e sistemas da LA* devem ser **registadas**, indicando a data, o tipo de avaria, as respectivas causas, os trabalhos executados para a sua reparação, as peças substituídas as ferramentas utilizadas e o tempo de reparação.

CAPÍTULO 18

DEFEITOS E PROTECÇÕES DAS LINHAS AÉREAS

18.1. TIPOS DE DEFEITOS

Os **defeitos** nas *LA* são geralmente consequência de:

- Ciclos de sobrecarga severos.
- Sobretensões na rede, designadamente as de manobra.
- Descargas atmosféricas.
- Isoladores contaminados (poluição), partidos ou lascados.
- Descargas parciais (efeito de coroa) não controlado.
- Impacto de aeronaves e veículos automóveis, designadamente gruas móveis.
- Contacto de aves e outros animais.
- Queda de árvores.
- Sobrecargas mecânicas devida ao gelo e à neve.
- Acção do vento.

Uma grande maioria desses defeitos são **curto-circuitos fase-terra e fase-fase**, geralmente **transitórios**, e que são *eliminados após o* **ciclo de religação** (ver Capítulo 18.3).

Isoladores contaminados, partidos ou lascados **diminuem o comprimento da linha de fuga**, *diminuindo assim a distância de isolamento*, o que *aumenta a probabilidade* da **formação de um arco eléctrico** *entre uma fase e a estrutura metálica do poste da linha*, dando origem, nesse caso, a um **curto-circuito fase-terra**.

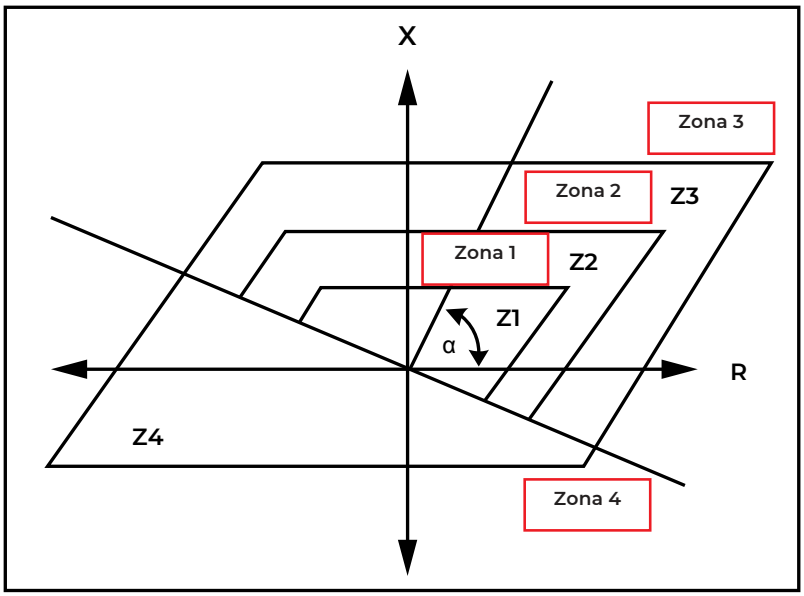


Figura 18.6. – Característica poligonal

A *característica poligonal* apresenta-se como a mais flexível em termos de cobertura do valor da impedância, quer seja para defeitos entre fases, quer seja para defeito fase-terra, razão pela qual é a actualmente utilizada.

Em caso de defeito numa linha de transporte, **actuará primeiro a protecção de distância que "vir" o defeito mais rapidamente**. A fim de evitar que o *defeito continue a ser alimentado até que a protecção situada no outro extremo da linha "veja" o defeito*, deverá ser implementado um **sistema de teleprotecção** que provoque o **disparo simultâneo do disjuntor do outro extremo da linha**.

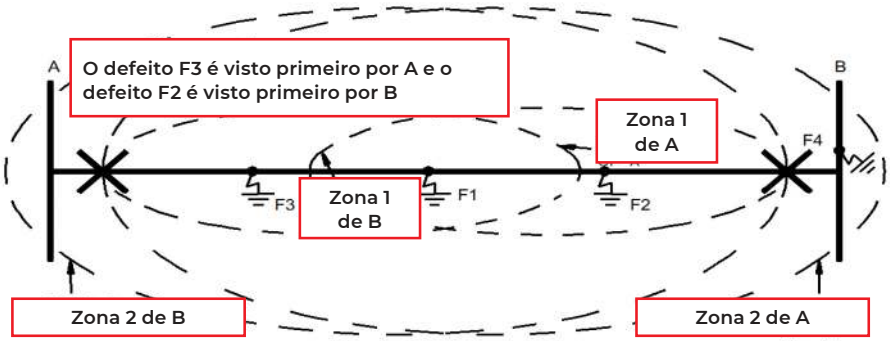


Figura 18.7. – Zonas e actuação das protecções de distância

CAPITULO 19

LINHAS AÉREAS MAT DE CORRENTE CONTÍNUA

A **corrente alternada** (**CA**) é amplamente utilizada no *transporte de energia eléctrica*, mas existem situações em que essa forma se revela **técnica e/ou economicamente inviável**, devido ao *comprimento da LA*, ao *valor das correntes e tensões das redes* e também à impossibilidade de ligar **redes não sincronizadas nem sincronizáveis** (*com frequências diferentes* – **50 Hz** e **60 Hz**).

As *grandezas eléctricas* **tensão** (**U**) e **corrente** (**I**) têm a forma de uma **onda sinusoidal**, sendo caracterizadas pelos seguintes **parâmetros**, que se encontram representados na Figura 19.1.

- *Valor de pico* (que representaremos por $\mathbf{A_p}$) – **V** e **A**, respectivamente para a tensão e a corrente.
- *Valor eficaz* ($\mathbf{A_{ef}}$) que está *relacionado com o valor de pico* pela expressão

$$\mathbf{A_{ef} = A_p/\sqrt{2} \approx 0{,}71A_p}.$$

- *Período* (**T** – **[s]**), que representa o **tempo de um ciclo completo da oscilação da onda**.
- *Frequência* (**f** – **[Hz]**), que representa o **número de períodos por unidade de tempo**. Estas *duas grandezas* estão **relacionadas** pela expressão **f = 1/T**.
  Os valores das *frequências nominais das redes* são **50 Hz** e **60 Hz**.
- *Comprimento de onda* (**λ**), que representa distância entre dois pontos consecutivos com o mesmo valor e o mesmo sentido.

É calculado pela expressão **λ = c/f**, onde **c** representa a **velocidade da luz no vácuo** (**≈ 300.000 km/s**).

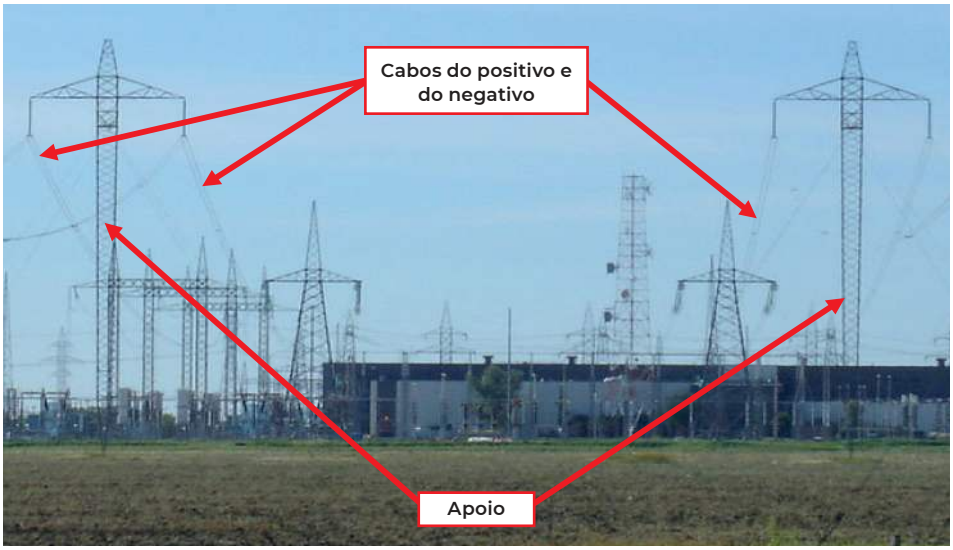


Figura 19.3. – Linhas CC com configuração bipolar

Em linhas aéreas *extremamente longas* (**l ≥ 900/1000 km**) a melhor solução é **instalar apenas** o *cabo do positivo* no *apoio*, fazendo o **retorno** (*negativo*) **pela terra**, instalando para o efeito, em cada *SE*, **eléctrodos de terra específicos** para esse efeito (designada como *configuração* **monopolar**), como se representa esquematicamente na Figura 19.4.

Caso tal não seja possível, para a implementação desta *configuração* utiliza-se um **cabo metálico** *assente na terra*.

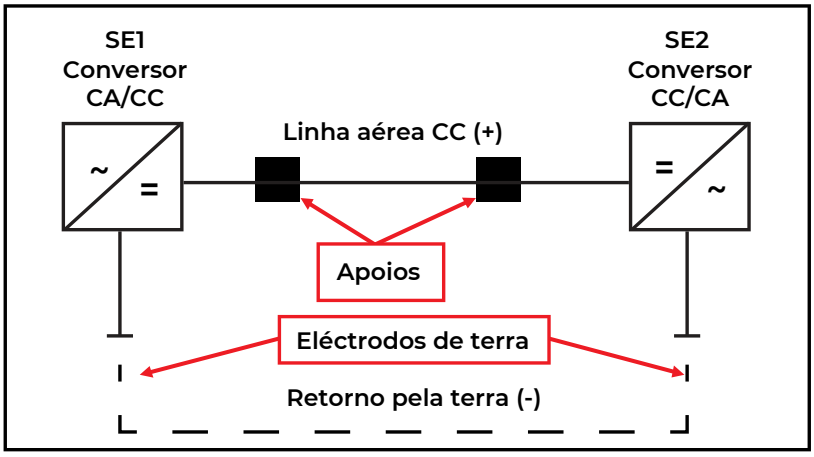


Figura 19.4. – Representação esquemática da configuração monopolar

A implementação desta *configuração* deve ter em consideração que o *retorno pela terra* **não é afectado** pelas *ligações de terra* dos **componentes metálicos normalmente sem tensão**, como é o caso dos *apoios* da *LA*.

CAPITULO 20

FISCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS

20.1. ORGANIZAÇÃO E CONSTITUIÇÃO DA EQUIPA DE FISCALIZAÇÃO

A **Equipa de Fiscalização**, constituída por pessoal do *D.O.* ou, mais habitualmente, por uma empresa seleccionada através de concurso, é o **representante permanente** do *D.O.*, competindo-lhe o controlo de custos, prazos e qualidade técnica da obra.

A constituição da *Equipa de Fiscalização* e a *formação académica* dos **técnicos supervisores** (habitualmente designados por **Fiscais**) que a constituem depende do *tipo, volume, especificidade e requisitos técnicos particulares da obra*.

O responsável pela equipa, que deve obrigatoriamente ser um **Engenheiro Electrotécnico** *com experiência comprovada* nesta atividade, é habitualmente designado por **Director de Projecto** (**DP**). O *responsável pela supervisão da segurança da obra* (**Coordenador de Segurança – CS**) deve ter a *classificação* de **Técnico Superior de Segurança**, portador de **CAP nível 6 a 8**[63].

Para a **construção** das *LA*, para além do *DP* e do *CS*, para o **cumprimento cabal das suas tarefas**, a *Equipa de Fiscalização* deve o **número adequado de fiscais em obra** das *especialidades* de **construção civil** e **electromecânica**.

63 A *classificação* **CAP nivel 6 a 8** só é hatribuida adetentores de **doutoramento, mestrado ou licenciatura** que se situe nas *áreas da segurança no trabalho e da segurança e saúde no trabalho* ou **outra licenciatura ou bacharelato** e **frequência com aproveitamento** de *curso de formação inicial técnico superior de segurança no trabalho* ministrado por **entidade formadora certificada** pela **ACT**, de acordo com o disposto na *Lei 42/2012 de 28 de Agosto*.

CAPITULO 21

CRITÉRIOS BASE DE SEGURANÇA

21.1. ASPECTOS GERAIS

Independentemente da actividade, as empresas são **responsáveis** pela **segurança no posto de trabalho** e no caso de trabalhos de montagem de *LA*, é necessário que a empresa desenvolva uma série de *passos* que vise **garantir a segurança do seu pessoal**.

Basicamente, esses *passos* são:

- Criação de um *departamento* de **Higiene, Segurança, Saúde e Ambiente**, responsável por todas as acções que envolvam, na empresa, os aspectos de segurança, que integre os *THS* **devidamente credenciados** (portadores de **CAP nível 4**[68]).
- Conhecimento claro da **legislação de segurança nacional e de qualquer país terceiro** onde a empresa venha a realizar trabalhos. **Esta legislação deve ser do conhecimento de todo o pessoal**.
- **Formar e treinar todo o pessoal** nos *aspectos relacionados com a segurança*, realizando **periodicamente** acções de actualização.

  Cabe referir neste ponto, que, actualmente em alguns países só podem desempenhar funções em qualquer tipo de obra os trabalhadores que sejam **portadores de um documento que comprove** que tenham realizado, com *aproveitamento*, uma **acção de formação sobre segurança** (em *Portugal* esse documento é designado por "**Passaporte de Segurança**").

68 *A classificação* **CAP nível 4** é atribuída aos técnicos com **frequência com aproveitamento** de *curso de formação de técnico de segurança no trabalho* ministrado por **entidade formadora certificada** pela **ACT**, de acordo com a *Lei 42/2012 de 28 de Agosto*.

Figura 21.1. – EPI

No *estaleiro e nos locais de trabalho* devem ser afixados **painéis de sinalização**, indicando os *EPI* **obrigatórios**, como se exemplifica na Figura 21.2.

Figura 21.2. – Painel de sinalização

Para **trabalhos em altura**, os trabalhadores devem ser munidos de **arnês e cinto de segurança**, com **dispositivo trava-quedas** (*pára-quedas*) e ser criada um "**cabo linha de vida**", como indicado na Figura 21.3.

ANEXOS

ANEXO 1 – RELAÇÃO DE NORMAS RELEVANTES

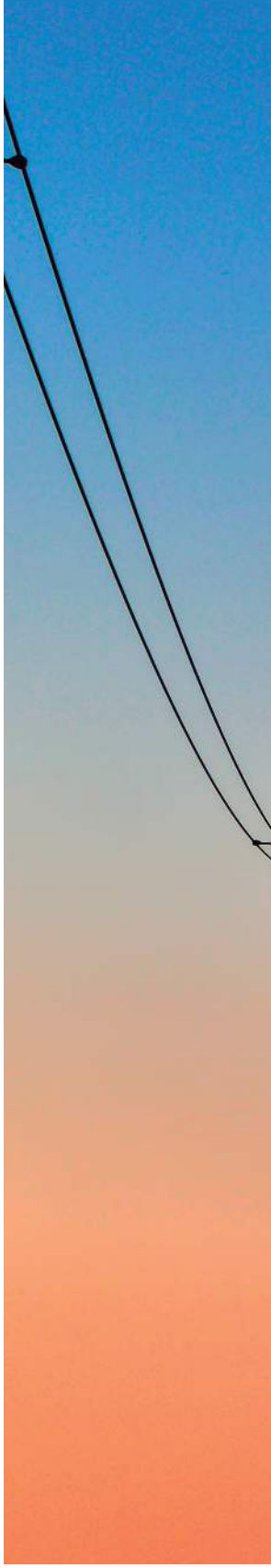
A.1.1. NORMAS EN, NP E NP EN

- EN 50525-1 – General requirements
- EN 60889 - Hard-drawn aluminium wire for overhead line conductors
- EN ISO 14713 – Protection against corrosion of iron and steel in structures -- Zinc and aluminium coatings - Guidelines
- EN ISO 1461:2009 – Hot-dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods
- EN ISO 2063:2005 – Thermal spraying – Metallic and other inorganic protective coatings - Zinc, aluminium and their alloys
- EN 50182 – Conductors for overhead lines — Round wire concentric lay stranded conductors
- EN 50183 – Conductors for overhead lines - Aluminium-magnesium-silicon alloy wires
- NP 2626 – Vocabulário Electrotécnico Internacional
- EN 50183 – Conductors for overhead lines - Aluminium-magnesium-silicon alloy wires
- NP EN 165:1997 – Protecção individual dos olhos. Vocabulário.
- NP 1748:1985 – Aparelhos de elevação e movimentação. Aparelhos de elevação de série. Terminologia ilustrada. Lista de termos equivalentes.
- NP 2036:1986 – Higiene e Segurança no Trabalho. Ferramentas portáteis. Requisitos gerais de concepção e utilização.
- NP 2198:1986 – Higiene e Segurança no Trabalho. Ferramentas portáteis manuais. Requisitos de segurança.
- NP 1938:1988 – Aparelhos de elevação e movimentação. Aparelhos pesados. Regras de segurança
- NP EN 292-2:1993 – Segurança de máquinas. Conceitos fundamentais, princípios gerais de concepção.
- NP EN 249:1996 – Segurança de Máquinas. Distâncias de segurança para impedir que os membros superiores alcancem zonas perigosas.
- NP EN 349:1996 – Segurança de Máquinas. Distâncias mínimas para evitar o esmagamento de partes do corpo humano.
- NP EN 418:1996 – Segurança de Máquinas. Equipamento de paragem de emergência, aspectos funcionais. Princípios de concepção.
- NP EN 1070:1996 – Segurança de Máquinas. Terminologia

Linhas Aéreas

Tipologias, Características, Equipamentos e Princípios Construtivos

MANUEL BOLOTINHA



Sobre a obra

As linhas aéreas são um elemento fundamental das redes de transporte e distribuição de energia eléctrica, sendo necessário garantir o seu funcionamento e a fiabilidade.

O autor aborda nesta obra os aspectos relacionados com a função das linhas aéreas de Muito Alta, Alta, Média e Baixa Tensão, a sua integração na rede eléctrica nacional e as normas e regulamentos aplicáveis, designadamente em Portugal.

São expostos assuntos tão diversos como as tipologias e constituição das linhas aéreas, os respectivos equipamentos e suas características, os tipos de defeitos e as protecções a utilizar, os procedimentos de montagem, os ensaios e os princípios básicos de manutenção preventiva (sem tensão) das linhas aéreas e as medidas preventivas de segurança que devem ser implementadas durante a construção e as operações de manutenção.

Sobre o autor

Manuel Bolotinha, MSc, licenciou-se em 1974 em Engenharia Electrotécnica (Ramo de Energia e Sistemas de Potência) no Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa (IST/UL), onde foi Professor Assistente, e obteve o grau de Mestre em Abril de 2017 em Engenharia Electrotécnica e de Computadores na Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

Tem desenvolvido a sua actividade profissional, ao longo de mais de 40 anos, nas áreas do projecto, fiscalização de obras e gestão de contratos de empreitadas designadamente de projectos de geração e transporte de energia em alta tensão, instalações industriais e infra-estruturas de distribuição de energia, aeroportuárias e ferroviárias, não só em Portugal, mas também em África, Ásia e América do Sul.

Membro Sénior da Ordem dos Engenheiros é também Formador Profissional, credenciado pelo IEFP, conduzindo cursos de formação, de cujos manuais é autor, em Portugal, África e Médio Oriente.

É também autor de diversos artigos técnicos publicados em Portugal, Brasil, Croácia e Índia e de livros técnicos, particularmente os editados com a chancela Engebook, em português e inglês, e tem proferido palestras na OE, ANEP, FCT-UNL, IST, ISEP e VIII e IX ESW Brasil (IEEE).

Parceiro de Comunicação

o electricista

Também disponível em formato *e-book*

ISBN: 978-989-901-730-6

www.**engebook**.pt

engebook