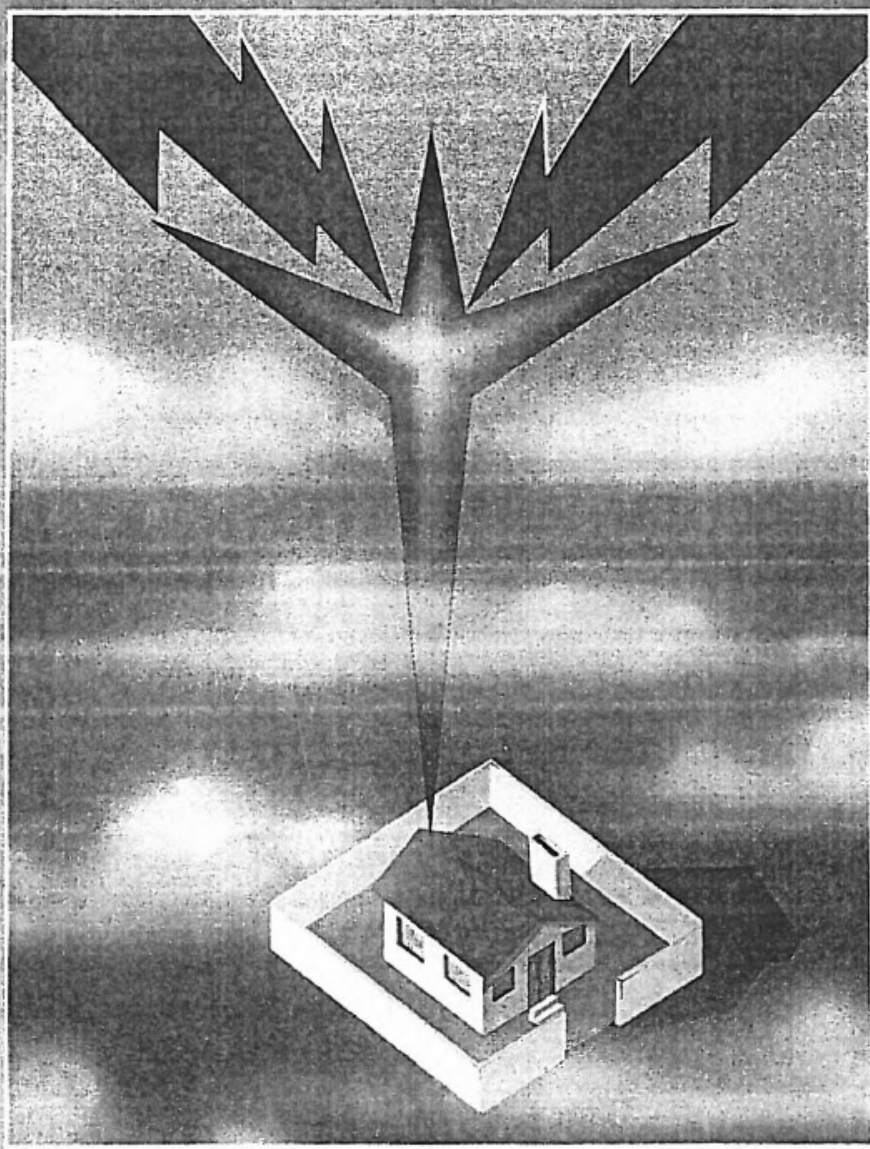


Guia Técnico de Pára-Raios



**Direcção Geral
de Geologia e Energia**

Guia Técnico para a Instalação de Pára-Raios em Edifícios e outras Estruturas

DIRECÇÃO GERAL DE GEOLOGIA E ENERGIA

LISBOA
AGOSTO 2005

FICHA TÉCNICA

Título - Guia Técnico de Pára-Raios

Director - Dr. Miguel Barreto

Redacção - Direcção de Serviços de Energia Eléctrica

Edição - Direcção Geral de Geologia e Energia

Av. 5 de Outubro, 87 - 1069-039 LISBOA

Tel: - 21 792 27 00

Linha Azul: 21 792 28 61

Fax: 21 793 95 40

Design: Ogilvy & Mather Portugal

Impressão - Grafifina - Indústria de Artes Gráficas, Lda.

Tiragem - 500 exemplares

ISBN - 972-8268-11-4

Depósito Legal N.º - 100 386/96

5ª edição - Agosto de 2005

Lisboa

ÍNDICE	Pág
NOTA INTRODUTÓRIA	7
1 — GENERALIDADES	7
1.1 — OBJECTIVO	7
1.2 — CAMPO DE APLICAÇÃO	8
1.3 — DEFINIÇÕES	8
1.3.1 — Captor	8
1.3.2 — Carga eléctrica	8
1.3.3 — Condutor de descida ou simplesmente descida	8
1.3.4 — Corrente de descarga	9
1.3.5 — Corrente de pico	9
1.3.6 — Descarga atmosférica	9
1.3.7 — Descarga lateral	9
1.3.8 — Descarregador de sobretensões	9
1.3.9 — Disruptor	9
1.3.10 — Eléctrodo de terra	9
1.3.11 — Pára-raios ou sistema de protecção contra descargas atmosféricas	9
1.3.12 — Traçador	10
1.3.13 — Volume a proteger	10
1.3.14 — Volume protegido	10
1.4 — CLASSIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS E ESTRUTURAS	10
1.4.1 — Classificação das estruturas quanto às consequências das descargas (CD)	10
1.4.1.1 — Estruturas comuns (CD 1)	10
1.4.1.2 — Estruturas envolvendo riscos específicos (CD 2)	10
1.4.1.3 — Estruturas envolvendo riscos para as imediações (CD 3)	11
1.4.2 — Classificação das estruturas quanto à altura e implantação (AI)	11
1.4.2.1 — Estruturas em situação de risco atenuado (AI 1)	11
1.4.2.2 — Estruturas em situação de risco normal (AI 2)	11
1.4.2.3 — Estruturas em situação de risco agravado (AI 3)	11

1.5 — NECESSIDADE DE PROTECÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	11
2 — CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO	12
2.1 — BASE TEÓRICA	12
2.1.1 — Modelo electrogeométrico	12
2.1.2 — Aplicação prática do modelo electrogeométrico	12
2.2 — CAPTORES	13
2.2.1 — Captorees artificiais	13
2.2.1.1 — Hastes verticais	13
2.2.1.2 — Condutorees de cobertura	14
2.2.1.3 — Emalhado de condutorees (Gaiola de Faraday)	14
2.2.2 — Captorees naturais	14
2.3 — DESCIDAS	15
2.3.1 — Descidas artificiais	15
2.3.1.1 — Objectivo	15
2.3.1.2 — Posicionamento e instalação dos condutorees	16
2.3.1.3 — Traçado dos condutorees	16
2.3.1.4 — Ligações amovíveis	17
2.3.2 — Descidas naturais	17
2.4 — LIGAÇÃO À TERRA	18
2.4.1 — Tipo de eléctrodo a utilizar	19
2.4.2 — Eléctrodoes de terra naturais	20
2.4.3 — Ligações equipotenciais	20
2.4.4 — Prevenção da tensão de passo	21
2.5 — PREVENÇÃO DAS DESCARGAS LATERAIS	21
2.5.1 — Ligações equipotenciais	21
2.5.2 — Canalizações de energia eléctrica e de telecomunicações	22
2.6 — FIXAÇÃO E LIGAÇÃO DOS CONDUTOREES	23
2.7 — CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE PROTECÇÃO	23
2.7.1 — Materiais	23
2.7.2 — Dimensões	24
2.8 — REGRAS INERENTES À PROTECÇÃO DE ESTRUTURAS ESPECIAIS	24
2.8.1 — Antenas de radiodifusão	24
2.8.2 — Chaminés industriais	25
2.8.3 — Postaletes e outros apoios fixados às estruturas	25
2.8.4 — Recintos desportivos	26
2.8.5 — Depósitos de produtos inflamáveis ou explosivos	26
2.8.5.1 — Depósitos enterrados	26
2.8.5.2 — Depósitos fora do solo	26
2.8.6 — Estruturas contendo produtos explosivos	27
2.8.6.1 — Captorees do tipo haste vertical	27
2.8.6.2 — Captorees suspensos	27

3 — CONSERVAÇÃO E EXPLORAÇÃO	28
3.1 — INSPECÇÕES	28
3.1.1 — Periodicidade	28
3.1.2 — Verificações e medições a realizar	29
3.2 — MANUTENÇÃO	29
Tabela 1 — Protecção contra descargas atmosféricas	30
Tabela 2 — Níveis de protecção e dimensões de verificação	30
Tabela 3a— Dimensões mínimas para captadores	31
Tabela 3b— Secções mínimas para descidas ou ligações equipotenciais essenciais	31
Tabela 3c— Secções mínimas para ligações equipotenciais não significativas	31
Tabela 4 — Dimensões mínimas para elementos do pára-raios enterrados directamente no solo	32
Tabela 5 — Periodicidade das inspecções	32
Fig. 1 — Verificação da protecção pela aplicação da "esfera fictícia" (nível de protecção normal)	33
Fig. 2 — Verificação da protecção pela aplicação do "ângulo de protecção" (nível de protecção normal)	34
Fig. 3.a — Exemplos de captadores naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios	35
Fig. 3.b — Exemplos de captadores naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios	36
Fig. 3.c — Exemplos de captadores naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios	37
Fig. 3.d — Exemplos de captadores naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios	38
Fig. 3.e — Exemplos de captadores e descidas naturais e suas interligações aos elementos artificiais do pára-raios	39
Fig. 3.f — Exemplos de captadores e descidas naturais e suas interligações aos elementos artificiais do pára-raios	40
Fig. 3.g — Exemplos de ligação da armadura do betão com os outros elementos do pára-raios	41
Fig. 4 — Anéis abertos no traçado dos condutores	42
Fig. 5 — Exemplos de eléctrodos de terra em "pata de ave" e sua interligação com outros	43
Fig. 6 — Exemplos de pára-raios em chaminés e edifícios industriais	44
Fig. 7 — Exemplo de protecção, por haste vertical, de uma estrutura contendo substâncias explosivas	45
Fig. 8 — Exemplo de captadores artificiais do tipo "haste vertical" e suas ligações às descidas	46
Fig. 9 — Exemplos de protecção, por "captadores suspensos" de estruturas contendo substâncias explosivas	47
Fig. 10 — Repartição da corrente de descarga atmosférica entre a estrutura e as canalizações que nela penetram	48

NOTA INTRODUTÓRIA

O presente **Guia Técnico** tem por objectivo reunir um conjunto de informações relativas à concepção, execução e conservação de sistemas de protecção contra os efeitos de descargas atmosféricas que incidam sobre edifícios ou outras estruturas cuja necessidade ou oportunidade de protecção tenha sido reconhecida.

Não havendo em Portugal legislação que permita estabelecer de uma forma sistemática quais os edifícios ou estruturas que devem ser dotados de pára-raios, a definição da necessidade de protecção terá de ser efectuada caso a caso, tomando em consideração o número esperado de descargas por ano sobre o volume a proteger, a sua situação relativamente a objectos ou acidentes de terreno circundantes, o tipo de construção, a sua utilização, o valor do seu conteúdo ou da continuidade do seu funcionamento, etc.

É de notar que, pelo carácter aleatório do fenómeno das trovoadas e nomeadamente devido ao facto de não serem ainda perfeitamente conhecidos os mecanismos geradores de algumas das suas características, não se torna possível obter uma garantia absoluta de protecção, existindo sempre um nível de risco cuja minimização será proporcional ao investimento a efectuar na implementação do sistema.

De qualquer forma, a aplicação dos procedimentos previstos neste guia técnico permitirá alcançar um nível de protecção estatisticamente satisfatório, não podendo, contudo, assegurar-se em absoluto que a ocorrência de circunstâncias excepcionais não possa vir a causar danos no interior do volume protegido.

Convirá referir que, embora as indicações do capítulo 2 pressuponham a opção por um sistema de protecção em contacto com a estrutura a proteger, as técnicas ali referidas são aplicáveis, com as necessárias adaptações, a sistemas total ou parcialmente isolados da estrutura a proteger (caso de 2.8.6).

O presente guia técnico aplica-se apenas à implementação de sistemas de protecção ditos convencionais, excluindo-se expressamente a utilização dos chamados pára-raios radioactivos.

Este guia-técnico não se aplica aos pára-raios ionizantes por, actualmente, ainda não existir, a nível do CENELEC e da IEC, normalização que os contemple.

Finalmente, sublinha-se que a não observância das regras técnicas adequadas no projecto, instalação e exploração de um pára-raios, conduz a uma situação em que os riscos associados à incidência de uma descarga resultam substancialmente agravados relativamente à ausência de qualquer sistema de protecção.

Sobre o assunto abrangido por este guia técnico existem as publicações internacionais seguintes:

- ENV 61 024-1 (1995);
- IEC 1 024-1 (1990).

1 — GENERALIDADES

1.1 — OBJECTIVO

Este guia tem por objectivo fornecer informação para a concepção, instalação, inspecção e conservação dos pára-raios em edifícios e outras estruturas.

Comentário:

Na determinação da conveniência de proteger estruturas para as quais seja apenas "aconselhável" a existência de um pára-raios, deve ser tomado em consideração um conjunto de elementos complementares, tais como:

- a) tipo de cobertura e respectivo material;
- b) existência de elementos condutores importantes na estrutura a proteger ou nas proximidades;
- c) características do terreno na perspectiva da realização dos eléctrodos de terra;
- d) valor económico da estrutura ou custos associados à sua indisponibilidade, etc.

2 — CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO

2.1 — BASE TEÓRICA

2.1.1 — Modelo electrogeométrico

De todas as metodologias até hoje ensaiadas para definir a arquitectura e o dimensionamento de pára-raios verificou-se ser o chamado "**modelo electrogeométrico**" aquele que permite uma maior aproximação às condições reais, resultando da sua adopção um processo relativamente simples para determinar o volume protegido por qualquer dos tipos de captos normalmente utilizados: hastes verticais, condutores de cobertura ou emalhado de condutores (gaiola de Faraday).

O estabelecimento do método baseia-se, fundamentalmente, em dois princípios:

- a) a distância de escorvamento do traçador é função da corrente de descarga que virá a ocorrer, sendo definida pela expressão:

$$d = 9,4 I^{2/3}$$

em que: d é a distância de escorvamento, em m;

I é a corrente de pico, em kA;

- b) o ponto de impacto da descarga é o primeiro alvo ao potencial da terra, à distância d da extremidade do traçador.

Da consideração sequencial dos dois princípios apontados resulta a forma prática de aplicação do modelo, a qual se reduz a admitir a existência de uma esfera fictícia de raio d , centrada na extremidade de um qualquer traçador em aproximação do volume a proteger. Os captos dos pára-raios devem ser posicionados de forma a que a esfera fictícia nunca possa atingir o volume a proteger sem que tenha primeiro contactado com um daqueles elementos ou com o solo circundante.

2.1.2 — Aplicação prática do modelo electrogeométrico

Embora o recurso ao método da esfera fictícia (ver fig. 1) seja o que traduz a aplicação do modelo electrogeométrico com maior aproximação, é usual a utilização de formas mais simplificadas de definição do volume a proteger, sem prejuízo do nível de segurança pretendido.

Assim, para os casos em que a protecção seja assegurada por hastes do tipo Franklin (ver 2.2.1) o volume protegido pode ser considerado como estando contido na superfície envolvente definida, para cada haste, por um cone de eixo vertical cuja cota do vértice e semi-ângulo satisfaçam as condições indicadas na tabela 2 (ver fig. 2).

Para os casos em que a protecção é efectuada por um emalhado de condutores do tipo "gaiola de Faraday" instalado directamente sobre a estrutura a proteger, o grau de protecção obtido é inversamente proporcional às dimensões das malhas da gaiola.

Comentário:

A diminuição das dimensões das malhas numa gaiola de Faraday reduz os efeitos de indução no interior do volume protegido, o que pode ser muito importante se naquele volume há grande número de componentes electrónicos.

O posicionamento dos captosres é adequado ao nível de protecção pretendido, se os valores indicados na tabela 2 estão cumpridos.

Na verificação da protecção pode ser utilizado, independentemente ou combinados, qualquer um dos métodos seguintes:

- a) ângulo de protecção;
- b) esfera fictícia;
- c) dimensões da malha.

A escolha do nível de protecção adequado a cada caso deverá ter em conta factores relevantes, tais como:

- a) maior ou menor concentração de pessoas na estrutura ou suas imediações;
- b) existência ou não de riscos especiais;
- c) maior ou menor valor da estrutura a proteger ou dos serviços por ela assegurados, etc.

2.2 — CAPTORES

2.2.1 — Captosres artificiais

As dimensões mínimas dos captosres artificiais são as indicadas na tabela 3.

2.2.1.1 — Hastes verticais

As hastes verticais (tipo Franklin) utilizadas como captosres de um pára-raios são constituídas por um ou mais elementos condutores da mesma natureza, electricamente contínuos e suficientemente dimensionados para suportar as solicitações mecânicas e térmicas a que possam vir a estar submetidas, nomeadamente em consequência da acção das intempéries ou de descargas atmosféricas.

A instalação deste tipo de captosres é efectuada por forma a proteger os pontos mais vulneráveis da estrutura, devendo a escolha dos materiais constituintes das hastes verticais, tanto quanto possível, garantir a rigidez dos captosres sem necessidade de espigamento.

Nos casos em que não seja possível evitar tal procedimento e se forem utilizadas espigas metálicas, estas devem ser electricamente ligadas às hastes, por um lado, e à terra ou às descidas, por outro.

Os materiais utilizáveis para a execução de hastes verticais são o cobre, o ferro galvanizado por imersão a quente e o aço inoxidável (ver 2.7).

2.2.1.2 — Condutores de cobertura

Os condutores de cobertura destinam-se a conduzir a corrente de descarga desde os captadores até às descidas. Pela sua posição elevada, estes condutores podem servir, eles próprios, de captadores, integrando nesse caso sistemas de condutores emalhados do tipo gaiola de Faraday (ver 2.2.1.3).

Nos sistemas que usam hastes verticais como captadores, os condutores de cobertura devem, tanto quanto possível, interligar directamente todas as hastes instaladas no mesmo edifício, bem como os captadores naturais referidos em 2.2.2. Devem ainda ser ligados ao pára-raios todos os elementos metálicos existentes na cobertura e situados a menos de 10 m dos condutores do sistema, mesmo que não desempenhem, em princípio, as funções de captadores naturais.

A fixação dos condutores à cobertura deve ser efectuada por elementos de suporte apropriados, estabelecidos à razão de dois por metro, no mínimo.

2.2.1.3 — Emalhado de condutores (Gaiola de Faraday)

O sistema emalhado de condutores que forma uma gaiola de Faraday destinada à protecção contra descargas atmosféricas é composto, a nível da cobertura, por um polígono, formado por condutores instalados no perímetro superior da estrutura, e por condutores transversais e longitudinais estabelecidos por forma a constituir em malhas tanto quanto possível regulares. No caso de se tratar de uma cobertura inclinada, um dos condutores transversais ou longitudinais é estabelecido ao longo da sua parte mais elevada.

Comentário:

É admissível a instalação dos condutores constituintes do sistema de forma oculta, sobre as telhas ou placas de cobertura ficando neste caso, as telhas ou placas excluídas do volume de protecção. Como exemplo desta situação indica-se o caso em que a cobertura é assente sobre uma estrutura metálica composta por perfilados de secção suficiente (ver 2.2.2) e com continuidade eléctrica garantida e em que tal estrutura é utilizado como sistema de captura.

A fixação dos condutores do sistema à estrutura a proteger deve ser efectuada por elementos de suporte apropriados, estabelecidos à razão de dois por metro, no mínimo.

2.2.2 — Captadores naturais

Podem ser utilizados como captadores naturais os elementos metálicos existentes na parte superior da estrutura a proteger e suficientemente dimensionados para suportar o impacto directo de uma descarga, tais como coberturas de chaminés, clarabóias, depósitos, tomadas de ar dos sistemas de climatização, etc. Se pretender a não perfuração dos elementos metálicos pelas descargas atmosféricas, (caso de estruturas ou do seu conteúdo que apresentem risco de incêndio como por exemplo armazéns de lanifícios), estes elementos devem apresentar espessuras não inferiores a:

- 4 mm, para o ferro;
- 5 mm, para o cobre;
- 7 mm, para o alumínio.

Se for aceitável a perfuração dos elementos metálicos pelas descargas atmosféricas (caso em que desempenham apenas a função de condução da corrente de descarga), tais elementos devem apresentar espessuras não inferiores a:

- 0,5 mm, para o ferro;
- 0,3 mm, para o cobre;
- 0,7 mm, para o alumínio ou para o zinco;
- 2 mm, para o chumbo.

Os captosres naturais são integrados nos pára-raios através dos condutores de cobertura referidos em 2.2.1.2, devendo ser tomados os cuidados necessários para evitar a corrosão electrolítica das ligações sempre que o material que compõe o captor natural seja diferente do condutor de cobertura.

Nos casos em que os captosres naturais sejam compostos por mais do que um conjunto condutor devem ser estabelecidas as continuidades necessárias para garantir uma total equipotencialização dos conjuntos.

Comentários:

1. Convém recordar que, em caso de descarga sobre um dispositivo de captura natural, a sua estrutura é percorrida por parte da corrente de descarga, a qual pode causar danos em equipamentos eléctricos eventualmente a ela ligados. Se tal for o caso, a função do captor natural deve passar a ser assegurada por um captor artificial.
2. Não é conveniente a utilização das caleiras das águas pluviais como captosres naturais ou como condutores de cobertura, não só pela dificuldade de conseguir uma continuidade eléctrica durável como pela progressiva tendência que se verifica na utilização de caleiras de material não condutor.
Quando haja garantia de continuidade eléctrica permanente, estas caleiras podem ser utilizadas desde que satisfaçam as espessuras mínimas indicadas nesta secção.

2.3 — DESCIDAS

2.3.1 — Descidas artificiais

2.3.1.1 — Objectivo

A fim de reduzir o potencial originado pela incidência de uma descarga em qualquer ponto do sistema de captosres ou dos condutores de cobertura, as descidas a instalar devem apresentar, no seu conjunto, a menor impedância possível à corrente de descarga subsequente. Assim, na concepção do sistema das descidas, os objectivos a atingir são:

- a) fornecer à corrente de descarga o maior número possível de caminhos para a terra;
- b) minimizar o comprimento e a impedância dos caminhos possíveis.

As descidas artificiais devem ser de cobre, de ferro galvanizado por imersão a quente, de aço inoxidável, com as dimensões mínimas indicadas em 2.7.2, ou de outro material adequado.

As descidas devem ser em condutores nus, não devendo utilizar-se quaisquer tipos de cabos isolados, coaxiais ou não.

2.3.1.2 — Posicionamento e instalação dos condutores

As descidas devem ser regularmente distribuídas ao longo do perímetro da estrutura, tanto quanto possível de forma a que exista uma descida junto de cada esquina da estrutura.

O número de descidas a prever e o seu posicionamento é estabelecido tendo em consideração o nível de protecção a assegurar, devendo ser instalada uma descida por cada 25, 20, 15 ou 10 m de perímetro da estrutura, consoante o nível de protecção pretendido seja fraco, normal, elevado ou muito elevado.

O número mínimo de descidas artificiais é de dois, sejam quais forem as dimensões ou a forma da estrutura a proteger.

As descidas devem ser, em regra, instaladas à vista, fixadas à superfície exterior da estrutura a proteger por meio de elementos de suporte apropriados, estabelecidos à razão de duas por metro, no mínimo. Podem ser directamente apoiadas à superfície da estrutura, a menos que aquela seja de material combustível (madeira ou plástico, por exemplo), caso em que o condutor deverá ser afastado de, pelo menos 0,08 m, não sendo exigível que o suporte do condutor seja isolado.

Por motivos estéticos ou outros, é admissível a instalação das descidas embebidas na parede da estrutura a proteger, desde que aqueles condutores sejam estabelecidos no interior de tubos de material não metálico e incombustível e seja possível efectuar as verificações e medições previstas em 3.1.2. Para este tipo de instalação mantêm-se válidas as indicações constantes em 2.3.1.3.

É ainda possível a utilização de condutores de descida em ferro galvanizado por imersão a quente directamente embebidos no betão dos pilares de betão armado nas condições indicadas em 2.3.2.

Comentário:

A instalação das descidas no exterior apresenta a vantagem de estes condutores poderem servir, eventualmente, de captos para descargas de baixa intensidade que tenham penetrado no volume protegido pelos captos propriamente ditos. Não é permitido fazer passar as descidas pelo interior dos tubos de queda das águas pluviais.

2.3.1.3 — Traçado dos condutores

O traçado a seguir pelas descidas deve ser tanto quanto possível rectilíneo e vertical, de forma a minimizar o percurso entre os elementos captos e a terra.

Devem ser evitadas as mudanças bruscas de direcção dos condutores, de forma a que não sejam criados anéis abertos que venham a provocar disrupções entre pontos diferentes da descida. Caso não seja possível evitar a formação de anéis abertos do tipo dos representados na fig. 4, deverá providenciar-se no sentido de garantir que:

$$L < 8 D \text{ (nível de protecção normal)}$$

No percurso das descidas deve ser evitada a proximidade de zonas normalmente frequentadas por pessoas, tais como varandas, portas, janelas, etc., bem como a instalação dos condutores em pontos da estrutura eventualmente sujeitos a acções mecânicas intensas.

Nas estruturas de altura superior a 20 m, devem ser instalados condutores intermédios horizontais em anel, envolvendo toda a estrutura e interligando todas as descidas, de forma a equipotencializar todos aqueles condutores a intervalos regulares a partir do topo da estrutura. O espaçamento máximo entre os anéis horizontais referidos é de 20 m.

2.3.1.4 — Ligações amovíveis

Cada descida artificial, com excepção das embebidas directamente no betão, deve ser dotada de um ligador destinado a efectuar as verificações e medições referida em 3.1.2.

Os elementos de ligação devem ser do mesmo material da descida na qual o ligador é inserido, caso aquele condutor seja do mesmo tipo, a montante e a jusante, do ligador. No caso de se verificar mudança da natureza da descida utilizada, devem empregar-se ligações bimetálicas adequadas, de forma a prevenir a ocorrência de corrosão.

Se a natureza da descida utilizada ou se as suas condições de exposição a acções mecânicas o exigirem, deve ser prevista uma protecção mecânica no troço da descida que se situa entre 2,0 m acima do solo e 0,5 m abaixo deste. O material e a configuração do elemento de protecção a utilizar deve ser escolhido de forma a não aumentar a impedância de onda da descida.

Comentário:

Não devem ser utilizados, para protecção mecânica dos condutores elementos, metálicos cuja secção transversal forme um circuito fechado em redor do condutor.

No caso de serem utilizados tubos metálicos, por exemplo, a sua secção transversal deve ser interrompida por um rasgo longitudinal ou, em alternativa, o tubo deve ser soldado em ambas as extremidades à descida.

Nos casos em que sejam utilizadas descidas naturais, os ligadores devem ser inseridos na sua ligação ao eléctrodo de terra, em condições idênticas às previstas para as descidas artificiais, se aquela ligação for efectuada fora do solo. No caso da ligação ser realizada abaixo do nível do solo, o ligador deve ser localizado numa caixa de visita apropriada, sendo tomadas as necessárias medidas preventivas relativas à corrosão da zona de ligação.

2.3.2 — Descidas naturais

Podem ser utilizados como descidas naturais os elementos metálicos existentes na estrutura a proteger que dêem garantias de continuidade eléctrica, apresentem baixa impedância e possuam robustez mecânica ao longo de toda a altura da estrutura em causa ou do troço no qual exerçam aquela função. São aplicáveis às descidas naturais as condições definidas para as descidas artificiais (ver 2.3.1).

Comentário:

Como exemplos das descidas naturais referem-se as guias de elevadores, as escadas metálicas exteriores, etc.

Não é conveniente a utilização dos tubos de queda das águas pluviais, como descidas naturais, não só pela dificuldade de conseguir uma continuidade eléctrica durável como pela progressiva tendência que se verifica na utilização de tubos de material não condutor.

Nas estruturas em que os elementos resistentes sejam constituídos por perfilados metálicos não embebidos em betão e cuja continuidade eléctrica seja assegurada, dispensa-se a existência de descidas artificiais suplementares.

Nas estruturas de betão armado, permite-se o aproveitamento da armadura metálica do betão para a função de descida natural, condicionado à garantia de continuidade eléctrica da mesma (ver fig. 3).

No entanto e para obviar à incerteza da continuidade eléctrica da armadura metálica, deve prever-se a utilização, em alguns dos pilares, de um condutor de ferro galvanizado por imersão a quente, electricamente contínuo, de 50 mm² de secção mínima, instalado em paralelo com aquela armadura, a ela fixado com arame de ferro macio e com ela embebido no mesmo betão. Tal condutor deve ser instalado com espaçamentos máximos de 25 m ao longo do perímetro da estrutura, desde que entre pilares consecutivos haja, consoante o nível de protecção pretendido, as dimensões indicadas.

Não é permitida a utilização das armaduras de elementos de betão pré-esforçado como descidas.

Comentário:

- 1) A utilização das armaduras de betão armado como descidas é possível, desde que o projecto dos pára-raios seja efectuado antes da execução da estrutura, conseguindo-se assim importantes vantagens técnicas, económicas e estéticas.
- 2) O sobreaquecimento dos condutores directamente embebidos nos pilares é muito reduzido desde que não haja descontinuidade eléctrica.

A título de exemplo, se for utilizado para escoar uma corrente de descarga de 10⁷ A²s (corrente de descarga admitida para o nível de protecção mais elevado previsto na Norma Europeia Provisória ENV 61 024-1 (1995) um condutor de ferro galvanizado de 50 mm² de secção, o seu sobreaquecimento será de:

$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \left(e^{\frac{\int i^2 dt \cdot \alpha \cdot \rho}{s^2 \cdot \gamma \cdot c}} - 1 \right)$$

em que:

- $\Delta\theta$ – elevação de temperatura (K)
- α – coeficiente de temperatura (K⁻¹)
- $\int i^2 dt$ – energia específica (A².s)
- ρ – resistividade (Ω.m)
- s – secção (m²)
- γ – massa volúmica (Kg.m⁻³)
- c – capacidade térmica mássica (J. K⁻¹. kg)

$$\Delta\theta = \frac{1}{6,5 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(e^{\frac{10^7 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 10^{-9}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 7700 \cdot 469}} - 1 \right)$$

$$\Delta\theta = 211 \text{ K}$$

Valor perfeitamente aceitável.

2.4 — LIGAÇÃO À TERRA

A ligação à terra tem como finalidade a dispersão na massa condutora da Terra da corrente proveniente de qualquer descarga atmosférica que incida no pára-raios.

Dadas as características peculiares da corrente de descarga, a impedância de onda apresentada pelo eléctrodo de terra difere da sua resistência de contacto medida nas condições normais, pelo que não faz sentido estabelecer valores máximos para esta grandeza, embora seja recomendável que ela seja o menor possível face às características do terreno de implantação. O valor da resistência de contacto medida nas condições normais não deve exceder 10Ω . Em caso de impossibilidade de obtenção deste valor o eléctrodo de terra deve satisfazer ao indicado na secção 2.3 da Norma Europeia Provisória ENV 61 024-1 (1995).

A concepção de eléctrodos de terra destinados a escoar correntes de descarga deve assentar na utilização de eléctrodos tão emalhados quanto possível, por forma a dividir a corrente de descarga por um grande número de ramos, os quais podem apresentar um comprimento relativamente pequeno.

2.4.1 — Tipo de eléctrodo a utilizar

O eléctrodo de terra preferencial a utilizar num pára-raios é o eléctrodo em anel, constituído por um condutor instalado na base das fundações do edifício ou embebido no maciço de betão das fundações caso exista.

Alternativamente pode ser utilizado um condutor em anel, enterrado a uma profundidade de aproximadamente 0,80 m e envolvendo a estrutura a proteger.

Comentário:

- 1) O anel de terra deve, preferencialmente, ser constituído por ferro galvanizado por imersão a quente para que não se forme um par electrolítico com os restantes ferros das armaduras de betão enterradas o que, se o anel for de cobre, inevitavelmente, virá a acontecer (neste caso verificar-se-á a corrosão dos ferros da armadura do betão com os inconvenientes daí resultantes para a estabilidade da estrutura).
- 2) Para proteger o anel de ferro galvanizado de eventual corrosão em pontos fracos do seu revestimento de zinco, recomenda-se embebê-lo no betão das fundações.
- 3) Se para as instalações eléctricas do edifício for utilizado um eléctrodo em anel este deve ser também utilizado como eléctrodo do pára-raios.

Para estruturas de dimensões tais que o raio de eléctrodo em anel resulte inferior a 8 m, poder utilizar-se eléctrodos do tipo radial (em forma de "pata de ave"), constituídos por três condutores derivado de um ponto comum (ver fig. 5) e enterrados horizontalmente no solo a uma profundidade mínima de 0,8 m. Os condutores devem ser instalados fora do perímetro a proteger e o ângulo formado pelos elementos do eléctrodo não deve ser inferior a 60° , sendo o comprimento mínimo de cada elemento da ordem dos 6 a 8 m.

Comentário:

O comprimento indicado é válido para terrenos de resistividade até $1000\ \Omega.m$ e para os níveis de protecção "fraco", "normal" e "elevado" (ver tabela 2).

Para terrenos de maior resistividade e/ou para níveis de protecção "muito elevado" haver que aumentar significativamente aqueles comprimentos.

A utilização de varetas enterradas verticalmente no solo na extremidade dos elementos referidos do eléctrodo radial permite reduzir a metade os comprimentos indicados, desde que o comprimento de cada vareta não seja inferior a 2 m.

Cada uma das descidas do pára-raios deve ser directamente ligada ao eléctrodo de terra, a partir do ligador referido em 2.3.1.4. A ligação deve ser efectuada ao ponto mais próximo do eléctrodo em anel, caso este exista, ou ao ponto comum do eléctrodo radial correspondente a cada descida.

2.8.4 — Recintos desportivos

A protecção dos edifícios existentes em recintos desportivos é efectuada de forma idêntica à de qualquer outro edifício do mesmo tipo construtivo.

As áreas descobertas que careçam de protecção devem ser incluídas nos volumes a proteger através de sistemas de hastes verticais ou de sistemas de condutores horizontais, com aproveitamento eventual de elementos metálicos dominantes normalmente existentes em locais daquele tipo (torres de iluminação, mastros de bandeiras, coberturas metálicas, etc.).

Nestas zonas de grande concentração de pessoas devem ser tomados cuidados especiais relativamente aos efeitos das tensões de passo.

2.8.5 — Depósitos de produtos inflamáveis ou explosivos

2.8.5.1 — Depósitos enterrados

Os depósitos metálicos de produtos inflamáveis ou explosivos directamente e completamente enterrados no solo não carecem de protecção específica contra a acção das descargas atmosféricas.

Devem, no entanto, ser tomados todos os cuidados indispensáveis à garantia de uma equipotencialização perfeita entre todos os elementos metálicos que constituem o depósito ou que estabelecem as suas ligações com o exterior.

Se a instalação comportar vários depósitos enterrados, deve ser efectuada uma interligação entre eles, garantindo-se de uma forma durável a sua equipotencialização. Esta interligação pode ser assegurada pelas canalizações metálicas eventualmente existentes entre depósitos, desde que sejam garantidas as necessárias características de condutibilidade e continuidade eléctricas, por parte da canalização.

2.8.5.2 — Depósitos fora do solo

Consideram-se depósitos fora do solo aqueles que não se encontram completamente enterrados, incluindo-se nesta designação tanto os depósitos situados ao ar livre como os que são localizados em caves, recintos cobertos ou fossas.

Os depósitos contendo produtos inflamáveis ou explosivos instalados fora do solo devem ser dotados de pára-raios, os quais podem ser os existentes nos edifícios onde se encontrem, no caso de depósitos instalados em caves ou recintos cobertos.

Para depósitos ao ar livre ou instalados em fossas, se a espessura da chapa do depósito for inferior a 5 mm ou se o depósito for de betão armado, é necessária a instalação de captosres adequados, não podendo o próprio depósito desempenhar aquela função.

Cada instalação de armazenagem de produtos inflamáveis ou explosivos, qualquer que seja o número de depósitos fora do solo de que se componha, deve ser dotada de um único sistema de ligação à terra, o qual deve ser preferencialmente constituído por eléctrodos em anel. Para evitar a corrosão electrolítica, recomenda-se que o material dos eléctrodos de terra seja idêntico ao dos depósitos que a eles são ligados.

Todos os depósitos e canalizações metálicas existentes no edifício devem ser ligados ao ponto mais próximo do pára-raios instalado, nas condições prescritas em 2.5.1.

2.8.6 — Estruturas contendo produtos explosivos

A conveniência ou a necessidade de protecção de estruturas contendo produtos explosivos excede o âmbito deste guia técnico devendo, para o efeito, observar-se o disposto na legislação em vigor relativamente a aqueles produtos, designadamente o DL 142/79, de 23 de Maio.

Se a decisão da instalação de um pára-raios for assumida para estruturas daquele tipo, deve prever-se a montagem de um pára-raios separado da estrutura em causa, o qual se destina a interceptar qualquer descarga incidente sem que se verifique o contacto dos elementos do pára-raios com a estrutura.

2.8.6.1 — Captadores do tipo haste vertical

Este tipo de protecção é normalmente usado quando a estrutura a proteger é isolada e de relativamente pequenas dimensões.

O volume protegido por uma haste vertical (tipo Franklin) é, neste caso, definido pelo cone de protecção estabelecido como em 2.1.2, mas cujo semi-ângulo no vértice é de 30°.

Comentário:

O valor adoptado corresponde a um nível de protecção intermédio entre “elevado” e “muito elevado” (tabela 2).

No caso de se prever a utilização de mais do que uma haste, o ângulo a considerar na zona interior às hastes pode ser aumentado até 45°, mantendo-se a limitação de 30° para o espaço exterior àquela zona.

Esta forma de determinar o volume protegido apenas é utilizável se a distância entre as hastes não exceder os 10 m.

A altura das hastes verticais a empregar é limitada a 20 m, sendo de 2 m o afastamento mínimo entre a estrutura a proteger e cada uma das hastes.

O eléctrodo de terra a instalar deve ser do tipo anel, estabelecido na periferia do edifício a proteger e a uma profundidade mínima de 0,80 m, devendo apresentar um traçado tão próximo quanto possível das hastes verticais.

No caso da estrutura possuir um eléctrodo de terra nas fundações, este deve ser ligado em pelo menos três pontos, regularmente distribuídos, ao eléctrodo em anel atrás referido. Nas figs. 7 e 8 fornecem-se exemplos de protecção por dispositivos de captura do tipo haste vertical.

2.8.6.2 — Captadores suspensos

Para a protecção de estruturas de dimensões horizontais significativas, pode utilizar-se um ou mais condutores horizontais suspensos por cima da estrutura a proteger, suportados por apoios verticais implantados no solo e afastados daquela estrutura (ver fig. 9).

No caso da utilização de um só condutor horizontal, o ângulo de protecção a considerar é de 30°, devendo ser verificada a inclusão da estrutura no volume protegido no ponto mais baixo do condutor, nas condições de flecha máxima.

Quando se utilizarem vários condutores horizontais paralelos, o ângulo a considerar no espaço entre condutores será de 45°, para espaçamentos máximos entre eles de 10 m.

A distância mínima entre a estrutura a proteger e o ponto mais baixo dos condutores horizontais, bem como o afastamento mínimo dos suportes respectivos relativamente àquela estrutura, é de 2 m.

Os apoios que suportam os condutores horizontais devem, preferencialmente, ser metálicos. Podem, contudo, ser de betão armado ou de madeira desde que sejam dotados exteriormente de dois condutores do mesmo material dos condutores horizontais e a eles ligados na parte superior. As descidas assim constituídas devem sobressair do topo do apoio em 0,2 m, no mínimo.

Deve ser estabelecido, pelo menos, um eléctrodo de terra em anel, com um traçado tão próximo quanto possível dos suportes verticais e instalado a uma profundidade mínima de 0,8 m.

No caso do edifício possuir um eléctrodo de terra nas fundações, este deverá ser ligado em pelo menos três pontos, regularmente distribuídos, ao eléctrodo em anel atrás referido.

Na fig. 9 indica-se um exemplo de protecção por dispositivo de captura suspenso.

3 — CONSERVAÇÃO E EXPLORAÇÃO

3.1 — INSPECÇÕES

As instalações de pára-raios devem ser objecto de acções de inspecção e manutenção das quais se deve elaborar um relatório.

3.1.1 — Periodicidade

Os pára-raios devem ser inspeccionados por um técnico habilitado logo após a sua instalação.

Para além da inspecção inicial, devem ser efectuadas inspecções periódicas, cuja frequência depende do nível de protecção considerado exigível para a instalação em causa (ver 2.1.2), de acordo com tabela 5.

Os pára-raios devem ainda ser inspeccionados sempre que se verifiquem os seguintes casos:

- a) alterações da estrutura a proteger;
- b) modificações ou reparações dos elementos do pára-raios;
- c) ocorrência de descargas atmosféricas sobre o pára-raios.

3.1.2 — Verificações e medições a realizar

As acções de inspecção previstas em 3.1.1 destinam-se a confirmar a correcta concepção do sistema de acordo com as indicações deste guia técnico, devendo verificar-se:

- a) o bom estado de conservação, de fixação e de funcionamento dos captosres, das descidas, dos elementos de ligação, etc., com confirmação, por medição, da respectiva continuidade eléctrica
- b) o bom estado de funcionamento dos disjuntores e dos descarregadores de sobretensão existentes no pára-raios;
- c) o valor da resistência de contacto do eléctrodo, o qual não deve ser superior em mais de 50% ao valor obtido aquando da primeira inspecção, nunca devendo exceder 10 Ω .

Comentário:

Embora o valor numérico da resistência de contacto do eléctrodo de terra de um pára-raios não corresponda ao valor da impedância de onda respectiva, a sua medição sucessiva dá uma indicação sobre o estado de conservação dos elementos enterrados, permitindo detectar qualquer degradação anormal do eléctrodo de terra.

3.2 — MANUTENÇÃO

Na sequência das acções de inspecção do pára-raios referidas em 3.1.1 e 3.1.2 ou sempre que se justifique, devem ser realizados trabalhos de manutenção do sistema que garantam que este mantém a sua conformidade com as recomendações deste guia técnico.

Tabela 1 — Protecção contra descargas atmosféricas

ALTURA E IMPLANTAÇÃO CONSEQUÊNCIAS DAS DESCARGAS	ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE RISCO ATENUADO (AI 1)	ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE RISCO NORMAL (AI 2)	ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE RISCO AGRAVADO (AI 3)
Estruturas comuns (CD 1)	DISPENSÁVEL	ACONSELHÁVEL	ACONSELHÁVEL
Estruturas envolvendo riscos específicos (CD 2)	ACONSELHÁVEL	NECESSÁRIO	NECESSÁRIO
Estruturas envolvendo riscos para as imediações (CD 3)	NECESSÁRIO	NECESSÁRIO	NECESSÁRIO

Tabela 2 — Níveis de protecção e dimensões de verificação

NÍVEL DE PROTECÇÃO	Altura do vértice do cone de protecção (m) (a)						Raio da esfera fictícia R (m)	Menor dimensão da malha M (m)
	10	20	30	40	50	60		
	ângulo de protecção (b) (graus)							
I (Muito elevado)	45	20	(c)	(c)	(c)	(c)	20	5 x 5
II (Elevado)	55	35	25	(c)	(c)	(c)	30	10 x 10
III (Normal)	60	45	35	25	(c)	(c)	45	15 x 15
IV (Fracó)	65	55	45	35	30	25	60	20 x 20

a) Para alturas diferentes destas pode utilizar-se uma interpolação linear dos valores indicados para os ângulos de protecção.

b) Semi-ângulo no vértice do cone.

c) Para este caso, aplica-se o método da esfera fictícia ou o critério das dimensões da malha.

Tabela 3a — Dimensões mínimas para captores

		COBRE	FERRO GALVANIZADO OU AÇO INOXIDÁVEL
FIOS	SECÇÃO (mm²)	35	50
VARETAS *	DIÂMETRO (mm)	15 (PONTEIRAS) 25 (HASTES)	15 (PONTEIRAS) 25 (HASTES)
CABOS NUS	SECÇÃO (mm²)	35	50
	DIÂMETRO MÍNIMO DO FIO (mm)	1,0	1,5
FITAS	SECÇÃO (mm²)	40	50
	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	2,0	2,5
* Utilizada em hastes ou ponteiros de captura. Os valores indicados referem-se a diâmetros na base.			

Tabela 3b — Secções mínimas para descidas ou ligações equipotenciais essenciais

MATERIAL	COBRE	FERRO GALVANIZADO OU AÇO INOXIDÁVEL
SECÇÃO (mm²)	16	50

Tabela 3c — Secções mínimas para ligações equipotenciais não significativas

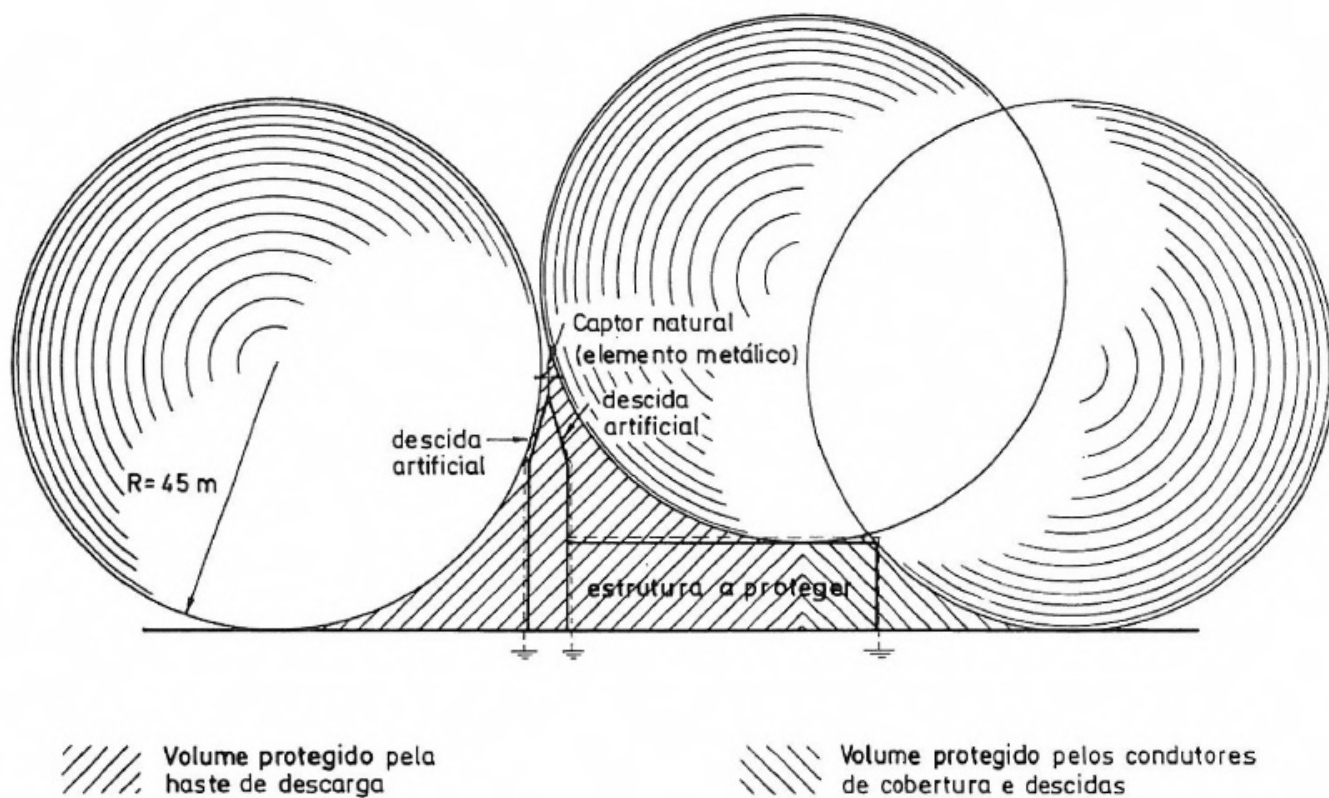
MATERIAL	COBRE	FERRO GALVANIZADO OU AÇO INOXIDÁVEL
SECÇÃO (mm²)	6	16

Tabela 4 — Dimensões mínimas para elementos do pára-raios enterrados directamente no solo

		COBRE	FERRO GALVANIZADO (a) OU AÇO INOXIDÁVEL
FIOS	SECÇÃO (mm ²)	35	50
VARETAS	DIÂMETRO (mm)	15 (b)	15
CABOS NUS	SECÇÃO (mm ²)	35	—
	DIÂMETRO DO FIO (mm)	1,8	—
PERFILADOS	SECÇÃO (mm ²)	50	50
	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	3	3
FITAS	SECÇÃO (mm ²)	50	60
	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	2	3
TUBOS	SECÇÃO (mm ²)	50	50
	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	2	2
(a) A espessura mínima de revestimento é de 50 µm.			
(b) É admissível a utilização de varetas de aço revestido de cobre com espessura adequada ao processo de fabrico.			

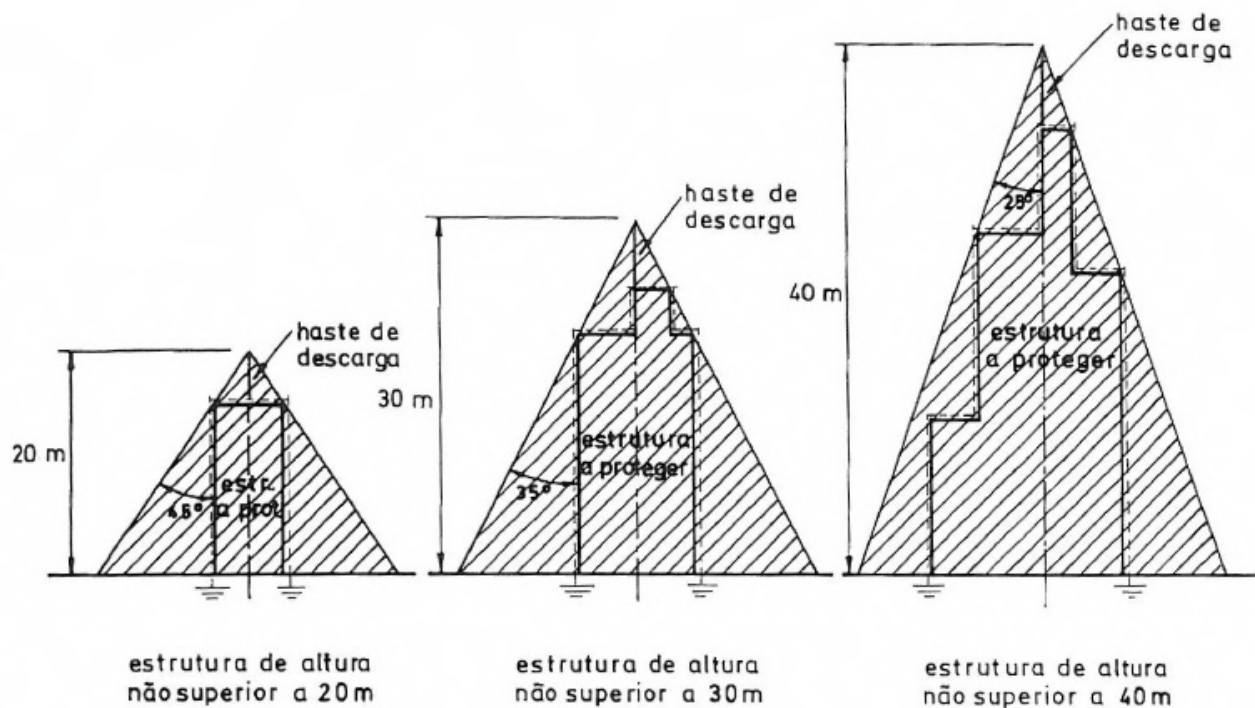
Tabela 5 — Periodicidade das inspecções

NÍVEL DE PROTECÇÃO	MUITO ELEVADO	ELEVADO	NORMAL	FRACO
PERIODICIDADE DAS INSPECÇÕES (ANOS)	1	3	5	5



Nota - A verificação deve ser feita a três dimensões (volume) e não apenas a duas dimensões com na figura.

Fig. 1 - Verificação da protecção pela aplicação da "esfera fictícia" (nível de protecção normal)



Nota: Para estruturas de altura superior a 20 m, pode ser utilizada a intersecção dos diferentes ângulos como se indica na figura abaixo.

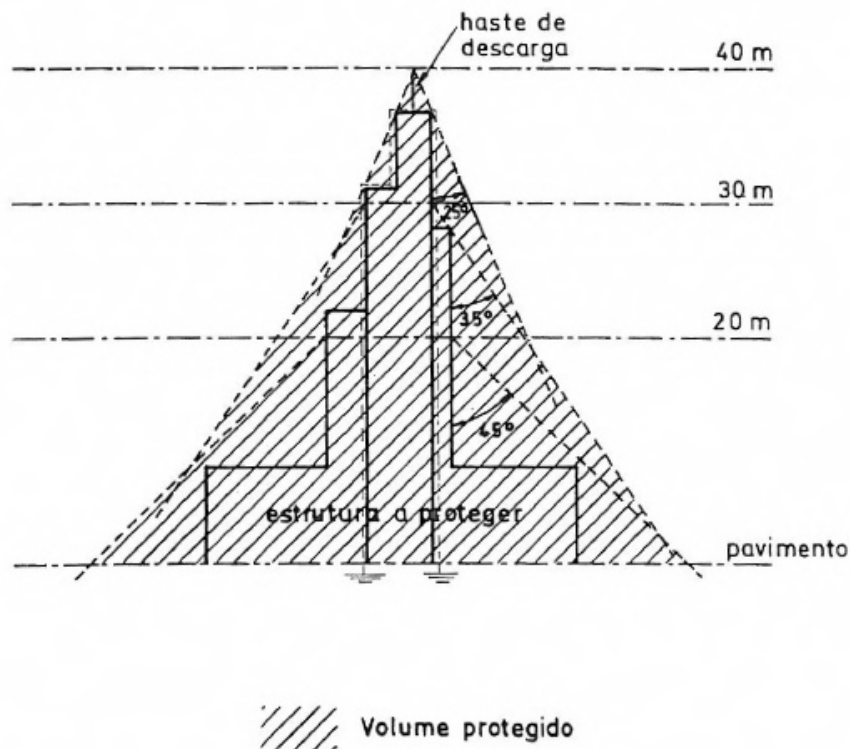
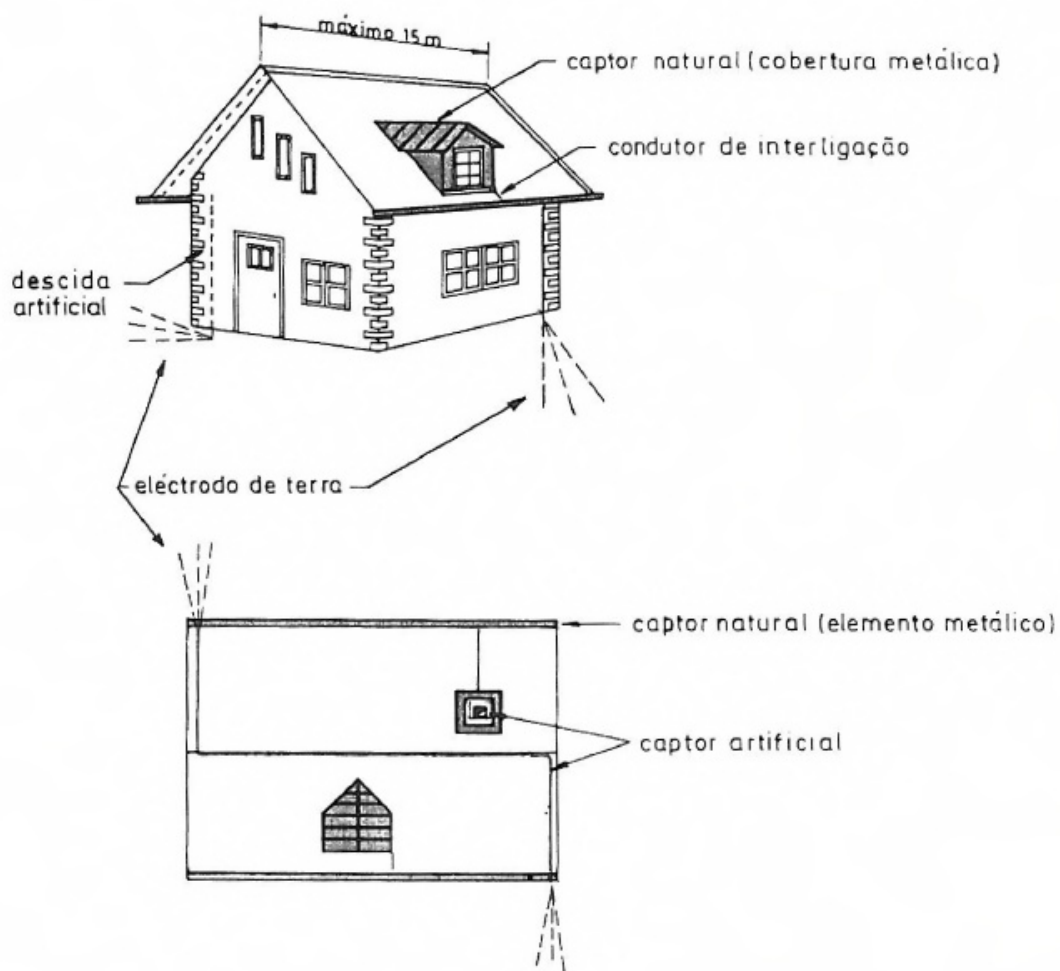


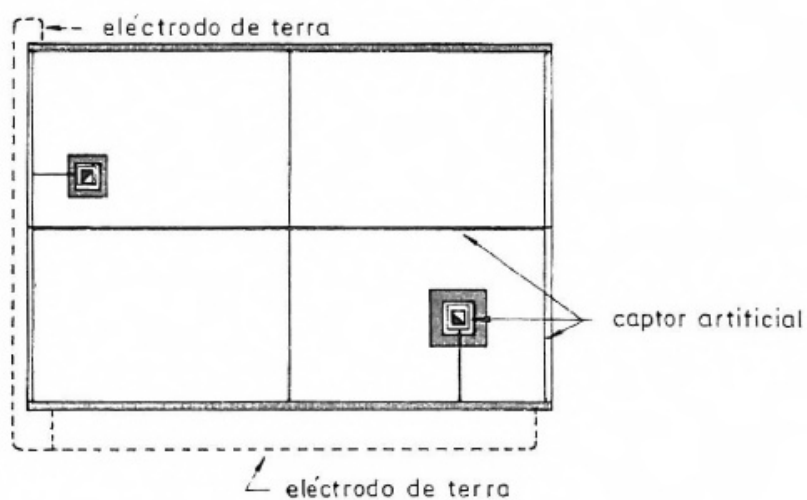
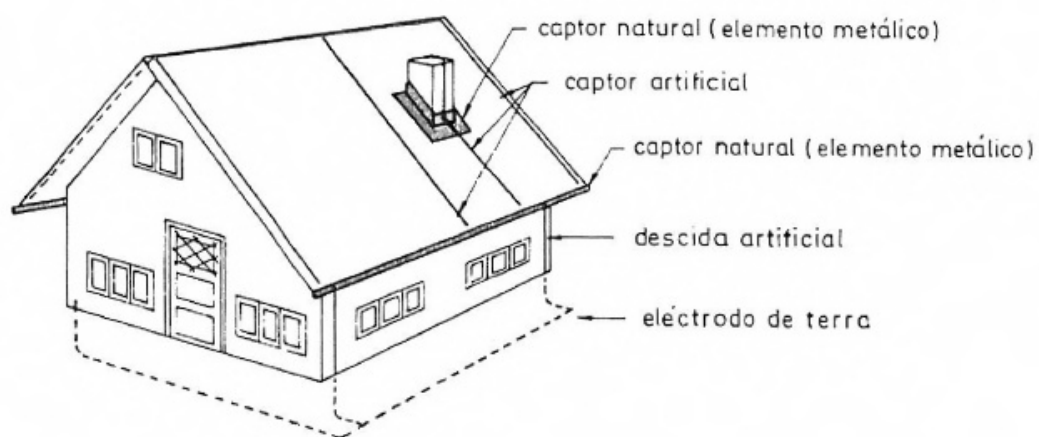
Fig. 2 - Verificação da protecção pela aplicação do "ângulo de protecção" (nível de protecção normal)



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

- Elementos Naturais
- Elementos Artificiais

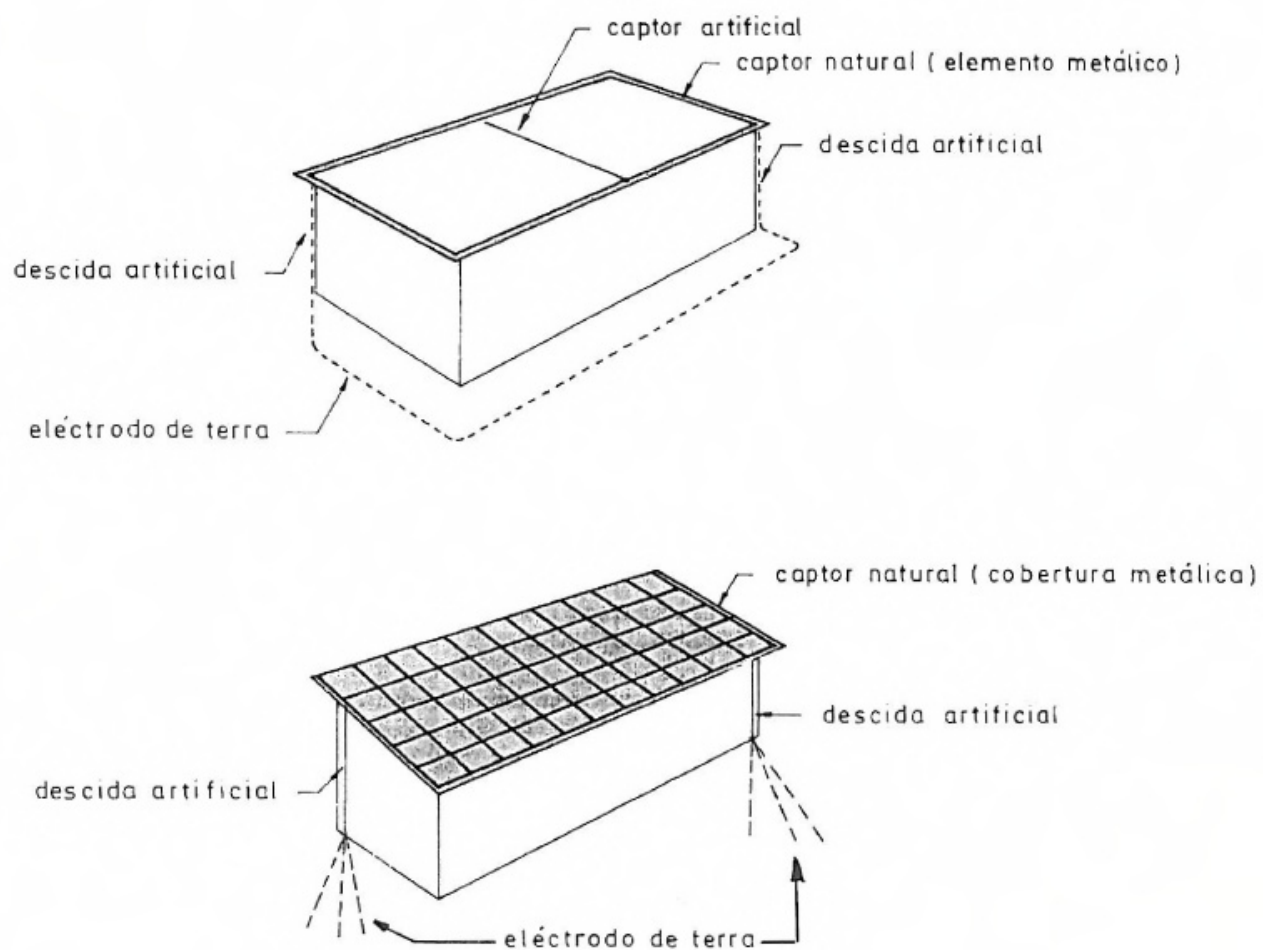
Fig. 3 a - Exemplos de captos naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

-  Elementos Naturais
-  Elementos Artificiais

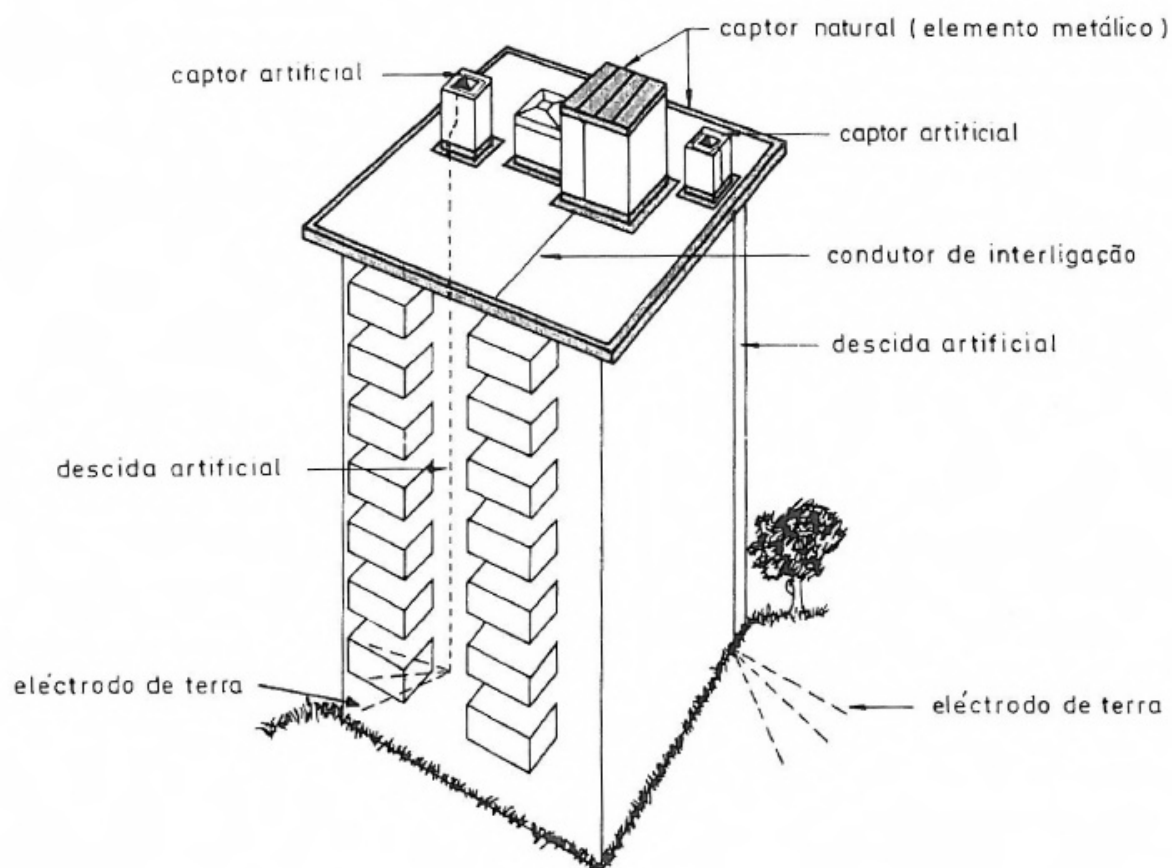
Fig. 3 b - Exemplos de captos naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

 Elementos Naturais
 Elementos Artificiais

Fig. 3 c - Exemplos de captos naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.



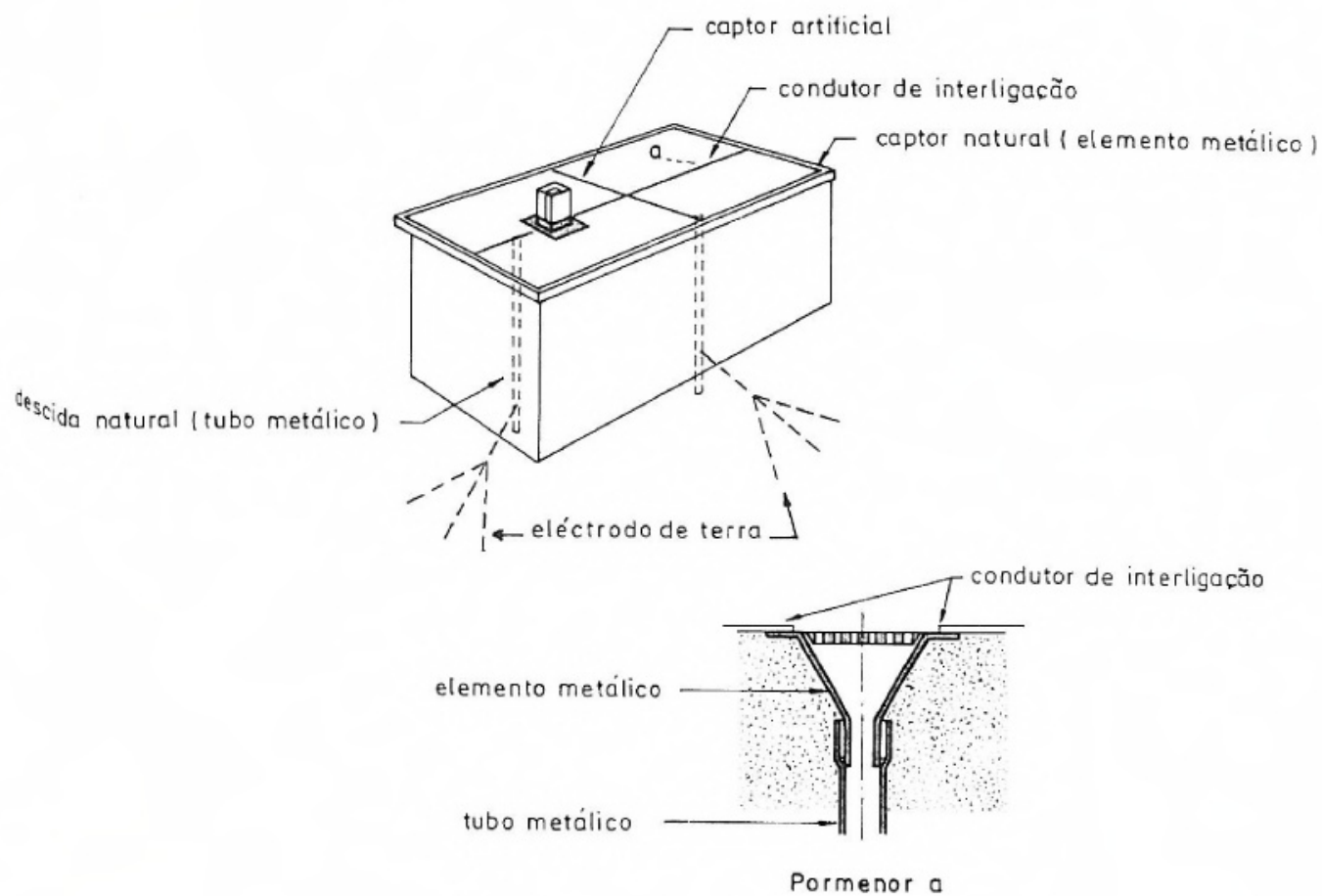
 Elementos Naturais
 Elementos Artificiais

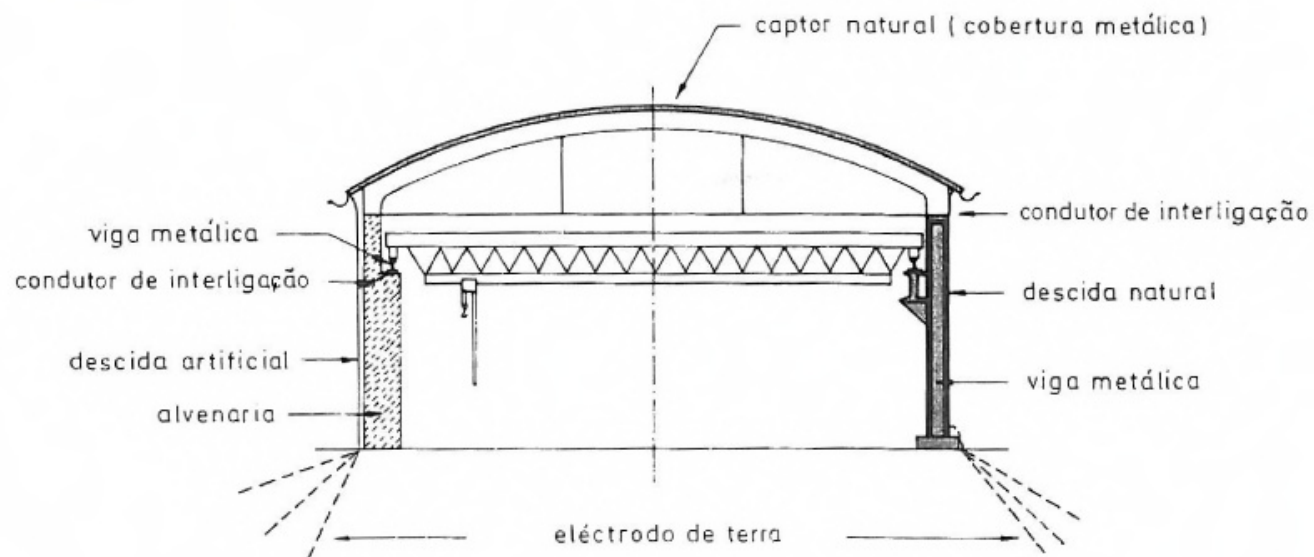
Fig. 3 d - Exemplos de captos naturais e sua interligação aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

Elementos Naturais
 Elementos Artificiais

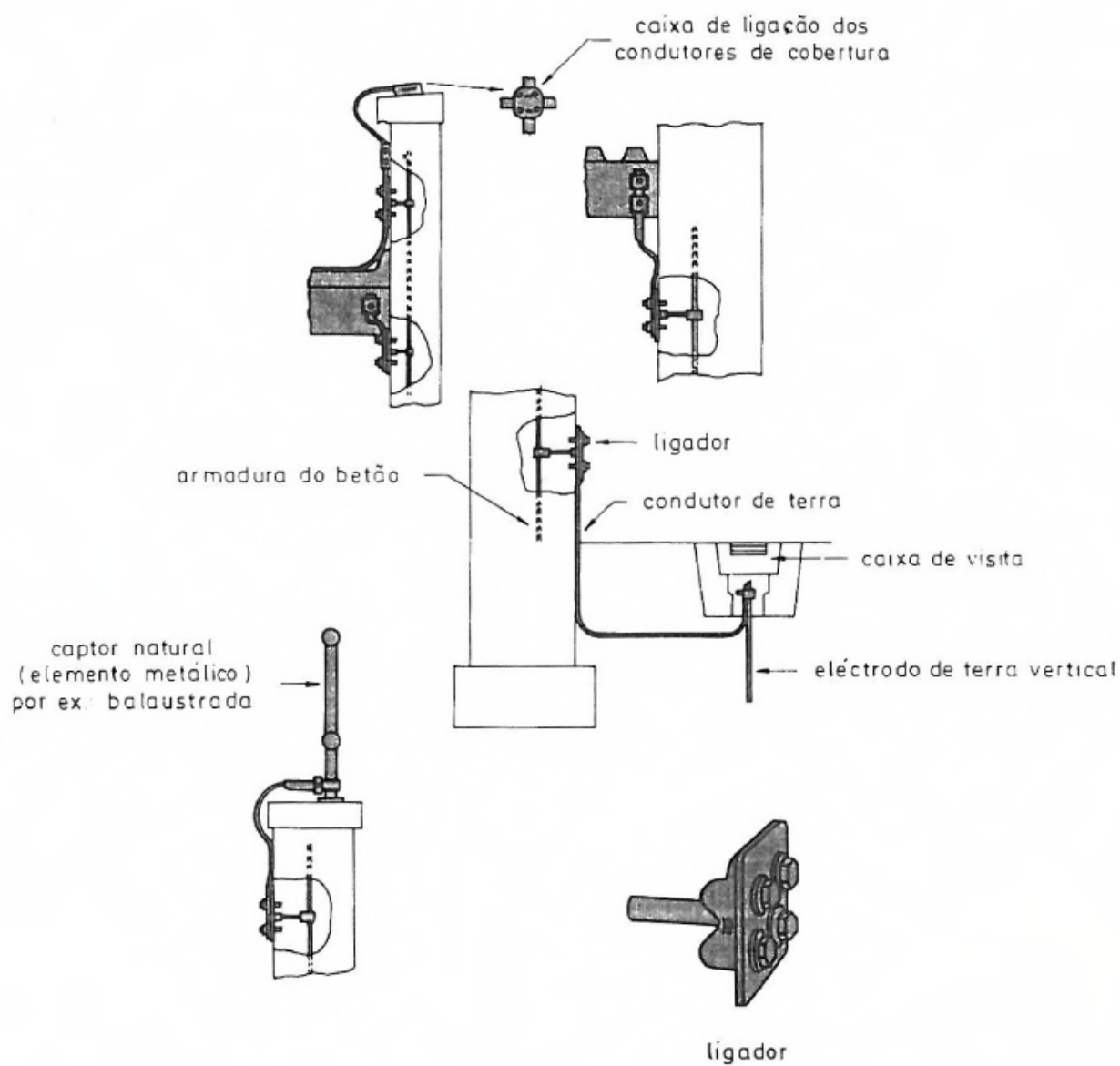
Fig. 3 e - Exemplos de captos e descidas naturais e suas interligações aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

Elementos Naturais
 Elementos Artificiais

Fig. 3 f - Exemplos de captosres e descidas naturais e suas interligações aos elementos artificiais do pára-raios



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.



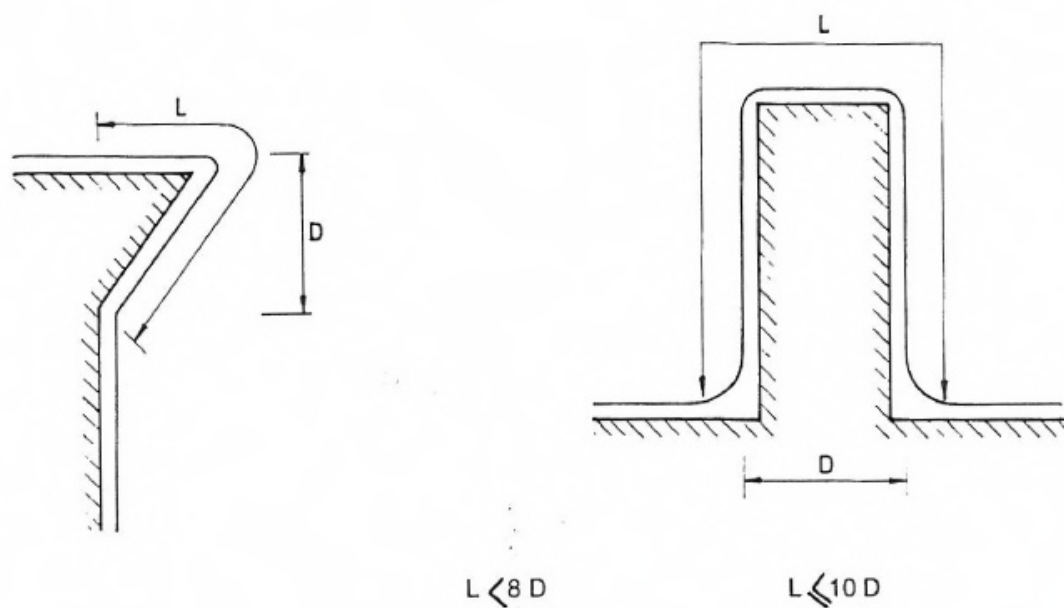
-  Elementos Naturais
-  Elementos Artificiais

Fig. 3 g – Exemplos de ligação da armadura do betão com os outros elementos do pára-raios



Nota - Esta condição de verificação é válida para os níveis de protecção "fraco" e "normal". Para níveis de protecção mais elevados o factor (valor 8) deve ser reduzido.

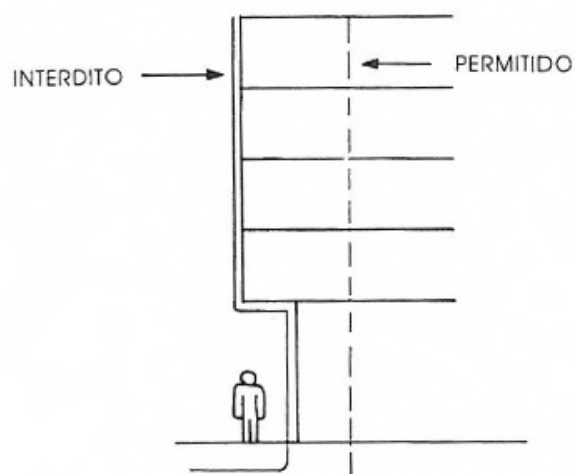


Fig. 4 - Anéis abertos no traçado dos condutores

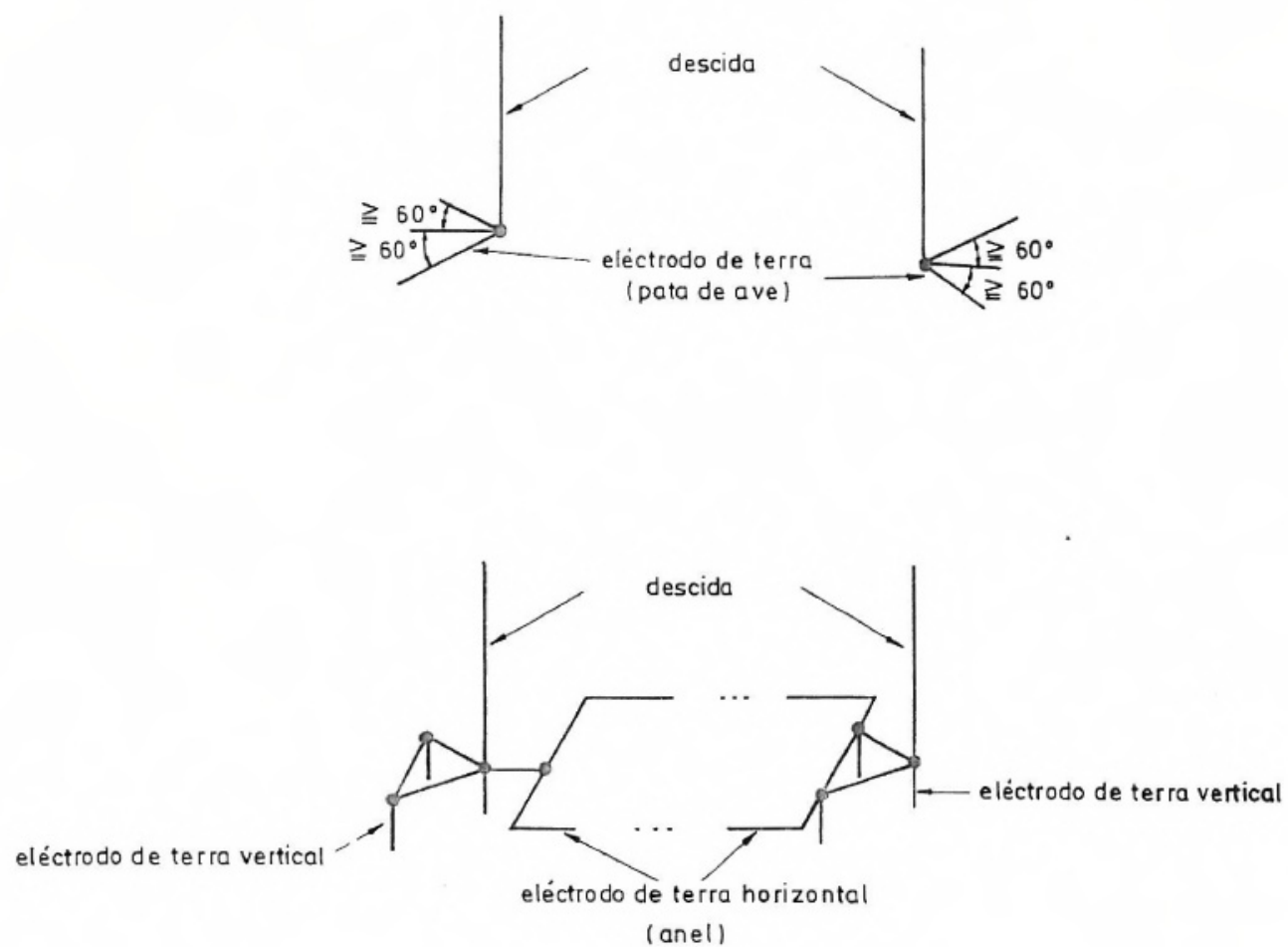
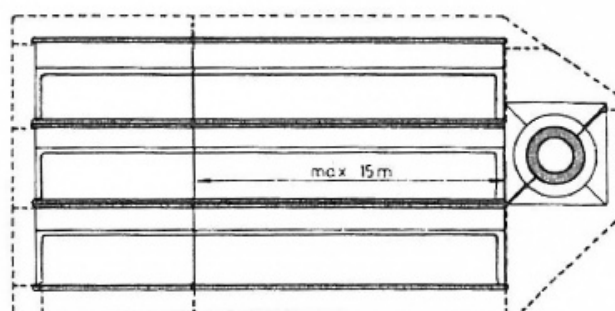
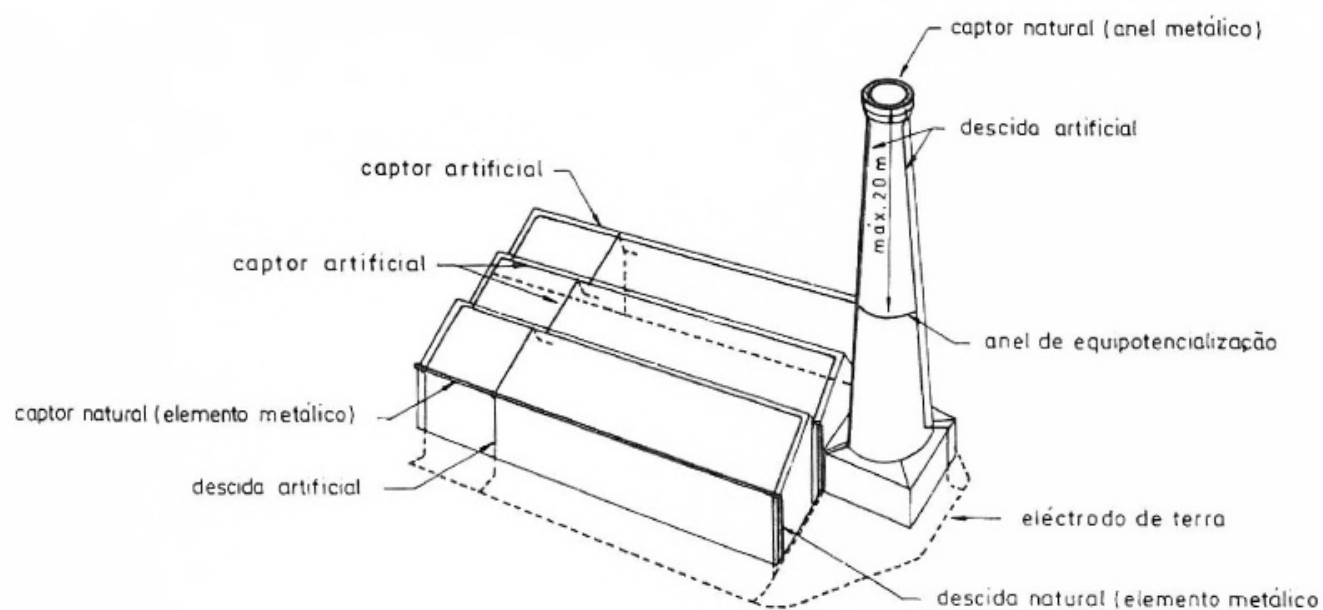


Fig. 5 - Exemplos de eléctrodos de terra em "pata de ave" e sua interligação com outros



Nota - Os elementos naturais devem satisfazer aos condicionalismos indicados no texto.

- Elementos Naturais
- Elementos Artificiais

Fig. 6 - Exemplos de pára-raios em chaminés e edifícios industriais

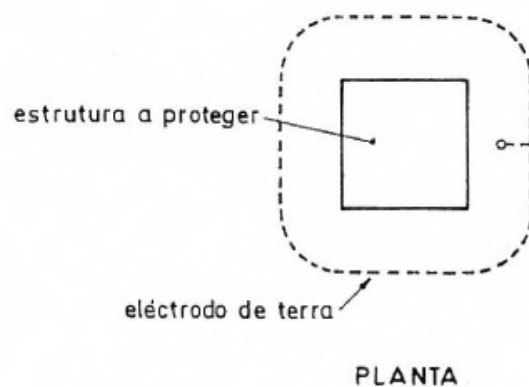
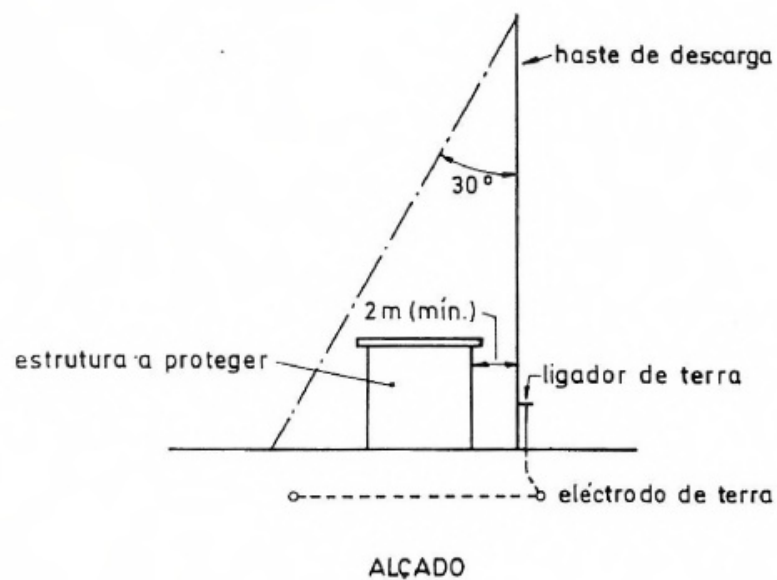


Fig. 7 - Exemplos de protecção, por haste vertical, de uma estrutura contendo substâncias explosivas

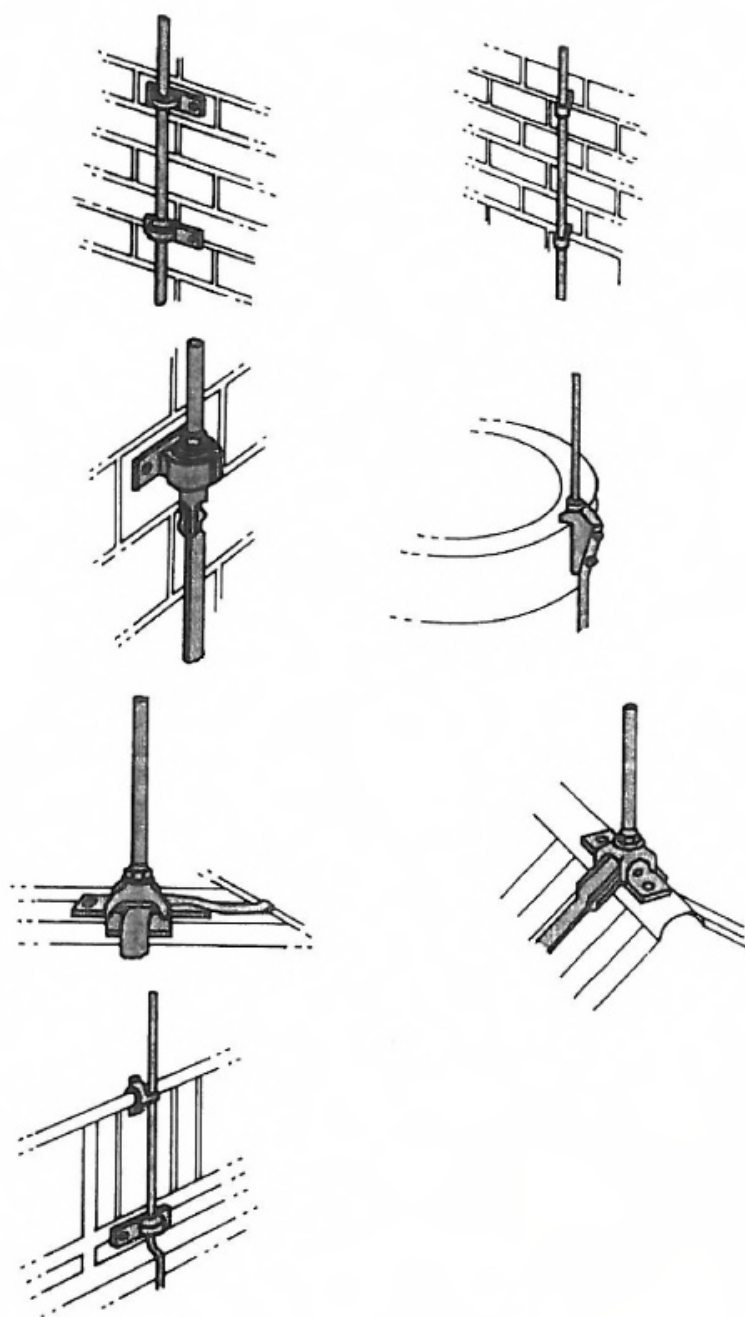
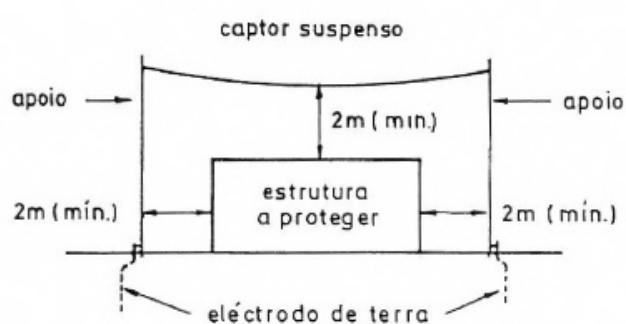
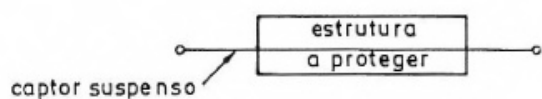


Fig. 8 - Exemplos de captos artificiais do tipo "haste vertical" e suas ligações às descidas

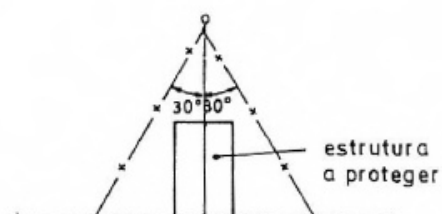
PROTECÇÃO COM UM CONDUTOR SUSPENSO



ALÇADO PRINCIPAL

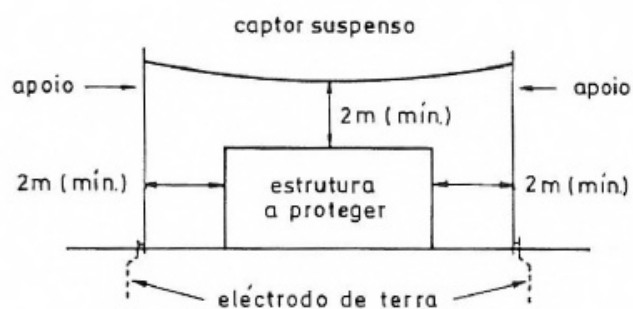


PLANTA

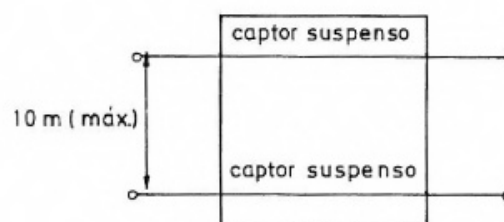


ALÇADO LATERAL

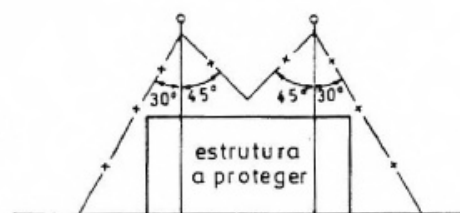
PROTECÇÃO COM DOIS CONDUTORES SUSPENSO



ALÇADO PRINCIPAL



PLANTA



ALÇADO LATERAL

Fig. 9 - Exemplos de protecção por "captos suspensos", de estruturas contendo substâncias explosivas

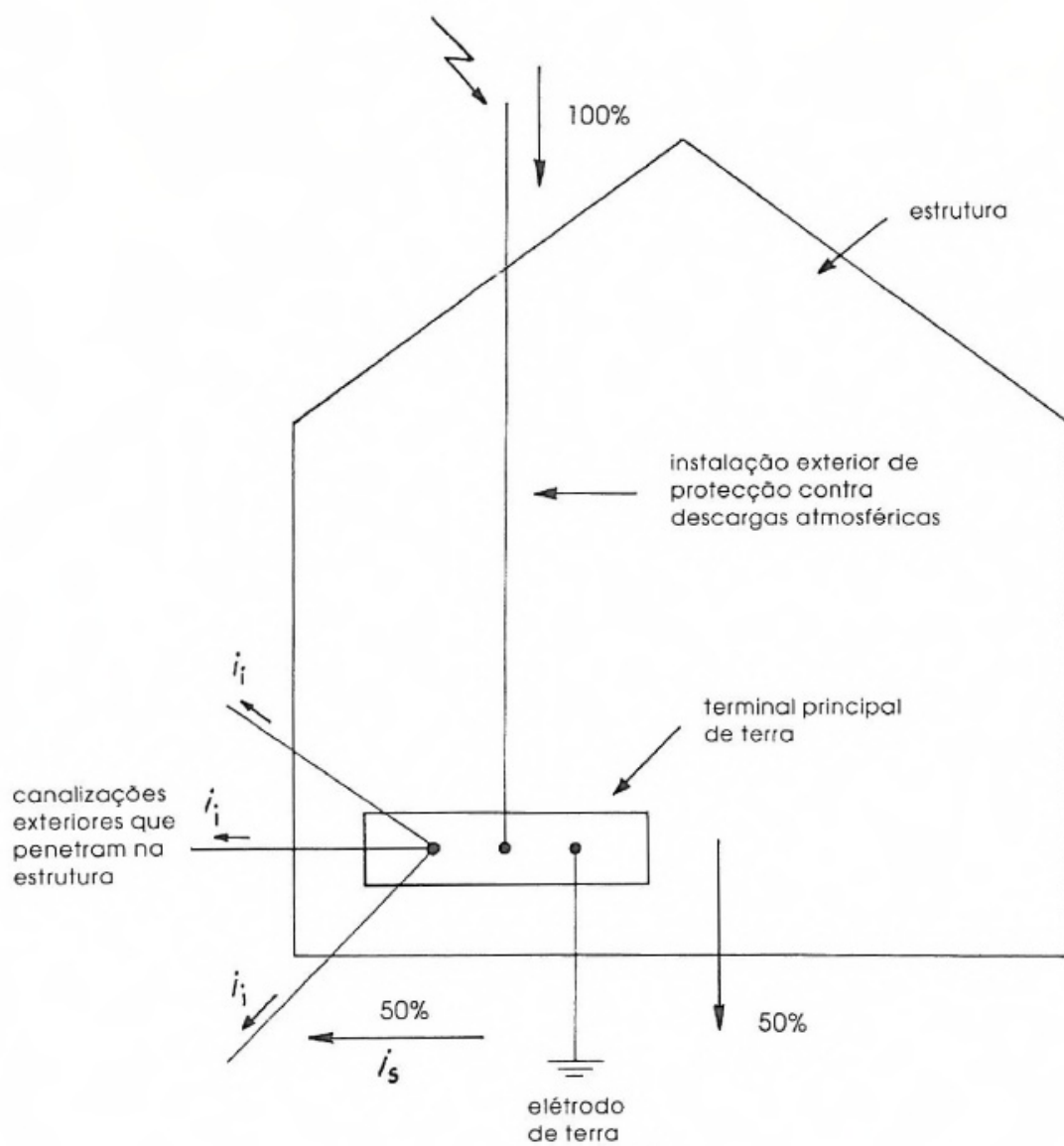


Fig. 10 - Repartição da corrente de descarga atmosférica entre a estrutura e as canalizações que nela penetram