

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ATRAVÉS DE PÁRA-RAIOS DE HASTE

(*) João Mamede Filho

Este artigo trata do dimensionamento de uma instalação de pára-raios do tipo Franklin para proteção contra descargas atmosféricas em edifício e subestações de alta tensão, além de abordar a utilização dos pára-raios radioativos para a mesma finalidade.

1. INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas causam sérias perturbações nas

(*) Engo. Eletricista da COELCE;
Professor do Depto. Engenharia Elétrica da UNIFOR.

redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocarem danos materiais nas construções atingidas por eles, sem contar os riscos de vida a que as pessoas e animais ficam submetidas.

As descargas atmosféricas induzem surtos de tensão que chegam, a centenas de kV nas redes aéreas de transmissão e distribuição das concessionárias de energia elétrica, obrigando a utilização de cabos — guarda ao longo das linhas de tensão mais elevada e pára-raios a resistor não linear para a proteção de equipamentos e cabos subterrâneos instalados nestes sistemas.

Quando as descargas entram em contato direto com quaisquer tipos de construção, tais como edificações, tanques metálicos de armazenamento de líquidos, partes estruturais ou não de subestações, são registrados grandes danos materiais que poderiam ser evitados, caso estas construções estivessem protegidas adequadamente por pára-raios do tipo haste.

O presente artigo estudará somente a proteção contra descargas atmosféricas que incidam sobre as construções anteriormente mencionadas, fugindo ao escopo deste texto a abordagem da proteção contra as sobretensões resultantes.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DOS RAIOS

Ao longo dos anos várias teorias foram desenvolvidas para explicar o fenômeno dos raios. Atualmente tem-se, como certa que a fricção entre as partículas de água e gelo que formam as nuvens, provocada pelos ventos ascetes de forte intensidade, dão origem a uma grande quantidade de cargas elétricas. Verifica-se experimentalmente que as cargas elétricas positivas ocupam a parte superior da nuvem, enquanto as cargas elétricas negativas se posicionam na sua parte inferior, acarretando conseqüentemente uma intensa migração de cargas positivas na superfície da terra para a área correspondente à localização da nuvem, conforme pode-se observar ilustrativamente através da Fig. 1. Desta forma as nuvens tem uma característica bipolar.

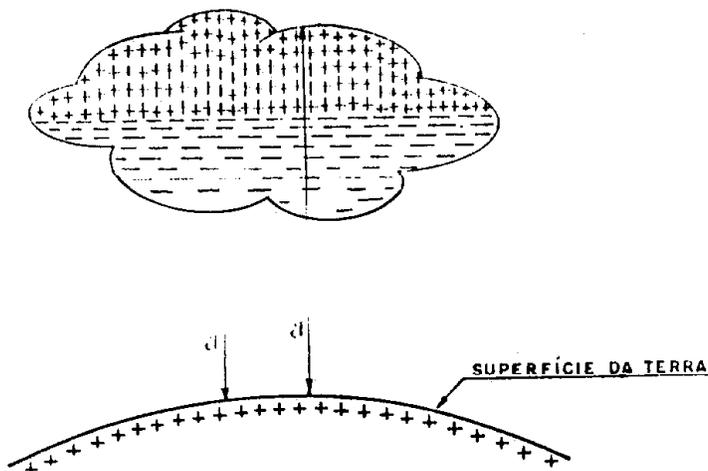


Fig. 1

Como se pode deduzir pela Fig. 1, a concentração de cargas elétricas positivas e negativas numa determinada região faz surgir uma diferença de potencial entre a terra e a nuvem. No entanto, o ar apresenta uma determinada rigidez dielétrica, normalmente elevada e que depende de certas

condições ambientais. O aumento desta diferença de potencial, que se denomina gradiente de tensão, poderá atingir um valor que supere a rigidez dielétrica do ar interposto entre a nuvem e a terra, fazendo com que as cargas elétricas negativas migrem na direção da terra, num trajeto tortuoso e normalmente cheio de ramificações, cujo fenômeno é conhecido como descarga piloto. É de aproximadamente 1kV/mm, o valor do gradiente de tensão para o qual a rigidez dielétrica do ar é rompida.

A ionização do caminho seguido pela descarga piloto propicia condições favoráveis de condutibilidade do ar ambiente. Mantendo-se elevado o gradiente de tensão na região entre a nuvem e a terra, surge, em função da aproximação do solo de uma das ramificações da descarga piloto, uma descarga ascendente, constituída de cargas elétricas positivas, denominadas de descarga de retorno ou principal, de grande intensidade, responsável pelo fenômeno conhecido como trovão, que é o deslocamento da massa de ar circundante ao caminhamento do raio, em função da elevação de temperatura e conseqüentemente do aumento de volume.

Não se tem como precisa a altura do encontro entre estes dois fluxos de carga que caminham em sentidos opostos, mas acredita-se que seja a poucas dezenas de metro da superfície da terra.

A descarga de retorno, atingindo a nuvem provoca, numa determinada região da mesma, uma neutralização eletrostática temporária.

Na tentativa de manter o equilíbrio dos potenciais elétricos no interior da nuvem, surgem nesta intensas descargas que resultam na formação de novas cargas negativas na sua parte inferior, dando início as chamadas descargas reflexas ou secundárias, no sentido da nuvem para a terra, tendo como canal condutor aquele seguido pela descarga de retorno que em sua trajetória ascete deixou o ar intensamente ionizado. A Fig. 2, ilustra graficamente a formação das descargas atmosféricas.

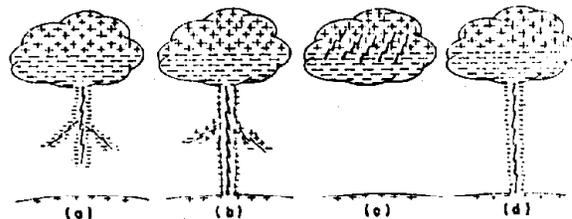


Fig. 2

- a) descarga piloto;
- b) descarga de retorno ou principal;
- c) descargas no interior da nuvem;
- d) descargas reflexas ou secundárias.

As descargas reflexas ou secundárias podem acontecer por várias vezes, após cessada a descarga principal.

Vários especialistas realizaram medições das correntes de descarga com a finalidade de determinar a sua grandeza e os valores percentuais em que eles ocorrem, ou seja:

- 0,1% são superiores a 200kA;
- 0,7% são superiores a 100kA;
- 5% são superiores a 60kA;
- 50% são superiores a 15kA.

Também ficou comprovado que a corrente de descarga tem uma única polaridade, isto é, uma só direção. Uma onda típica de descarga atmosférica foi determinada para efeito de estudos específicos. A Fig. 3. mostra a conformação desta onda, em função do tempo.

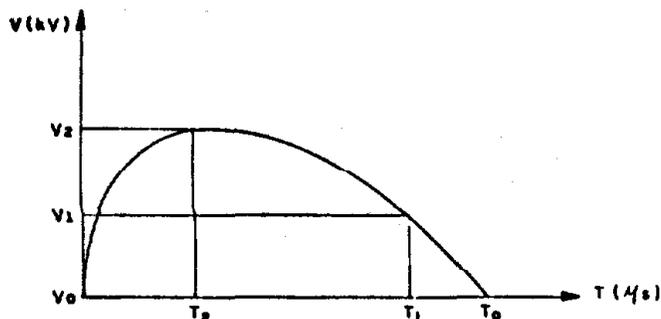


Fig. 3

A onda atinge o seu valor máximo de tensão V_2 num tempo t_2 , compreendido entre 2 a 10 μs . Já o valor médio V_1 , correspondente à cauda da onda, é atingido num intervalo de tempo t_1 de 20 a 50 μs , caindo para $V_0 = 0$, ao final de t_0 no intervalo de 100 a 200 μs .

O conhecimento da forma da onda e os seus valores típicos de tensão e tempo, além dos percentuais de sua ocorrência, possibilitam os estudos para o dimensionamento dos pára-raios de proteção contra sobretensão nas linhas e redes elétricas e dos pára-raios de haste, destinados à proteção de construções prediais e instalações em geral.

3. PÁRA-RAIOS DE HASTE

Como se procurou mostrar anteriormente as descargas atmosféricas podem danificar seriamente o patrimônio e vitimar as pessoas e animais quando estes se encontram dentro do campo elétrico formado entre a nuvem e o solo e sejam diretamente atingidos.

Utilizando a propriedade das pontas metálicas de propiciar o escoamento das cargas elétricas para a atmosfera, o chamado poder das pontas, Franklin concebeu e instalou um dispositivo que desempenha-se esta função, ao que foi denominado de pára-raios.

Fica claro que as descargas elétricas dentro de uma determinada zona são mais facilmente escoadas pelo pára-raios do que por uma estrutura de concreto, por exemplo. A Fig. 4. mostra o princípio fundamental de atuação de um pára-raios. As cargas elétricas em vez de irromperem de um ponto qualquer do solo são conduzidas até as pontas do pára-raios (captor) através de um cabo de excelente condutibilidade elétrica (cabo de cobre), permitindo desta forma, que as descargas sejam efetuadas através deste, propiciando a proteção da construção dentro de um determinado raio de atuação.

Os pára-raios de haste estão divididos em dois tipos, diferenciados pelo captor, ou seja:

- pára-raios tipo Franklin ou comum;
- pára-raios radioativo ionizante.

Após iniciados os fenômenos de descarga, ambos desempenham as mesmas funções básicas. No entanto, diferem quanto às propriedades que exercem sobre o meio que os circunda antes do início da efetivação dos raios.

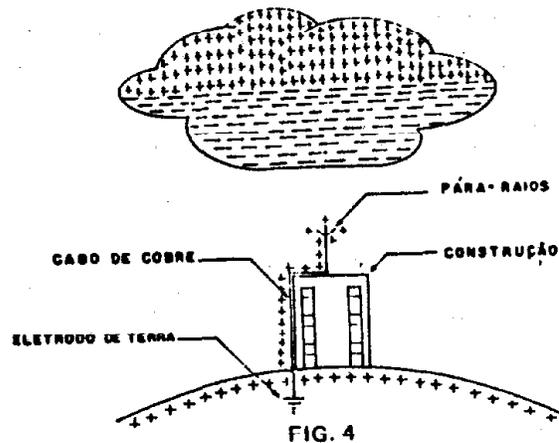


FIG. 4

3.1. Pára-raios tipo Franklin

É o elemento mais utilizado na proteção contra descargas atmosféricas. É constituído de diferentes partes cujos principais elementos são:

a) Captor.

É o principal elemento do pára-raios. É formado normalmente por três ou mais pontas de aço inoxidável ou cobre. É também denominado de ponta.

b) Mastro ou haste.

É o suporte do captor. É constituído de um tubo de cobre de comprimento igual a 5m e 55mm de diâmetro. Deve ser fixado firmemente sobre um isolador de uso exterior. A designação de mastro está ligada ao suporte do captor do tipo condutor metálico.

c) Isolador

É a base de fixação do mastro ou haste. Normalmente é utilizado um isolador fabricado em porcelana vitrificada ou vidro temperado, para um nível de tensão de 10 kV.

d) Condutor de descida.

É o condutor metálico que faz a ligação entre o mastro ou captor e o eletrodo de terra. De acordo com a NB - 165 ABNT - Proteção de Edificações contra Descargas Atmosféricas e registrada no INMETRO sob o número NBR 5419, o condutor de descida poderá ser em cobre comercial de condutividade mínima 98% para o tipo recosido, ou alumínio, apropriado para utilização como condutor elétrico. Também podem ser utilizadas fitas metálicas.

e) Eletrodo de terra.

O condutor de descida é conectado na sua extremidade inferior a um ou mais eletrodos de terra, cujo valor da resistência de aterramento não deverá ser superior a 10Ω para as instalações em geral e 1Ω para edificações destinadas a materiais explosivos ou facilmente inflamáveis.

f) Conexão de medição.

É assim denominada a conexão desmontável destinada a

permitir a medição da resistência de aterramento. Deve ser instalada a 2,0m ou mais acima do nível do solo.

A Fig. 5. mostra os principais elementos anteriormente descritos formando um conjunto completo de proteção contra descargas atmosféricas.

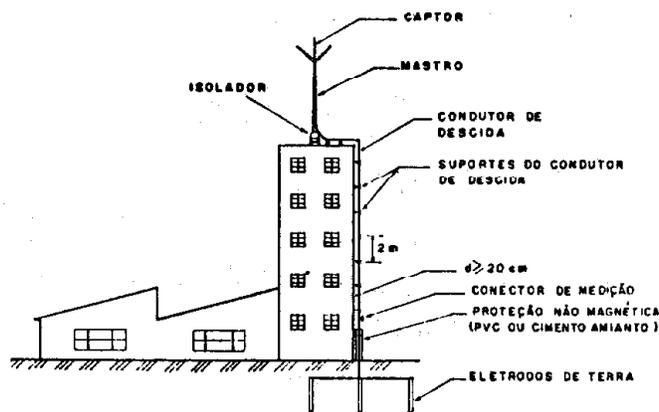


Fig. 5

3.2. Pára-raios radioativo ionizante.

Os pára-raios radioativos ou ionizantes funcionam através da emissão de partículas α produzidas pelo material radioativo aplicado nos pratos do captor, criando uma zona hemisférica circundante ao pára-raios suficientemente ionizada que facilita o desenvolvimento da descarga elétrica nesta região.

O pára-raios radioativo foi concebido originalmente por Szillard, em 1914, sendo, no entanto, patenteado, quase 20 anos depois, pelo pesquisador G. P. Capart após reiniciar os estudos até então desenvolvidos pelo seu antecessor.

A utilização de pára-raios radioativo faz com que sejam necessárias alturas de instalação inferiores aos pára-raios tipo Franklin, reduzindo, em áreas fabris de grande extensão, os custos resultantes de um projeto de proteção de descargas atmosféricas.

O captor, que é a parte dinâmica do pára-raios, é ativado pelo elemento radioativo amerício de baixa radioatividade e conseqüentemente de pouca penetração. Devido ao seu efeito ionizante, que descarrega parcialmente a nuvem, o pára-raios-radioativo reduz a intensidade das descargas atmosféricas e o seu número de ocorrência.

Alguns pesquisadores nacionais e internacionais ligados a grandes laboratórios oficiais tem contestado, através de trabalhos experimentais, o desempenho e a eficiência dos pára-raios radioativos enumerados nos catálogos dos fabricantes. Segundo estas pesquisas, verificou-se que tanto, o pára-raios tipo Franklin como os radioativos realizam o mesmo número de descargas quando instalados sob as mesmas condições de teste. Outra verificação que comprovou a anterior é a de que não foram detectadas partículas α , principal elemento ionizante, a 10 cm do captor radioativo, o que basicamente anularia as suas vantagens em relação ao pára-raios tipo Franklin.

A Fig. 6. mostra as principais partes de um pára-raios radioativo destacando-se as seguintes:

a) Captor radioativo.

É construído em chapa de cobre esmaltada ou aço inox cujos discos ou pratos são ativados através de lâminas metálicas nas quais foram incrustados os elementos radioativos.

b) Suporte do captor radioativo.

Normalmente utilizado um tubo de ferro galvanizado de 1 1/2" de diâmetro fixado firmemente sobre um isolador apropriado para um nível de tensão de 10kV.

Os demais componentes da instalação de um pára-raios radioativo nada diferem daqueles utilizados pelo do tipo Franklin.

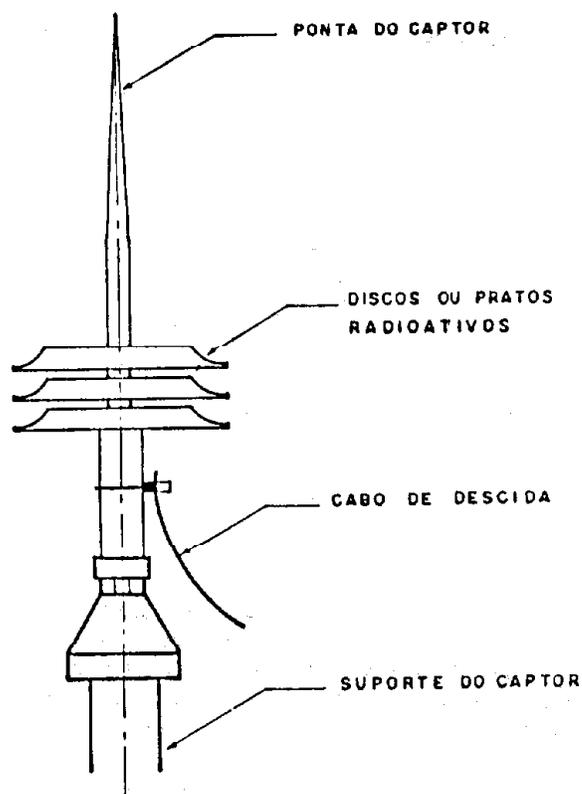


Fig. 6

4. DIMENSIONAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIOS DE HASTE

O correto dimensionamento de uma instalação de proteção contra descargas atmosféricas proporciona um elevado grau de segurança às construções em geral e em particular aos empreendimentos fabris, principalmente aqueles que trabalham com produtos de alto risco e estão localizados em regiões de elevado índice isocerânico que representa o número de dias de trovoadas por ano.

Este dimensionamento será feito tanto para a proteção de construções em geral, como para proteção de subestações de consumidor instaladas ao tempo.

4.1. Proteção de construções em geral

Os projetos de instalação de pára-raios podem ser elaborados utilizando tanto os do tipo Franklin como os do tipo radioativo.

4.1.1. Pára-raios tipo Franklin

São os seguintes os aspectos principais para a instalação dos pára-raios tipo Franklin:

a) Zona de proteção

O pára-raios oferece uma proteção dada por um cone cujo vértice corresponde à extremidade superior do captor e cuja geratriz faz um ângulo de 60° com a vertical, propiciando uma base de valor dado pela Eq. (1), conforme se observa na Fig. 7.

$$R_p = \sqrt{3} H_c \quad (\text{m})$$

R_p — raio da base do cone de proteção, em m;

H_c — altura da extremidade do captor, em m.

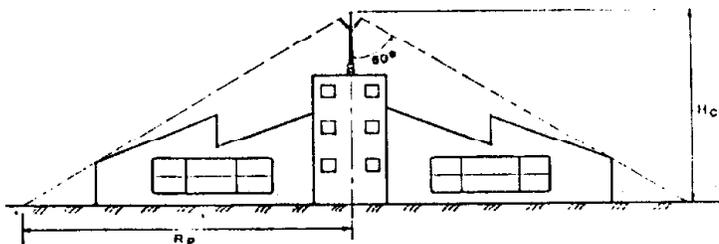


Fig. 7

b) Número de condutores de descida

O número de condutores de descida é calculado em função da área coberta, do perímetro e da altura da construção

O resultado que conduzir ao maior valor entre as três condições anteriores, corresponderá ao número de condutores de descidas, arredondando-se para o número inteiro mais próximo, caso a operação seja fracionária.

— número de descidas em função da área coberta.

$$N = \frac{S + 100}{300} \quad (\text{ 2})$$

S — área coberta da construção em m^2 .

— número de descidas em função do perímetro.

$$N = \frac{P + 10}{60} \quad (\text{ 3})$$

P — perímetro da construção, em m.

— número de descidas em função da altura.

$$N = \frac{H}{20} \quad (\text{ 4})$$

H — altura da construção, em m.

Logo N , será escolhido dentre os (3) três maiores resultados anteriores.

Quando o número de descidas resultar uma distribuição

tal que a distância entre elas, considerando o perímetro da construção, seja menor do que 15m, será permitida a redução do número de descidas até o mínimo de duas, de forma a se distanciarem de, no máximo, 15m.

A Fig. 8 mostra esquematicamente os condutores de descida, formando uma gaiola de Faraday.

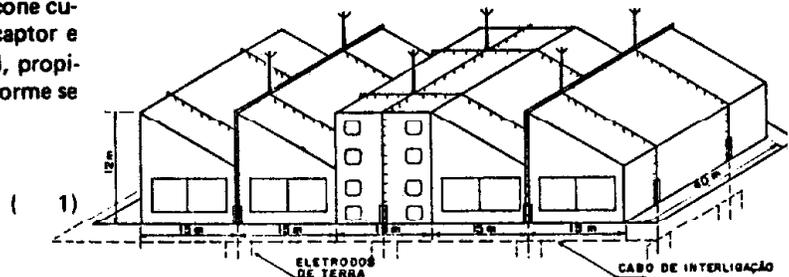


Fig. 8

Nas construções destinadas à materiais explosivos ou inflamáveis, em cada mastro deve haver uma descida, ligada a um condutor enterrado circundando todas as edificações e com um afastamento mínimo de 3m das fundações.

Deve ser de no mínimo 4 o número de descidas em torres ou chaminés de altura superior a 25m e com seções transversais quadradas ou hexagonais.

Deve-se prever pelo menos dois captores para as chaminés.

Todas as partes metálicas que compõem as torres e chaminés, tais como tirantes de estaiamento, fundações, etc., devem ser devidamente aterradas.

c) Seção do condutor

Deve-se utilizar de preferência condutores de cobre nú, principalmente em zonas industriais de elevada poluição ou próximas à orla marítima. A seção mínima do condutor de cobre adotada é de 35 mm^2 . Quando o pára-raios for instalado em torres e chaminés a seção mínima do condutor será de 50 mm^2 . Em quaisquer dos casos, os condutores não podem ter mais de 19 fios elementares.

Nas interligações entre captores, descidas e massas metálicas e entre os eletrodos de aterramento a seção mínima do condutor de cobre é de 16 mm^2 .

d) Resistência da malha de terra

A resistência da malha de terra não deve ser superior a 10Ω em qualquer época do ano.

Quando a construção for destinada a materiais explosivos ou inflamáveis a resistência da malha de terra não deve ser superior a 1Ω .

Exemplo de aplicação.

Conhecidas as dimensões do prédio da indústria representada na Fig. 8, projetar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. A vista superior da edificação é mostrada na Fig. 9.

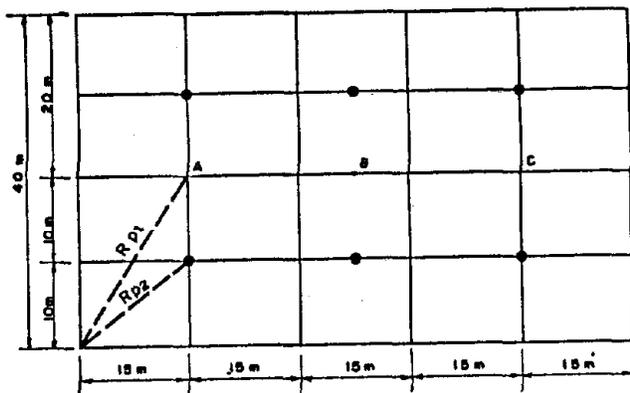


Fig. 9

Considerando somente três pára-raios instalados nos pontos A, B e C indicados na Fig. 9, tem-se:

$$R_{p1} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25 \text{ m}$$

$$R_{p1} = \sqrt{3 Hc} \rightarrow Hc = \frac{25}{\sqrt{3}} = 14,4 \text{ m}$$

Hc - altura da ponta do captor em relação ao teto, em m.
Como, em geral, o mastro é de 3 m, o suporte do conjunto mastro-captor vale:

$$L_s = Hc - 3 = 14,4 - 3 = 11,4 \text{ m.}$$

Sendo o comprimento do suporte muito grande, serão considerados seis pára-raios instalados de conformidade com a Fig. 8.

$$R_{p2} = \sqrt{10^2 + 15^2} = 18 \text{ m}$$

$$Hc = \frac{18}{\sqrt{3}} = 10,4 \text{ m}$$

Logo o comprimento do suporte é de:

$$L_s = Hc - 3 = 10,4 - 3 = 7,4 \text{ m.}$$

O suporte de 7,4 m poderá ser constituído de uma torre treliçada em perfil de aço, fixando-se no seu topo um isolador de vidro temperado ou porcelana vitrificada, isolado para 10 kV.

Pode-se observar, através da Fig. 9, que todas as partes da construção estão cobertas pelas áreas de proteção formadas pelos pára-raios.

O número de condutores de descida vale:

$$N = \frac{S + 100}{300} = \frac{3.000 + 100}{300} \cong 10$$

$$N = \frac{P + 10}{60} = \frac{230 + 10}{60} = 4$$

$$N = \frac{H}{20} = \frac{12}{20} = 0,6$$

Considerando o maior valor resultante das três condições, deve-se prever 10 condutores de descida, conforme es-

tá representado na Fig. 8.

Quanto ao aterramento, deve-se prever pelo menos 3 eletrodos de terra para cada descida, num total de 30 unidades. Os eletrodos de terra devem ser de haste de cobre-aço.

Após fincados os eletrodos e interligados, a resistência de terra medida não deve ser superior a 10Ω .

4.1.2. Pára-raios radioativo ionizante

A área protegida por um pára-raios radioativo é formada por um cone cujo raio da base é função do modelo utilizado. Existem atualmente no mercado vários fabricantes, sendo que cada um deles apresenta modelos adequados à proteção de áreas de tamanho especificado. Assim, podem ser encontrados pára-raios radioativos que protegem áreas circulares de raios iguais a 15, 25, 50, 75 e 100 m que correspondem, respectivamente, às áreas de proteção de 700, 1.960, 7.850, 17.660 e 31.400m².

Os pára-raios radioativos, ao contrário dos pára-raios tipo Franklin, não necessitam de grandes alturas para sua instalação. Bastam ser colocados a 3 m do ponto mais alto da construção.

A Fig. 10, mostra o cone de proteção de um pára-raios radioativo, comparando o seu raio de ação com o do pára-raios tipo Franklin.

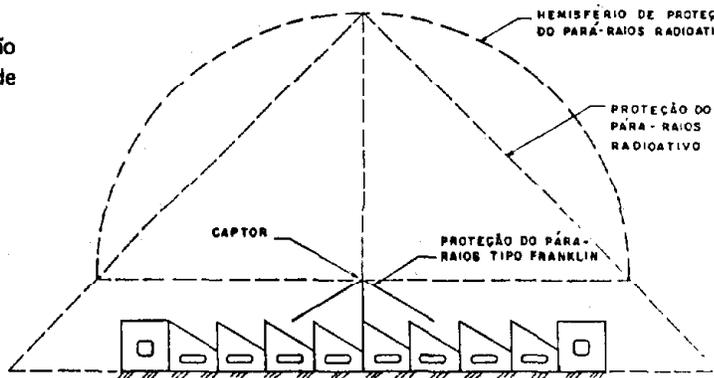


Fig. 10

O condutor de descida deverá ser de cobre e ter seção mínima igual a 35 mm², ou 50 mm², quando instalado em torres ou chaminés.

O mastro, em geral, é de ferro galvanizado de comprimento igual a 3 m e diâmetro mínimo de 1 1/2". Para alturas superiores a esta é necessário utilizar estais de sustentação.

A prática tem ditado que, quando a instalação do pára-raios é feita em chaminés ou torres, é mais econômico utilizar pára-raios tipo Franklin.

4.2. Proteção de subestações de instalação exterior

As subestações de instalação exterior, assim como qualquer outra construção, estão sujeitas às descargas atmosféricas diretas sobre os pórticos, barramentos, equipamentos, etc. Desta forma, deve-se projetar um sistema de proteção,

através de pára-raios de haste, capaz de oferecer a máxima segurança à toda a área.

É muito comum a utilização em subestações de instalação exterior dos pára-raios tipo Franklin, devido à disponibilidade das torres das estruturas existentes. A Fig. 11. mostra os pára-raios montados no topo dos pórticos de uma subestação de instalação exterior.

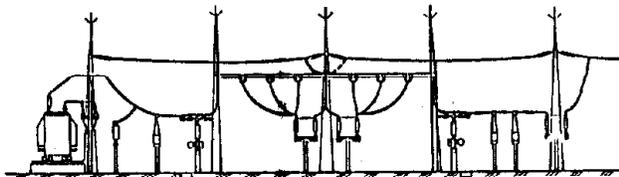


Fig. 11

O dimensionamento de um pára-raios tipo Franklin deve seguir os seguintes procedimentos:

a) Zona de proteção

O pára-raios, neste caso, oferece uma zona de proteção limitada aproximadamente por um cone. O limite desta zona é dado por um arco cujo raio é igual a 3 vezes a altura da ponta do captor. O raio máximo de atuação, R_{pm} , da proteção é igual a $\sqrt{5}$ vezes a altura anteriormente mencionada. A Fig. 12 mostra o detalhe da proteção dada pelo pára-raios. A Eq. (5) dá o valor do raio máximo de proteção.

$$R_{pm} = \sqrt{5} H_c \quad (5)$$

Em algumas subestações se utiliza, mesmo com menor frequência, fios de guarda. Porém, para uma mesma altura da ponta do captor, a zona de proteção do pára-raios é maior do que aquela dada por fios de guarda.

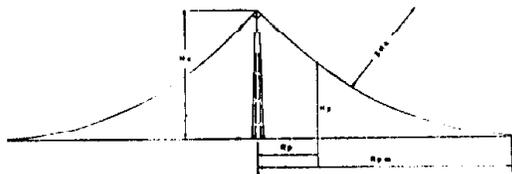


FIG. 12

A determinação do raio de proteção R_p para que qualquer ponto de tensão esteja compreendido na zona de proteção dada pelo pára-raios é feita através da Tab. 1, com base nas alturas da ponta do captor H_c e da altura do ponto de tensão considerado H_p .

Exemplo de Aplicação

Considerar a subestação dada na Fig. 13. e determinar o valor da altura a que deve ser instalado o pára-raios tipo Franklin.

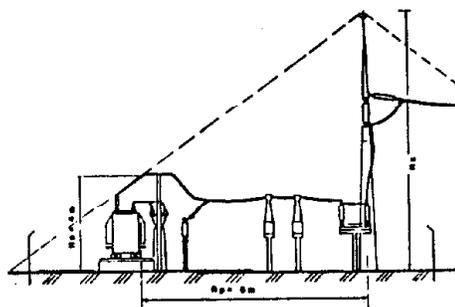


Fig. 13

Pela Fig. 13, tem-se:

$H_p = 4,0$ m (altura do último ponto de tensão a ser protegido);

$R_p = 6$ m (distância do último ponto de tensão à vertical do pára-raios).

Logo, pela Tab. 1, tem-se $H_c = 9$ m.

Em muitas aplicações práticas deseja-se saber qual o raio de atuação dos pára-raios a serem instalados em estruturas padronizadas e concebidas em função do melhor "lay-out" dos equipamentos e economicidade de projeto.

Exemplo de Aplicação

Considerando que a estrutura da Fig. 14 representa a vista superior do barramento de uma subestação de instalação exterior, cuja disposição faça parte de um projeto padronizado, determinar a altura da ponta do captor dos pára-raios, de sorte que todos os pontos de tensão estejam cobertos pela zona de proteção contra descargas atmosféricas. Sabe-se que a altura dos postes que compõem a estrutura, nos quais serão instalados os pára-raios, é de 14 m.

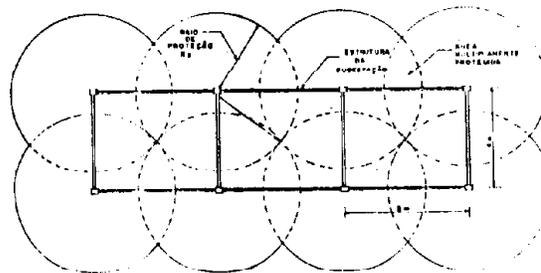


Fig. 14

Considerando que todos os pontos do barramento devem ser protegidos, é necessário se determinar uma altura de instalação dos pára-raios que resulte num raio de proteção R_p , cujos círculos sejam tangentes nos pontos centrais de cada

Tab. 1 - RAIOS DE PROTEÇÃO DADO POR UM PÁRA-RAIOS TIPO FRANKLIN

m	ALTURA DO PONTO DE TENSÃO A SER PROTEGIDO (M)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2,3	2,4	4,0	4,3	6,2	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,3	17,0	15,0	19,0	19,0	21,0
2	2,5	3,9	4,8	5,9	6,8	7,9	8,8	10,0	11,8	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0
3	3,0	4,5	5,6	6,7	7,8	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0
4	3,9	5,0	5,5	7,5	8,5	9,5	10,8	11,9	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
5	4,5	5,7	7,0	8,0	9,3	10,2	11,5	12,8	13,8	14,9	15,8	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0
6	5,0	6,5	7,9	9,0	10,0	11,5	12,3	13,5	14,5	15,6	16,6	17,9	18,9	19,9	21,0	21,9	23,0	24,0	25,0	26,0
7	6,6	7,0	8,2	9,6	10,8	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,2	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,0
8	6,3	7,9	9,0	10,6	11,5	13,0	14,0	15,0	16,2	17,2	18,2	19,3	20,5	21,6	22,6	23,6	24,8	25,8	26,8	27,0
9	7,0	8,3	10,0	11,0	12,0	13,7	14,7	15,8	17,0	18,0	19,0	20,0	21,3	22,2	23,3	24,2	25,4	26,4	27,6	28,0
10	7,5	9,0	10,6	12,0	13,0	14,3	15,5	16,6	17,8	19,0	19,9	21,0	22,0	23,0	24,3	25,0	26,3	27,3	28,5	29,0
11	8,0	9,7	11,0	12,3	13,6	14,8	16,0	17,0	18,3	19,5	20,5	21,5	22,5	23,7	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	30,0
12	8,5	10,0	11,9	13,0	14,2	15,8	16,0	17,0	18,2	19,4	21,5	22,6	23,9	24,6	26,0	27,0	28,0	29,0	-	-
13	9,0	10,7	12,3	13,7	15,0	16,2	17,5	18,6	19,8	21,0	22,0	23,0	24,2	25,6	26,5	27,5	28,7	30,0	-	-
14	9,7	11,4	13,0	14,3	15,6	17,0	18,0	19,2	20,5	21,8	22,8	24,0	25,0	26,0	27,3	28,6	29,7	-	-	-
15	10,0	12,0	13,6	15,0	16,2	17,7	19,0	20,0	21,3	22,2	23,5	24,5	25,7	26,8	28,0	29,0	30,0	-	-	-
16	10,8	12,6	14,0	15,7	17,0	18,2	19,7	21,0	22,0	23,0	24,2	25,6	27,0	28,0	29,0	30,0	-	-	-	-
17	11,4	13,0	14,7	16,2	17,6	19,0	20,2	21,5	22,6	23,6	25,0	26,0	27,6	28,5	29,5	-	-	-	-	-
18	11,9	13,9	15,3	16,8	18,2	19,6	21,0	22,0	23,3	24,5	25,8	27,0	28,2	29,3	-	-	-	-	-	-
19	12,3	14,2	16,0	17,5	19,0	20,2	21,6	23,0	24,0	25,0	26,7	27,6	29,2	30,0	-	-	-	-	-	-
20	12,9	14,9	16,5	18,0	19,6	20,8	22,2	23,5	24,8	26,0	27,2	28,4	30,0	-	-	-	-	-	-	-
21	13,5	15,7	17,2	18,5	20,0	21,5	23,0	24,0	25,2	26,7	28,0	29,3	-	-	-	-	-	-	-	-
22	14,0	16,0	17,8	19,2	20,8	22,0	23,6	24,8	26,0	27,2	28,7	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-
23	14,5	16,5	18,2	19,8	21,3	22,7	24,0	25,3	26,8	27,9	29,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	14,0	15,2	16,5	20,2	23,0	23,2	24,8	26,0	27,3	28,7	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	15,3	17,5	19,0	21,0	22,6	24,0	25,4	26,8	28,0	29,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	16,0	18,2	20,0	21,5	23,2	24,6	26,0	27,5	29,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	16,5	19,0	20,7	22,0	23,9	25,0	26,5	28,0	29,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	17,0	19,5	21,3	22,8	24,8	26,0	27,2	29,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	17,5	20,0	21,7	23,2	25,0	26,3	27,0	29,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	18,0	20,5	22,2	24,0	25,7	27,0	28,3	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DISTÂNCIA DO PONTO DE TENSÃO A VERTICAL DA BASE DO PÁRA-RAIOS (M)

módulo da estrutura, ou seja:

$$R_p = \frac{D}{2} = \frac{\sqrt{5^2 + 4^2}}{2} = 3,2 \text{ m}$$

D — diagonal do retângulo que caracteriza a vista superior de um módulo qualquer da estrutura do barramento.

Como os cabos do barramento e as chaves estão fixados nas vigas que se amarram basicamente no topo dos postes de sustentação da estrutura, logo a ponta do captor deve estar a uma altura Hc de:

$$R_p = 3,2 \text{ m}$$

$$H_p = 14 \text{ m (altura do poste)}$$

Então, através da Tab. 1, Hc = 17 m.

Logo, o mastro do pára-raio deve ter comprimento de:

$$L_m = 17 - H_p = 17 - 14 = 3 \text{ m.}$$

5. EXECUÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE PÁRA-RAIOS DE HASTE

A norma NB-165-ABNT estabelece várias condições para execução das instalações de pára-raios tipo Franklin que asseguram uma proteção eficiente à construção. Outras recomendações devem ser conhecidas no caso de instalação de pára-raios radioativos.

5.1. Instalação de pára-raios tipo Franklin.

a) É proibida a presença de materiais inflamáveis ou explosivos próximos às instalações de pára-raios.

b) Os procedimentos para a instalação de pára-raios em construções cuja cobertura ou revestimento sejam de materiais metálicos, devem obedecer às mesmas normas destinadas a construções levantadas com material não condutores.

c) Quando houver árvores próximas à instalação de pára-raios, deve-se manter uma distância entre estes e às referidas árvores de, no mínimo, 2 m.

d) Os condutores de descida não devem conter curvas cujo ângulo seja inferior a 90°, devendo-se respeitar um raio mínimo de 20 cm.

e) Os condutores de descida devem ser, protegidos mecanicamente por materiais não condutivos e não magnéticos até a uma altura de 2 m a contar do solo.

f) Cada condutor de descida deve ter individualmente o seu eletrodo de terra, devendo-se proceder a interligação destes eletrodos.

g) A instalação de pára-raios em ambientes de atmosfera corrosiva implica na utilização de materiais de cobre. Cuidados especiais de proteção devem ser tomados quando os pára-raios são instalados no tampo de chaminés, caso muito comum nas aplicações práticas.

h) Somente devem ser utilizados como eletrodos de terra hastes de cobre-aço.

i) Não se deve, em qualquer hipótese, fazer emendas no condutor de descida. Somente é permitida a conexão desti-

nada à medição da resistência de terra do eletrodo, e que deve ficar o mais próximo possível deste.

j) Os condutores de descida devem ser mantidos afastados do corpo da construção de uma distância mínima de 20 cm.

k) Os suportes dos condutores de descida devem ser fixados a uma distância máxima de 2 m.

l) O condutor de descida deve ser fixado logo próximo à sua origem através de um suporte que evite qualquer esforço sobre a conexão entre o pára-raios e o referido condutor.

m) Deve-se manter um afastamento mínimo de 50 cm das fundações das construções.

n) É vedada a instalação de eletrodos de terra em fossas sépticas, abaixo de coberturas de concreto, massa asfáltica e revestimentos diversos e em poços de abastecimento de água.

o) As edificações destinadas a materiais explosivos ou facilmente inflamáveis devem obedecer ao disposto na NBR-5419 ABNT.

p) É necessário se proceder a cada dois anos uma verificação nas condições de instalação dos pára-raios que protegem torres, chaminés e edifícios destinados a materiais explosivos ou facilmente inflamáveis. Também se faz necessário inspecionar a instalação sempre que o pára-raios for solicitado por uma descarga atmosférica.

5.2. Instalação de pára-raios radioativos ionizantes

Basicamente todas as condições estabelecidas anteriormente são aplicáveis às instalações de pára-raios radioativos, devendo-se acrescentar outras características particulares a este dispositivo.

a) O comprimento mínimo do mastro do pára-raios deve ser de 3 m.

b) Não se deve retirar o saco plástico que protege a ponta do captor, durante a instalação do pára-raios. Porém, não esquecer de retirá-lo quando for concluída a sua instalação.

c) O responsável pela instalação e manutenção do pára-raios não deve tocar nas partes do captor ativadas por material radioativo, normalmente identificadas pelas lâminas metálicas douradas.

Os tradicionais fabricantes de pára-raios tipo Franklin e radioativos, tais como a GAMATEC e AMERION, dispõem de todos acessórios para a instalação destes dispositivos, devendo o projetista consultar o catálogo apropriado.

BIBLIOGRAFIA

1. ANTONIO BOSSI/EZIO SEXTO — *Instalações Elétricas* — Hemus - Editora, São Paulo, 1978.
2. BROWN BOVERI — *Manual de Instalações Elétricas* — Edição Ordem dos Engenheiros de Portugal, Porto, Portugal, 1978.
3. VICTTORIO RE — *Instalações de Ligação à Terra* — Hemus Editora, São Paulo, 1978.
4. NB 165 — *Proteção de Edificações Contra Descargas Atmosféricas*.
5. CATÁLOGOS DOS FABRICANTES GAMATEC E AMERION.