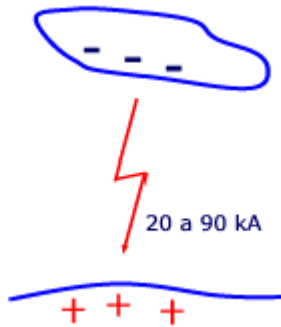


Como os raios se formam

Durante as tempestades observa-se uma queda da temperatura e um aumento da umidade relativa do ar, o que diminui suas propriedades dielétricas.



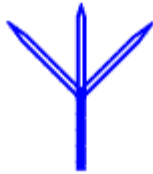
Ao mesmo tempo, o movimento das nuvens provoca um aumento do potencial elétrico entre elas e o solo. Esses dois fatores contribuem para eventual movimento de cargas elétricas entre nuvem e solo, isto é, uma descarga elétrica de curta duração e de alta intensidade.

O pára-raios nada mais é que um elemento metálico situado a determinada altura e eletricamente ligado à terra, de forma que as descargas ocorram pelo caminho mais fácil, protegendo as suas imediações.

Fig 01

Algumas definições

A palavra captor é frequentemente usada como sinônimo de pára-raios. Em geral, se refere especificamente ao elemento situado no topo, que recebe diretamente o raio.



O captor mais usado atualmente é o tipo Franklin, que consiste de um conjunto de algumas hastes pontiagudas para facilitar a condução, montado em um mastro vertical. Ver esquema na figura.

Fig 01

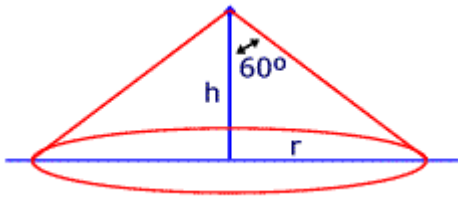
Até certa época, foram usados tipos semelhantes, mas com adição de material radioativo que, segundo os fabricantes, aumentava o raio de ação. Não são mais permitidos devido aos riscos inerentes.

Em alguns casos são também usados fios horizontais como captores, mas essa forma não está no escopo desta página.

Curiosidade relacionada: o pára-raios foi inventado por Benjamin Franklin em 1752. Inicialmente houve resistência das religiões porque o raio era considerado fúria de deus e o homem não podia interferir. A igreja católica declinou da objeção em 1769, quando um raio atingiu uma igreja perto de Veneza e provocou a ignição de uma grande quantidade de pólvora estocada nas proximidades, matando cerca de 3000 pessoas.

Campo de proteção

Um captor Franklin em mastro vertical (Fig 01):



O campo de proteção é dado pelo cone com vértice no captor, com geratriz que faz ângulo de 60° com a vertical (para níveis de proteção maiores esse ângulo deve ser menor).

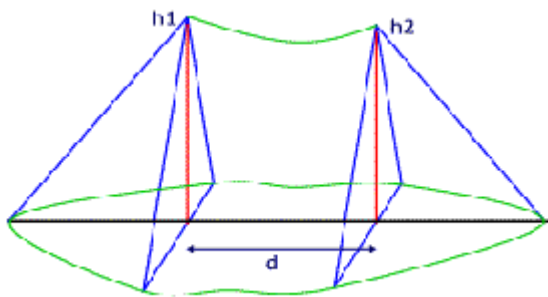
Portanto, $r = h \sqrt{3}$ #A.1#.

Fig 01

Dois captores Franklin em mastro vertical (Fig 02):

Sejam 2 captores de alturas h_1 e h_2 , distanciados de d , tal que: $d < \sqrt{3} (h_1 + h_2)$. Neste caso, a influência mútua pode ser considerada conforme equações a seguir (supõe-se que $h_1 > h_2$).

A linha curva entre h_1 e h_2 tem forma de parábola e, assim, a equação genérica da sua altura h em relação ao solo é:



$h = ax^2 + bx + c$ onde x é a distância horizontal em relação a h_1 .

E os coeficientes são dados por:

$$a = \frac{(h_2 - h_1) \sqrt{3}}{3d^2} \text{ #B.1\#}$$

$$b = -\frac{\sqrt{3}}{3} \text{ #B.2\#}$$

$$c = h_1 \text{ #B.3\#}$$

Fig 02

E o campo de proteção será:

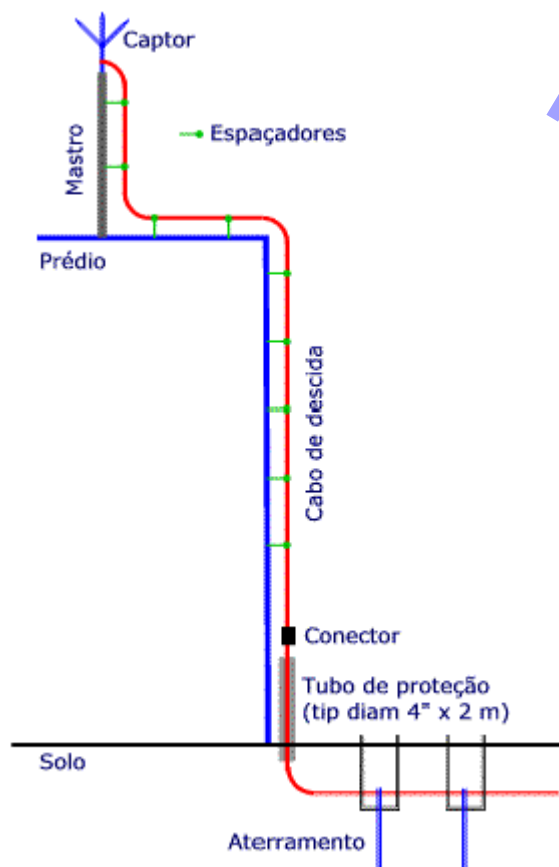
- a) nas extremidades, superfícies cônicas conforme item anterior.
- b) entre os captores, a superfície com vértice na parábola aqui definida, com geratriz reta partindo desta parábola e em ângulo de 60° com a vertical.

Para mais de 2 captores:

Determinam-se as superfícies para cada agrupamento de 2 captores conforme item anterior e se faz a sobreposição das mesmas.

Instalação típica

A figura abaixo mostra a instalação padrão com apenas 1 captor. Entretanto, o número de captores deve ser dado em função da área a proteger conforme critério anterior. Todo o prédio e áreas a proteger devem estar dentro do campo de proteção.



O cabo de descida é normalmente de cobre, com seção não inferior a 35 mm².

Como regra geral, a descida deve ser a mais direta possível, com o mínimo de curvas. Essas, quando necessárias, devem ter raio mínimo de 20 cm.

Não deve haver emendas, exceto para o conector indicado, próximo ao solo, que permite separar as partes para medições do aterramento.

Os espaçadores devem ser usados a cada 2 m no máximo e devem proporcionar um separação mínima de 20 cm entre cabo e prédio ou outras partes.

Número de descidas:

Quando se tem mais de um captor, o número de descidas deve ser dado pelo valor máximo entre as expressões abaixo:

$$(a + 100) / 300$$

$$h / 20$$

$$(p + 10) / 60 \text{ onde:}$$

Fig 01

a: área coberta do prédio em metros quadrados. **h**: altura do prédio em metros. **p**: perímetro do prédio em metros. Se o valor de alguma for fracionário, ele dever ser arredondado para o inteiro imediatamente superior.

Calculando aterramentos

Os aterramentos mais comuns são formados por uma ou mais hastes cilíndricas verticais, cravadas no solo e eletricamente interligadas por fios de cobre sem isolamento.

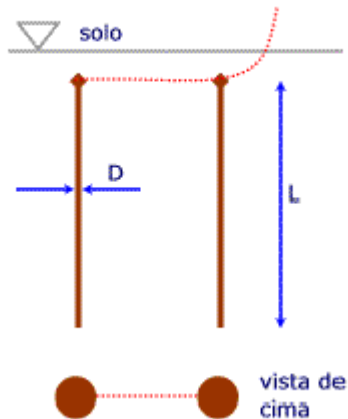


Fig 01

As hastes são em geral feitas de aço e revestidas com cobre. Essa construção reduz o custo dos materiais e aumenta a resistência mecânica, sem comprometer sensivelmente as propriedades elétricas.

Na Figura 01 ao lado, exemplo de um aterramento com duas hastes.

Comercialmente, os comprimentos (L) e diâmetros (D) mais comuns são 2,4 e 3,0 metros e 1/2, 3/4 e 1 polegadas, respectivamente. E nesta página somente esses valores serão considerados.

Na parte inferior da figura, a representação aqui adotada da "vista de cima" imaginária, para indicar os diversos arranjos físicos mais usados em aterramentos.

As fórmulas e coeficientes foram colocados em códigos de JavaScript, bastando indicar nos campos os parâmetros necessários, os quais, naturalmente, dependem do seu projeto. Entretanto, em todos os casos será necessária a indicação da resistividade do solo. Esse valor deverá ser de preferência medido no local da instalação ou, se alguma imprecisão for tolerada, poderá ser estimado conforme tabela abaixo.

Areia: de 250 a 500 Ω m	Limo: de 20 a 100 Ω m
Argila: de 20 a 60 Ω m	Humus: de 10 a 150 Ω m
Argila e areia: de 80 a 200 Ω m	Turfa: de 150 a 300 Ω m
Lama: de 5 a 100 Ω m	Rocha: > 1000 Ω m

Observar os seguintes pontos para o uso dos formulários:

- Valores de comprimento e diâmetro das hastes só podem ser selecionados entre os padrões já mencionados.
- A resistividade do solo deve ser dada em ohm.metro (Ω m) e, inicialmente, o campo apresenta o *default* 100.
- O resultado, isto é, a resistência do aterramento, é dado em ohms (Ω).

Aterramento com uma haste vertical

É um dos meios mais simples de aterramento. Entretanto, com apenas uma haste, nem sempre será possível obter resultados suficientemente baixos de resistência.



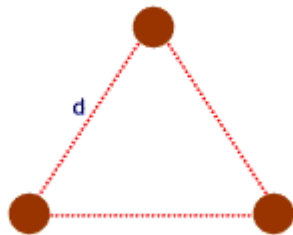
Comprimen- to da haste	Diâmetro da haste	Resistivida- de do solo
<input type="text" value="2,4 m"/>	<input type="text" value="1/2"/>	<input type="text" value="100"/>
Resultado <input type="text"/>		

Fig 01

Em geral, este tipo de aterramento é usado em solos de baixa resistividade.

Aterramento com três hastes verticais

Aqui é suposto que as três hastes estão nos vértices de um triângulo equilátero de lado d .



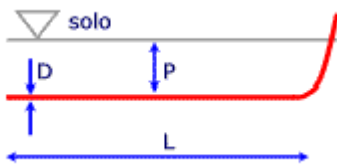
Comprimen- to da haste	Diâmetro da haste	Lado do triângulo	Resistivida- de do solo
<input type="text" value="2,4 m"/>	<input type="text" value="1/2"/>	<input type="text" value="2 m"/>	<input type="text" value="100"/>
Resultado: <input type="text"/>			

Fig 01

Aterramento com fio horizontal retilíneo

No arranjo, um fio de cobre sem isolamento, de comprimento L e diâmetro D , é enterrado a uma profundidade P .

A fórmula usada é uma simplificação da teórica e, para razoável aproximação, o comprimento L deve ser maior que $10 P$ (o script não verifica isso).



Comprimen- to do cabo (m)	Seção transversal	Profundi- dade (m)	Resistivida- de do solo
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="35 mm2"/>	<input type="text" value="0,80"/>	<input type="text" value="100"/>
Resultado: <input type="text"/>			

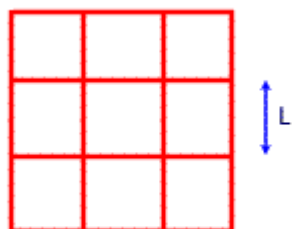
Fig 01

No lugar do diâmetro, a lista correspondente exibe as áreas das seções transversais dos cabos, conforme valores padronizados mais usados em aterramentos.

Aterramento com fio em forma de malha quadrada

Considera-se uma malha plana e quadrada de fios de cobre enterrados a uma profundidade P . Na

figura abaixo, exemplo de uma malha de tamanho 3x3.

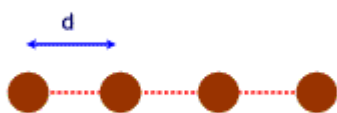


Tamanho da malha	Lado do elemento L (m)	Seção do cabo	Profundidade (m)
2 x 2	5	35 mm ²	0,80
Resistividade do solo	Resultado (ohms)		
100			

Fig 01

Aterramento com hastes verticais alinhadas

É suposto que as hastes sejam igualmente espaçadas por uma distância d. Na figura, exemplo para 4 hastes.

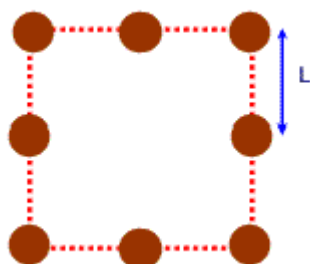


Comprimento da haste	Diâmetro da haste	Distância d (metros)	Número de hastes
2,4 m	1/2 "	2 m	2
Resistividade do solo	Resultado (ohms)		
100			

Fig 01

Aterramento com hastes verticais no contorno de um quadrado

Consideram-se somente os arranjos simétricos, ou seja, a distância entre hastes adjacentes é constante (L). Na figura, exemplo para 8 hastes.



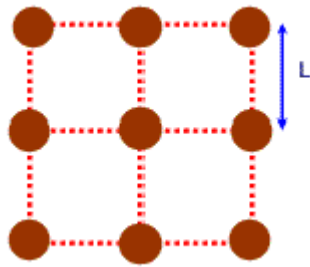
Comprimento da haste	Diâmetro da haste	Distância L (metros)	Número de hastes
2,4 m	1/2 "	2 m	4
Resistividade do solo	Resultado (ohms)		
100			

Fig 01

Aterramento com hastes verticais em forma de malha quadrada

Na figura abaixo, exemplo para 9 hastes ou malha 2 x 2. Notar que o número de hastes é sempre um

quadrado perfeito e é dado por $(1+n)^2$, onde n é o tamanho da malha.



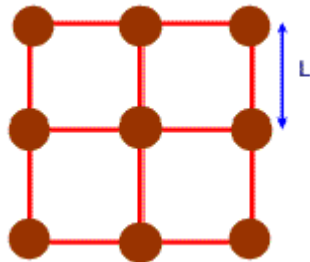
Comprimento da haste	Diâmetro da haste	Distância L (metros)	Número de hastes
2,4 m	1/2 "	2 m	4 (1x1)
Resistividade do solo	Resultado (ohms)		
100			

Fig 01

Aterramento com fios horizontais e hastes verticais em malha quadrada

Topo • Fim

Em geral, nos aterramentos com hastes verticais interligadas, as extremidades superiores das mesmas ficam próximas da superfície, de forma que é desprezível a contribuição dos cabos de interligação. Se o conjunto for aprofundado, esta parcela pode ser considerada.



Comprimento da haste	Diâmetro da haste	Distância L (metros)	Número de hastes
2,4 m	1/2 "	2 m	4 (1x1)
Resistividade do solo	Seção do cabo	Profundidade (m)	
100	35 mm ²	0,80	
Resultado (ohms):			

Fig 01

Este arranjo é igual ao anterior, com a inclusão da malha formada pelos cabos de interligação.