

Meios de proteção elétrica: Aterramento

(Estudo Técnico 3: Aterramento de torres de
telecomunicação)

Meios de proteção.

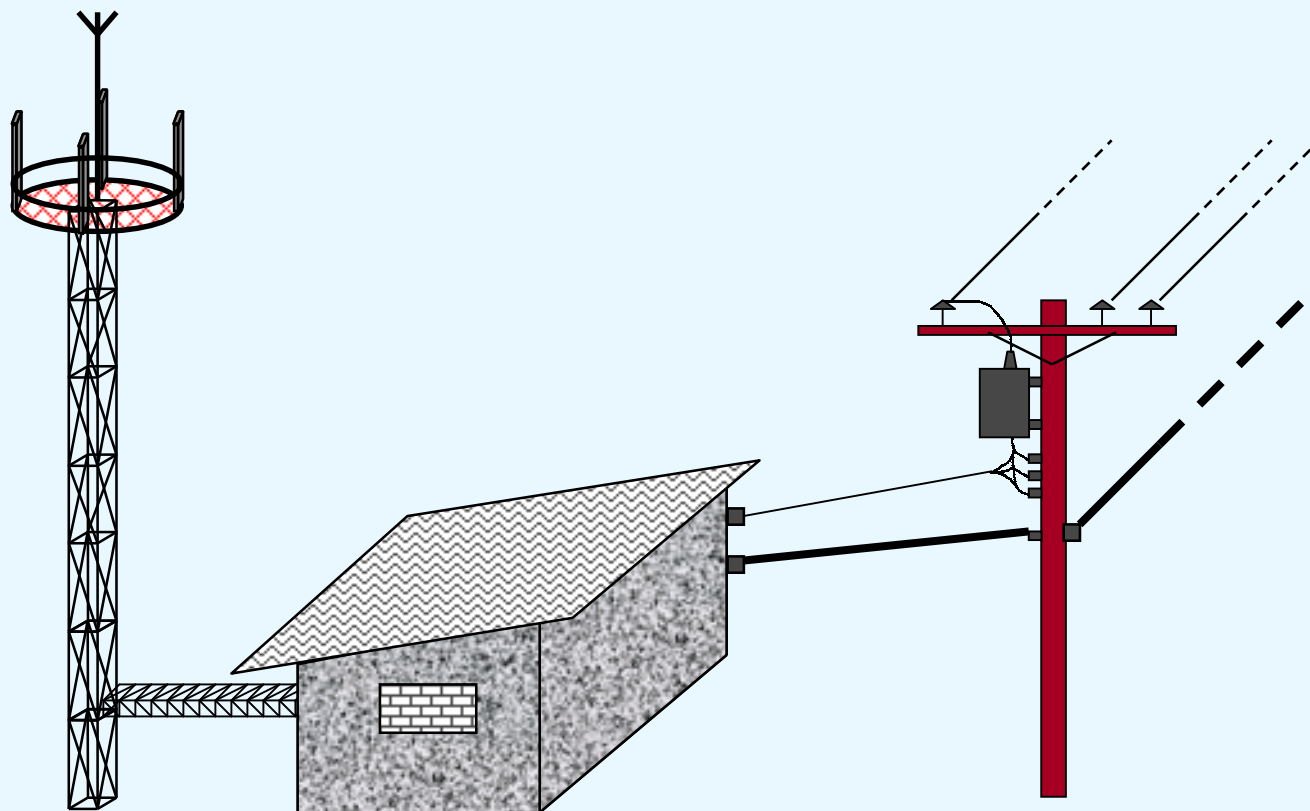
Aterramento;

Blindagem eletromagnética;

Arranjo de fiação (equalização de potenciais);

Instalação de protetores.

ESTUDO DE UM CASO PRÁTICO



Sobretensões na fiação.

Descargas laterais

Rede AC

Indução na rede AC
Indução na rede telefônica

Indução na rede telefônica

Descargas diretas na torre e nas redes

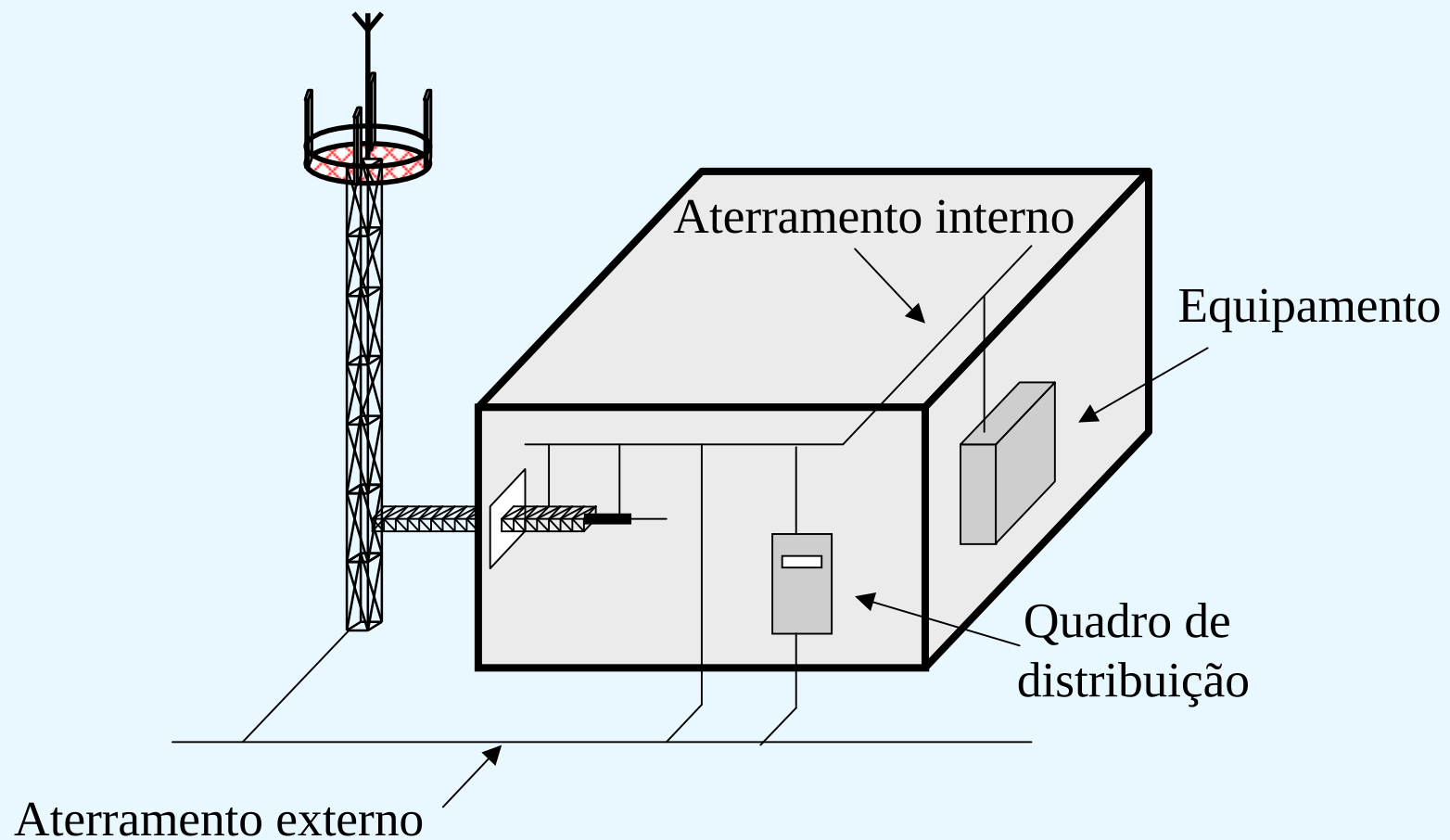
Aterramentos

Na estação



Na torre
No padrão
No cubículo

Aterramentos na estação



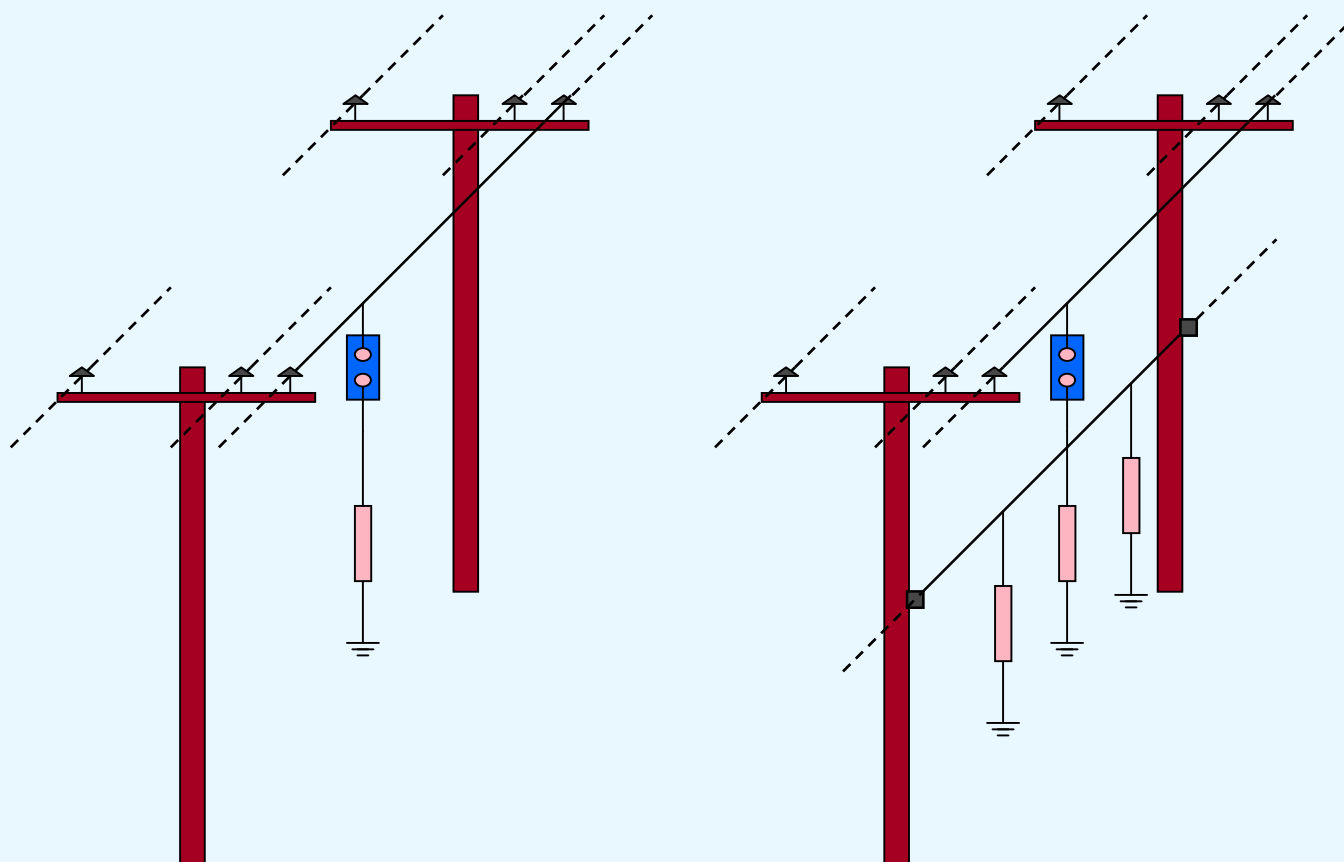
Aterramentos

An rede AC



No neutro
Nos pára-raios

Aterramentos na rede AC



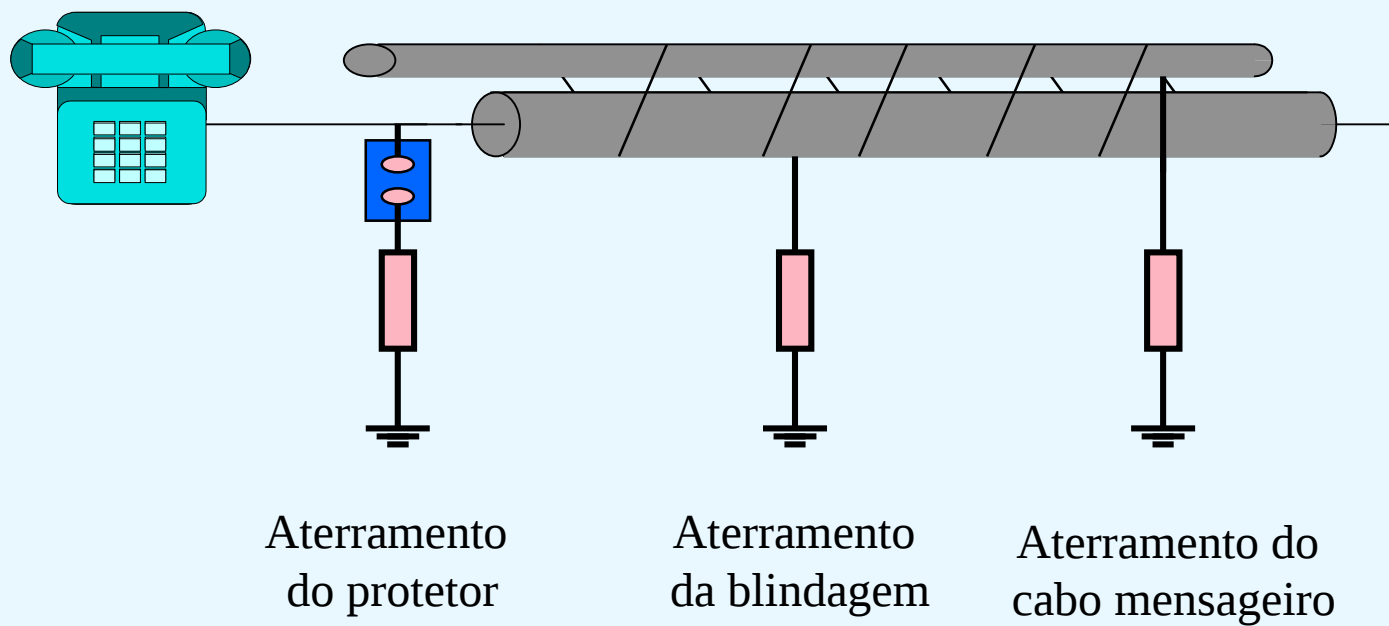
Aterramentos

Na rede Telefônica

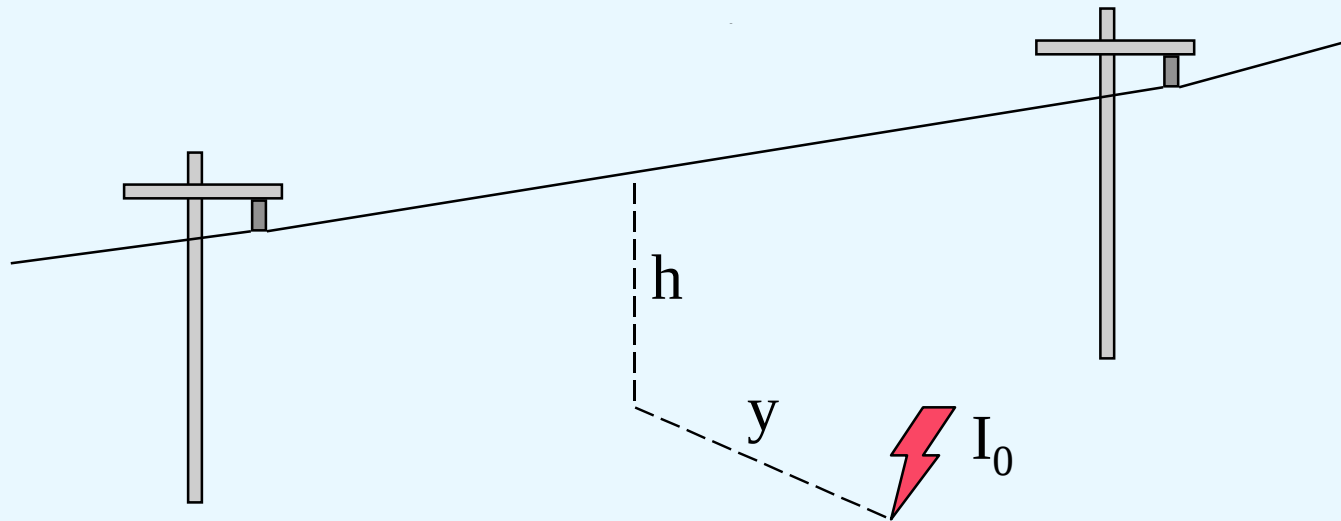


Na blindagem dos cabos
No cabo mensageiro
Nos protetores

Aterramentos no cabo telefônico



Tensões induzidas na fiação.



$$V_{\text{IND}} \approx 30 \cdot I_0 \cdot h / y$$

h - altura do cabo

I_0 - valor de pico da corrente de descarga

y - distância da descarga ao cabo

Para $h = 7,0 \text{ m}$:

$I_0 = 2 \text{ kA}$ (99% de probabilidade de ocorrência)

$y = 800 \text{ m}$

$V_{ind} = 500 \text{ v}$

$I_0 = 34 \text{ kA}$ (50 % das descargas)

$Y = 12 \text{ km}$

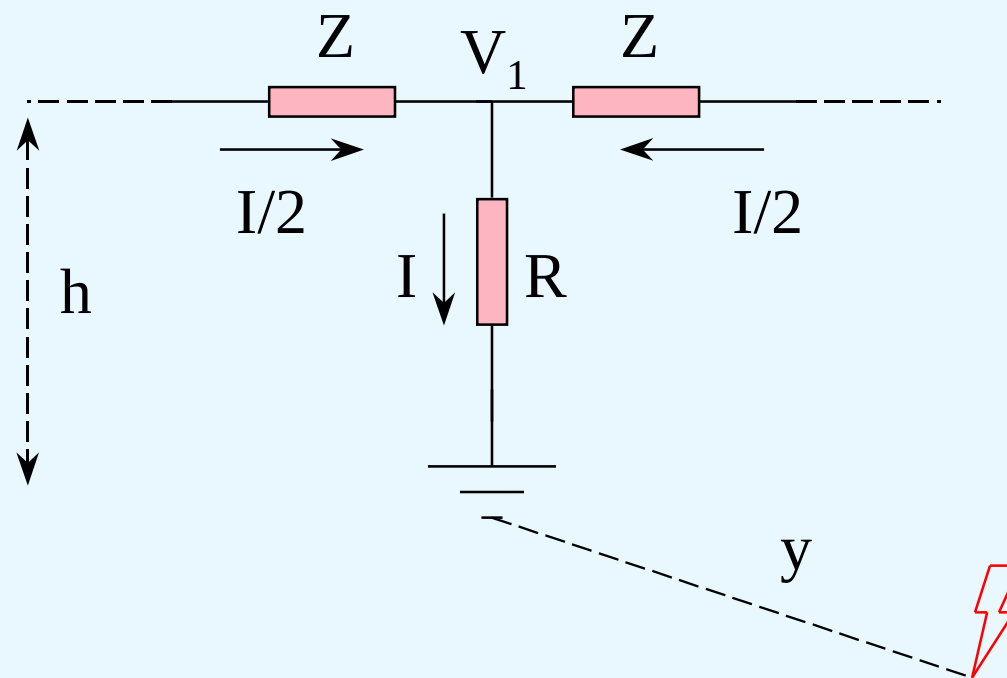
$V_{ind} = 500 \text{ v}$

$I_0 = 100 \text{ kA}$ (1% de probabilidade de ocorrência)

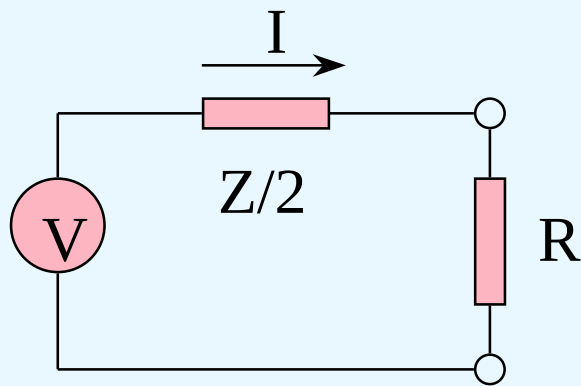
$Y = 40 \text{ km}$

$V_{ind} = 500 \text{ v}$

Efeito de um ponto de aterramento



V - tensão induzida sem o aterramento;
 V_1 - tensão induzida com o aterramento.



$$V_1 = RI;$$

$$I = V.[2/(Z+2R)];$$

$$V_1 = V.[2R/(Z+2R)].$$

$$V_1 = V.[2R/(Z+2R)];$$

$$K = 2R/(Z+2R).$$

Para uma linha de 7.0 m de altura e cabo com diâmetro de 5 mm tem-se:

$$Z = 60.\ln (4h/d) = 400 \, \Omega$$

$$R = 0$$

$$k = 0$$

$$R = 10$$

$$k = 0.05$$

$$R = 50$$

$$k = 0.20$$

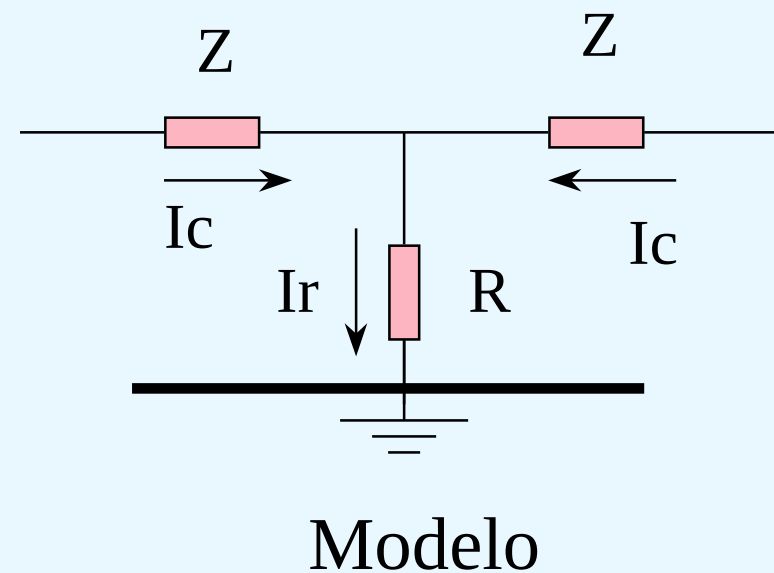
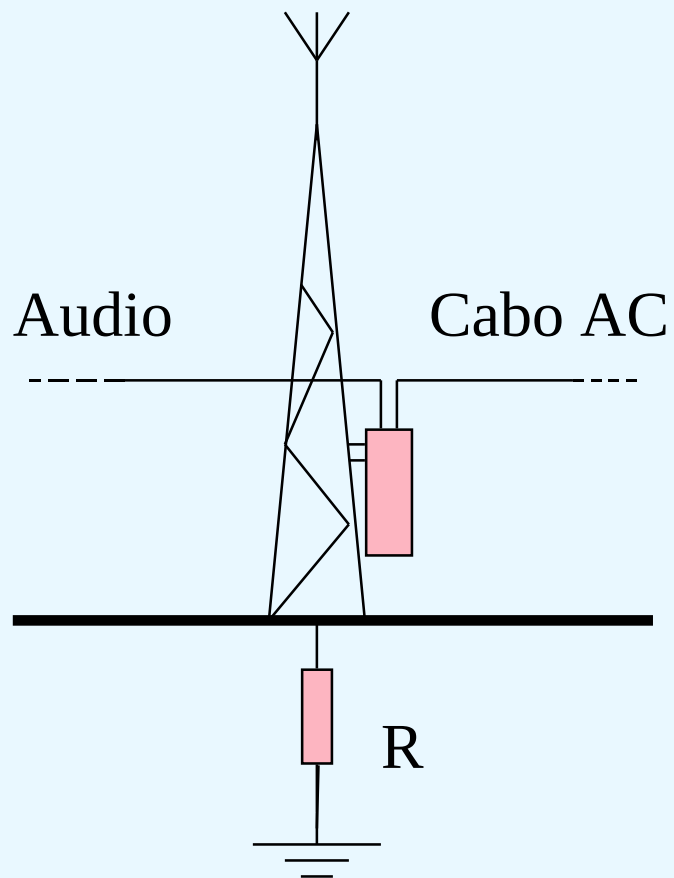
$$R = 100$$

$$k = 0.33$$

$$R = 400$$

$$k = 0.71$$

O pior caso de tensão induzida será o de uma descarga de 100 kA caindo a 50 m da torre



$$V_{\text{ind}} = (30 I_0 h/y).(2R/Z+2R)$$

$$I_r = V_{\text{ind}} / R$$

$$I_c = I_r / 2$$

$$R = 10 \, \Omega$$

$$V_{\text{ind}} = 20 \, \text{kV}$$

$$I_r = 2 \, \text{kA}$$

$$I_c = 1 \, \text{kA}$$

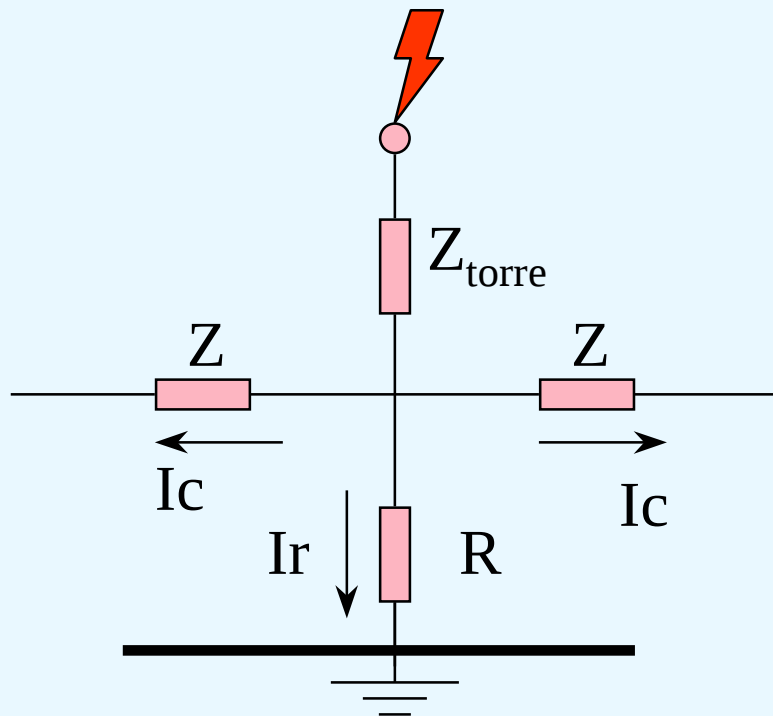
$$R = 100 \, \Omega$$

$$V_{\text{ind}} = 139 \, \text{kV}$$

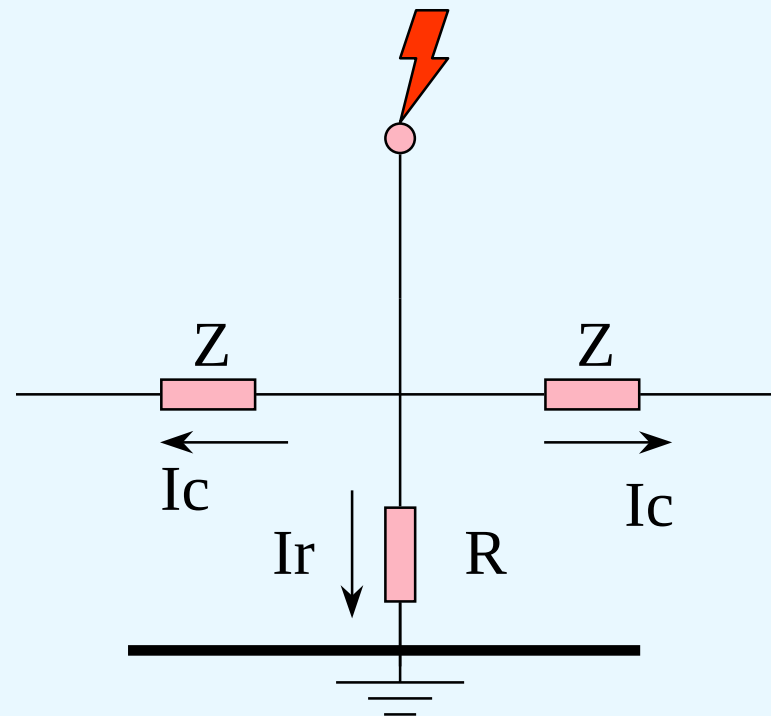
$$I_r = 1.4 \, \text{kA}$$

$$I_c = 0.7 \, \text{kA}$$

Descargas diretas

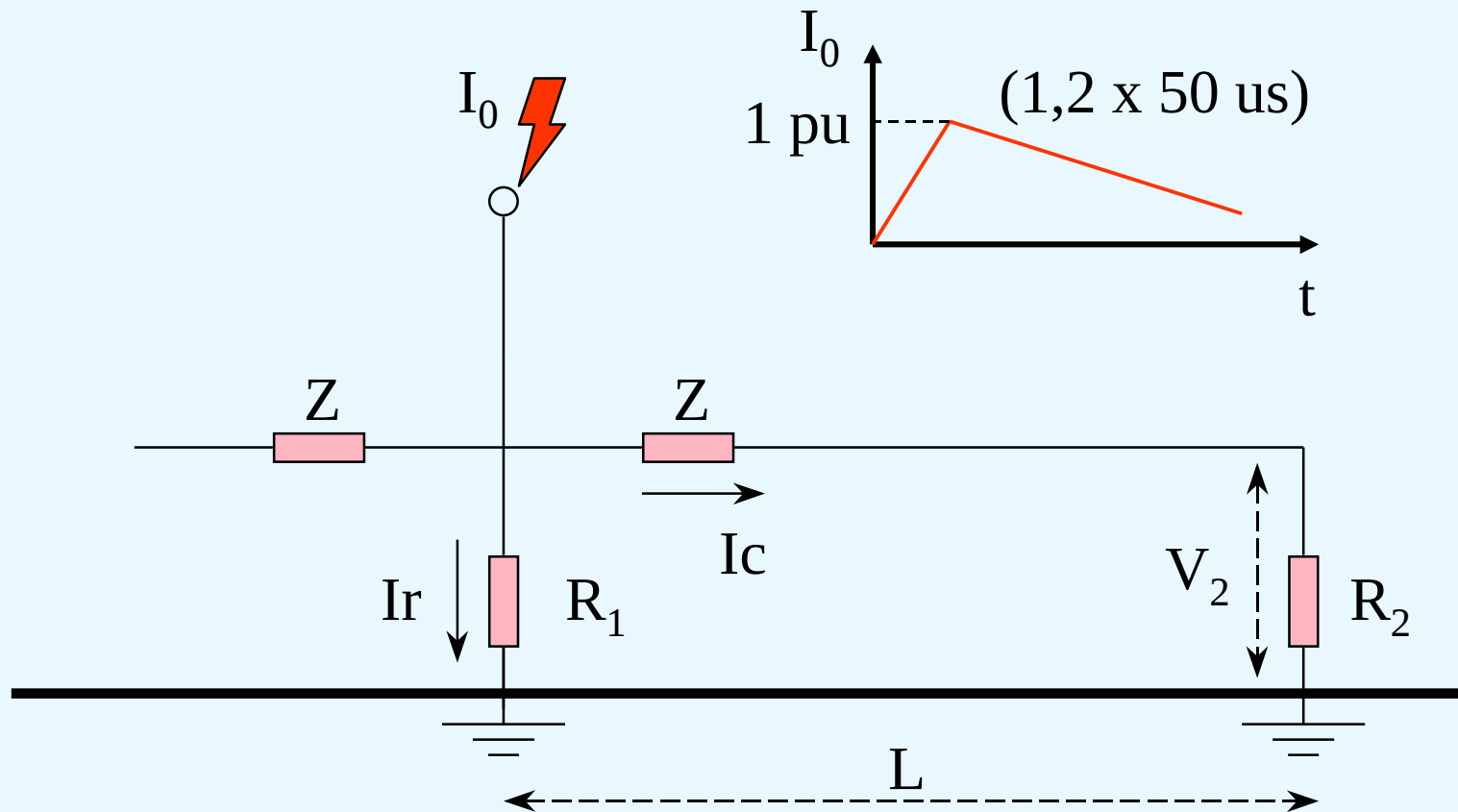


Modelo completo



Modelo utilizado

Considera-se que no final do cabo de áudio ter-se-a uma malha de aterramento (aterramento do protetor).

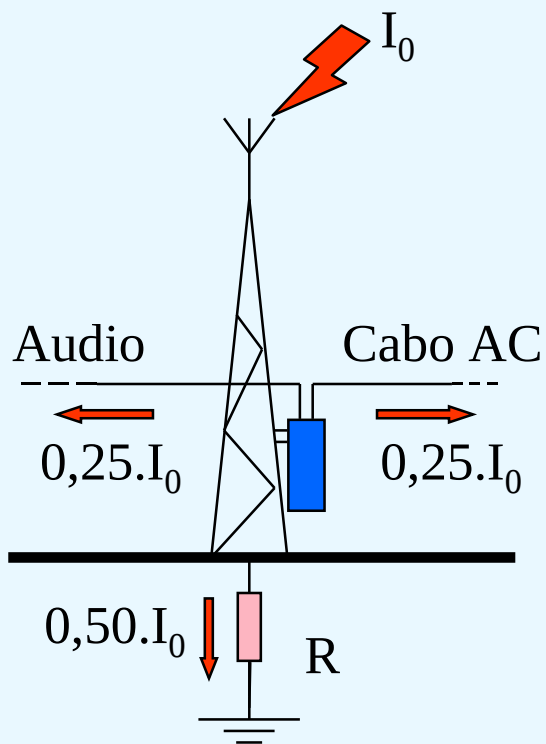


Para a resolução do circuito foi utilizado o programa para cálculo de transitórios EZTRAN.

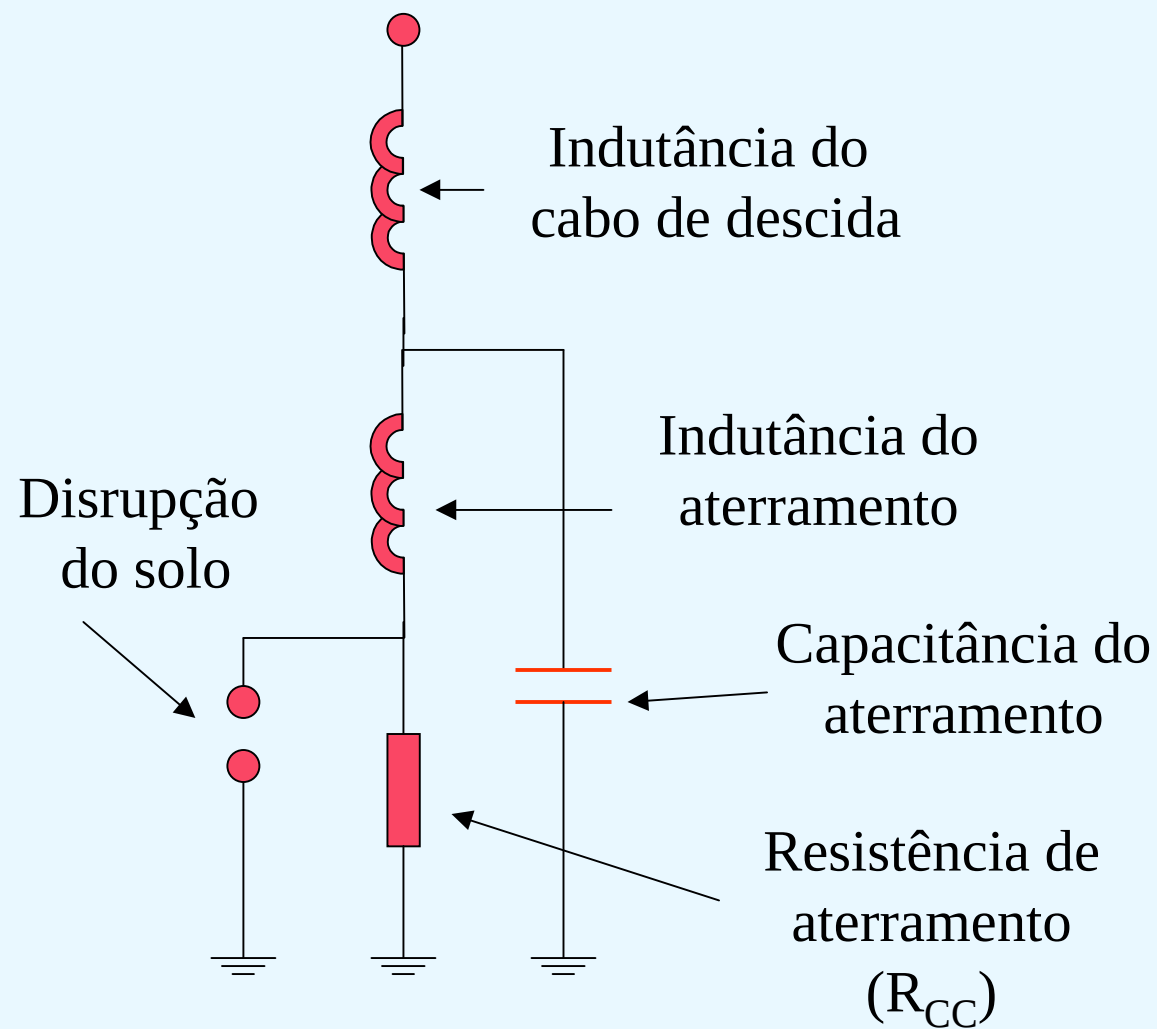
Caso	R1 (Ω)	R2 (Ω)	Ic (amperes)		V2 (volts)	
			L(m)	L(m)	L(m)	L(m)
			100	1000	100	1000
1	10	15	0.29	0.11	4.5	1.7
2	20	15	0.45	0.20	6.8	3.0
3	50	15	0.65	0.36	9.8	5.5
4	100	15	0.77	0.50	11.6	7.6
5	300	15	0.88	0.70	13.2	10.0
6	10	50	0.14	0.08	7.1	4.0
7	20	50	0.25	0.14	12.2	7.1
8	50	50	0.45	0.30	21.7	14.0
9	100	50	0.58	0.41	29.1	21.0
10	300	50	0.76	0.60	37.9	31.0
11	50	50	0.71	0.38	7.1	3.8

Distribuição das correntes

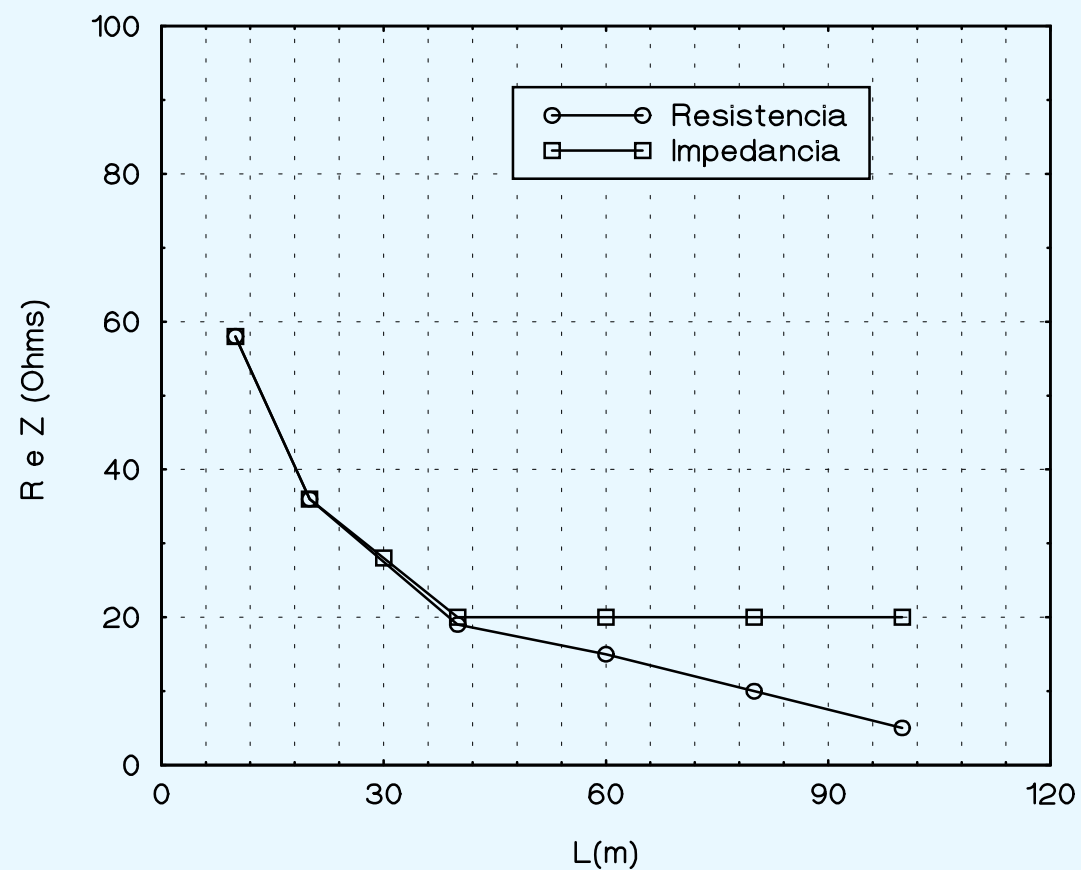
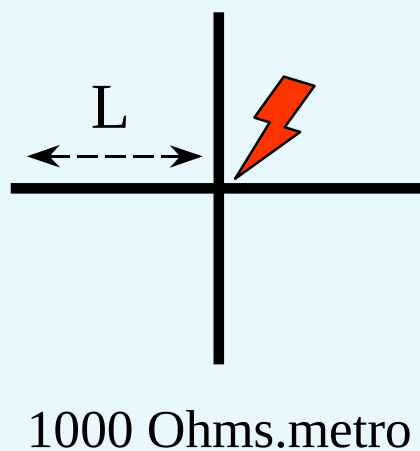
~ 50% da corrente de descarga flui pela fiação
~ 50% flui pela malha de aterramento da torre



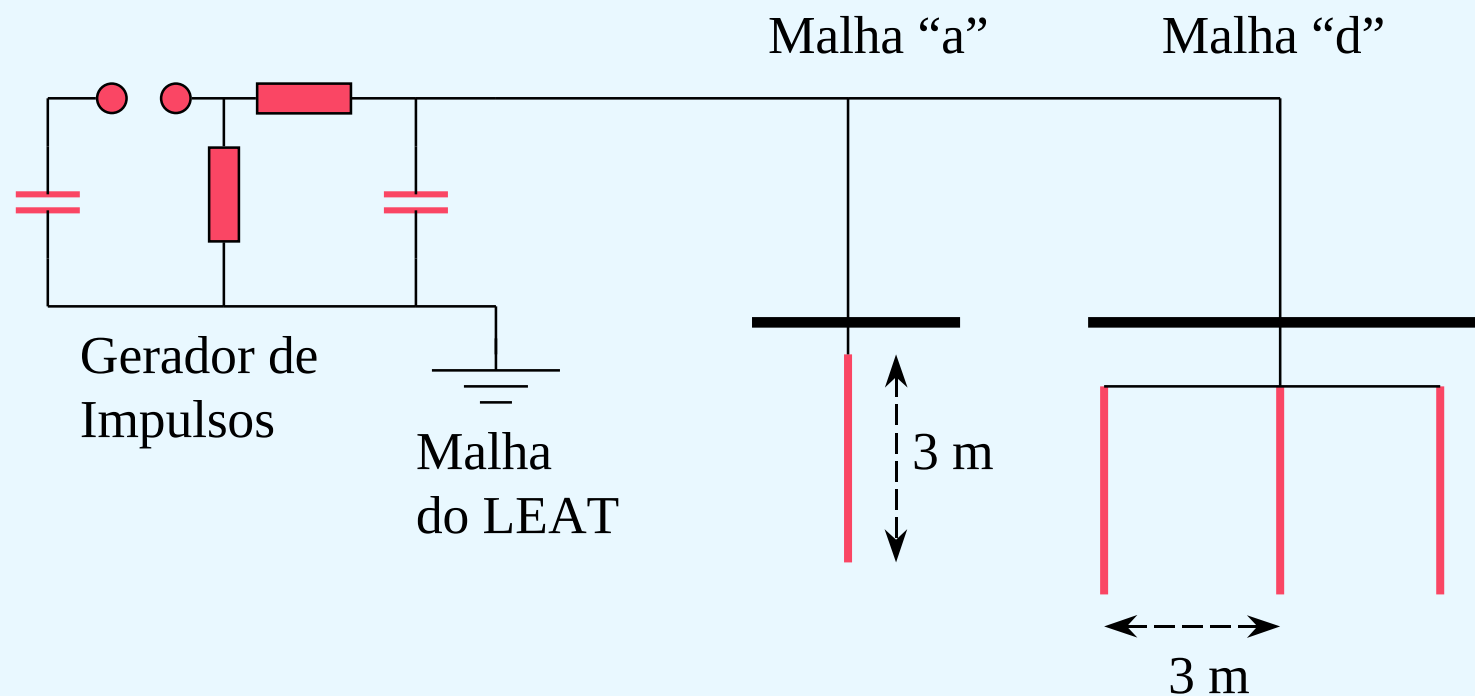
A malha de aterramento: modelo completo

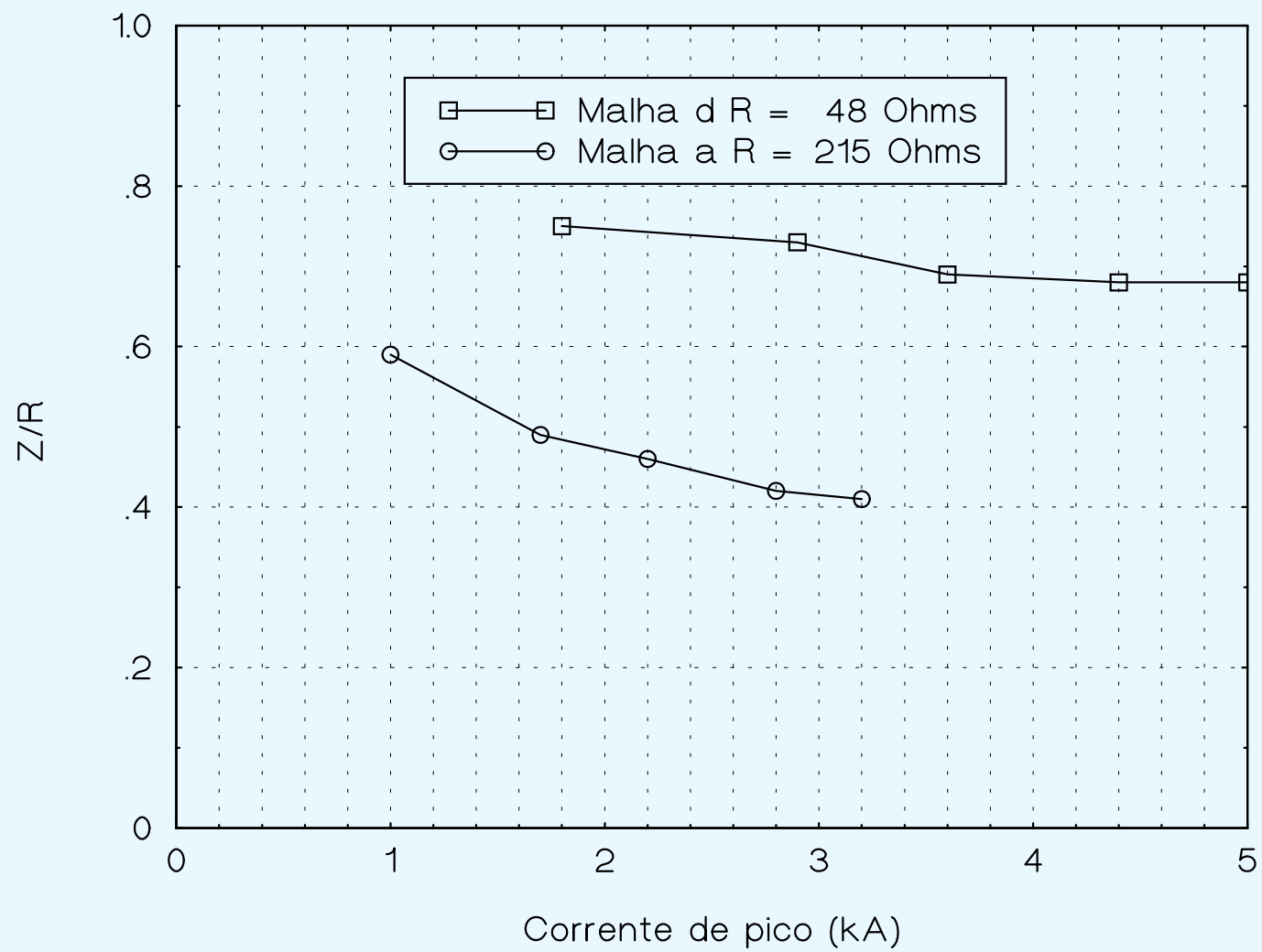


Impedância calculada

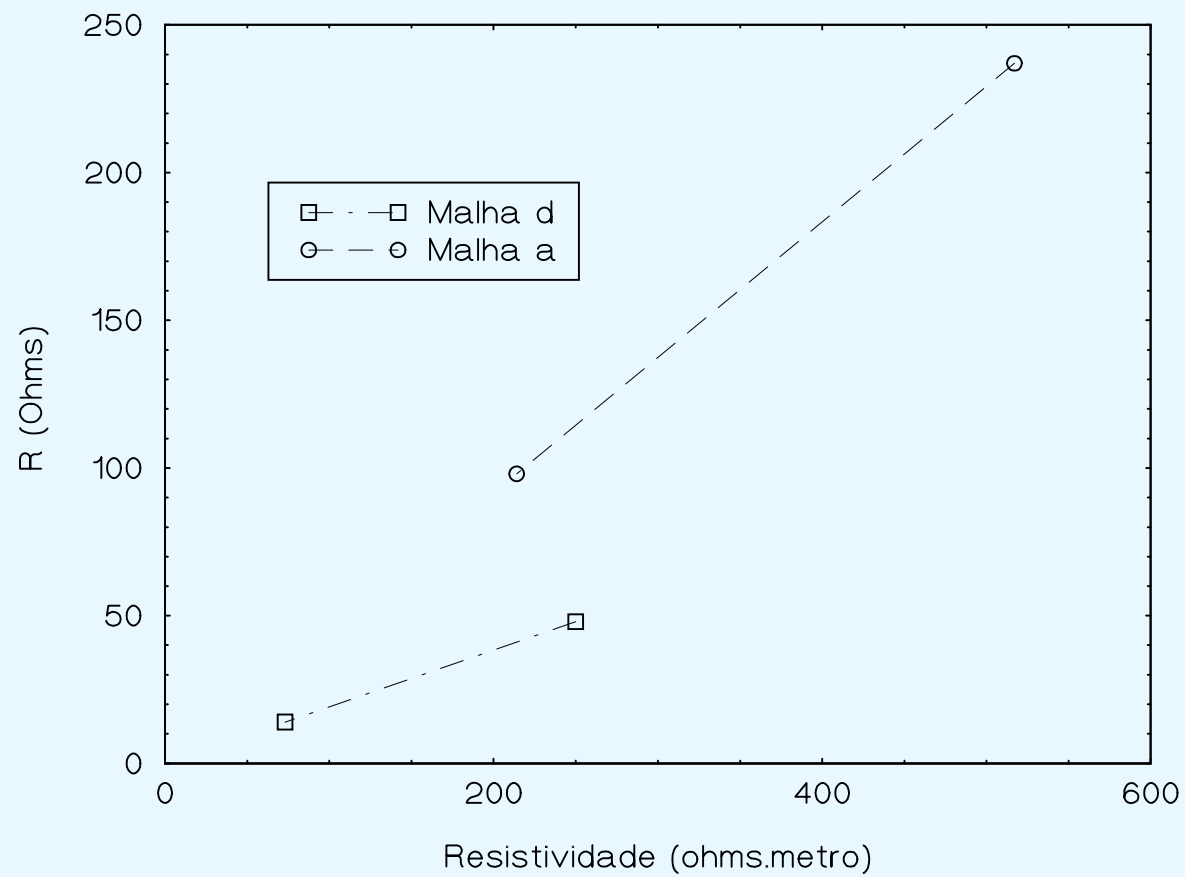


Impedância medida com o gerador do LEAT





Influência da umidade (Malhas construídas junto ao LEAT)



Proposta de critérios para projeto e instalação de malhas de aterramento de torres visando proteção contra descargas atmosféricas.

Os comentários aqui apresentados são um resumo dos estudos realizados pelo autor.

Foi sugerido um critério para aterramento de torres, que acredita-se estar em concordância com os critérios adotados em países mais desenvolvidos e adequados à realidade brasileira .

O valor da resistência da malha de aterramento

2,5 Ω (norma Holandesa);

50 Ω (norma Sul-africana).

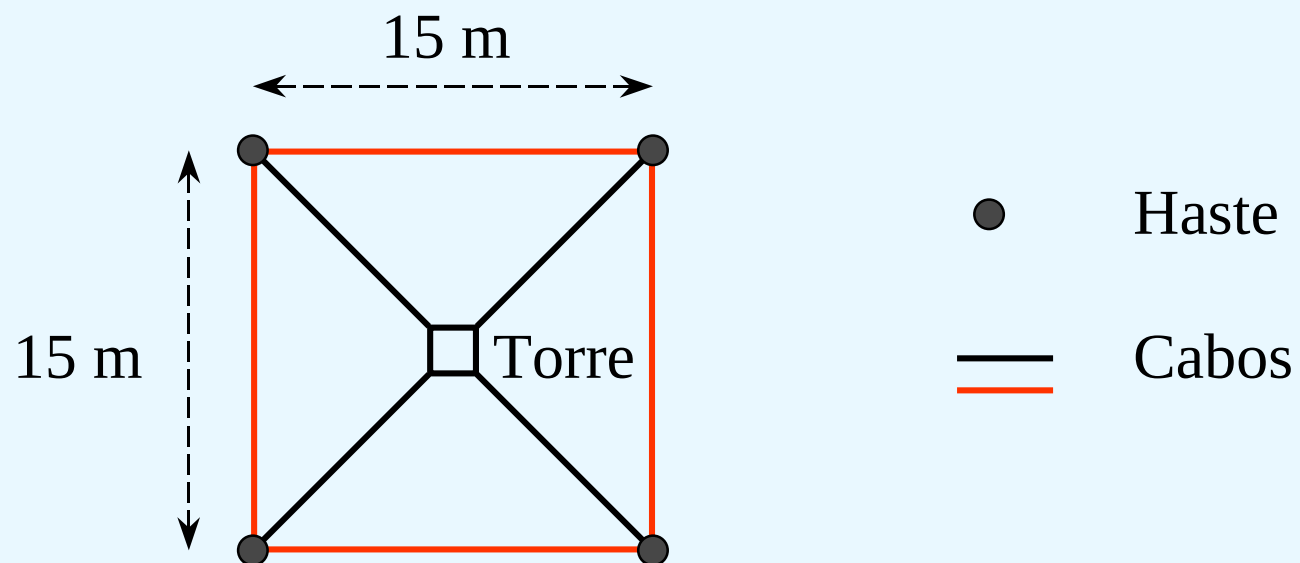
Não existe um valor "mágico" para o valor da resistência da malha. Malhas equalizadas garantem a segurança do pessoal e do equipamento.

Sugere-se um valor máximo de 50 Ω para o valor da resistência de aterramento da malha da torre.

Estatística de valores de resistividade do solo em Minas Gerais (topo de morro)

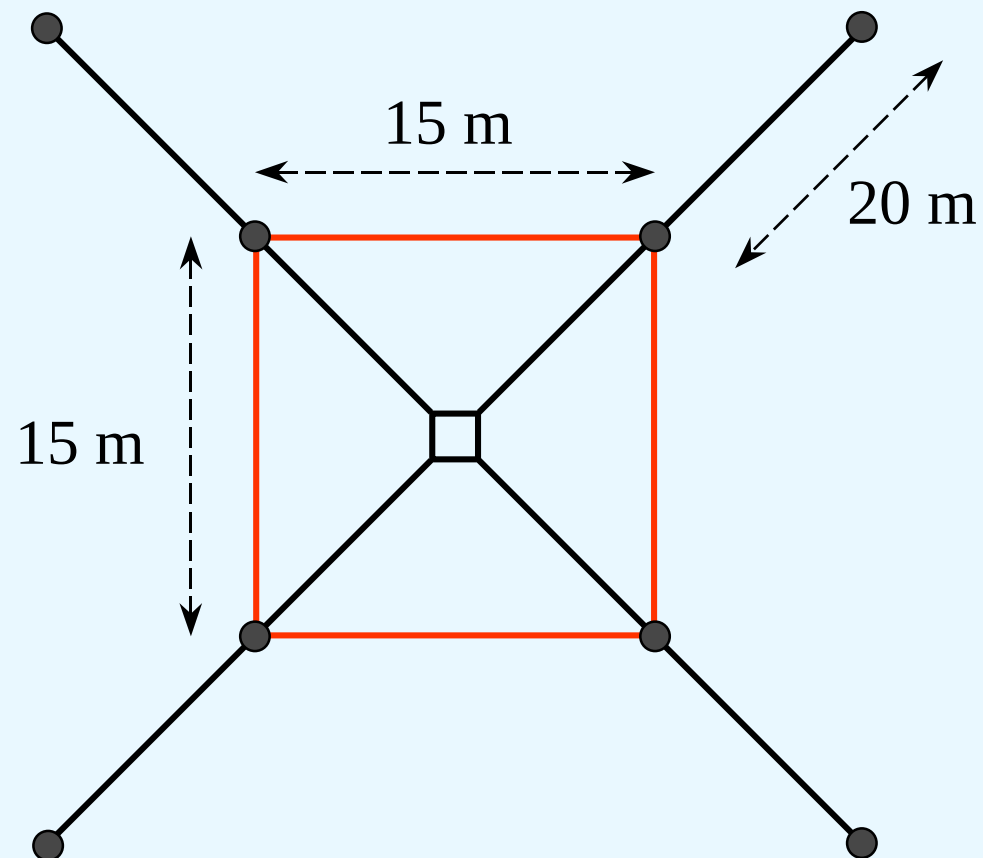
$\rho(\Omega.m)$	Número de localidades	%	% Acumulado
0-1000	20	12.3	12.3
1000-5000	89	54.6	66.9
5000-10000	31	19.0	85.9
> 10000	23	14.1	100.0
Total	163	100.0	

Malhas de aterramento propostas



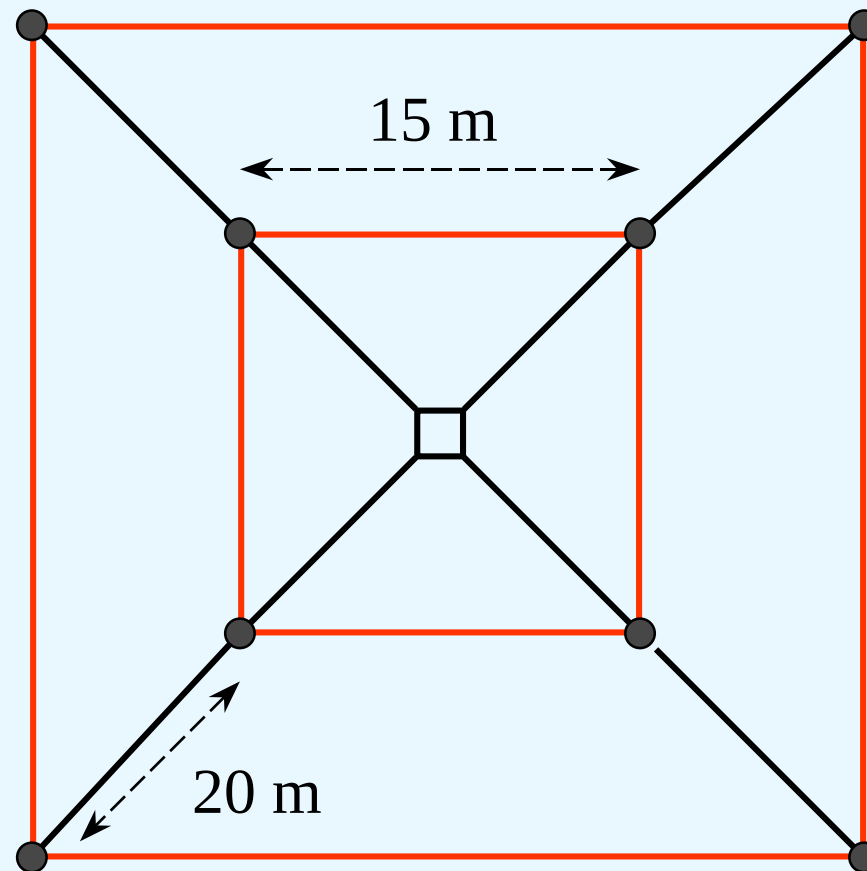
Configuração 1

R inferior a **50 Ω** em solos de até **1500 $\Omega.m$** (15%)



Configuração 2

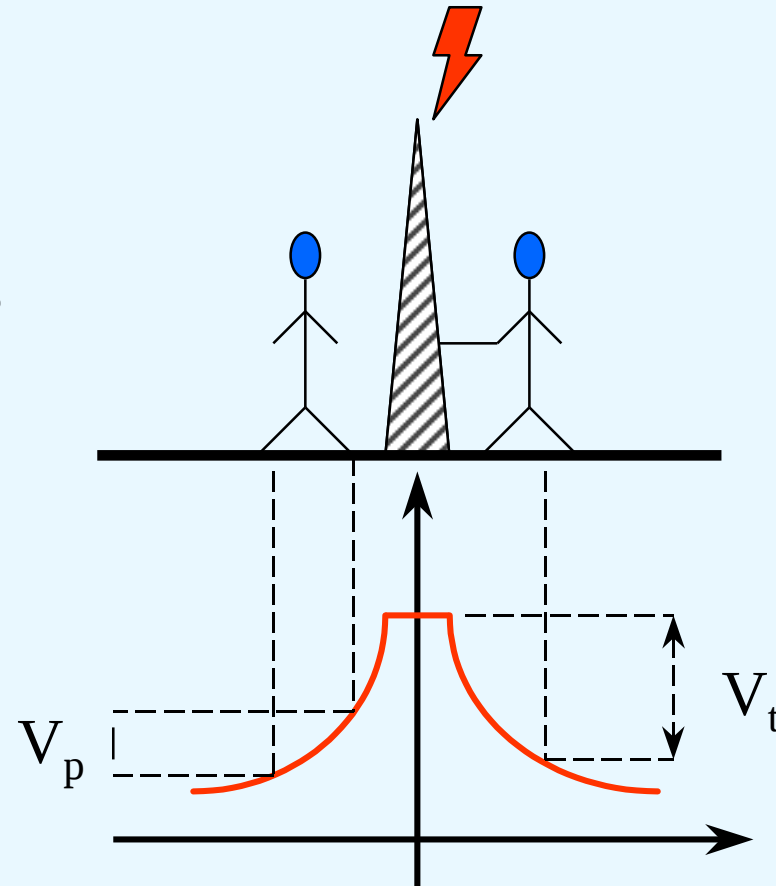
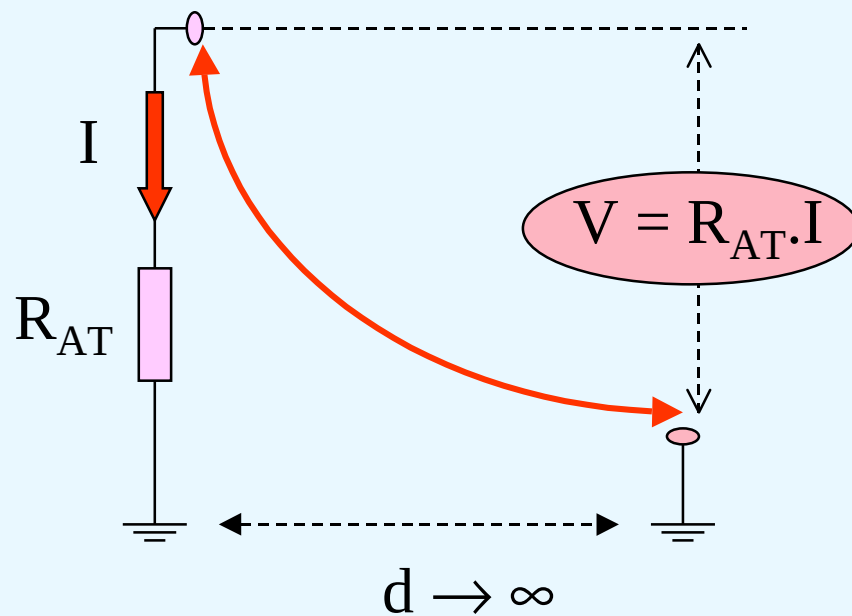
R inferior a **50 Ω** em solos de até **3000 $\Omega.m$** (60%)



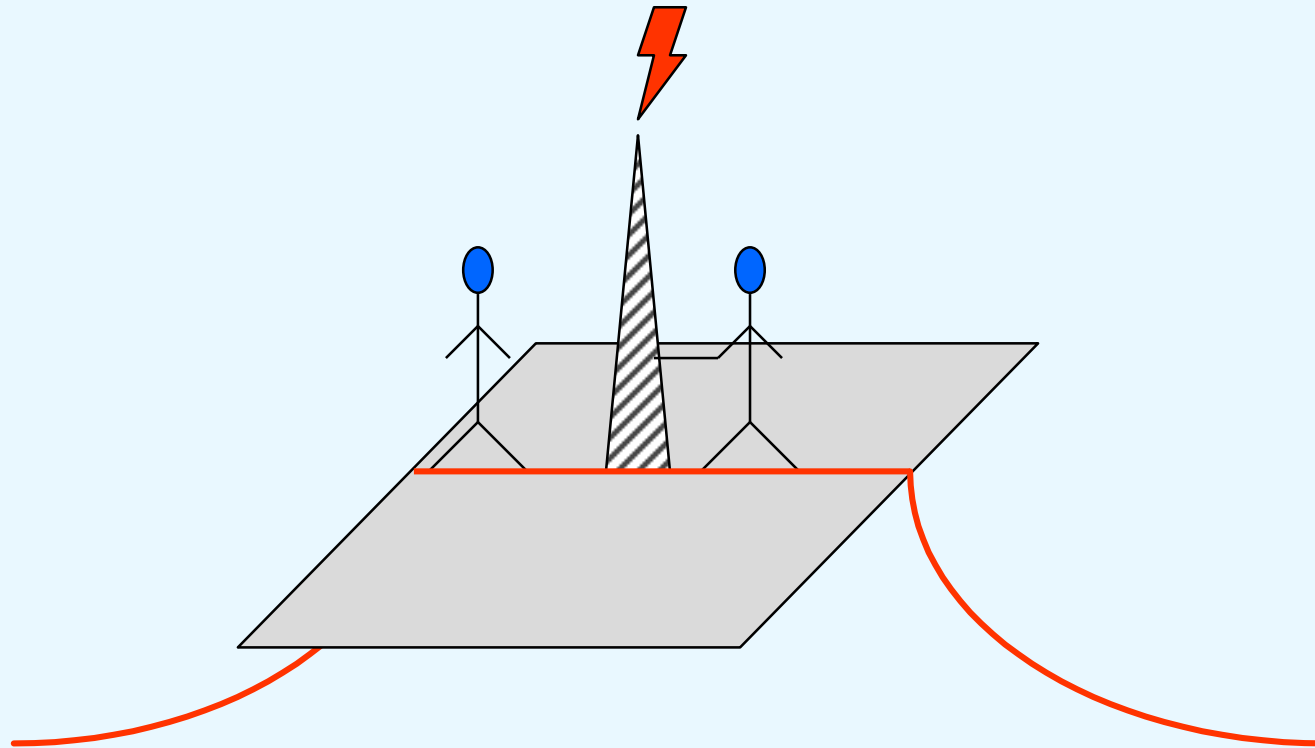
Configuração 3

R inferior a **50 Ω** em solos de até **3000 $\Omega.m$** (60%)

O desenho da malha - Tensões de passo e toque

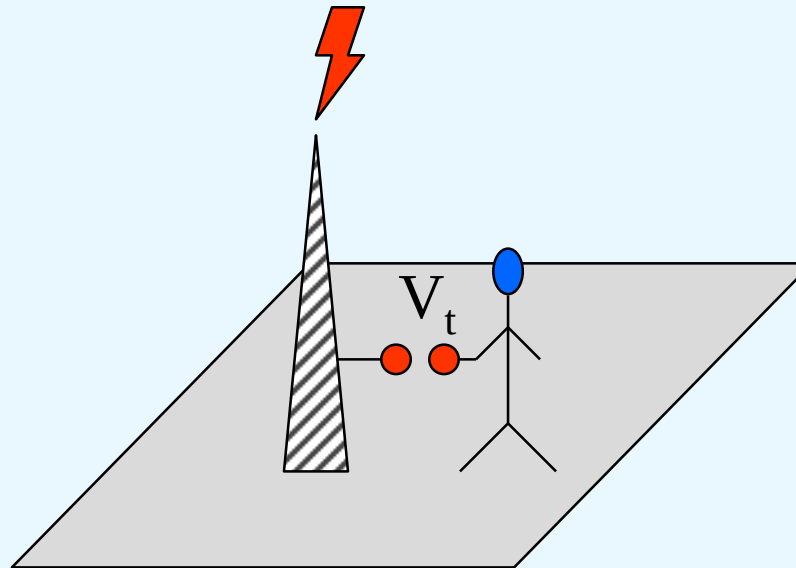


Placa de cobre: equipotencial perfeita?

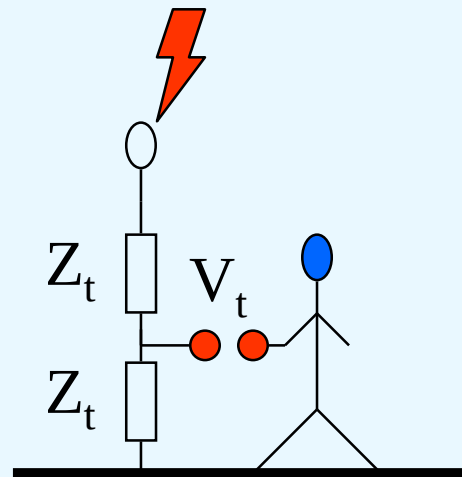
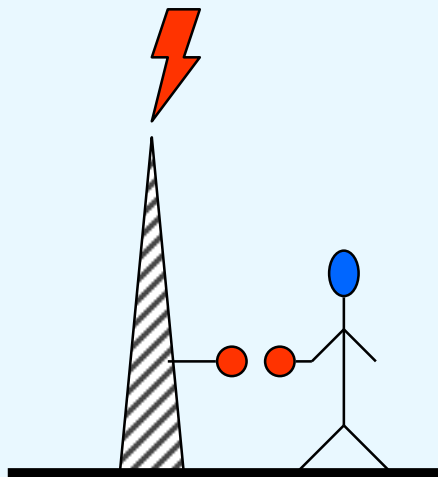


Tensão de passo ≈ 0 . E a tensão de toque?

Placa de cobre: equipotencial perfeita?



Tensão de toque



Para torres baixas:
 $Z_t = \text{indutância}$

$$V_t = Z.I \qquad V_t = L \, dI/dt$$

$$dI/dt = 2.0 \, \text{kA}/\mu\text{s} \text{ a } 50 \, \text{kA}/\mu\text{s}$$

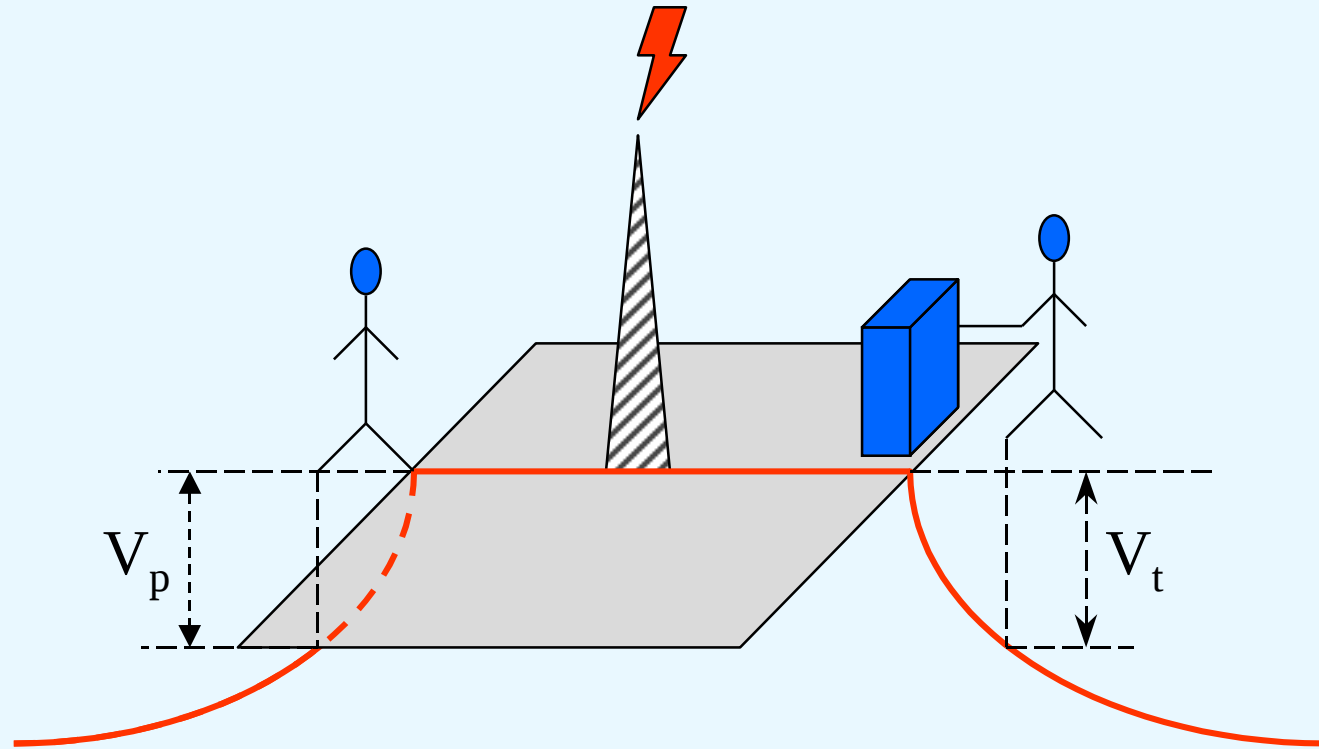
O valor da indutância depende basicamente do diâmetro da torre, um valor típico seria: $1.0 \, \mu\text{H}/\text{m}$.

Tomando-se uma pessoa tocando a torre a 1.0 m de altura as tensões serão:

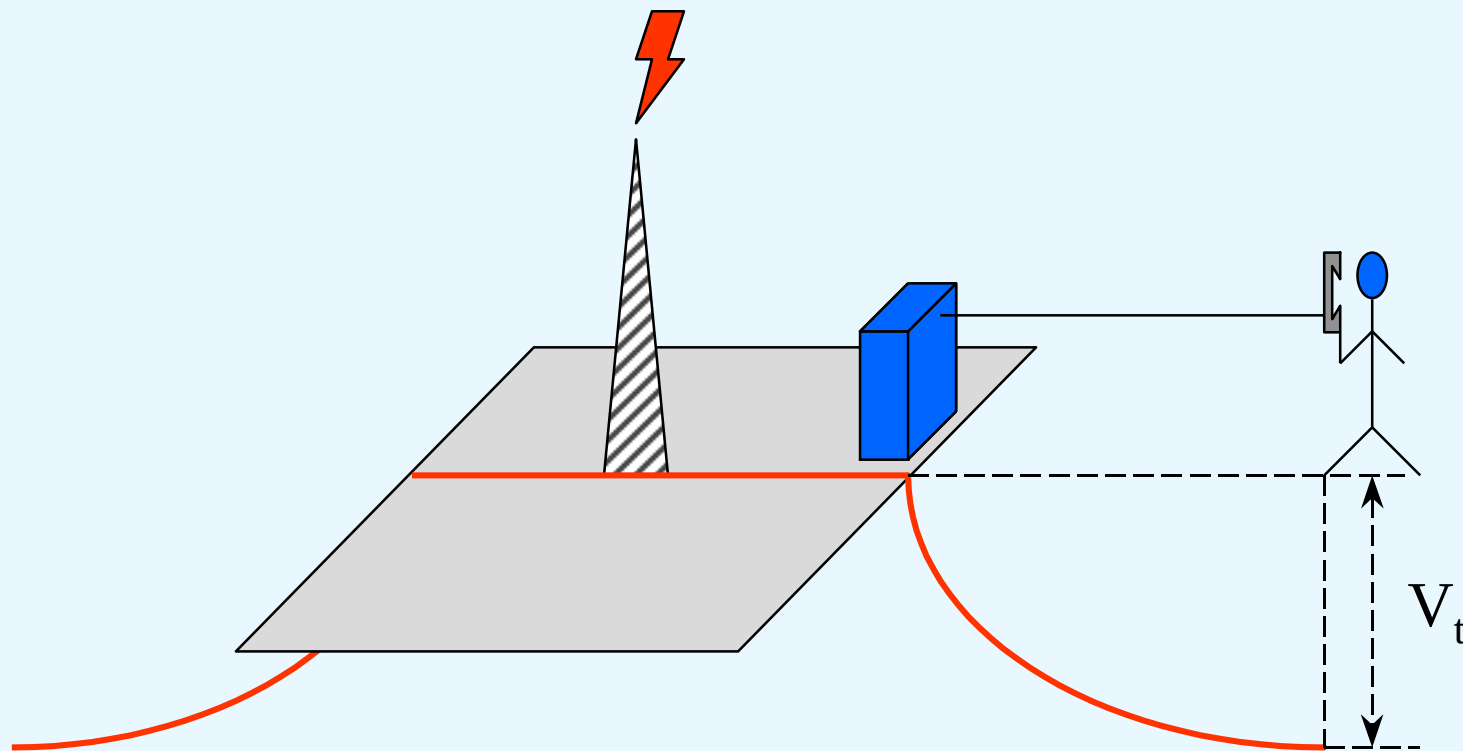
$$V_t = 2.0 \, \text{kV} \, (\, dI/dt = 2.0 \, \text{kA}/\mu\text{s} \,)$$

$$V_t = 50 \, \text{kV} \, (\, dI/dt = 50 \, \text{kA}/\mu\text{s} \,)$$

Tensões na borda da placa



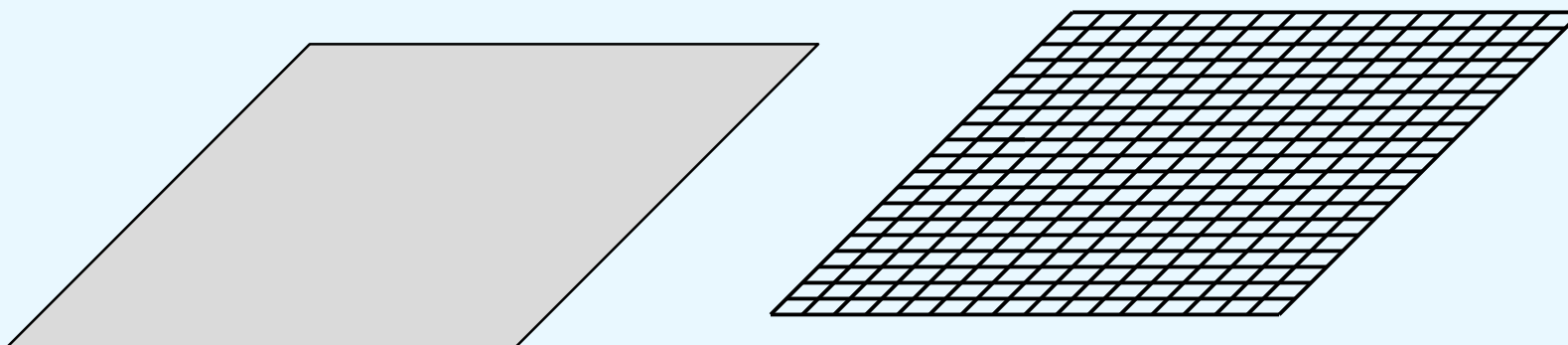
Transferência de potencial



Redução da tensão de passo

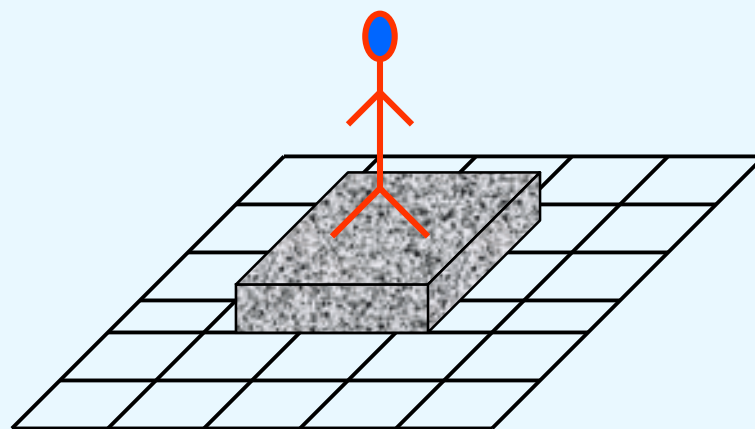
A utilização de uma placa como malha de aterramento é uma solução economicamente inviável.

A solução usualmente adotada é a utilização de uma malha compondo uma rede. Quanto menor for o afastamento entre os condutores da rede, mais esta malha se aproxima de uma placa.



Redução da tensão de passo

Outra solução adotada para minimizar os efeitos das tensões de passo e **revestir o solo** por cima da malha com materiais tais como o concreto e a brita. Esses materiais de cobertura não diminuem os valores das tensões de passo mas diminuem os valores das correntes que circulariam pela pessoa.



Tratamento químico

A utilização de tratamento químico do solo com o objetivo de reduzir o valor da resistência da malha de aterramento é uma alternativa polêmica.

Algumas normas rejeitam tal solução e algumas normas permitem o tratamento do solo com materiais tais como o concreto e a bentonita.

Experiências realizadas pelo autor indicam reduções de, no máximo, 50%.

O material da malha

Critérios:

Elétricos;

Mecânicos;

Químicos.

As normas em geral recomendam a utilização de cabos com bitola mínima de 50 mm².