



# CINASE

Congresso & Exposição





**CINASE**  
CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## ZPR – Zonas de Proteção Contra Raios

NBR 5419 : Parte 4

### *Critérios eletromagnéticos*

### *Extensão de ZPR*

**Eng. Ronaldo Kascher Moreira, Dr.**

**Diretor  
Kascher Engenharia**

**Professor  
Instituto Politécnico  
PUC Minas**

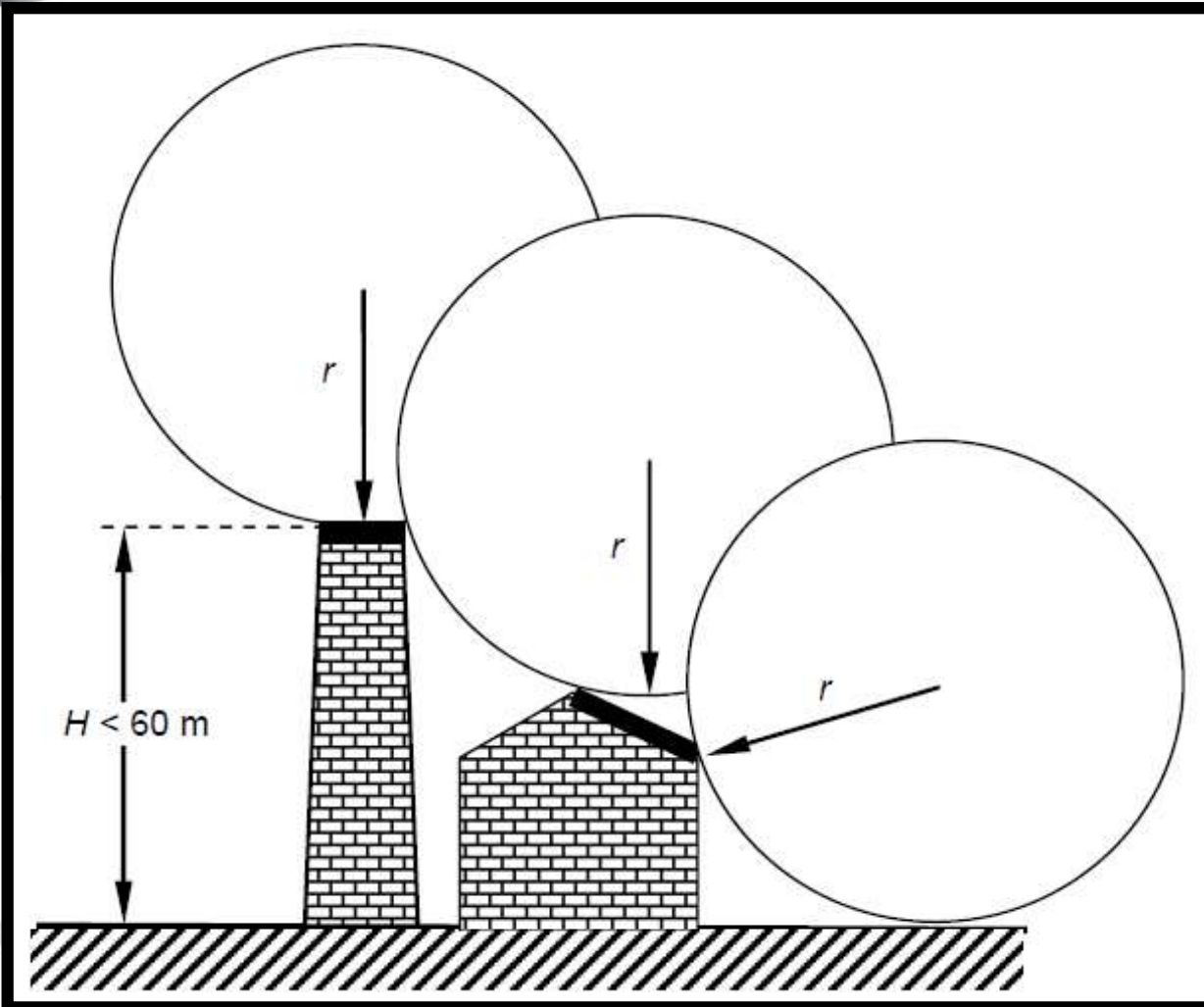




# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## O Conceito de Zonas de Proteção



Critério: severidade do *LEMP*

Corrente

Campo  
Magnético

Definição das ZPR 0A e da ZPR 0B  
externas

Método da esfera rolante

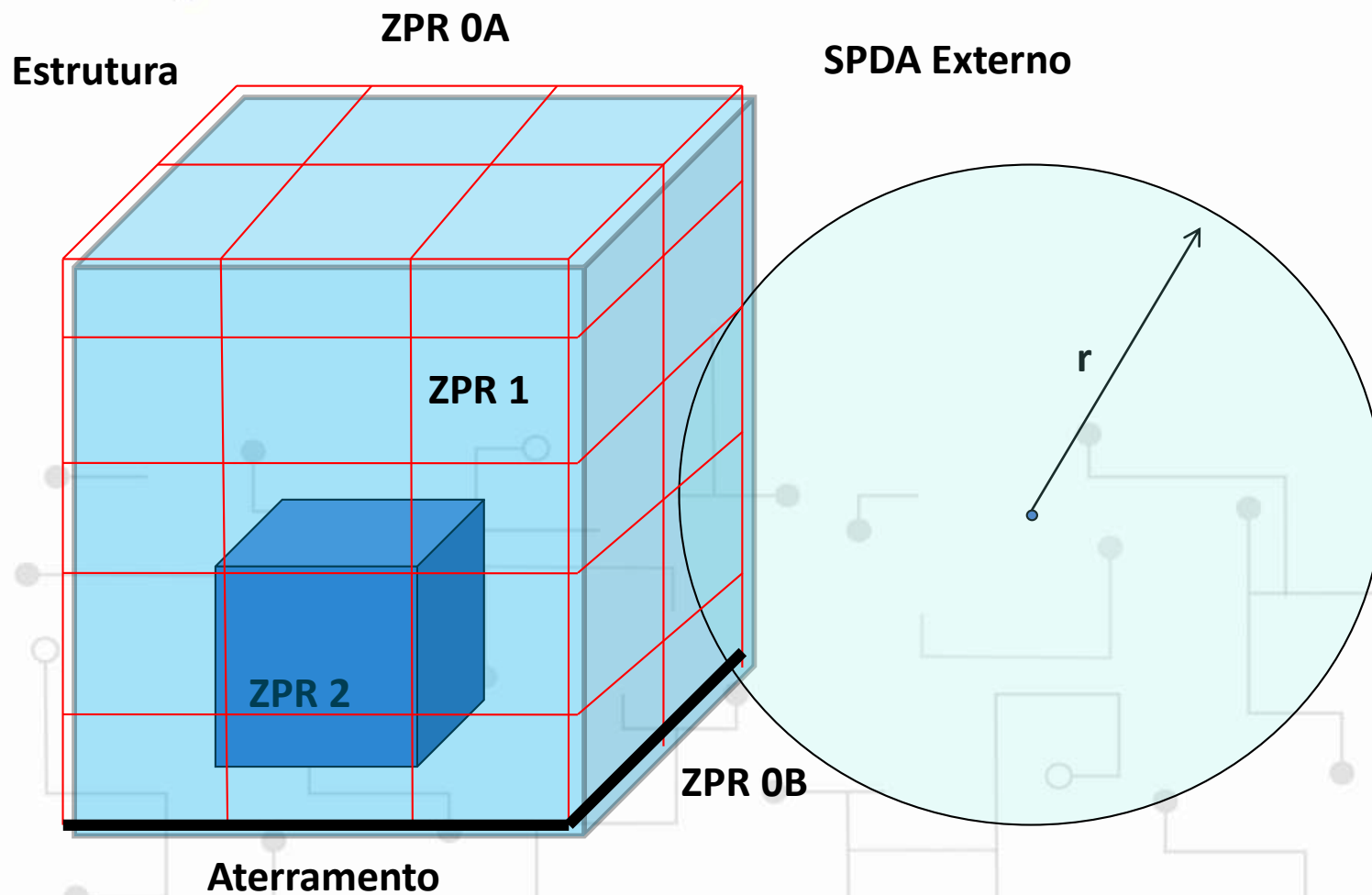
Fonte: NBR 5419



# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## O Conceito de Zonas de Proteção

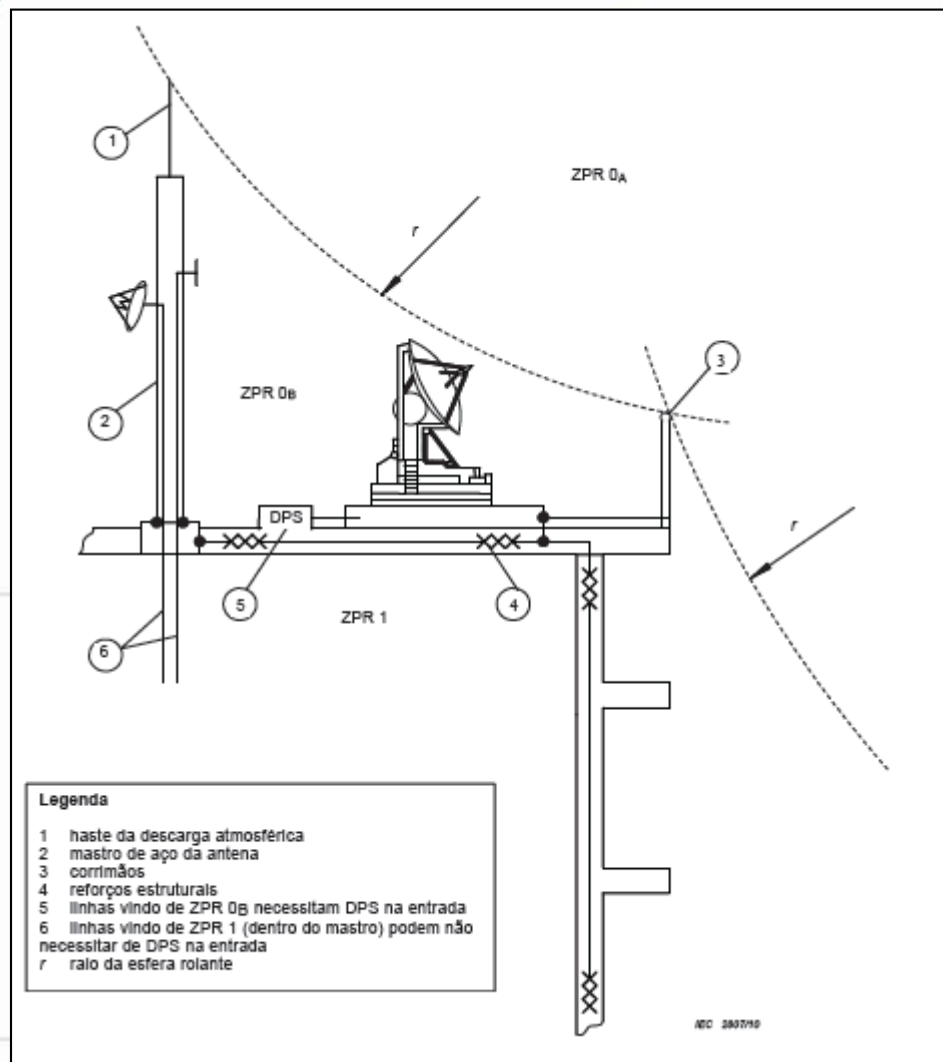




# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## O Conceito de Zonas de Proteção



**Criação de ZPR 0B**

**Proteção de antenas e outros equipamentos externos**

**Fonte: NBR 5419**

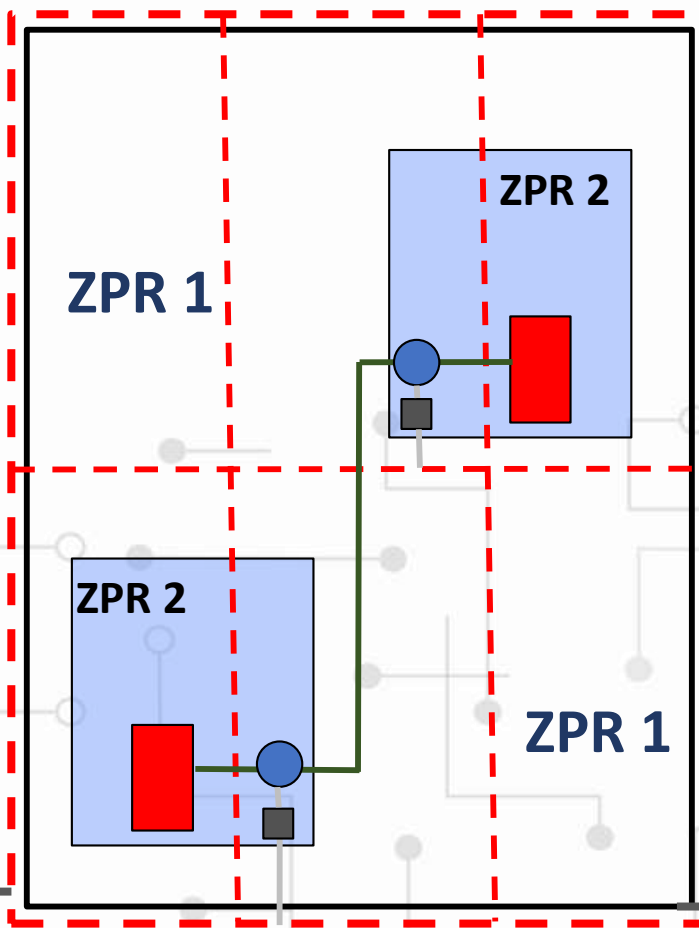


# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## O Conceito de Zonas de Proteção

ZPR 0



SPDA Estrutural

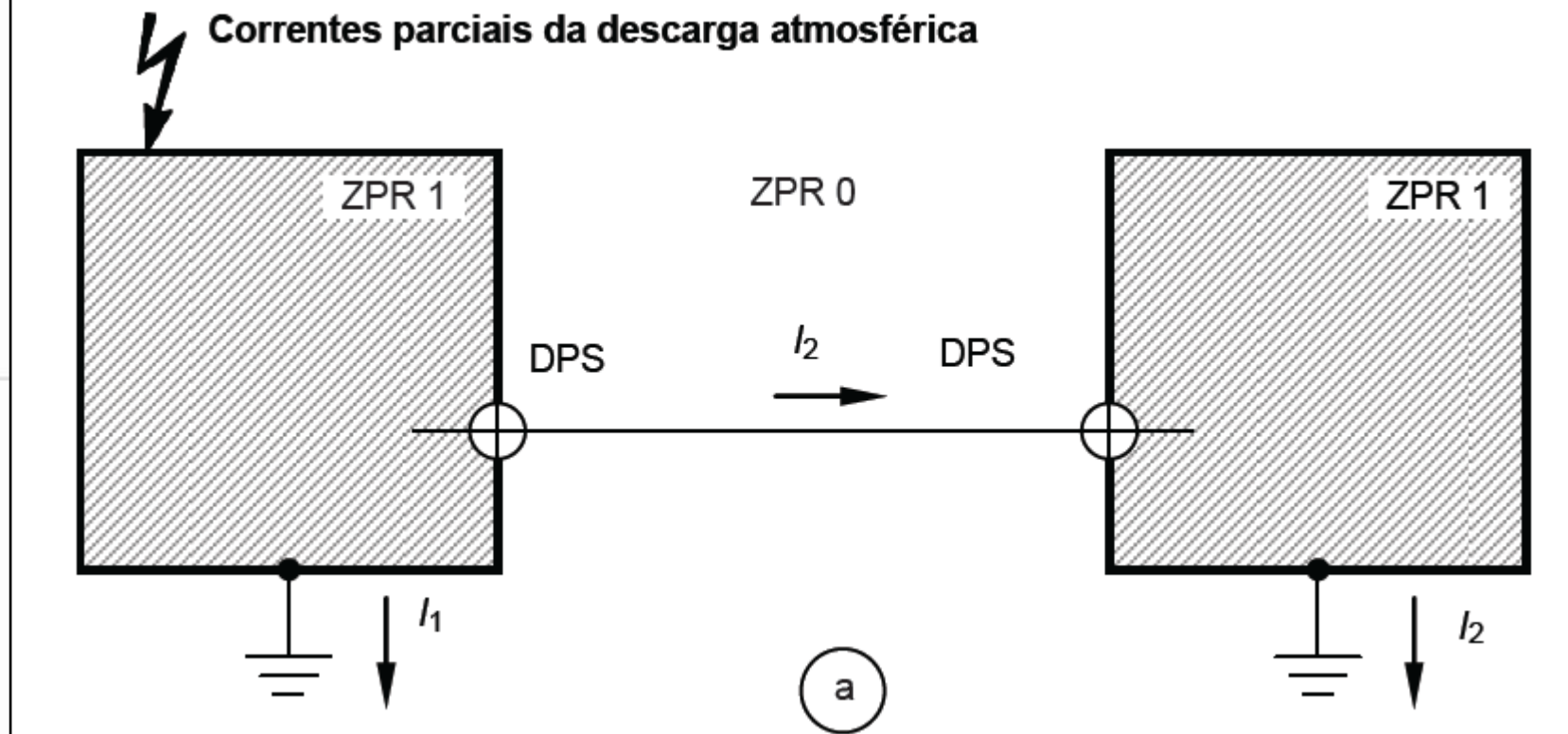
### Legenda

- barras de equipotencialização
- DPS
- Equipamento
- Serviço metálico (que não pode ser diretamente conectado à barra de equipotencialização)



**Figura 3 – Exemplos para interligação de ZPR**

**a) Interligando duas ZPR 1 usando DPS**



Fonte: NBR 5419

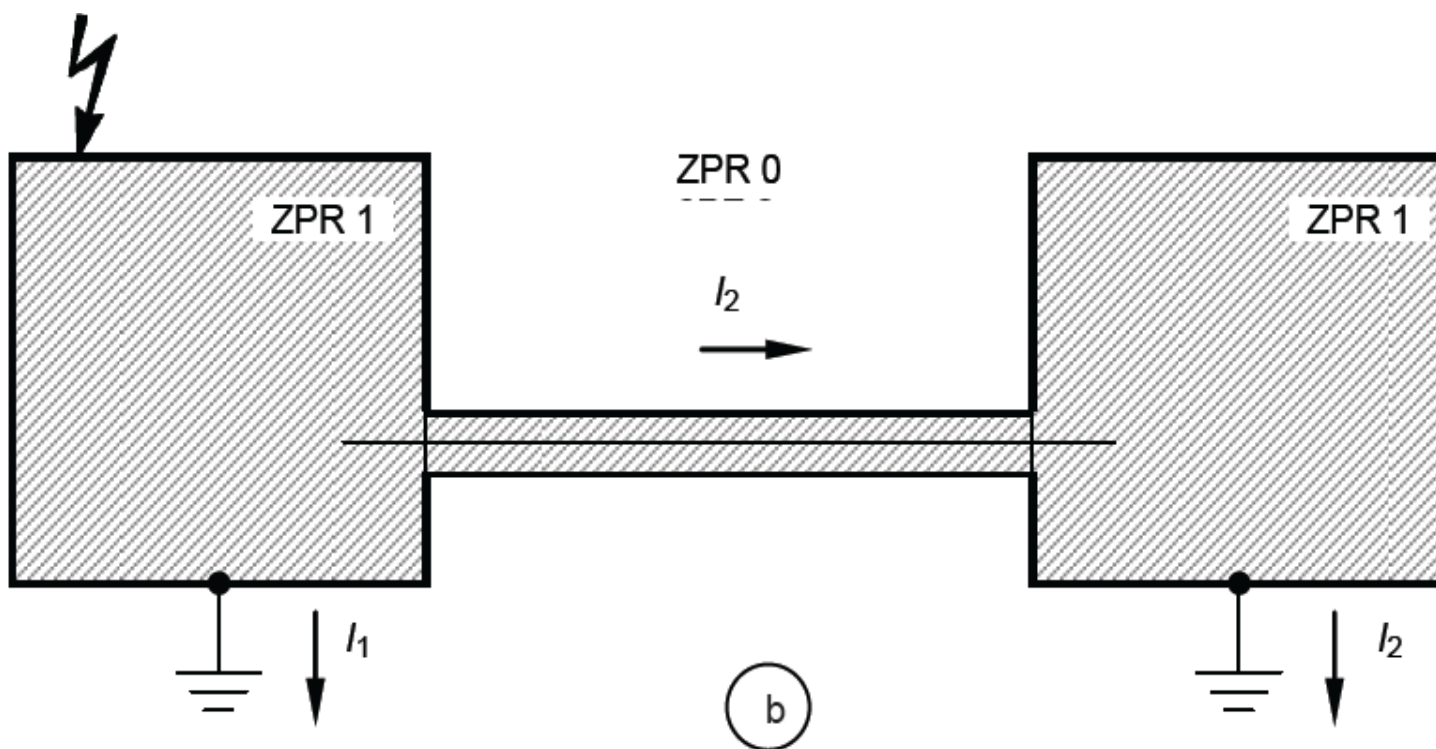


# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## O Conceito de Zonas de Proteção

b) Interligando duas ZPR 1 usando cabos blindados ou dutos blindados



A infra se torna  
extensão das ZPR  
interligadas

**Como ?**

Fonte: NBR 5419





## Roteamento de linhas e Blindagem magnética

**O Roteamento adequado das linhas internas pode minimizar a intensidade dos surtos induzidos internamente.**

**As blindagens magnéticas podem reduzir o campo eletromagnético assim como a intensidade dos surtos induzidos internamente.**

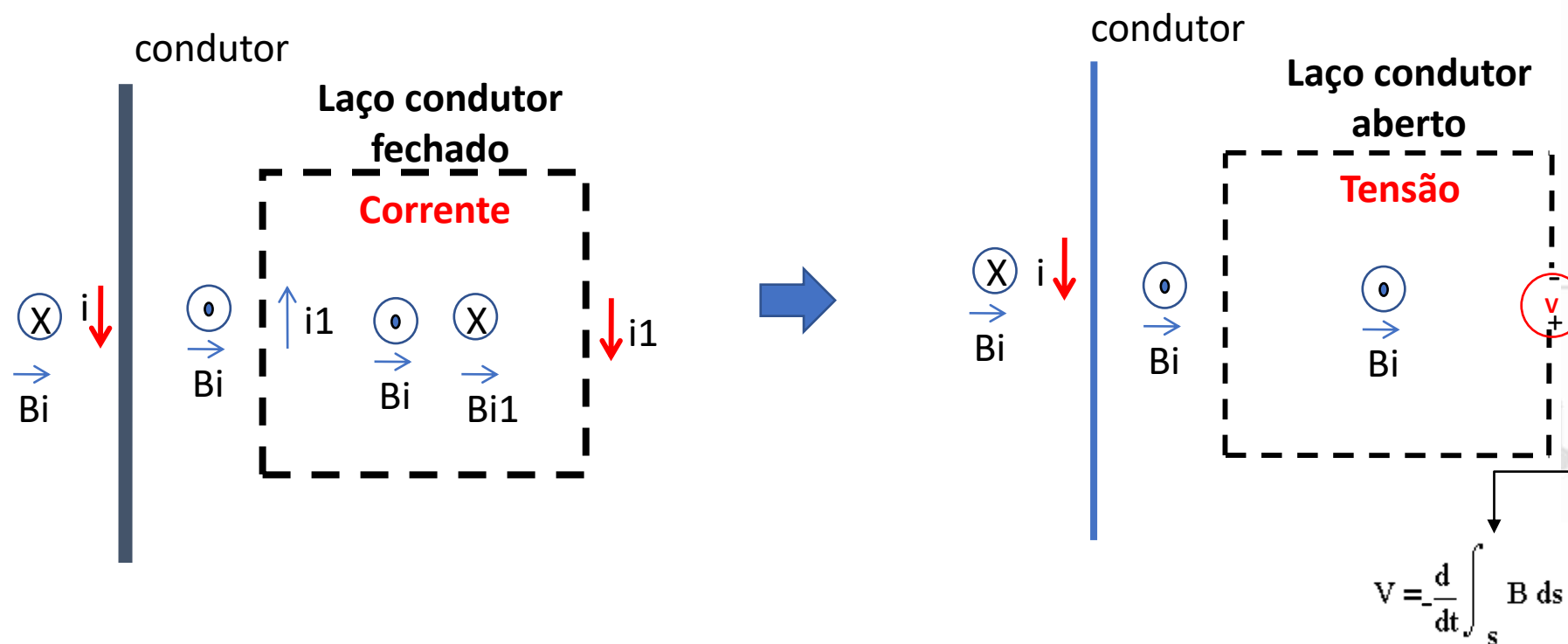
**A blindagem espacial podem cobrir toda a estrutura, uma parte dela**

**A blindagem dos cabos ou da infraestrutura que acondiciona os cabos**



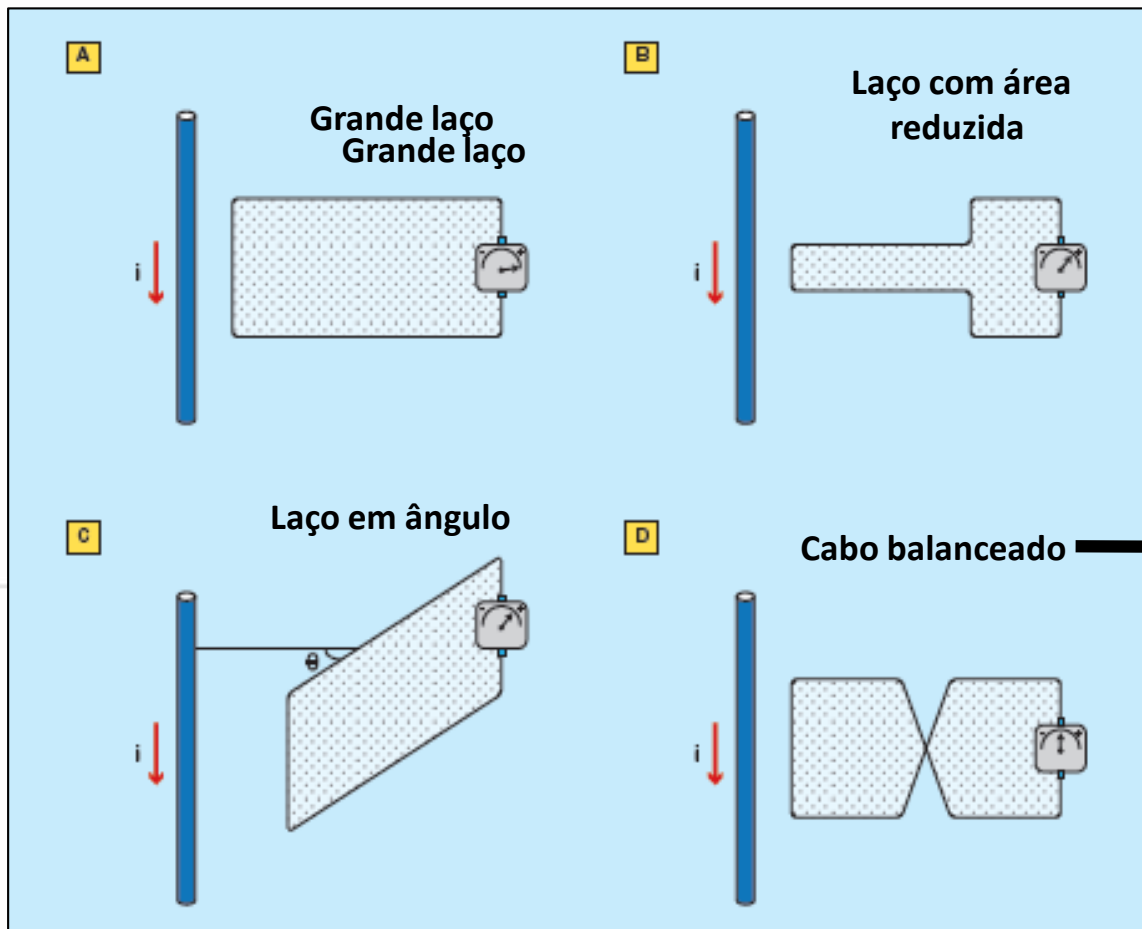
#### O princípio do acoplamento de transitórios por indução

*A Lei de Faraday*

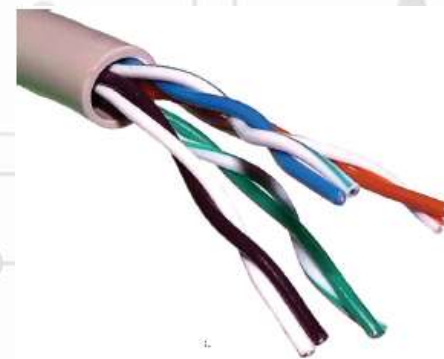




## Conversão campo / tensão – Lei de Faraday



**Cancelamento de fluxo.  
Cancelamento de tensão  
induzida diferencial.**

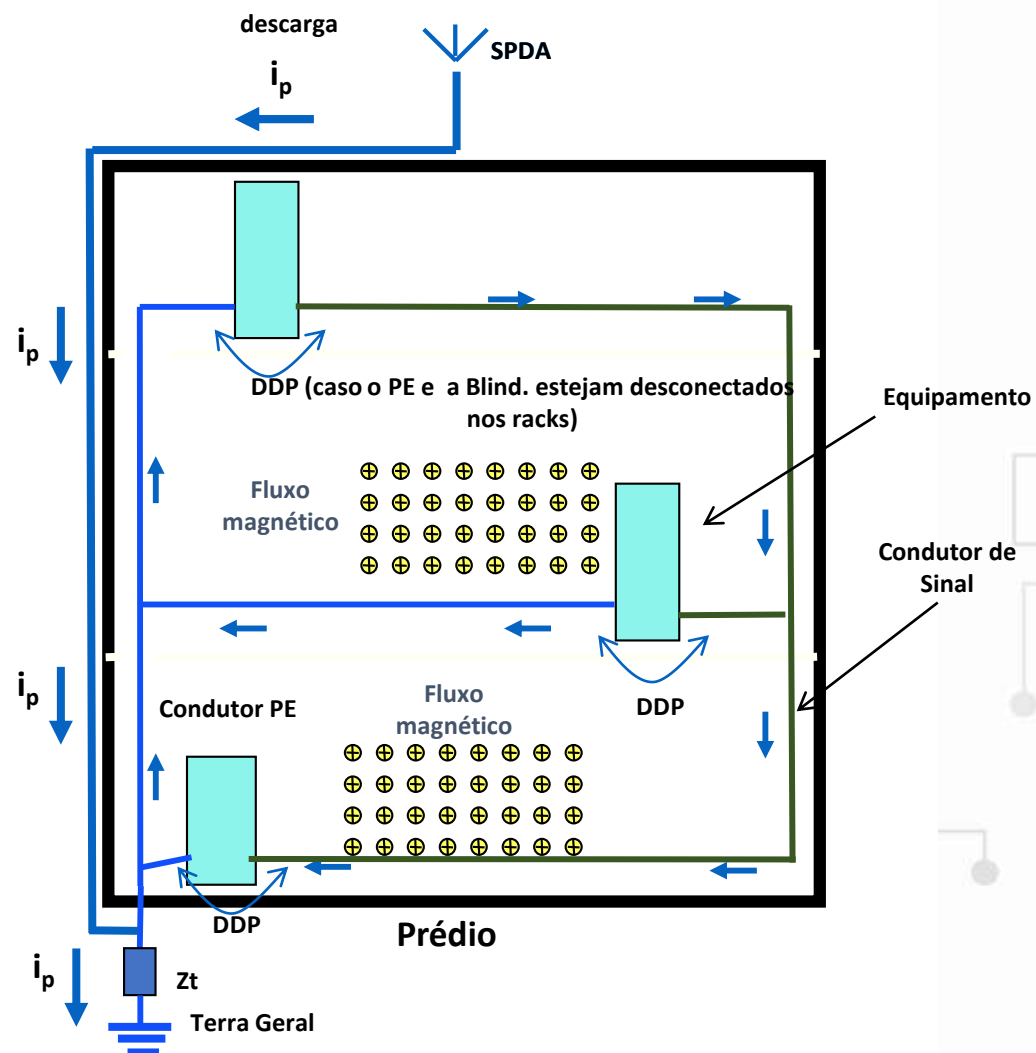




# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## Roteamento de linhas

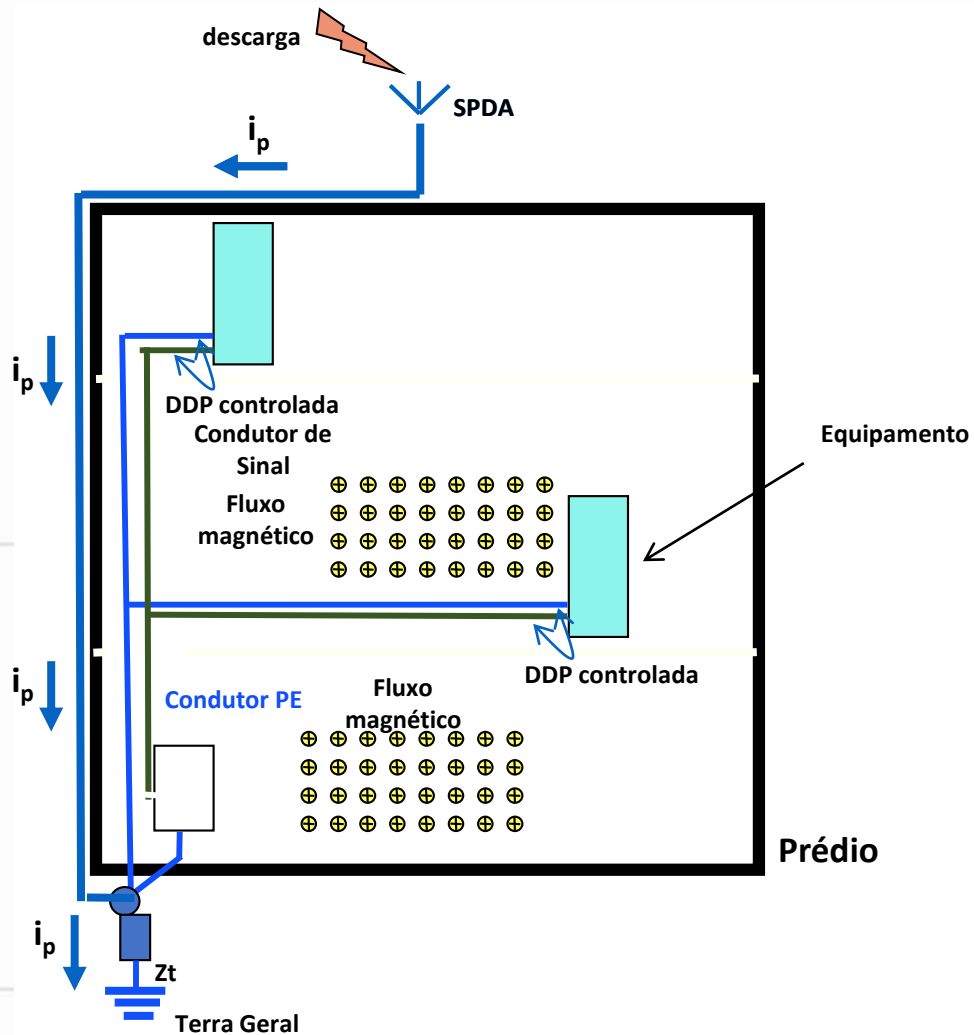


- Prumadas elétrica e eletrônicas distintas
- Infra não blindada



# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

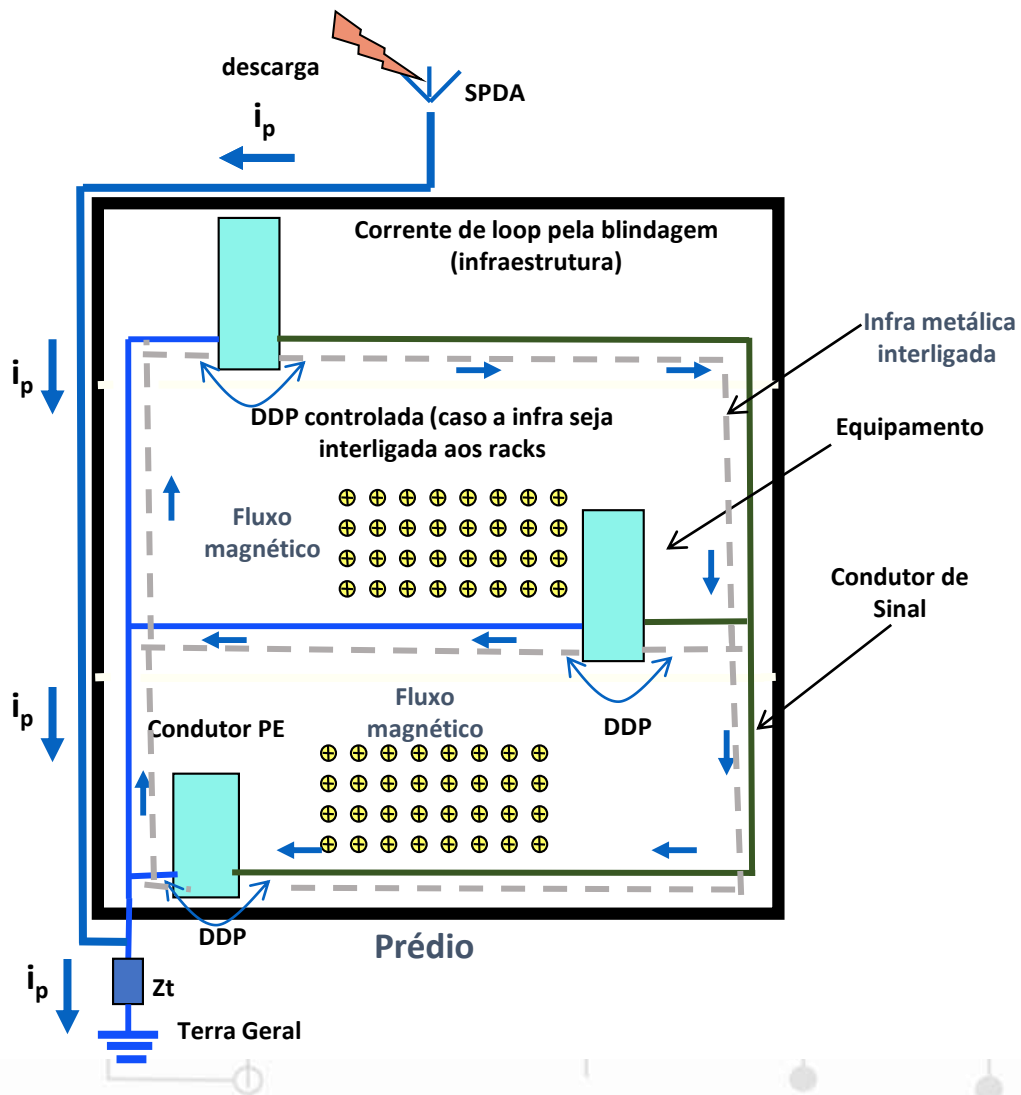


## Roteamento de linhas

Cuidados com o “crosstalk”



- Prumadas elétrica e eletrônicas juntas
- Infra não blindada



## Blindagem magnética

- Prumadas elétrica e eletrônicas distintas
- Infra blindada

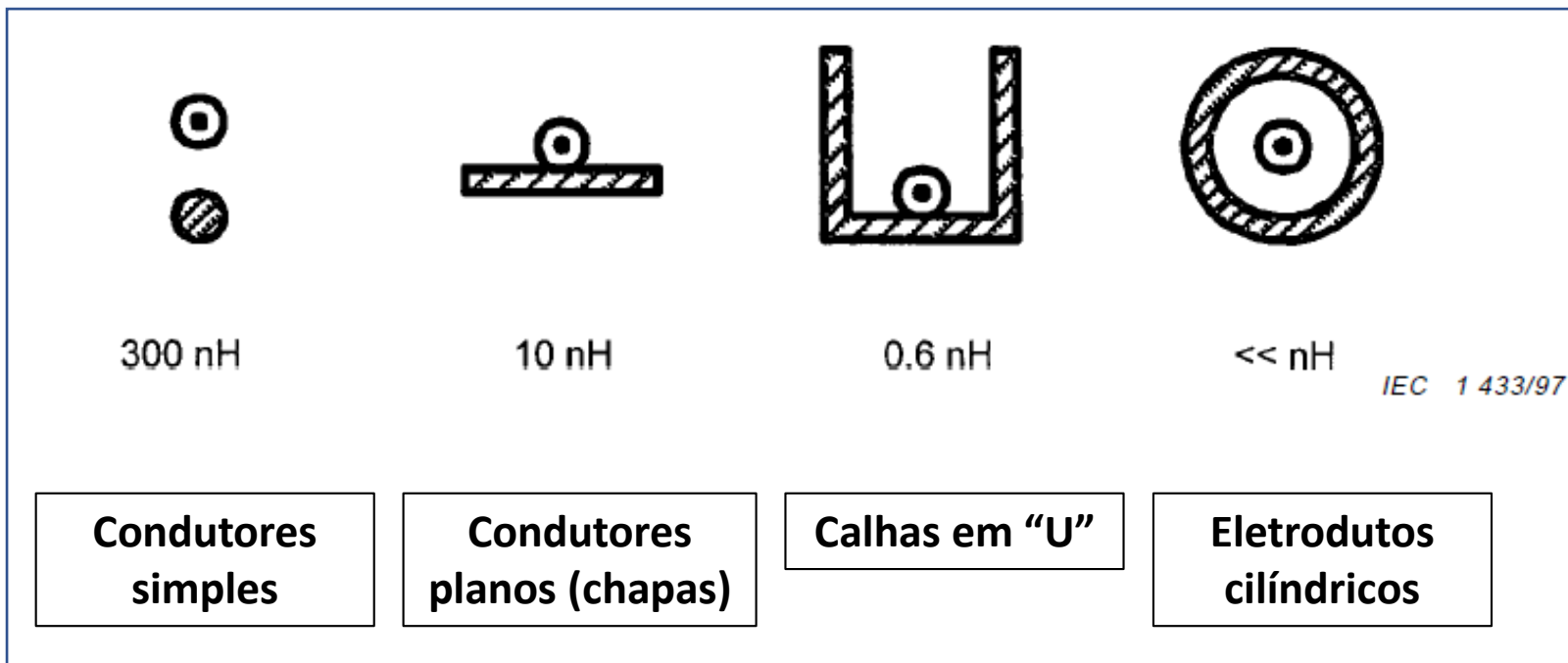
**Continuidade elétrica longitudinal assegurada**



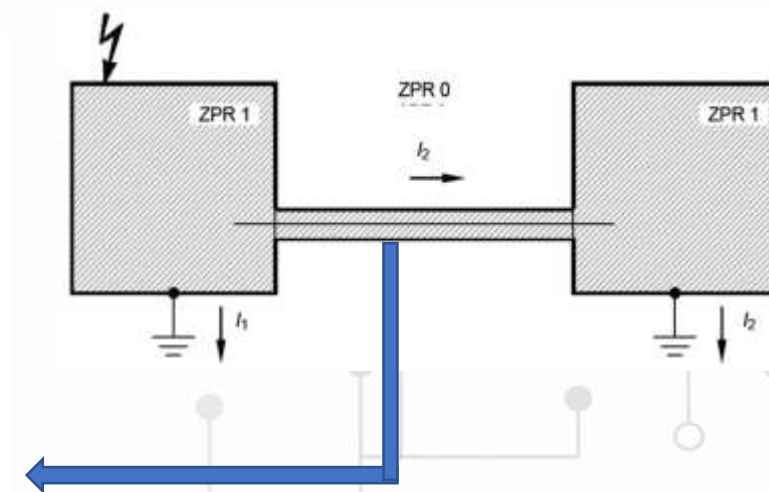
## A Infraestrutura com Blindagem

### Impedância de Transferência da blindagem

Algumas formas básicas para se implementar a infra blindada



Efeito da configuração do condutor de terra paralelo (PEC- parallel earth conductor) na impedância de transferência de infraestrutura - IEC61000-5-2



$$V = M \cdot \frac{d}{dt} I \quad (V)$$

Tensão acoplada na rede blindada



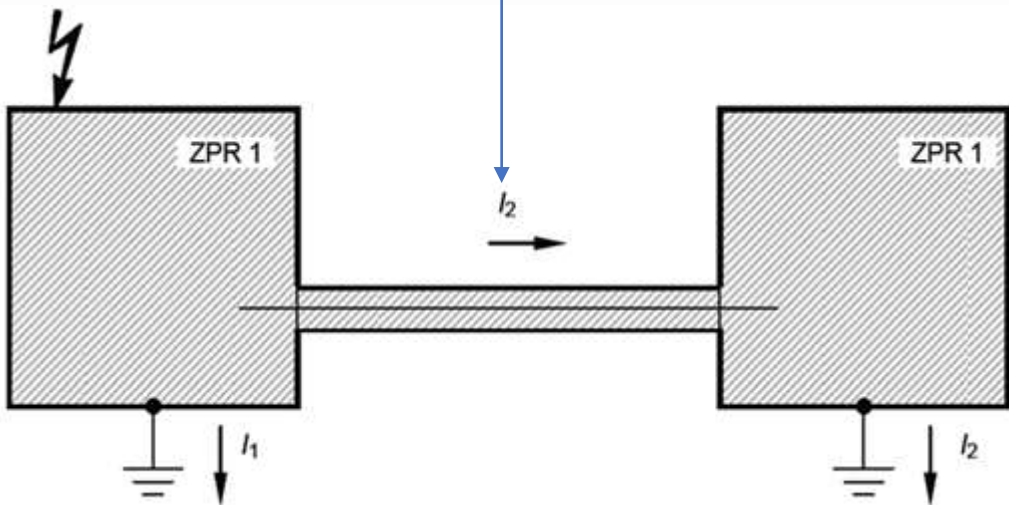
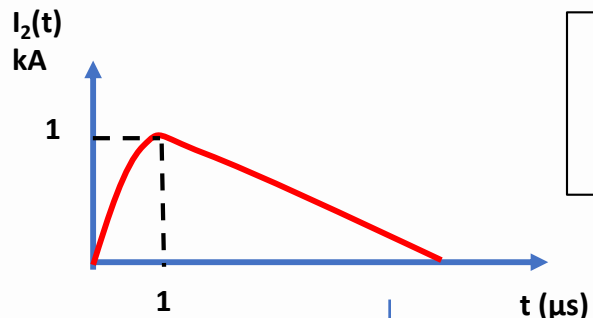
# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## A Infraestrutura com Blindagem

Tensão acoplada na rede blindada

$$V = M \cdot \frac{dI}{dt} \quad (V)$$



Impedância de Transferência da blindagem



$$V = 0V$$



$$V := 300 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{10^3}{10^{-6}} \quad V = 300 \quad V/m/kA$$



$$V := 10 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{10^3}{10^{-6}} \quad V = 10 \quad V/m/kA$$



$$V := 0.6 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{10^3}{10^{-6}} \quad V = 0.6 \quad V/m/kA$$





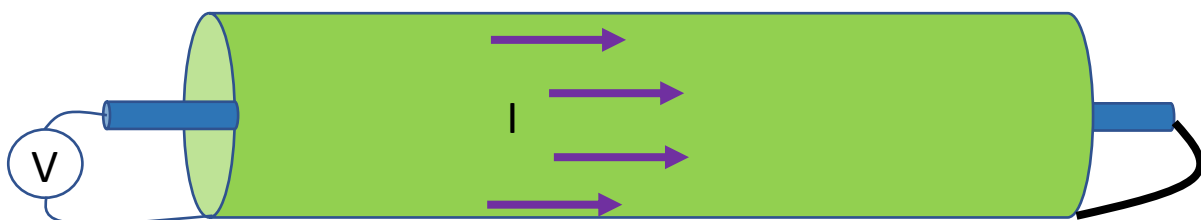
# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

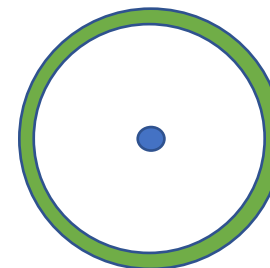
## A Infraestrutura com Blindagem

### Impedância de Transferência da blindagem

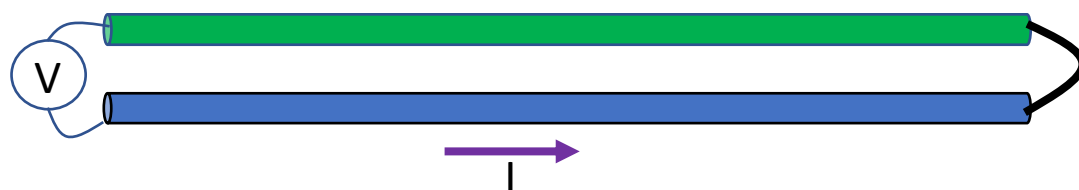
Tubo de aço emenda de rosca



$M \approx 0 \mu\text{H/m}$



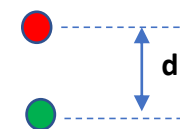
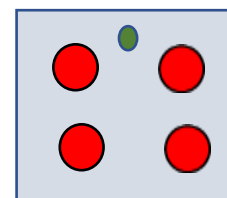
Condutor PEC simples



$d = 0,35\text{m}$

$M \approx 0,85 \mu\text{H/m}$

$d = 0,35\text{m}$



$$V = M \cdot \frac{d}{dt} I \quad (\text{V})$$

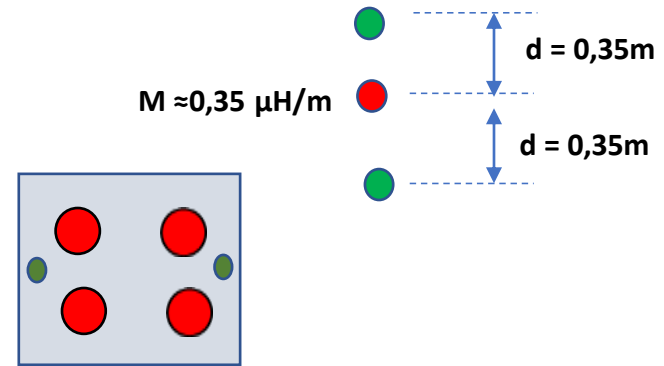
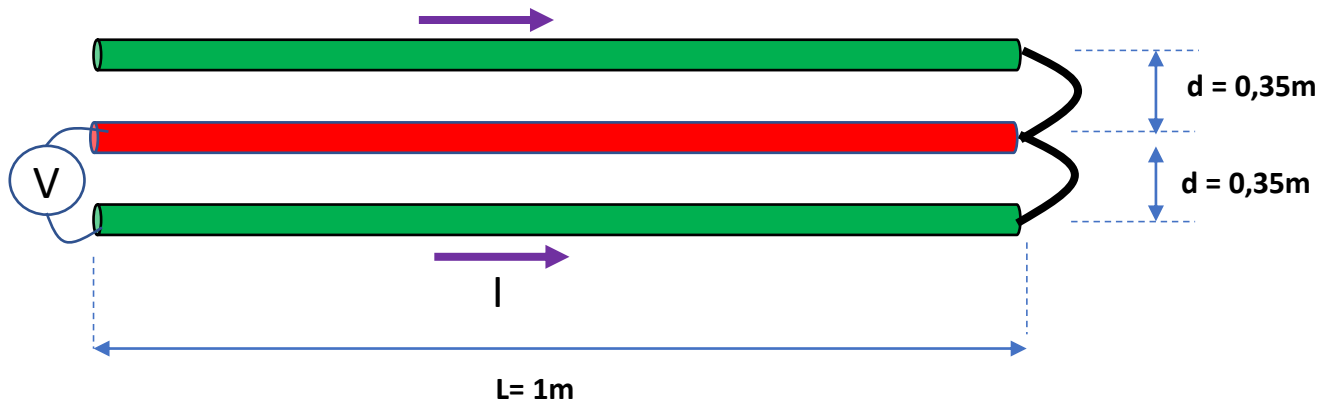
Tensão acoplada na rede blindada



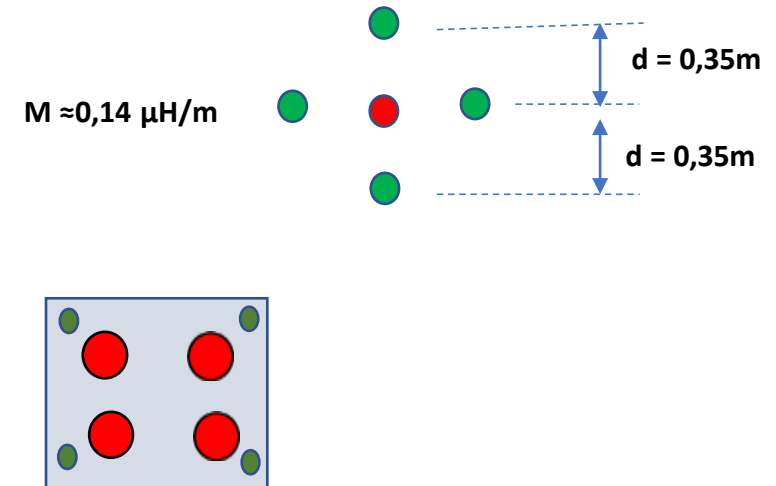
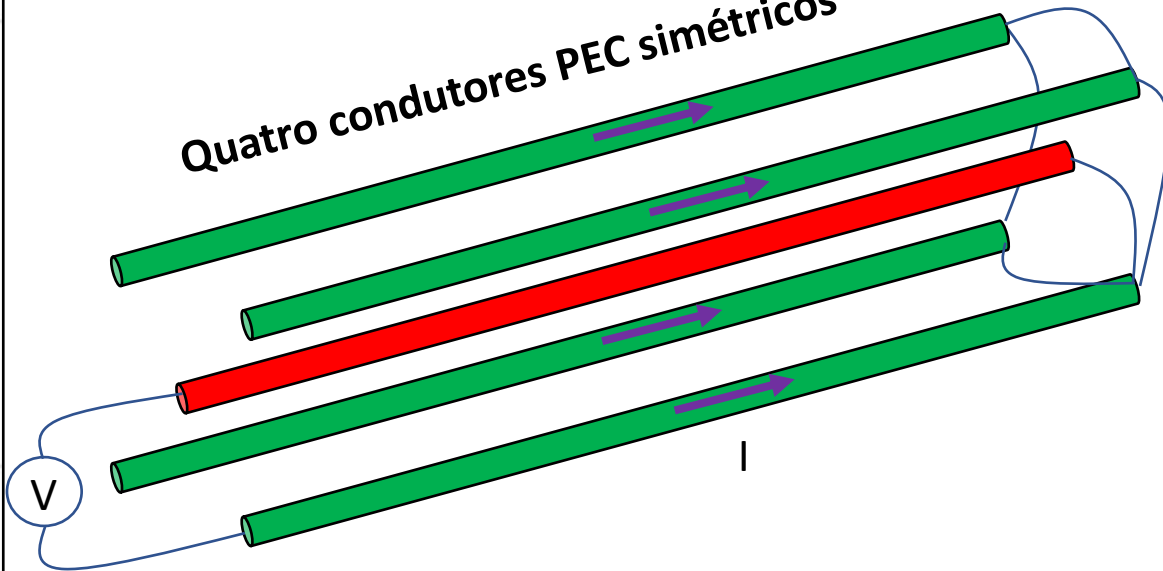
## A Infraestrutura com Blindagem

### Impedância de Transferência da blindagem

Dois condutores PEC simétricos



Quatro condutores PEC simétricos

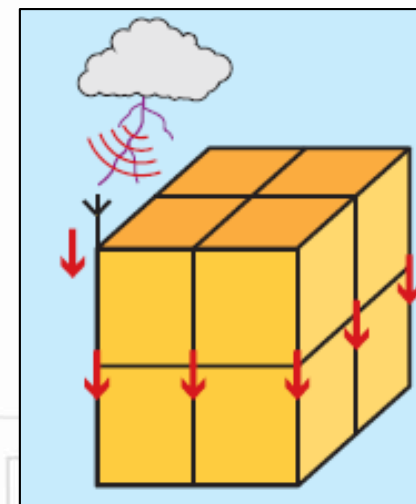
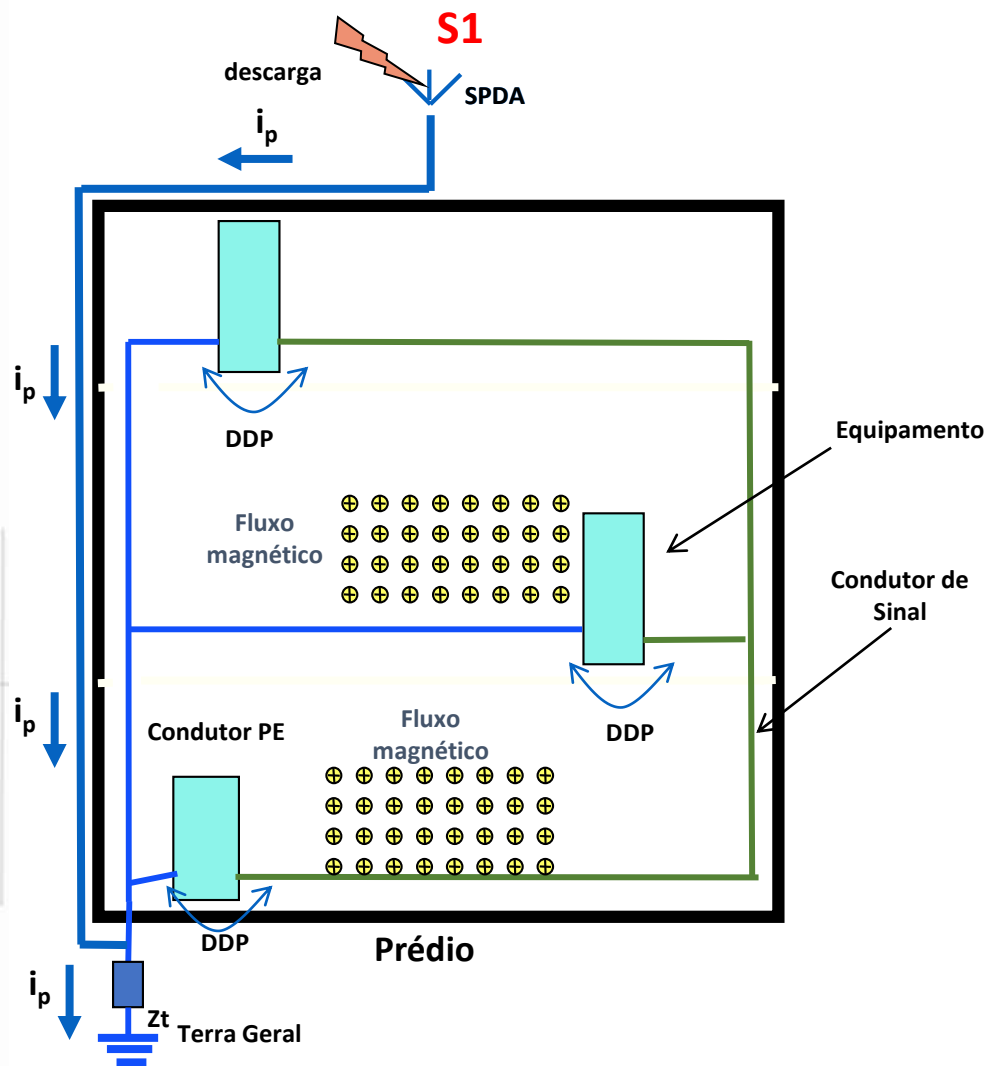




# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## A Descarga Direta na Estrutura- S1



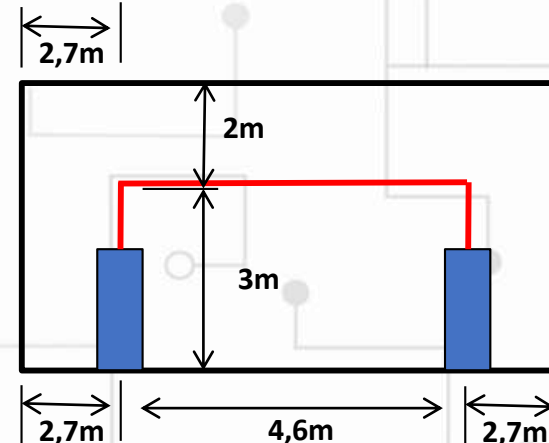
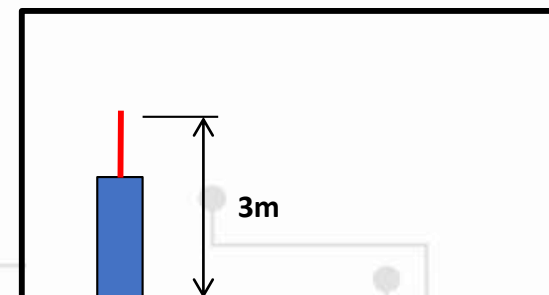
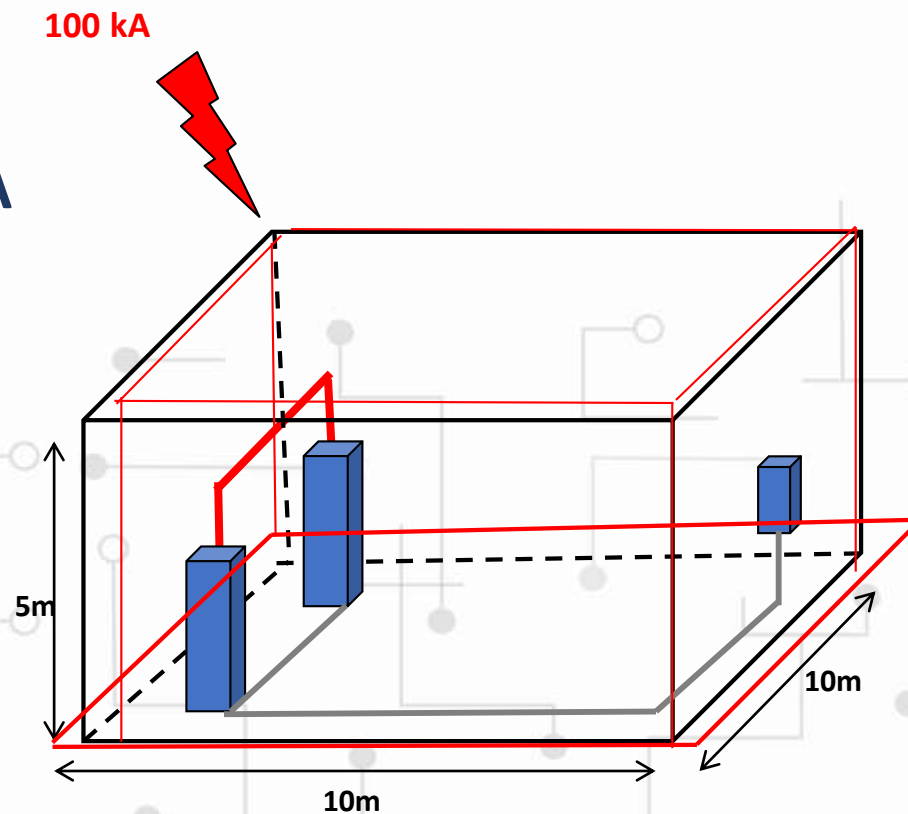


## A Descarga Direta na Estrutura- S1

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

$V = 23,9$  [kV] (tensão induzida)  
 $I = 1,8$  [kA] (corrente de curto)

Edificação de um pavimento com SPDA simples  
Infra sem blindagem



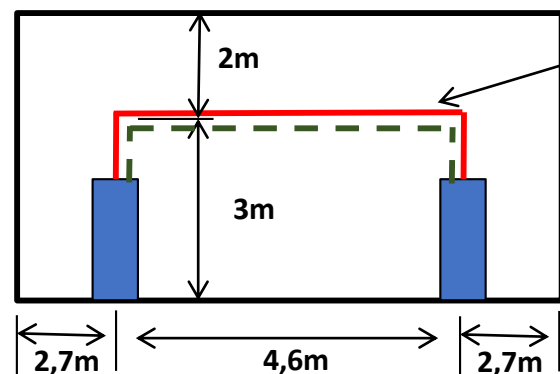
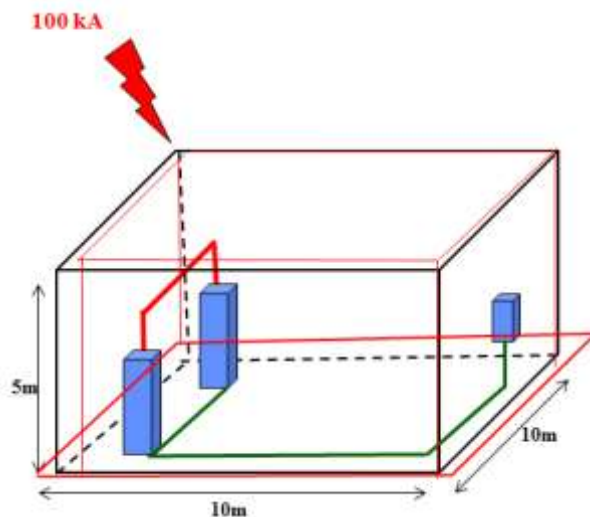


## A Descarga Direta na Estrutura- S1

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Descarga Direta de 100 [kA]

Edificação de um pavimento com SPDA simples  
Infra utilizada como blindagem



Infra Blindagem

Inicialmente era 24kV [kV]

$$\begin{aligned} \text{Mutua}_{\text{chapa}} &:= 10 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \\ \text{Mutua}_{\text{condutor}} &:= 300 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \\ \text{Mutua}_{\text{calha}} &:= 0.6 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \end{aligned}$$

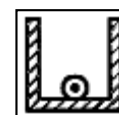
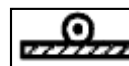
Fonte: IEC 61000-5-2

$$\begin{aligned} V_{\text{surtoChapa}}(L, I) &:= \text{Mutua}_{\text{chapa}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \\ V_{\text{surtoCond}}(L, I) &:= \text{Mutua}_{\text{condutor}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \\ V_{\text{surtoCalha}}(L, I) &:= \text{Mutua}_{\text{calha}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \end{aligned}$$

$$V_{\text{surtoChapa}}(10.6, 1800) = 190.8 \quad (\text{V})$$

$$V_{\text{surtoCond}}(10.6, 1800) = 5.724 \times 10^3 \quad (\text{V})$$

$$V_{\text{surtoCalha}}(10.6, 1800) = 11.448 \quad (\text{V})$$

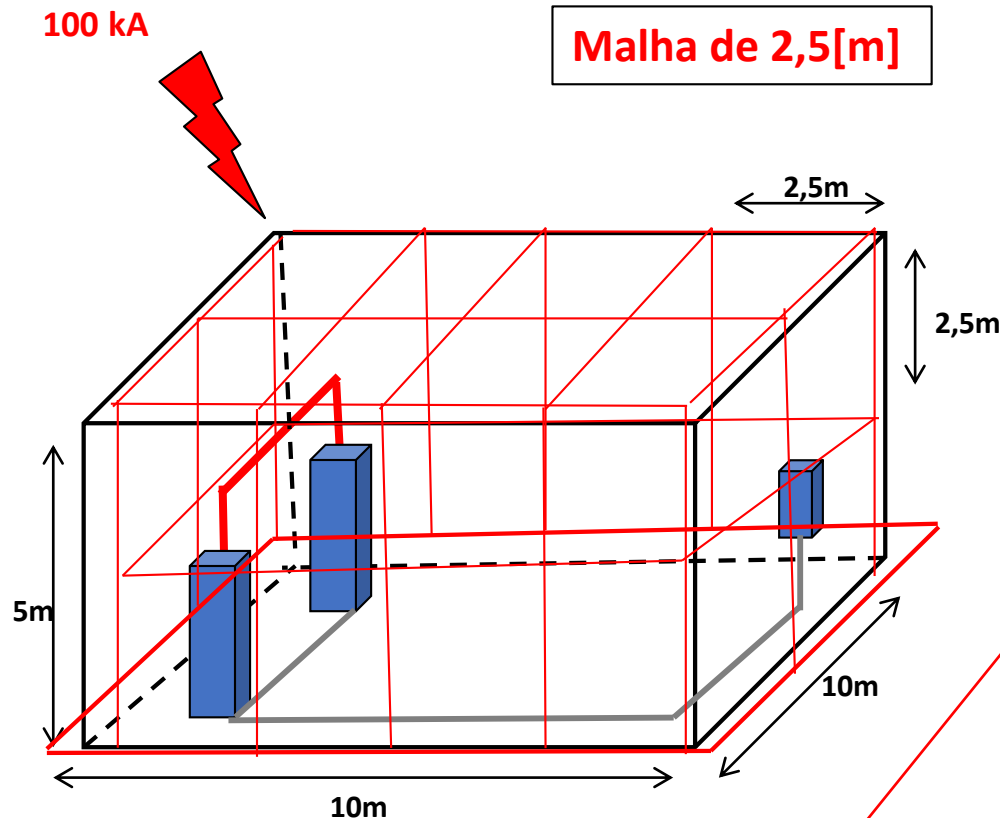




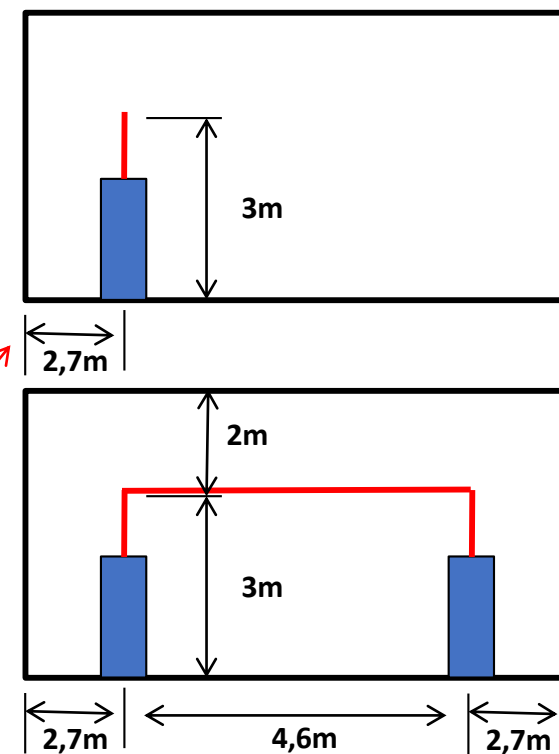
## A Descarga Direta na Estrutura- S1

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Edificação de um pavimento com SPDA melhorado  
Malha de 2,5m  
Infra utilizada sem blindagem



$V = 4,7$  [kV] (tensão induzida)  
 $I = 361$  [A] (corrente de curto)



Inicialmente era 24kV [kV]

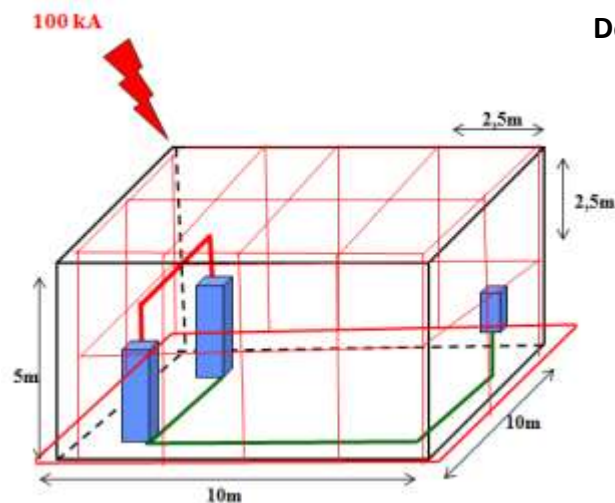
2,66m (mínimo)  
Para se aplicar esta metodologia  
( $d_{s1}$ )



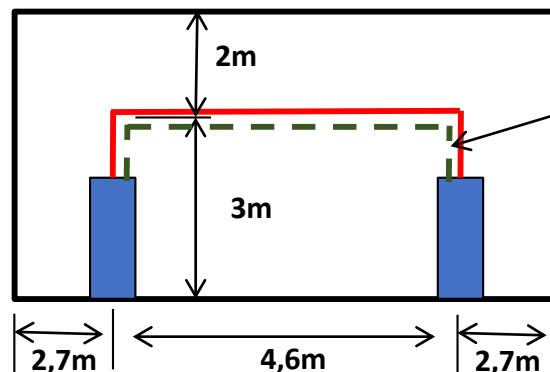
## A Descarga Direta na Estrutura- S1

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Edificação de um pavimento com SPDA melhorado  
 Malha de 2,5m  
Infra utilizada com blindagem



Descarga Direta de 100 [kA]



Infra Blindagem

Inicialmente era 4,7kV [kV] ←

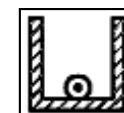
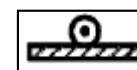
$$\begin{aligned} \text{Mutua}_{\text{chapa}} &:= 10 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \\ \text{Mutua}_{\text{condutor}} &:= 300 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \\ \text{Mutua}_{\text{calha}} &:= 0.6 \times 10^{-9} \left( \frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{surtoChapa}}(L, D) &:= \text{Mutua}_{\text{chapa}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \\ V_{\text{surtoCond}}(L, D) &:= \text{Mutua}_{\text{condutor}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \\ V_{\text{surtoCalha}}(L, D) &:= \text{Mutua}_{\text{calha}} \cdot L \cdot \frac{I}{10^{-6}} \quad (\text{V}) \end{aligned}$$

$$V_{\text{surtoChapa}}(10.6, 361) = 38.266 \quad (\text{V})$$

$$V_{\text{surtoCond}}(10.6, 361) = 1.148 \times 10^3 \quad (\text{V})$$

$$V_{\text{surtoCalha}}(10.6, 361) = 2.296 \quad (\text{V})$$

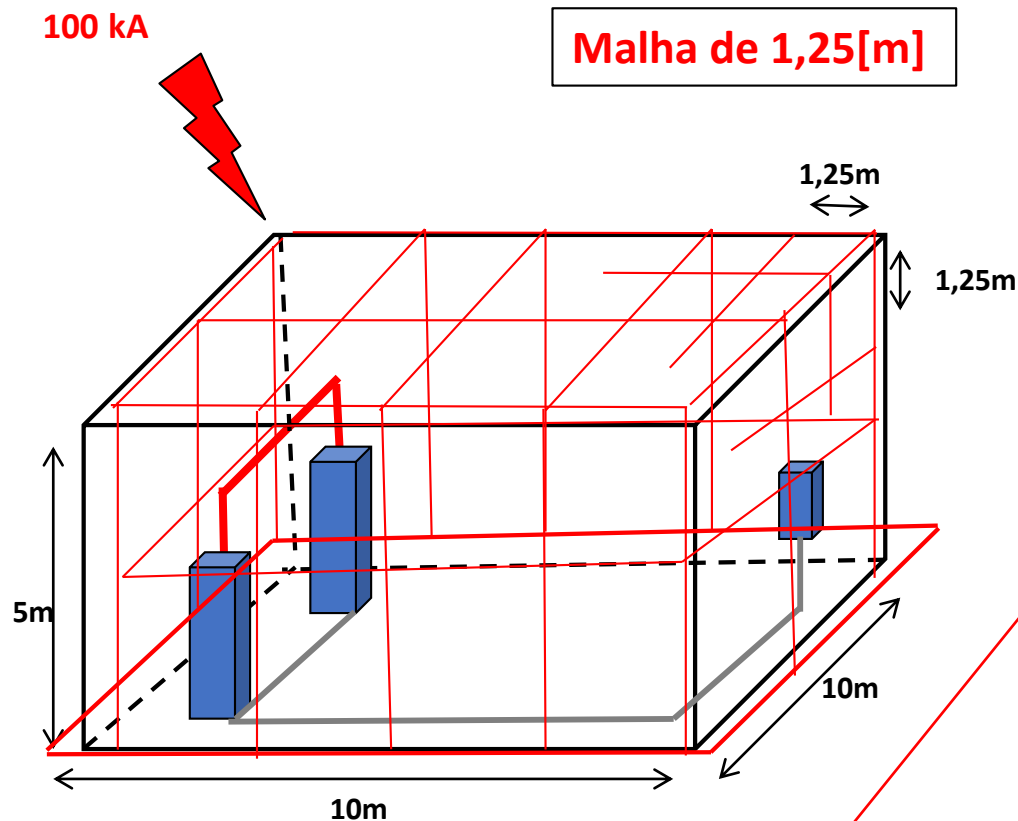




## A Descarga Direta na Estrutura- S1

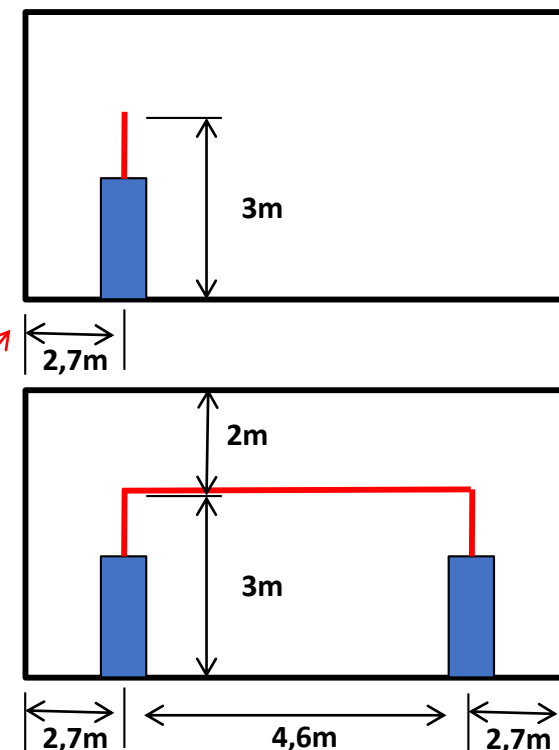
Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Edificação de um pavimento com SPDA melhorado  
Malha de 1,25m  
Infra utilizada sem blindagem



Malha de 1,25[m]

$V = 2,3$  [kV] (tensão induzida)  
 $I = 180$  [A] (corrente de curto)



Inicialmente era 4,7kV [kV]

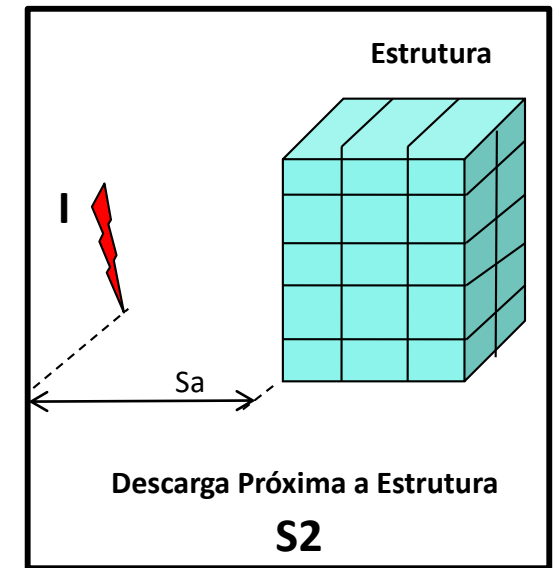
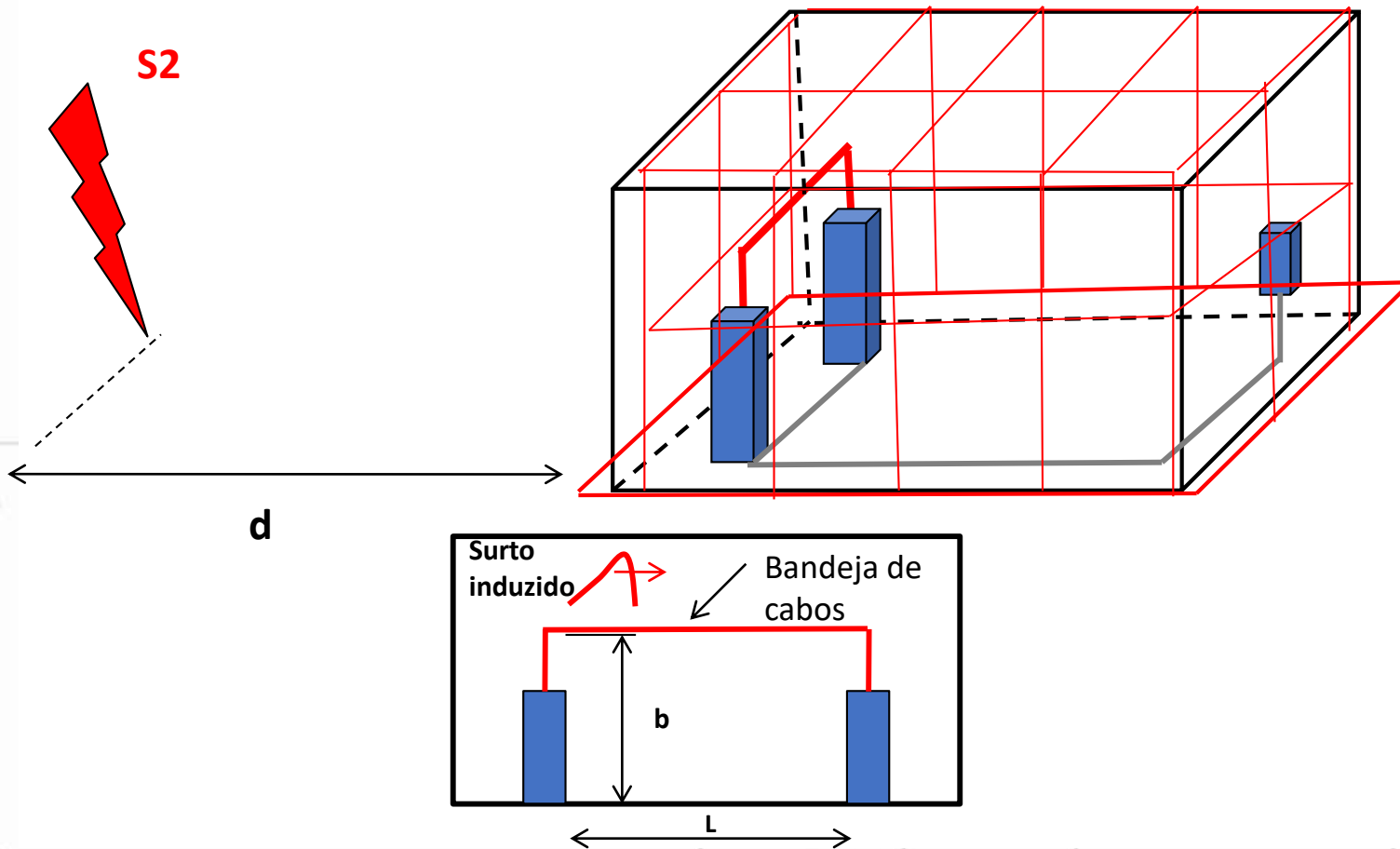
2,1m (mínimo)  
Para se aplicar esta metodologia  
( $d_{s1}$ )





## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

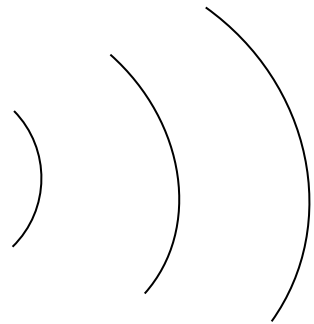
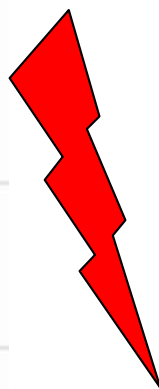




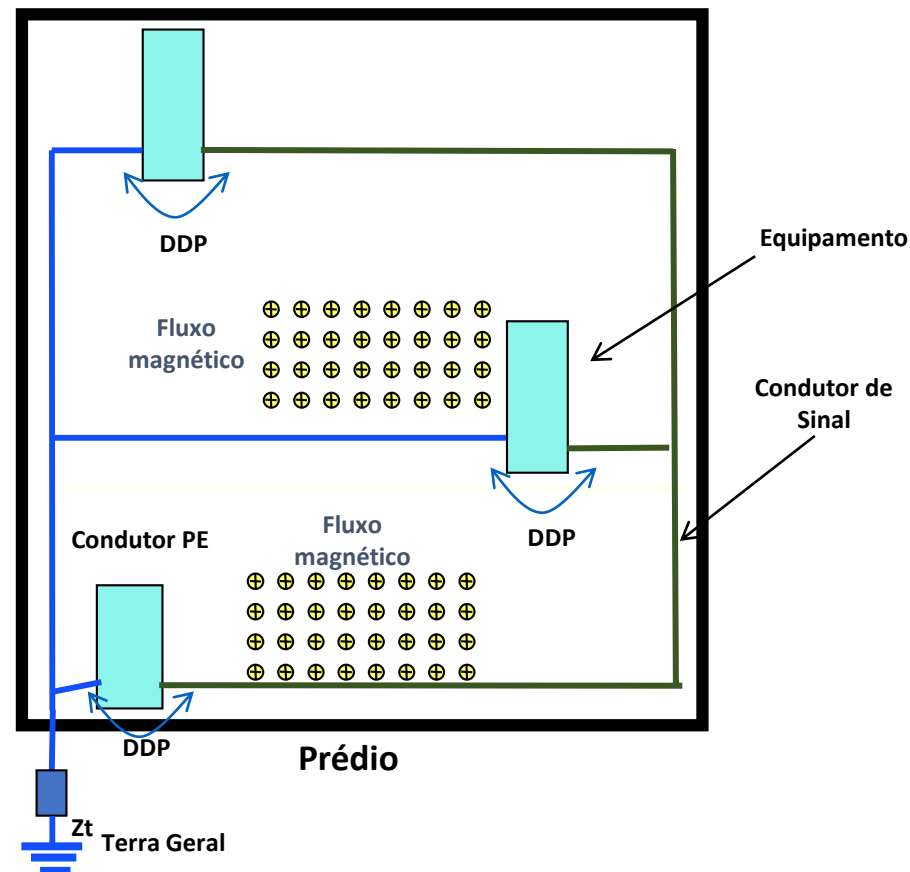
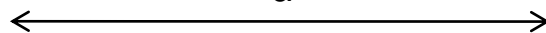
## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

S2



d





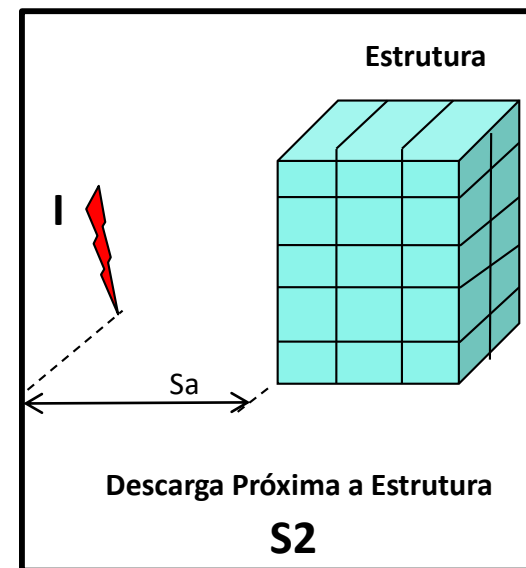
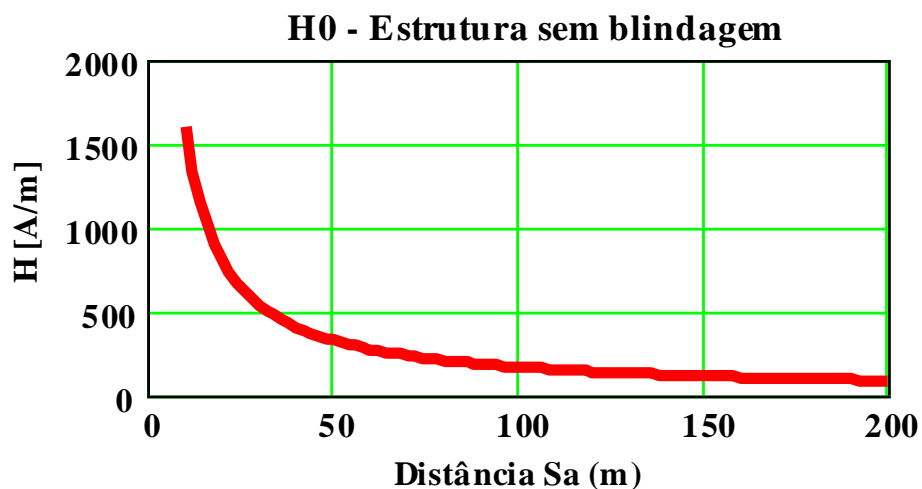
## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Variação de “H<sub>0</sub>” com a distancia da descarga atmosférica

$$I_0 = 100 \text{ [kA]}$$

$$H_0 := \frac{I_0}{2 \cdot \pi \cdot s_a} \left( \frac{\text{A}}{\text{m}} \right)$$

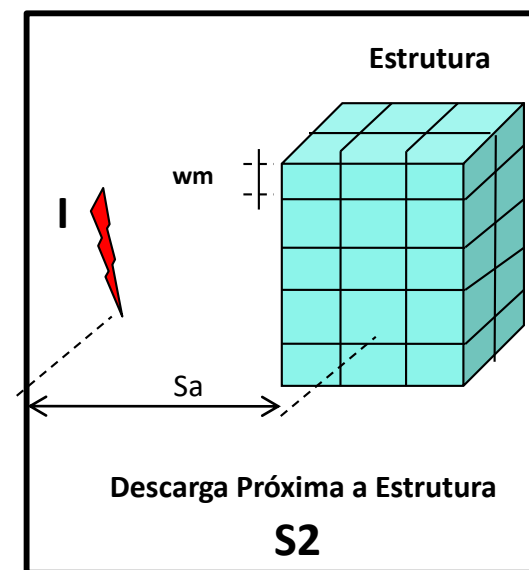
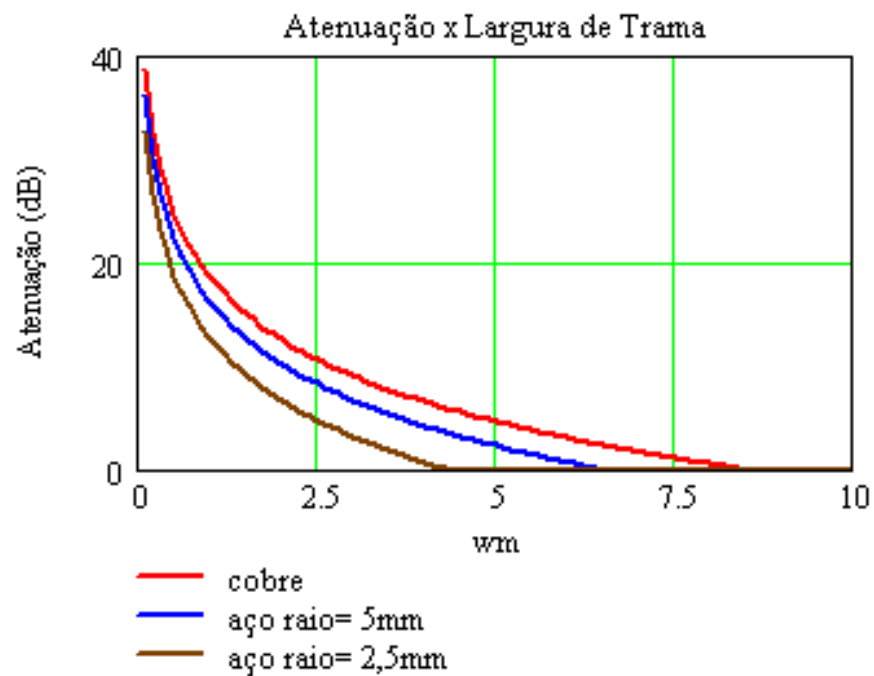




## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Cálculo de atenuação da blindagem espacial tipo trama da ZPR 1 para campos de descargas próximas

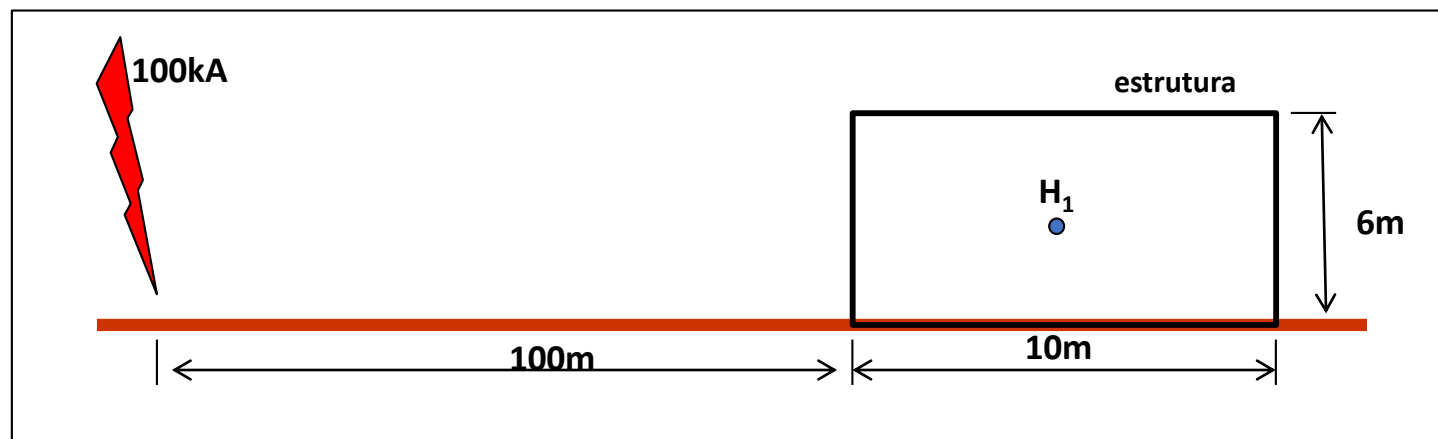




## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Campo H1 em estrutura  
sem blindagem  $W_m > 8,5m$



$s_a := 105$  (m) distância da descarga em rel à estrutura

$$H_0 := \frac{I_0}{2 \cdot \pi \cdot s_a} \left( \frac{A}{m} \right)$$

$$H_0 = 151.576 \left( \frac{A}{m} \right)$$

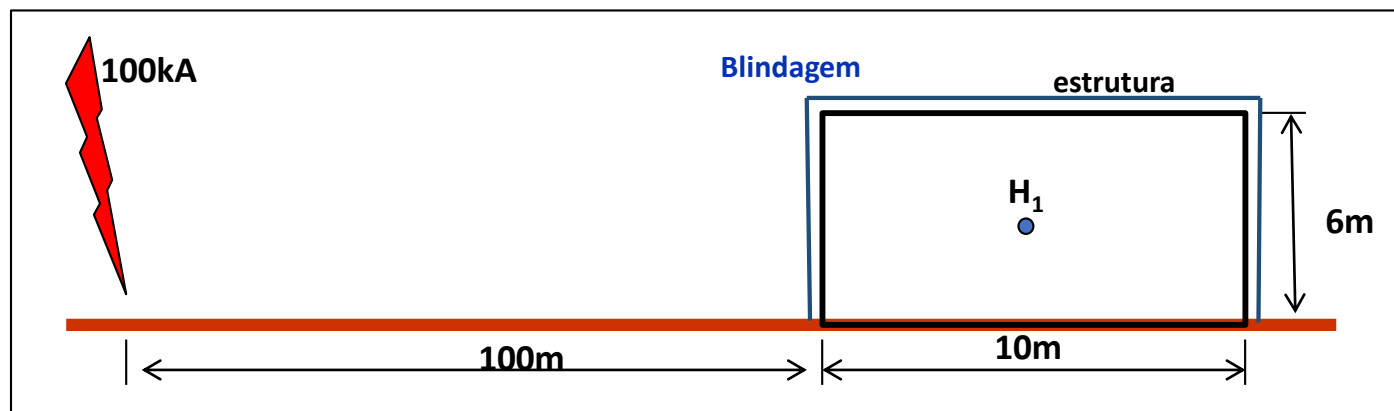
campo maximo interno



## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Campo H1 em estrutura sem blindagem  $W_m = 2m$



$w_m = 2$  (m) trama blindagem de aço  
 $r_c := 0.005$  (m) raio da barra de aço

$$SF_{Aço} := 20 \cdot \log \left( \frac{\frac{8.5}{w_m}}{\sqrt{1 + \frac{18 \cdot 10^{-6}}{r_c^2}}} \right)$$

$SF_{Aço} = 10.212$  (dB)

$$\frac{151.576}{10^{20} \cdot SF} = 46.841 \left( \frac{A}{m} \right)$$



## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

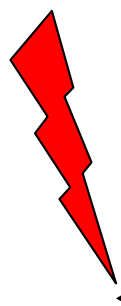
Descarga próxima à edificação – 100 [kA]

Edificação de um pavimento  
com SPDA simples  
Infra sem blindagem

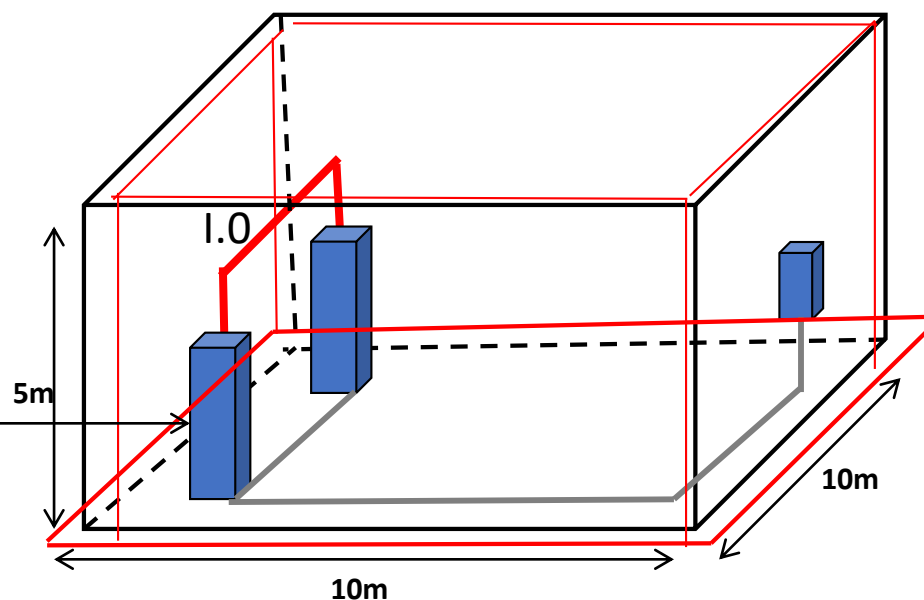
Malha > 8,5[m]

$V = 2,6[\text{kV}]$  (tensão induzida)  
 $I = 142,6[\text{A}]$  (corrente de curto)

100 kA



100m



Sem efeito de blindagem



## A Descarga Próxima à Estrutura- S2

Conforme NBR 5419- Parte 4 : Anexo A

Descarga próxima à edificação – 100 [kA]

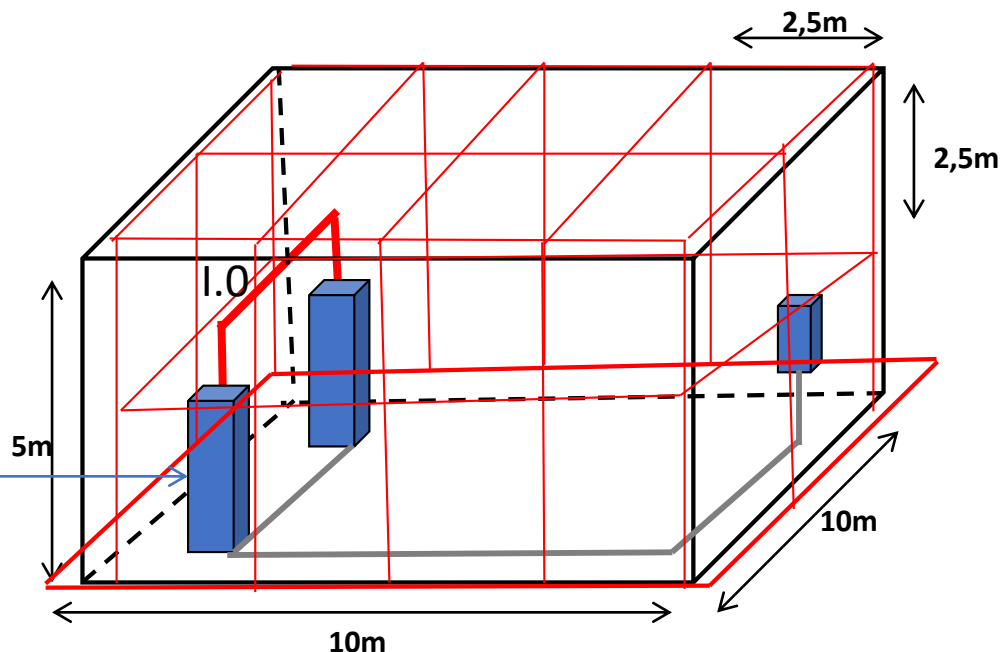
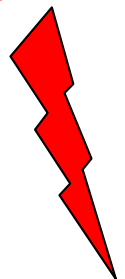
Edificação de um pavimento  
com SPDA melhorado  
Malha de 2,5m  
Infra sem blindagem

Malha = 2,5[m]

$V = 773[V]$  (tensão induzida)  
 $I = 42 [A]$  (corrente de curto)

V era 2,6[kV]

100 kA



Blindagem de 10,6 [dB]



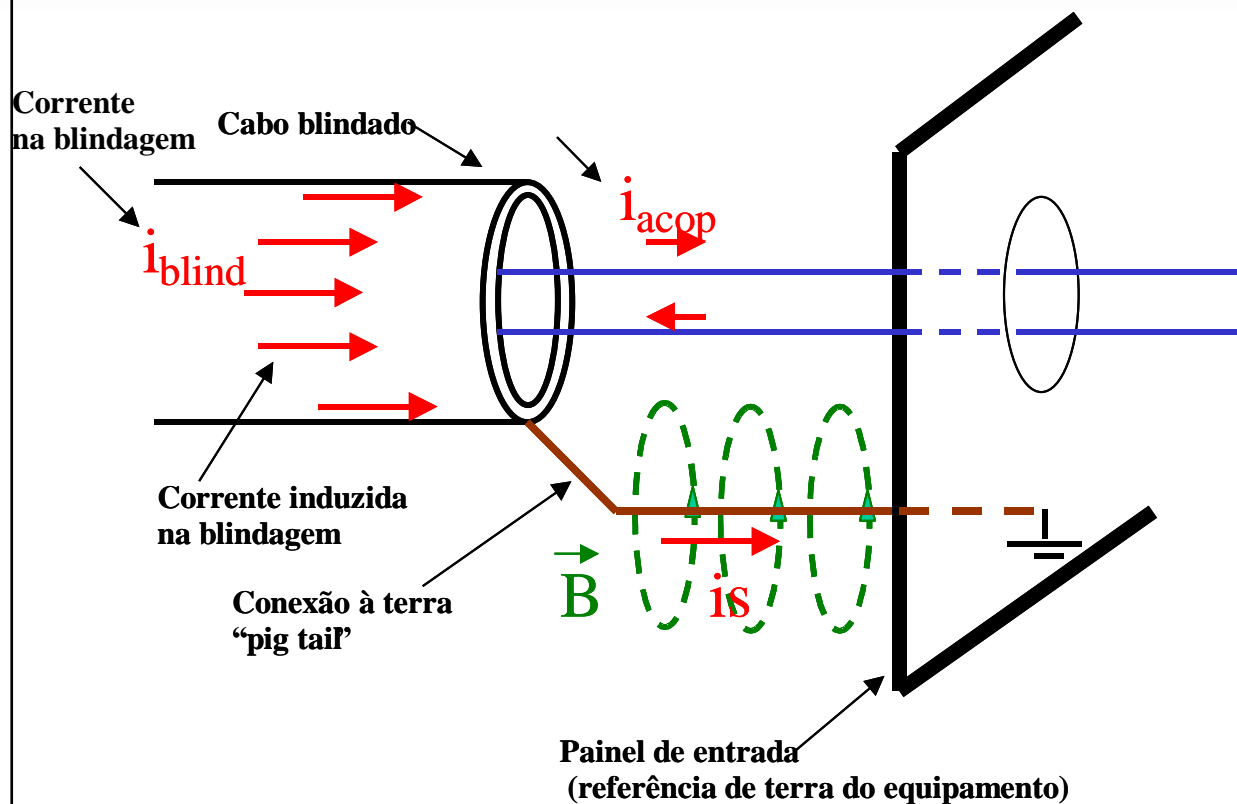


# CINASE

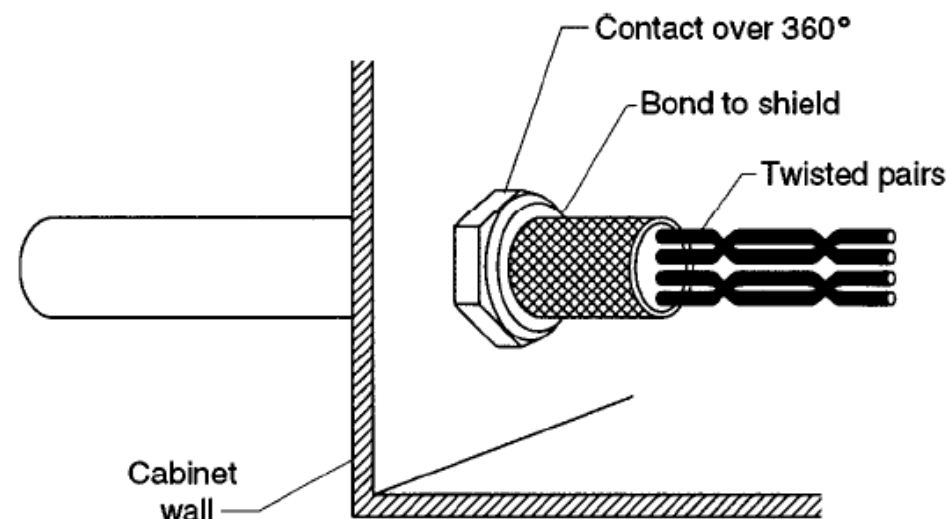
CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

## A Infraestrutura com Blindagem

### Terminação elétrica incorreta da blindagem do cabo



### Conexão ótima conexão de um cabo blindado ao gabinete



IEC 1430/97

IEC 61000-5-2 - Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling



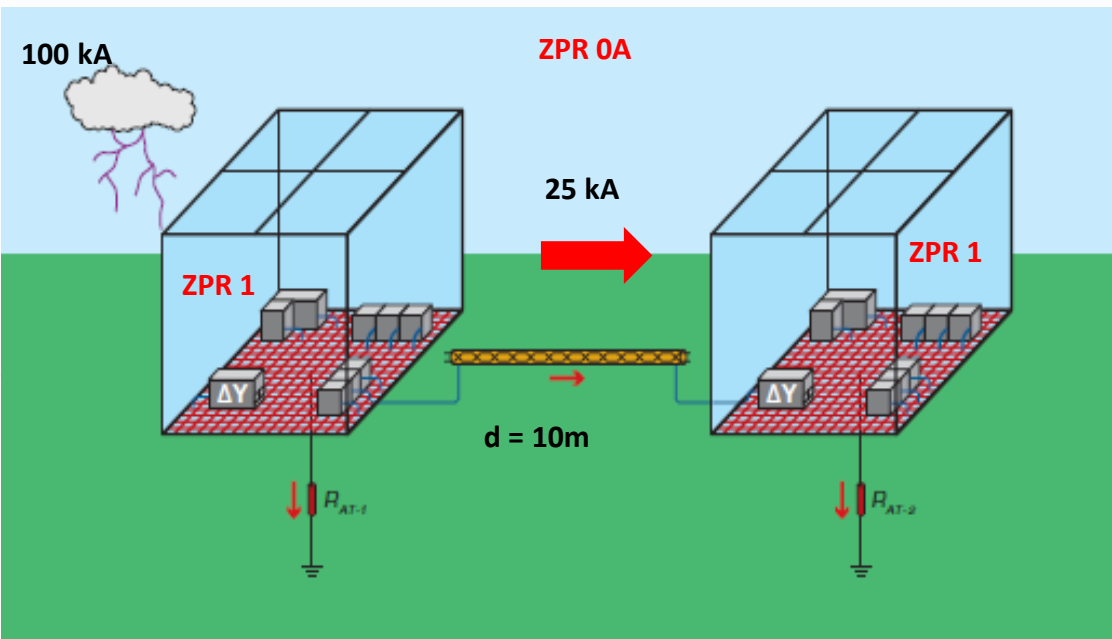
# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

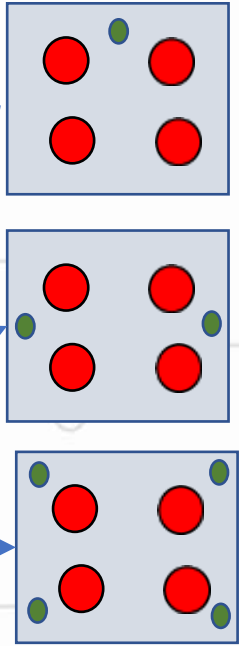
## Extensão de ZPR 1

Com 2 serviços entrantes  
Infra com 4 dutos de aço

● Duto dielétrico  
● PEC



|  |                      |                                  |                              |
|--|----------------------|----------------------------------|------------------------------|
| $I_p := 100 \text{ kA}$  | Corrente da descarga | $\frac{100}{2} = 50 \text{ kA}$  | Corrente distribuída         |
| $\frac{50}{2} = 25 \text{ kA}$                                       | 2 serviços entrantes | $\frac{25}{4} = 6.25 \text{ kA}$ | 4 dutos                      |
| $\frac{6.5 \cdot 10^3}{10^{-6}} \cdot 0.85 \cdot 10^{-6} \cdot 10 =$ |                      | $5.525 \times 10^4 \text{ V}$    | Conductor PEC simples        |
| $\frac{6.5 \cdot 10^3}{10^{-6}} \cdot 0.35 \cdot 10^{-6} \cdot 10 =$ |                      | $2.275 \times 10^4 \text{ V}$    | Arranjo com 2 PEC simétricos |
| $\frac{6.5 \cdot 10^3}{10^{-6}} \cdot 0.14 \cdot 10^{-6} \cdot 10 =$ |                      | $9.1 \times 10^3 \text{ V}$      | Arranjo com 4 PEC simétricos |
|  |                      | $0 \text{ V}$                    | Tubulação de aço roscável    |



**Solução viável**



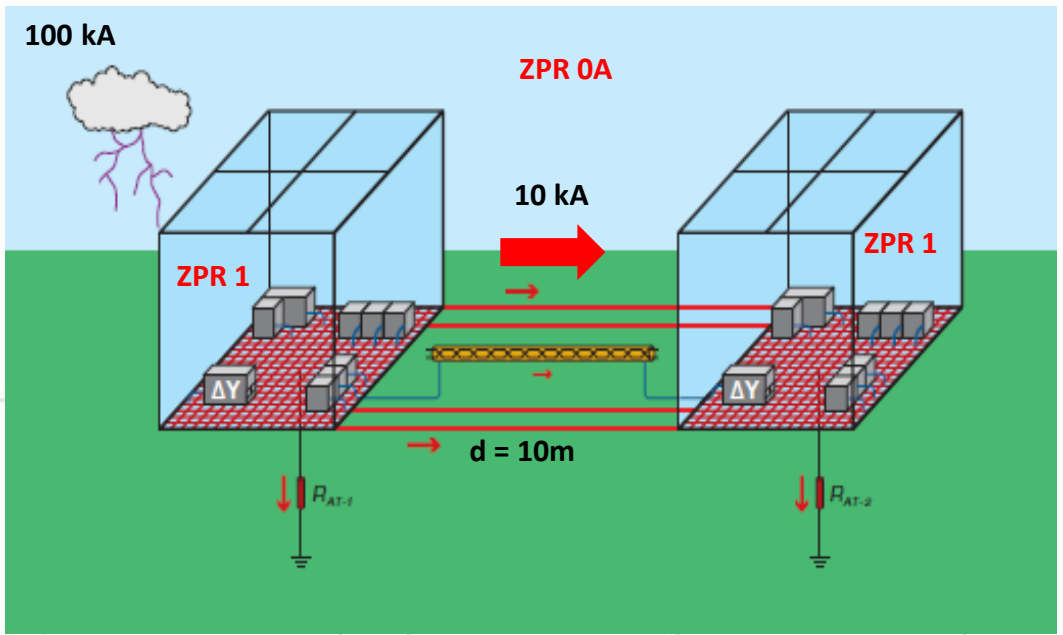
# CINASE

CONGRESSO & EXPOSIÇÃO

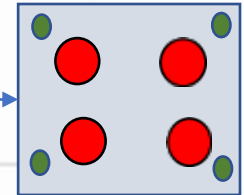
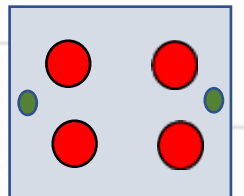
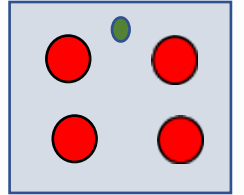
## Extensão de ZPR 1

Com 5 serviços entrantes  
Infra com 4 dutos de aço

● Duto dielétrico  
● PEC



|                                  |    |   |                      |    |                              |
|----------------------------------|----|---|----------------------|----|------------------------------|
| $I_p := 100$                     | kA | Corrente da descarga                                    | $\frac{100}{2} = 50$ | kA | Corrente distribuída         |
| $\frac{50}{5} = 10$              | kA | 5 serviços entrantes                                    | $\frac{10}{4} = 2.5$ | kA | 4 dutos                      |
| $\frac{2.5 \cdot 10^3}{10^{-6}}$ |    | $\cdot 0.85 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2.125 \times 10^4$ | V                    |    | Condutor PEC simples         |
| $\frac{2.5 \cdot 10^3}{10^{-6}}$ |    | $\cdot 0.35 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 8.75 \times 10^3$  | V                    |    | Arranjo com 2 PEC simétricos |
| $\frac{2.5 \cdot 10^3}{10^{-6}}$ |    | $\cdot 0.14 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 3.5 \times 10^3$   | V                    |    | Arranjo com 4 PEC simétricos |
|                                  |    | 0   | V                    |    | Tubulação de aço roscaável   |



Solução viável

Solução viável



**OBRIGADO**

**Ronaldo Kascher Moreira**

**[rkascher@Kascher.com.br](mailto:rkascher@Kascher.com.br)**

**[www.kascher.com.br](http://www.kascher.com.br)**