

## Cálculo das Componentes de Risco

Riscos devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)

1 - Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque (RA)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A$$

Determinação de  $N_D$  A.2.4 Número de eventos perigosos  $N_D$  para a estrutura

$$N_D = N_D \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$$

Fator de utilização da estrutura (Tabela A.1)  
 Área de exposição equivalente em m<sup>2</sup> (Figura A.1, A.2 e A.3)  
 Densidade de descarga atmosféricas para a terra em 1km<sup>2</sup>/ano (Mapas)

**C<sub>D</sub>** 0,5

W 23 m

L 22,5 m

H<sub>m</sub> 26 m**A<sub>0</sub>** 26729 m<sup>2</sup>**N<sub>s</sub>** 9 raios por m<sup>2</sup> por ano**N<sub>D</sub>** 0,120 raios por ano

Quanto tempo um raio demorará para atingir a estrutura?

**t** 8,31 anosTabela A.1 – Fator de localização da estrutura C<sub>D</sub>

Localização relativa	C <sub>D</sub>
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

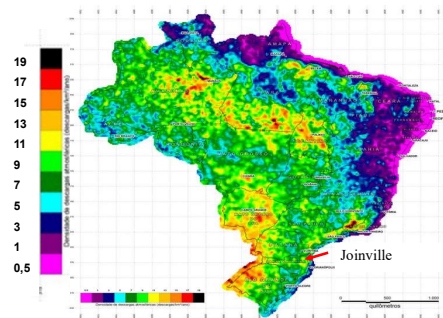
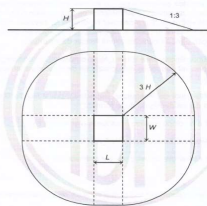
## A.2.1.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L, largura W, e altura H em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada por:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$$

(A.2)

onde L, W e H são expressos em metros (ver Figura A.1).

Determinação de  $P_A$ B.2 Probabilidade  $P_A$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

$$P_A = P_{TA} \times P_B$$

Fator que depende do nível de proteção do SPDA (Tabela B.2)

Fator que depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo (Tabela B.1)

**P<sub>TA</sub>** 1**P<sub>A</sub>** 1**P<sub>A</sub>** 1Tabela B.1 – Valores de probabilidade  $P_{TA}$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	$P_{TA}$
Nenhuma medida de proteção	1
Aviões de alerta	10 <sup>-1</sup>
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10 <sup>-2</sup>
Equipotencialização efetiva do solo	10 <sup>-3</sup>
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Tabela B.2 – Valores de probabilidade  $P_B$  dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	$P_B$
Estrutura não protegida por SPDA	I	1
	IV	0,2
	III	0,1
Estrutura protegida por SPDA	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

NOTA 1: Valores de  $P_B$  diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação detalhada considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de interrupção definidos na ABNT NBR 5419-1.

NOTA 2: As características do SPDA, incluindo aquelas de DPS para ligação equipotencial para descarga atmosférica, são descritas na ABNT NBR 5419-3.

Determinação de  $L_A$ 

C.3 Perda de vida humana (L1)

$$L_A = r_t \times L_T \times \left( \frac{n_z}{n_t} \right) \times \left( \frac{t_z}{8760} \right)$$

Número de pessoas na zona (dado de projeto)  
 Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas (dado de projeto)  
 Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto)  
 Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2)  
 Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3)

**r<sub>t</sub>** 0,001**L<sub>T</sub>** 0,01**n<sub>t</sub>** 120**n<sub>z</sub>** 120**t<sub>z</sub>** 8760 h

(365 dias)

**L<sub>A</sub>** 1,00E-05Tabela C.3 – Fator de redução  $r_t$  em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície <sup>a</sup>	Resistência de contato k Ω <sup>a</sup>	$r_t$
Agricultura, concreto	≤ 1	10 <sup>-2</sup>
Marmore, cerâmica	1 – 10	10 <sup>-3</sup>
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10 <sup>-4</sup>
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10 <sup>-5</sup>

<sup>a</sup> Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm<sup>2</sup> comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.<sup>b</sup> Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

## C.3 Perda de vida humana (L1)

O valor de perda  $L_A$  para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.1, considerando que:a) a perda de vida humana é afetada pelas características da zona. Estas são levadas em conta pelos fatores de aumento ( $n_z$ ) e diminuição ( $n_t$ ,  $r_t$ ).Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de  $L_T$ ,  $L_P$  e  $L_O$ 

Tipo de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	10 <sup>-2</sup>	Todos os tipos
	10 <sup>-1</sup>	Risco de explosão
D2 danos físicos	10 <sup>-1</sup>	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
	5 × 10 <sup>-2</sup>	Entretenimento público, igreja, museu
	2 × 10 <sup>-2</sup>	Industrial, comercial
	10 <sup>-2</sup>	Outros
D3 falhas de sistemas internos	10 <sup>-1</sup>	Risco de explosão
	10 <sup>-2</sup>	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
	10 <sup>-3</sup>	Outras partes de hospital

Assim, se pode calcular o valor de  $R_A$ : Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque (RA)**R<sub>A</sub>** 1,20E-062 - Componente relacionado a danos físicos (R<sub>B</sub>)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B$$

**N<sub>D</sub>** 1,20E-01 Já definido

## Determinação de P<sub>B</sub>

P<sub>B</sub> Tabela B.2

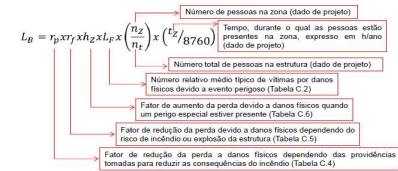
Tabela B.2 – Valores de probabilidade P<sub>B</sub> dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	P <sub>B</sub>
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural	–	0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural	–	0,001

NOTA 1 – Valores de P<sub>B</sub> diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação detalhada considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de intercepção definidos na ABNT NBR 5419-1.

NOTA 2 – As características do SPDA, incluindo aquelas de DPS para ligação equipotencial para descarga atmosférica, são descritas na ABNT NBR 5419-3.

## Determinação de L<sub>B</sub>



r <sub>p</sub>	0,5
r <sub>T</sub>	0,01
h <sub>z</sub>	5
L <sub>F</sub>	0,01
n <sub>1</sub>	120
n <sub>2</sub>	120
L <sub>z</sub>	8760 h

(365 dias)

L<sub>B</sub> 2,5E-04

Então:

R<sub>B</sub> 3,01E-05

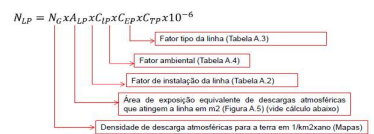
## Riscos devido às descargas atmosféricas em linha conectada à estrutura (S3)

Linha de Energia

### 1 - Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque (R<sub>UP</sub>)

$$R_{UP} = (N_{LP} + N_{UP}) \times P_{UP} \times L_{UP}$$

### Determinação de N<sub>LP</sub> (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)



N<sub>G</sub> 9 descargas por m<sup>2</sup> por ano

L<sub>UP</sub> 200 m

A<sub>UP</sub> 8000 m<sup>2</sup>

C<sub>LP</sub> 1

C<sub>UP</sub> 0,1

C<sub>TP</sub> 1

N<sub>LP</sub> 7,3E-03

N<sub>BU</sub> 0

Não existe estrutura adjacente

### Determinação de P<sub>UP</sub>

$$P_{UP} = P_{TUP} \times P_{LBP} \times P_{LDP} \times C_{LDP}$$

Fator dependente da blindagem, do aterramento e isolamento da linha (Tabela B.4)

Tabela C.4 – Fator de redução r<sub>p</sub> em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r <sub>p</sub>
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático <sup>a</sup>	0,2

<sup>a</sup> Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Tabela C.5 – Fator de redução r<sub>i</sub> em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r <sub>i</sub>
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10 <sup>-1</sup>
	Zonas 2, 22	10 <sup>-3</sup>
	Alto	10 <sup>-1</sup>
Incêndio	Normal	10 <sup>-2</sup>
	Baixo	10 <sup>-3</sup>
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Tabela C.6 – Fator h<sub>z</sub> aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h <sub>z</sub>
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>

Tipo de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L <sub>1</sub>	10 <sup>-2</sup> Todos os tipos
D2 danos físicos	L <sub>2</sub>	10 <sup>-1</sup> Risco de explosão Hospital, hotel, escola, edifício cívico 5 × 10 <sup>-2</sup> Entretimento público, igrejas, museu 2 × 10 <sup>-2</sup> Industrial, comercial
	L <sub>2</sub>	10 <sup>-2</sup> Outros
	L <sub>2</sub>	10 <sup>-1</sup> Risco de explosão
	L <sub>2</sub>	10 <sup>-2</sup> Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
D3 falhas de sistemas internos	L <sub>3</sub>	10 <sup>-3</sup> Outras partes de hospital

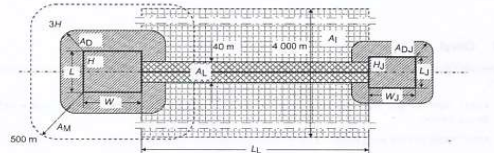


Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes (A<sub>D</sub>, A<sub>M</sub>, A<sub>i</sub>, A<sub>L</sub>)

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L$$

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C<sub>i</sub>

Roteamento	C <sub>i</sub>
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C<sub>E</sub>

Ambiente	C <sub>E</sub>
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C<sub>T</sub>

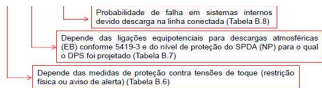
Instalação	C <sub>T</sub>
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P<sub>TU</sub> de uma descarga atmosférica em uma linha que adente a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P <sub>TU</sub>
Nenhuma medida de proteção	1

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P<sub>LD</sub> dependendo da resistência R<sub>B</sub> da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U<sub>0</sub> do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável U <sub>0</sub> em kV
		1 1,5 2,5 4 6
	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou	



Avisos visíveis de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica	$10^{-2}$
Restrições físicas	0

fabla B.7 – Valor da probabilidade  $P_{EB}$  em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	$P_{EB}$
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Linhas de energia ou sinal	com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1
	Blindagem aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9
		$1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04

Tabela B.4 (continuação)

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabearmento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

**Determinação de  $L_{UP}$**

$L_{UP} = r_{LP} \times L_{TTP} \times \left( \frac{n_T}{n_T} \right) \times \left( \frac{t_T}{8760} \right)$

Diagrama de fluxo para a determinação de  $L_{UP}$ :

- Número de pessoas na zona (dado de projeto)
- Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em hano (dado de projeto)
- Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto)
- Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2)
- Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/solo (Tabela C.3)

Valores de  $r_{LP}$ ,  $L_{TTP}$ ,  $n_T$ ,  $t_T$  e  $L_{UP}$ :

$r_{LP}$	0,001
$L_{TTP}$	0,01
$n_T$	120
$t_T$	120
$L_{UP}$	8760 h (365 dias)

**$L_{UP} = 1,0E-05$**

Tabela C.3 – Fator de redução  $r_L$  em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície <sup>b</sup>	Resistência de contato $k \Omega$ <sup>a</sup>	$r_L$
Agricultura, concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Marmore, cerâmica	1 – 10	$10^{-3}$
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	$10^{-4}$
Asfalto, linóleo, madeira	$\geq 100$	$10^{-5}$

<sup>a</sup> Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm<sup>2</sup> comprimido com uma força uniforme de 500 N e um porto considerado no infinito.

<sup>b</sup> Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de  $L_T$ ,  $L_F$  e  $L_O$

Tipos de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	$L_T$	$10^{-2}$ Todos os tipos
D2 danos físicos	$L_F$	$10^{-1}$ Risco de explosão
		$10^{-1}$ Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		$5 \times 10^{-2}$ Entretenimento público, igreja, museu
		$2 \times 10^{-2}$ Industrial, comercial
		$10^{-2}$ Outros
D3 falhas de sistemas internos	$L_O$	$10^{-1}$ Risco de explosão
		$10^{-2}$ Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		$10^{-3}$ Outras partes de hospital

Então:

**$R_{LP} = 7,20E-08$**

2 - Componente relacionado a danos físicos ( $R_{VP}$ )

$$R_{VP} = (N_{LP} + N_{DLP}) \times P_{VP} \times L_{VP}$$

→ Determinação de  $N_{LP}$  (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

**$N_{LP} = 7,2E-03$**  Já calculado

**$N_{DL} = 0$**  Não existe estrutura adjacente

Determinação de  $P_{VP}$

$$P_{VP} = P_{EBP} \times P_{LDP} \times C_{LDP}$$

**B.7 Probabilidade  $P_V$  de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos**

Os valores da probabilidade  $P_V$  de danos físicos devido a uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha de acordo com a ABNT NBR 5419-3.

NOTA Um sistema contornado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 não é necessário para reduzir  $P_V$ ; neste caso, DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-3 são suficientes.

O valor de  $P_V$  é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.9)$$

onde

$P_{EB}$  depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de  $P_{EB}$  são dados na Tabela B.7;

$P_{LD}$  é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de  $P_{LD}$  são dados na Tabela B.8;

$C_{LD}$  é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolação da linha. Valores de  $C_{LD}$  são dados na Tabela B.4.

**$P_{LDP} = 1$**

**$P_{LDP} = 1$**

**$C_{LDP} = 1$**

**$P_{VP} = 1,00$**

Tabela B.7 – Valor da probabilidade  $P_{EB}$  em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	$P_{EB}$
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Tabela B.8 – Valores da probabilidade  $P_{LD}$  dependendo da resistência  $R_S$  da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso  $U_W$  do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável $U_W$ em kV				
		1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1
	Blindagem aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9
		$1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3
	$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Tabela B.4 – Valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Tabela B.4 (continuação)

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabearmento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Determinação de  $L_{VP}$

Segundo a norma:  $L_V = L_B$

$L_{VP} = 2,5E-04$

Então:

$R_{VP} = 1,80E-06$

Riscos devido às descargas atmosféricas em linha conectada à estrutura (S3)

Linha de Sinal - Telefonia

1 - Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque ( $R_{ur}$ )

$$R_{UT} = (N_{LT} + N_{DIT}) \times P_{UT} \times L_{UT}$$

Determinação de NLT (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

$$N_{LT} = N_G \times A_{LT} \times C_{IT} \times C_{ET} \times C_{TT} \times 10^{-6}$$

Fator tipo da linha (Tabela A.3)

Fator ambiental (Tabela A.4)

Fator de instalação da linha (Tabela A.2)

Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atinge a linha em m<sup>2</sup> (Figura A.5) (vide cálculo abaixo)

Densidade de descarga atmosférica para a terra em 1km<sup>2</sup>xano (Mapas)

$N_G = 9$  descargas por m<sup>2</sup> por ano

$L_T = 100$  m

$A_D = 4000$  m<sup>2</sup>

$C_{IT} = 1$

$C_{ET} = 0,1$

$C_{TT} = 1$

$N_{LT} = 3,60E-03$

$N_{DIT} = 0$

Não existe estrutura adjacente

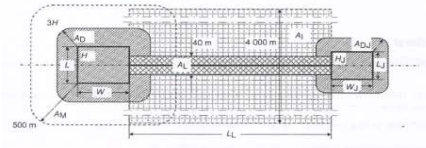


Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes ( $A_D$ ,  $A_U$ ,  $A_L$ ,  $A_R$ )

Para o cálculo de  $A_{LT}$ , se tem pela norma:  $A_{LT} = 40 \times L_{LT}$

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha  $C_I$

Roteamento	$C_I$
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Tabela B.7 – Valor da probabilidade  $P_{EB}$  em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	$P_{EB}$
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Tabela B.8 – Valores da probabilidade  $P_{LD}$  dependendo da resistência  $R_S$  da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso  $U_0$  do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável $U_0$ em kV
		1 1,5 2,5 4 6
	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1 1 1 1 1
	Blindagem aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	50/km < $R_S$ ≤ 20 Ω/km 1 1 0,95 0,9 0,8
		10/km < $R_S$ ≤ 5 Ω/km 0,9 0,8 0,6 0,3 0,1
		$R_S$ ≤ 1 Ω/km 0,6 0,4 0,2 0,04 0,02

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha  $C_E$

Ambiente	$C_E$
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha  $C_T$

Instalação	$C_T$
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/IBT)	0,2

Determinação de  $P_{UT}$

$$P_{UT} = P_{UTT} \times P_{LDT} \times P_{LDT} \times C_{LDT}$$

Fator dependente da blindagem, do aterramento e isolamento da linha (Tabela B.4)

Probabilidade de falha em sistemas internos devido descarga na linha conectada (Tabela B.8)

Depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (ED) conforme 5419-3 e do nível de proteção do SPDA (NP) para o qual o DPS foi projetado (Tabela B.7)

Depende das medidas de proteção contra tensões de toque (restrição física ou aviso de alerta) (Tabela B.6)

$P_{UTT} = 1$

$P_{LDT} = 1$

$P_{LDT} = 1$

$C_{LDT} = 1$

$P_{LDT} = 1,00$

Tabela B.4 – Valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LU}$  dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LU}$
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterreado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

$$L_{UT} = r_{TT} \times L_{TT} \times \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \times \left( \frac{t_z}{8760} \right)$$

Número de pessoas na zona (dado de projeto)

Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas (dado de projeto)

Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto)

Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2)

Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3)

$r_{TT} = 0,001$

$L_{TT} = 0,01$

$n_1 = 120$

$n_2 = 120$

$t_z = 8760$  h

(365 dias)

$L_{UT} = 1,00E-05$

Então:

Tabela C.3 – Fator de redução  $r_i$  em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície <sup>b</sup>	Resistência de contato $k \Omega$ <sup>a</sup>	$r_i$
Agricultura, concreto	≤ 1	10 <sup>-2</sup>
Marmore, cerâmica	1 – 10	10 <sup>-3</sup>
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10 <sup>-4</sup>
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10 <sup>-5</sup>

<sup>a</sup> Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm<sup>2</sup> comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

<sup>b</sup> Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de  $L_1$ ,  $L_F$  e  $L_D$

Tipos de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	$L_1$	10 <sup>-2</sup> Todos os tipos
		10 <sup>-1</sup> Risco de explosão
		10 <sup>-1</sup> Hospital, hotel, escola, edifício cívico
D2 danos físicos	$L_F$	5 × 10 <sup>-2</sup> Entretenimento público, igreja, museu
		2 × 10 <sup>-2</sup> Industrial, comercial
		10 <sup>-2</sup> Outros
		10 <sup>-1</sup> Risco de explosão
D3 falhas de sistemas internos	$L_D$	10 <sup>-2</sup> Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10 <sup>-3</sup> Outras partes de hospital



R<sub>LT</sub> 3,60E-08

2 - Componente relacionado a danos físicos (R<sub>vf</sub>)

$$R_{VT} = (N_{LT} + N_{DIT}) \times P_{VT} \times L_{VP} \times T$$

➤ Determinação de N<sub>LT</sub> (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

N<sub>LT</sub>=N<sub>LFT</sub> 3,60E-03 Já calculado

N<sub>DIT</sub>=N<sub>DIF</sub> 0,00E+00 Já calculado

➤ Determinação de P<sub>VT</sub>

$$P_{VT} = P_{LFT} \times P_{LDT} \times C_{LDT}$$

P<sub>VP</sub> 1,00E+00 Já calculado

P<sub>VT</sub>=P<sub>VP</sub> 1,00E+00

➤ Determinação de L<sub>VP</sub>

Segundo a norma:  $L_V = L_B$

L<sub>V1</sub>=L<sub>VP</sub> 2,50E-04 Já calculado

Então:

R<sub>VT</sub> 9,00E-07

Para a avaliação dos riscos de perda de vida humana (R<sub>f</sub>) para a zona interna da estrutura predial em questão, deve-se resolver a equação:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + (R_{UP1} + R_{UT1}) + (R_{VP1} + R_{VT1})$$

R<sub>A1</sub> 1,20E-06 R<sub>B1</sub> 3,01E-05 R<sub>UP1</sub> 7,20E-08 R<sub>UT1</sub> 3,60E-08 R<sub>VP1</sub> 1,80E-06 R<sub>V11</sub> 9,00E-07

R<sub>I</sub> 3,41E-05 > 1,00E-05

Portanto, há que se observar quais providências são possíveis para que se reduza **R<sub>f</sub>** para um valor inferior a **10<sup>-5</sup>**.

- ✓ Para os fatores **N<sub>D</sub>** (0,117) e **L<sub>B</sub>** (25 x10<sup>-5</sup>) não há o que alterar de forma a contribuir com a redução de **R<sub>B</sub>**;
- ✓ Para **P<sub>B</sub>**, se pode observar que na Tabela B.2, se tomarmos a inclusão de SPDA com nível IV (**P<sub>B</sub>**=0,2) ou III (**P<sub>B</sub>**=0,1), se terá uma excelente contribuição para a redução de **R<sub>B</sub>**;

Determinação de P<sub>B</sub>

P<sub>B</sub> 1,00E-01 Tabela B.2

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P<sub>B</sub> dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe de SPDA	P <sub>B</sub>
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
	IV	0,2
	III	0,1
Estrutura protegida por SPDA	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas (SPDA e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas naturais)		0,001

NOTA 1: Valores de P<sub>B</sub> diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação estrutural considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de interrupção definidos na ABNT NBR 5419-1.

NOTA 2: As características de SPDA, incluindo aquelas de DPS para ligação equipotencial para descarga atmosférica, são descritas na ABNT NBR 5419-2.

L<sub>B</sub> 2,50E-04 Já calculado

N<sub>D</sub> 1,20E-01 Já calculado

Então:

R<sub>B</sub> 3,01E-06

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + (R_{UP1} + R_{UT1}) + (R_{VP1} + R_{VT1})$$

R<sub>A1</sub> 1,20E-06 R<sub>B1</sub> 3,01E-06 R<sub>UP1</sub> 7,20E-08 R<sub>UT1</sub> 3,60E-08 R<sub>VP1</sub> 1,80E-06 R<sub>V11</sub> 9,00E-07

R<sub>I</sub> 7,02E-06 < 1,00E-05 Não há risco com SPDA classe III

