Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas SPDA

NBR 5419-2:2026

Gerenciamento de Risco

Prof. Marcos Fergütz

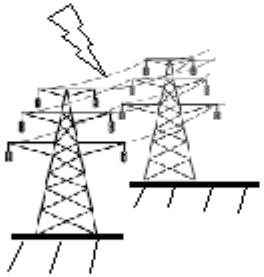
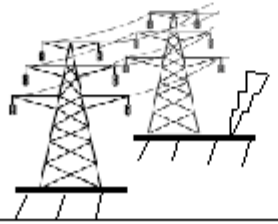
Novembro/2026

DANOS e PERDAS

Relembrando as definições de fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas, vistos no módulo sobre NBR5419-1, temos:

- Fontes de Danos
  - S1: Descargas atmosféricas na estruturas;
  - S2: Descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura;
  - S3: Descarga atmosféricas nas linhas elétricas e/ou tubulações metálicas de entrada;
  - S4: Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e/ou tubulações metálicas de entrada.
- Tipos de Danos
  - D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
  - D2: danos físicos à estrutura devido aos efeitos da corrente da descarga (incluso centelhamento) como fogo, explosão, destruição mecânica e liberação de produtos químicos;
  - D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos devido ao pulso eletromagnético causado por descarga atmosférica (***LEMP – Lightning Eletromagnectic Impulse***).
- Tipos de Perdas
  - L1: perda vida humana (incluso danos permanentes);
  - L3: perda de patrimônio cultural;

Tabela relacionando DANOS e PERDA para estruturas e com diferentes pontos de impacto

Localização do Impacto		Fonte de Dano	Tipo de Dano	Tipo de Perda
Na Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L1, L3, L1†
Próximo da Estrutura		S2	D3	L1†
Nas Linhas elétricas/tubulações metálicas conectadas á Estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L1†, L3, L1†
Próximo de Linhas elétricas ou tubulações metálicas		S4	D3	L1†

† Somente para estruturas com risco de explosão ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

Para cada tipo de perda (L) haverá um Risco (R) a ser calculado, o qual depende de componentes que podem ser agrupados de acordo com a fonte de danos (S) e o tipo de dano (D), conforme segue:

- **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas na estruturas – S1**

a) R_A: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de passo ou toque no interior da estrutura e fora nas zonas até 3m ao redor dos condutores de descida. Perdas do tipo L1 podem ocorrer.

b) R_B: componente relativo à danos físicos devido a centelhamentos perigosos no interior da estrutura, iniciando explosões ou incêndios, o que pode também colocar em risco o meio ambiente. Perdas tipo L1 e L3 podem ocorrer

c) R_C: componente relativo a falhas de sistemas internos devido ao *LEMP*. Perdas tipo L1 podem ocorrer nos casos de estruturas com risco de explosão, ou outra estrutura nas quais falhas de sistema internos possam, imediatamente, colocar em risco a vida humana ou o meio ambiente.

- **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas perto da estrutura- S2**

- R_M: componente relativo a falhas de sistemas internos devido ao LEMP. Perdas tipo L1 podem ocorrer nos casos de estruturas com risco de explosão, ou outras estruturas nas quais falhas de sistemas internos possam, imediatamente, colocar em risco a vida humana ou o meio ambiente.

➢ Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas a uma linha conectada à estrutura – S3

a) R_A: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de passo ou toque no interior da estrutura. Perdas do tipo L1 podem ocorrer.

b) R_V: componente relativo a danos físicos (incêndios ou explosões oriundos de centelhamentos perigosos entre instalações externas e parte metálicas, geralmente no ponto de entrada da linha elétrica na estrutura), devido à corrente de descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas elétricas. Perdas do tipo L1 e L3 podem ocorrer.

c) R_W: componente relativo a falhas de sistema internos causadas por sobretensões induzidas decorrentes das correntes impulsivas injetadas na instalação por meio das linhas elétricas que se conectam à estrutura. Peradas do tipo L1 podem ocorrer para os casos de estruturas com risco de explosão ou outras estruturas nas quais falhas de sistemas internos possam, imediatamente, colocar em risco a vida humana ou o meio ambiente.

➢ Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas perto de uma linha conectada à estrutura – S4

- R_M: componente relativo a falhas de sistemas internos devido ao LEMP (sobretensões induzidas) nas linhas elétricas que se conectam à estrutura e são transmitidas para a instalação. Perdas tipo L1 podem ocorrer nos casos de estruturas com risco de explosão, ou outras estruturas nas quais falhas de sistemas internos possam, imediatamente, colocar em risco a vida humana ou o meio ambiente.

Nota para S3 e S4:

1. ***Todas as linhas elétricas conectadas à estrutura devem ser avaliadas;***
2. ***Descargas atmosféricas nas, ou perto das tubulações que se conectam à estrutura não são consideradas fontes de danos caso estejam conectadas ao BEP. Se este não existir, ou se não estiver na fronteira entre as ZPRs por onde a tubulação entra na estrutura, então, é necessário avaliar o risco.***

Tipos de Riscos e seus componentes

- R_1: Risco de perda de vida humana

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}{}^{1} + R_{M1}{}^{1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}{}^{1} + R_{Z1}{}^{1}$$

[1] Somente para estruturas com risco de explosão ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana ou o meio ambiente imediatamente em perigo.

- R_3: Risco de perda de patrimônio cultural

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

- O cálculo do risco é aplicável a todas as estruturas, quando os tipos de perdas L1 e L3 estão envolvidos (Item 4.1.3.2);
- Para além do cálculo do risco, é realizado o cálculo da frequência de danos. A frequência de danos pode abranger tanto as perdas econômicas como as interrupções nos serviços. Se os danos de sistemas internos representar consequências para o meio ambiente, ou envolver equipamentos críticos relacionados à segurança, então, a consequência das perdas deve ser tratado pelo cálculo do risco e não pela frequência de danos (Item 4.1.3.3).

Notas (Item 4.2.1.2):

1- o risco R_2 (Perda de serviço [L2]) foi substituído pela Frequência de Danos F;

2- o risco R_4 (Perda econômica [L4]) tem caráter informativo e é de uso opcional (Vide Anexo D).

A Tabela 3 da norma apresenta fatores que influenciam os componentes de risco, sendo necessário o levantamento de dados a respeito destes fatores.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X[a]	X[b]	X[b]		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X[c]	X[c]	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X

a Somente para *SPDA* externo, pelo método das malhas, com módulos inferiores a 5 m.

b Devido às ligações equipotenciais por *DPS* classe I.

c Somente se elas pertencerem ao equipamento.

Os seguintes itens devem ser considerados para a análise de risco:

- ✓ A própria estrutura;
- ✓ As instalações na estrutura;
- ✓ O conteúdo da estrutura;
- ✓ As pessoas na estrutura ou nas zonas até 3m para fora desta;
- ✓ O meio ambiente afetado por danos na estrutura.

A norma estabelece limites para o risco (Tabela 4), denominado Risco Tolerável (R_T), dependendo do risco envolvido, conforme segue:

Riscos		R_T (y^{-1})
R_1	Risco de perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
R_3	Risco de perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Para avaliar a necessidade de proteção os riscos R1e R3 devem ser calculados e comparados com os valores da Tabela 4. Então:

- ❖ Se $R \leq R_T$, os resultados obtidos na análise de risco são suficientes, porém, acréscimos podem advir em função da frequência de danos;
- ❖ Se $R > R_T$, então medidas devem ser tomadas para se obter $R \leq R_T$.

Nota: se o risco não puder ser reduzido a níveis toleráveis, o proprietário deve ser informado a respeito e, obrigatoriamente, o mais alto nível de proteção deve ser adotado para a instalação.

Cálculo e Análise dos Componentes de Risco

Conforme mencionado anteriormente, tem-se os seguintes componentes de riscos: R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W, R_Z, os quais deverão ser calculados e utilizados, no que for concernente, para o cálculo dos riscos R_1, R_3. Para tanto, há uma fórmula genérica para o cálculo das componentes, conforme segue:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X$$

onde

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

L_X é a perda consequente (ver também Anexo C).

O número N_X de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

A probabilidade de dano P_X é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

A perda consequente Lx é afetada pelo uso da estrutura, presença de pessoas e mau funcionamento da instalação ou dos equipamentos e das componentes por ela atendidos e pelas medidas de proteção aplicadas para limitar as perdas.

NOTA Quando o dano à estrutura devido à descarga atmosférica também envolver estruturas nas redondezas ou ao meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), recomenda-se que a perda consequente seja adicionada ao valor de L_X.

De uma forma compacta, a Tabela 6, da norma, apresenta as fórmulas específicas para cada componentes de risco.

Tabela 6 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	**S2** Descarga atmosférica perto da estrutura	**S3** Descarga atmosférica na linha conectada	**S4** Descarga atmosférica perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Os parâmetros N são obtidos no Anexo A, os parâmetros P no Anexo B e os parâmetros L no Anexo C, da norma. Nestes Anexos, se obtêm as fórmulas para os cálculos dos parâmetros e tabelas com valores a serem utilizados nos cálculos.

A título de ilustração, serão apresentados os detalhes para o cálculo de R_A.

O componente R_A está relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_A = N_D x P_A x L_A$$

- Determinação de N_D

$$N_D = N_G x A_D x C_D x 10^{-6}$$

- C_D: Fator de localização da estrutura (Tabela A.1)
- A_D: Área de exposição equivalente em m2 (Figura A.1, A.2 e A.3)
- N_G: Densidade de descarga atmosféricas para a terra em 1/km2xano (Mapas)

- Determinação de P_A

$$P_A = P_{TA} x P_B$$

- P_{TA}: Fator que depende do nível de proteção do SPDA (Tabela B.2)
- P_B: Fator que depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo (Tabela B.1)

- Determinação de L_A

$$L_A = r_t x L_T x \left(\frac{n_Z}{n_t}\right) x \left(\frac{t_Z}{8760}\right) x r_s$$

- n_Z: Número de pessoas na zona (dado de projeto)
- r_s: Fator de aumento devido ao tipo de construção (Tabela C.7)
- t_Z: Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano(dado de projeto)
- n_t: Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto)
- L_T: Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2)
- r_t: Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3)

- Divisão da estrutura em zonas Z_S

Para uma avaliação mais precisa a estrutura pode ser dividida em zonas Z_S, o que pode facilitar a avaliação de determinados parâmetros. As zonas são principalmente definidas por:

- Tipo de solo ou piso (R_A e R_U);
- Compartimentos à prova de fogo (R_B e R_V);
- Blindagem espacial (R_C e R_M).

Zonas adicionais podem ser definidas dependendo do ***lay out*** dos sistemas internos (R_C e R_M), medidas de proteção existentes ou a instalar e valores de perdas L_X.

Ainda, a divisão em zonas deve levar em conta a exequibilidade da implementação das medidas de proteção adequadas.

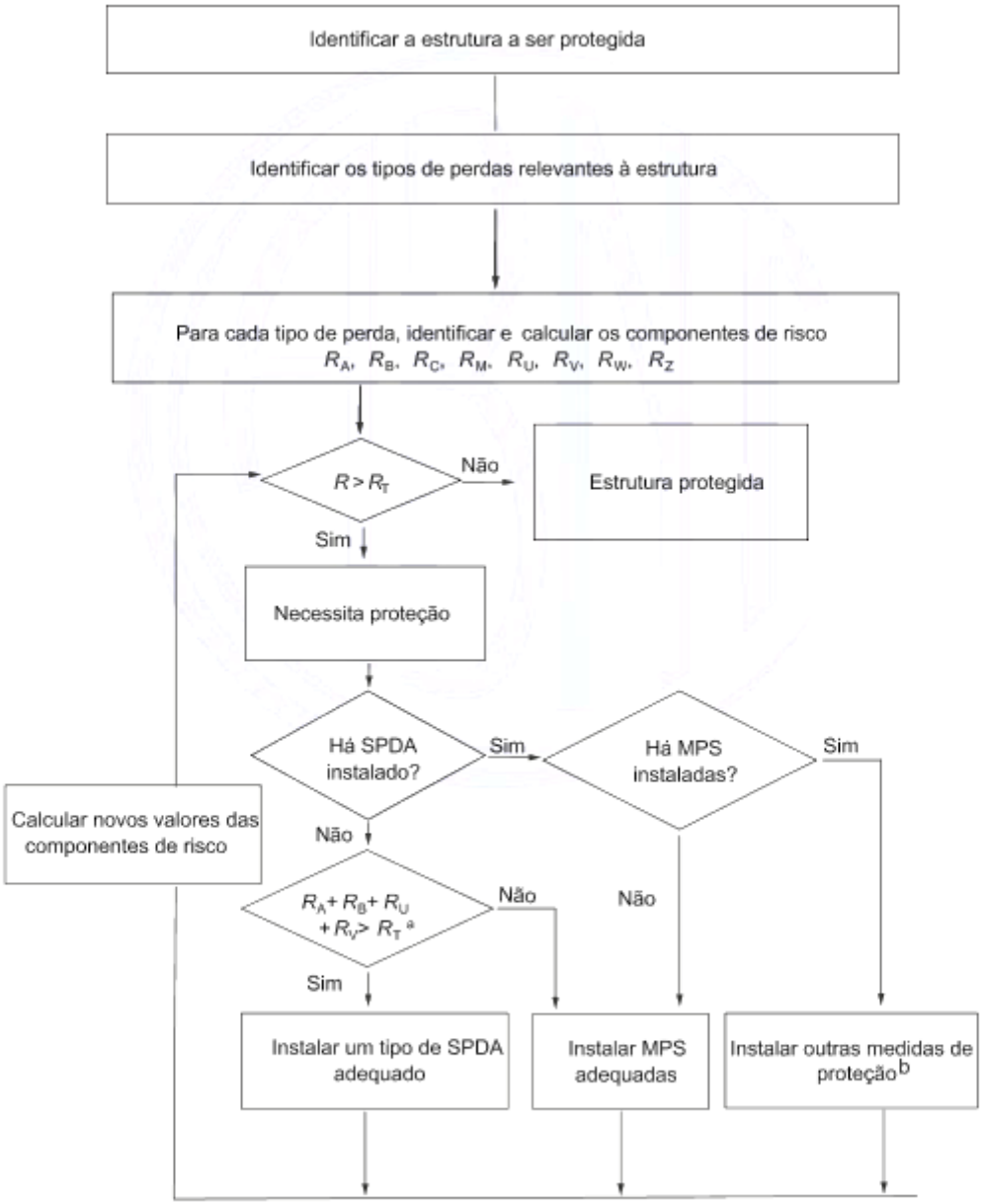
As zonas Z_S podem ser as zonas ZPRs definidas na 5419-1 e 5419-4.

- Divisão de uma linha em seções S_L

Na avaliação dos componentes de risco devido à descargas na ou perto de uma linha, esta pode ser dividida em seções, sendo principalmente definidas por:

- Tipo da linha (aérea ou enterrada);
- Fatores que afetem a área de exposição equivalente (C_D, C_E e C_T);
- Características da linha (blindada, não blindada, resistência da blindagem).

Para executar a avaliação de risco há de se seguir o fluxograma abaixo:



a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

b Ver Tabela 3.

FREQUÊNCIA DE DANOS E SEUS COMPNENTES

- Definição: A frequência de danos ***F*** é o quantitativo do número de eventos danosos causados por fontes de danos ***Sx*** nos sistemas eletroeletrônicos a serem protegidos

- **Aplicação: quando o tipo de perda do serviço *D3* estiver envolvido, então F deve ser avaliado no estudo da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas. (item 7.1.2)**
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos devido ao pulso eletromagnético causado por descarga atmosférica (***LEMP – Lightning Eletromagnectic Impulse***).

- Cálculo: $$F = F_B + F_C + F_M + F_V + F_W + F_Z$$

F_B ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica no equipamento (S1)*
Calcular apenas para equipamentos em ZPR_{0A}

F_C ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica na estrutura (S1)*

F_M ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica próximo da estrutura (S2)*

F_V ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica na linha elétrica, causando correntes diretas no equipamento (S3 – corrente impulsiva)*

F_W ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica na linha elétrica, causando correntes induzidas no equipamento (S3 – corrente induzida)*

F_Z ➔ *frequência de danos devido a descarga atmosférica próximo da linha elétrica (S4)*

AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE DANOS

$$F_X = N_X x P_X$$

Onde,

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

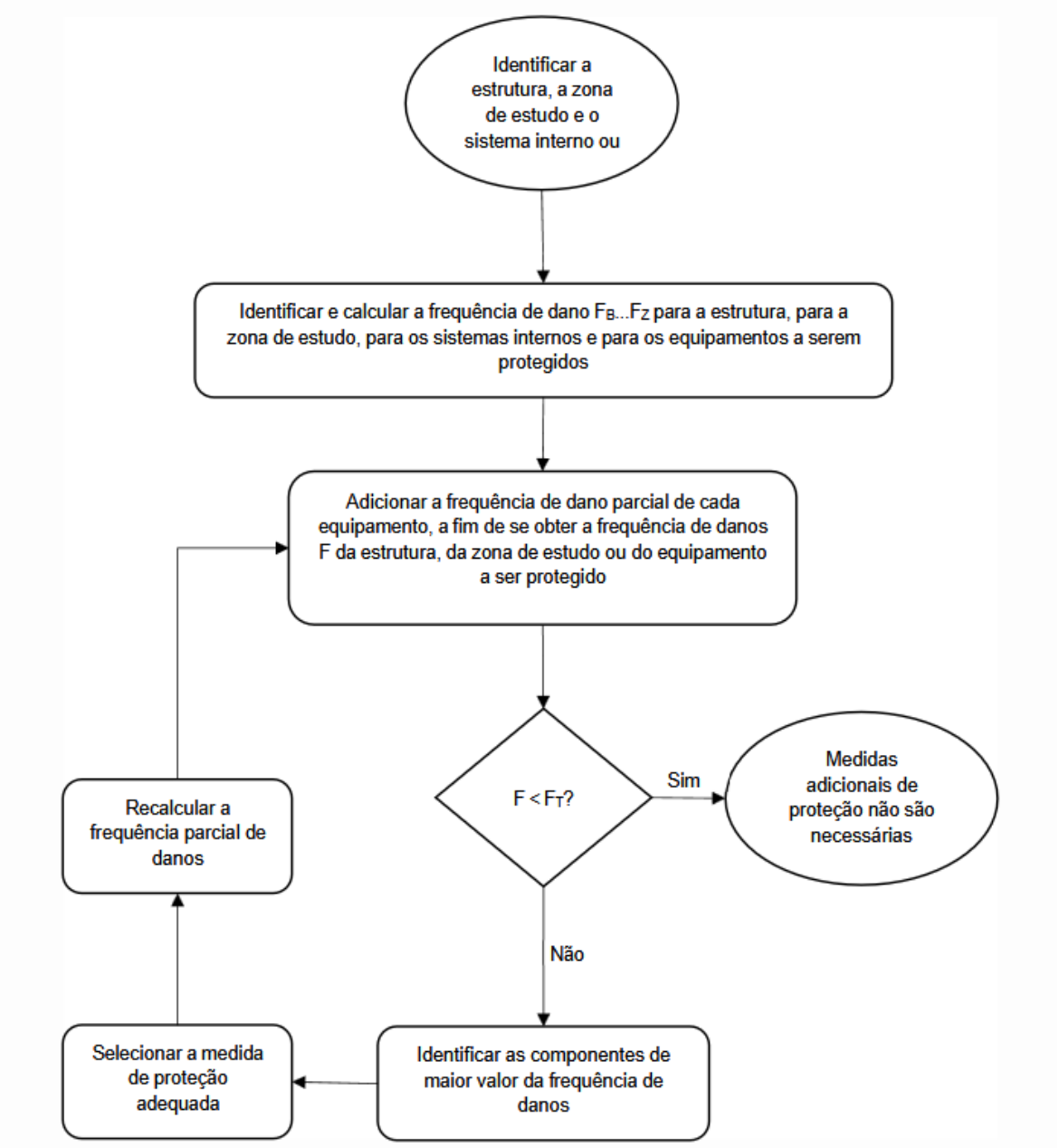
Tipo de perda	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	**S2** Descarga atmosférica próximo da estrutura	**S3** Descarga atmosférica na linha elétrica que conecta na estrutura	**S4** Descarga atmosférica próximo da linha elétrica
D3 perda de serviço devido à falha dos sistemas internos	$F_C = N_D \times P_C$ $F_B = N_D \times P_B$[a]	$F_M = N_M \times P_M$	$F_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W$ $F_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_{EB}$	$F_Z = N_I \times P_Z$

[a] Apenas para equipamentos situados na ZPR_{0A}, isolados ou que pertençam ao topo de uma estrutura.

Medidas de proteção são necessárias se $F > F_T$ (Frequência Tolerável)

Limites: Sistemas Críticos $F_T \leq 0{,}1$ Sistemas Não Críticos $F_T \leq 1$

Segundo o item 7.3.3, sistemas críticos são aqueles nos quais uma falha pode afetar uma comunidade, tal qual uma cidade, região, bairro, podendo vir a acarretar, além de perdas econômicas substanciais, perdas irreversíveis ou de longa duração, ou, ainda, dados seus efeitos indiretos e não imediatos, levar a danos físicos ou ameaça à vida.


Identificar a estrutura, a zona de estudo e o sistema interno ou
Identificar e calcular a frequência de dano F_B...F_Z para a estrutura, para a zona de estudo, para os sistemas internos e para os equipamentos a serem protegidos
Adicionar a frequência de dano parcial de cada equipamento, a fim de se obter a frequência de danos F da estrutura, da zona de estudo ou do equipamento a ser protegido
F < F_T?
Sim
Medidas adicionais de proteção não são necessárias
Não
Identificar as componentes de maior valor da frequência de danos
Selecionar a medida de proteção adequada
Recalcular a frequência parcial de danos

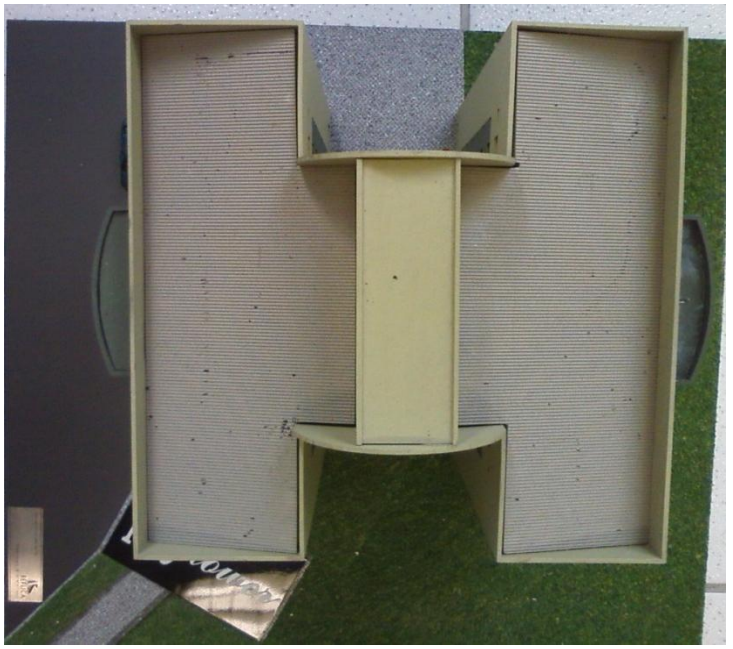
Exemplo para um Edifício Residencial



Frontal



Lateral



Superior

Dados: edifício com 32 unidades residenciais; total de pessoas na estrutura 120, localizado em Joinville/SC, em território plano com estruturas de mesma altura na redondeza, Altura Mínima (Hm) de 25,5m, Altura Total (Hp) de 29,5m, Comprimento (L) de 22,5m e Largura (W) de 23m. Linhas de energia(200m) e de telefonia(100m) aéreas e sem blindagem.

Considerações: calcular somente o risco R_1 para perda de vidas humanas (L1) com componentes R_A, R_B, R_U e R_V, a ser comparado com risco $R_T = 10^{-5}$

Avaliação da Frequência de danos não realizada, pois a estrutura é meramente residencial não envolvendo danos D3.

Cálculo das Componentes de Risco

Riscos devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)

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

$$R_A = N_D x P_A x L_A$$

- Determinação de N_D

$$N_D = N_G x A_D x C_D x 10^{-6}$$

- Fator de utilização da estrutura (Tabela A.1) — 0,5
- Área de exposição equivalente em m2 (Figura A.1, A.2 e A.3) — 26.000
- Densidade de descarga atmosféricas para a terra em 1/km2xano (Mapas/Tabela) — 18

$$N_D = 18x26.000x0{,}5x10^{-6} \Rightarrow N_D = 0{,}234$$

- Determinação de P_A

$$P_A = P_{TA} x P_B$$

- Fator que depende do nível de proteção do SPDA (Tabela B.2) — 1
- Fator que depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo (Tabela B.1) — 1

$$P_A = 1x1 = \mathbf{1}$$

➢ Determinação de L_A

$$L_A = r_t x L_T x \left(\frac{n_Z}{n_t}\right) x \left(\frac{t_Z}{8760}\right) x r_s$$

- n_Z: Número de pessoas na zona (dado de projeto) — 120
- r_s: Fator de aumento devido ao tipo de construção (Tabela C.7) — 1
- t_Z: Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano(dado de projeto) — 8.760h
- n_t: Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto) — 120
- L_T: Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2) — 10^{-2}
- r_t: Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3) — 10^{-3}

$$L_A = 10^{-3} x 10^{-2} x \left(\frac{120}{120}\right) x \left(\frac{8.760}{8.760}\right) x 1 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{L_A = 10^{-5}}$$

Assim, se pode calcular o valor de R_A:

$$R_A = N_D x P_A x L_A \text{ => } R_A = 0{,}234 x 1 x 10^{-5} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{R_A = 2{,}34 10^{-6}}$$

2 - Componente relacionado a danos físicos (R_B)

$$R_B = N_D x P_B x L_B$$

N_D já foi determinado anteriormente e vale 0,234

- Determinação de P_B

  O valor de P_B é obtido da Tabela B.2 ➔ $P_B = 1$

- Determinação de L_B

$$L_B = r_p x r_f x h_z x L_F x \left(\frac{n_Z}{n_t}\right) x \left({}^{t_z}/_{8760}\right) x r_s$$

- r_p: Fator de redução da perda a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (Tabela C.4) — 0,5
- r_f: Fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou explosão da estrutura (Tabela C.5) — 10^{-2}
- h_z: Fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (Tabela C.6) — 5
- L_F: Número relativo médio típico de vítimas por danos físicos devido a evento perigoso (Tabela C.2) — 10^{-2}
- n_t: Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto) — 120
- r_s: Fator de aumento devido ao tipo de construção (Tabela C.7) — 1
- t_z: Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano (dado de projeto) — 8.760h
- n_Z: Número de pessoas na zona (dado de projeto) — 120

$$L_B = 0{,}5x10^{-2}x5x10^{-2}x\left(\frac{120}{120}\right)x\left({}^{8760}/_{8760}\right) \Rightarrow \quad L_B = 25x10^{-5}$$

Então: $R_B = 0{,}234x1x25x10^{-5} \Rightarrow$ $\boxed{R_B = 5{,}85x10^{-5}}$

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

Linha de Energia

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

$$R_{UP} = (N_{LP} + N_{DJP}) x P_{UP} x L_{UP}$$

- Determinação de N*LP* (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

$$N_{LP} = N_G x A_{LP} x C_{lP} x C_{EP} x C_{TP} x 10^{-6}$$

- Fator tipo da linha (Tabela A.3) — 0,2
- Fator ambiental (Tabela A.4) — 0,1
- Fator de instalação da linha (Tabela A.2) — 1
- Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha em m2 (Figura A.5) (vide cálculo abaixo)
- Densidade de descarga atmosféricas para a terra em 1/km2xano (Mapas/Tabela) — 18

Para o cálculo de *ALP*, se tem pela norma : $A_{LP} = 40 x L_{LP}$

Segundo os dados da edificação o comprimento da linha de energia é de 200m.

$$A_{LP} = 40x200 = 8.000m^2$$

NDJ =0, pois não há estrutura adjacente

Para *NLP*, tem-se: $N_{LP} = 18x8.000x01x1x10^{-6} \Rightarrow \mathbf{N_{LP} = 14,4x10^{-3}}$

➢ Determinação de P_{UP}

$$P_{UP} = P_{TUP} x P_{EBP} x P_{LDP} x C_{LDP}$$

- P_{TUP}: Fator dependente da blindagem, do aterramento e da existência de interface isolante (Tabela B.4) — 1
- P_{EBP}: Probabilidade de falha em sistemas internos devido descarga na linha conectada (Tabela B.8) — 1
- P_{LDP}: Depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme 5419-3 e do nível de proteção do SPDA (NP) para o qual o DPS classe I foi projetado (Tabela B.7) — 1
- C_{LDP}: Depende das medidas de proteção contra tensões de toque (restrição física ou aviso visíveis de alerta) (Tabela B.6) — 1

Então:

$$\boldsymbol{P_{UP} = 1}$$

➢ Determinação de L_{UP}

$$L_{UP} = r_t x L_T x \left(\frac{n_Z}{n_t}\right) x \left(\frac{t_Z}{8760}\right) x r_s$$

- n_Z: Número de pessoas na zona (dado de projeto) — 120
- r_s: Fator de aumento devido ao tipo de construção (Tabela C.7) — 1
- t_Z: Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano (dado de projeto) — 8.760h
- n_t: Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto) — 120
- L_T: Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2) — $\boldsymbol{10^{-2}}$
- r_t: Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3) — $\boldsymbol{10^{-3}}$

$$L_{UP} = 10^{-3} x 10^{-2} x \left(\frac{120}{120}\right) x \left({}^{8760}/_{8760}\right) \Rightarrow \boldsymbol{L_{UP} = 10^{-5}}$$

Portanto:

$$R_{UP} = \left(N_{LP} + N_{DJP}\right) x P_{UP} x L_{UP} \Rightarrow R_{UP} = (14{,}4 x 10^{-3} + 0) x 1 x 10^{-5} \Rightarrow \boldsymbol{R_{UP} = 14{,}4 x 10^{-8}}$$

2 - Componente relacionado a danos físicos (*RVP*)

$$R_{VP} = \left(N_{LP} + N_{DJP}\right) x P_{VP} x L_{VP}$$

➢Determinação de N*LP* (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

Já calculado anteriormente: $\boldsymbol{N_{LP} = 14,4x10^{-3}}$

NDJ =0, pois não há estrutura adjacente

➢ Determinação de *PVP*

$P_{VP} = P_{EBP} x P_{LDP} x C_{LDP}$

onde os valores da variáveis já foram determinados para *Pu* e são todos unitários.

Então: $\boldsymbol{P_{VP} = 1}$

➢ Determinação de *LVP*

Segundo a norma: $L_V = L_B$ Então, $\boldsymbol{L_{VP} = 25x10^{-5}}$

Portanto: $\boldsymbol{R_{VP}} = 14{,}4x10^{-3}x1x25x10^{-5} \Rightarrow \boldsymbol{R_{VP} = 3,6x10^{-6}}$

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 (*RUT*)

$$R_{UT} = (N_{LT} + N_{DJT}) x P_{UT} x L_{UT}$$

- Determinação de N*LT* (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

$$N_{LT} = N_G x A_{LT} x C_{lT} x C_{ET} x C_{TT} x 10^{-6}$$

- Fator tipo da linha (Tabela A.3) — 1
- Fator ambiental (Tabela A.4) — 0,1
- Fator de instalação da linha (Tabela A.2) — 1
- Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha em m2 (Figura A.5) (vide cálculo abaixo)
- Densidade de descarga atmosféricas para a terra em 1/km2xano (Mapas) — 18

Para o cálculo de *ALT*, se tem pela norma : $A_{LT} = 40 x L_{LT}$

Segundo os dados da edificação o comprimento da linha de sinal é de 100m.

$$A_{LP} = 40x100 = 4.000m^2$$

NDJT =0, pois não há estrutura adjacente

Para *NLT*, tem-se: $N_{LT} = 18x4.000x0{,}1x1x10^{-6} \Rightarrow \mathbf{N_{LT} = 7{,}2x10^{-3}}$

➢ Determinação de P_{UT}

$$P_{UT} = P_{TUT} x P_{EBT} x P_{LDT} x C_{LDT}$$

- C_{LDT}: Fator dependente da blindagem, do aterramento e da existência de interface isolante (Tabela B.4) — 1
- P_{LDT}: Probabilidade de falha em sistemas internos devido descarga na linha conectada (Tabela B.8) — 1
- P_{EBT}: Depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme 5419-3 e do nível de proteção do SPDA (NP) para o qual o DPS classe I foi projetado (Tabela B.7) — 1
- P_{TUT}: Depende das medidas de proteção contra tensões de toque (restrição física ou aviso visíveis de alerta) (Tabela B.6) — 1

Então:

$$\boldsymbol{P_{UP} = 1}$$

➢ Determinação de L_{UT}

$$L_{UT} = r_t x L_T x \left(\frac{n_Z}{n_t}\right) x \left(\frac{t_Z}{8760}\right) x r_s$$

- n_Z: Número de pessoas na zona (dado de projeto) — 120
- r_s: Fator de aumento devido ao tipo de construção (Tabela C.7) — 1
- t_Z: Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano (dado de projeto) — 8.760h
- n_t: Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto) — 120
- L_T: Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2) — $\boldsymbol{10^{-2}}$
- r_t: Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso (Tabela C.3) — $\boldsymbol{10^{-3}}$

$$L_{UT} = 10^{-3} x 10^{-2} x \left(\frac{120}{120}\right) x \left({}^{8760}/_{8760}\right) \Rightarrow \boldsymbol{L_{UT} = 10^{-5}}$$

Portanto:

$$R_{UT} = \left(N_{LT} + N_{DJT}\right) x P_{UT} x L_{UT} \Rightarrow R_{UT} = (14{,}4 x 10^{-3} + 0) x 1 x 10^{-5} \Rightarrow \boldsymbol{R_{UT} = 7{,}2 x 10^{-8}}$$

2 - Componente relacionado a danos físicos (*RVT*)

$$R_{VT} = \left(N_{LT} + N_{DJT}\right) x P_{VT} x L_{VP} T$$

➢Determinação de N*LT* (número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha)

Já calculado anteriormente: $\boldsymbol{N_{LP} = 7,2x10^{-3}}$

NDJ =0, pois não há estrutura adjacente

➢ Determinação de *PVP*

$P_{VT} = P_{EBT} x P_{LDT} x C_{LDT}$

onde os valores da variáveis já foram determinados para *Pu* e são todos unitários.

Então: $\boldsymbol{P_{VT} = 1}$

➢ Determinação de *LVT*

Segundo a norma: $L_V = L_B$ Então, $\boldsymbol{L_{VT} = 25x10^{-5}}$

Portanto: $\boldsymbol{R_{VT}} = 7{,}2x10^{-3}x1x25x10^{-5} \Rightarrow \boldsymbol{R_{VT} = 1,8x10^{-6}}$

Para a avaliação dos riscos de perda de vida humana (*R₁*) para a zona interna da estrutura predial em questão, deve-se resolver a equação:

$$R_1 = R_A + R_B + (R_{UP} + R_{UT}) + (R_{VP} + R_{VT})$$

Os valores calculados foram: $R_A = 2{,}34x10^{-6}$ $R_B = 5{,}85x10^{-5}$

$R_{UP} = 14{,}4x10^{-8}$ $R_{VP} = 3{,}6x10^{-6}$ $R_{UT} = 7{,}2x10^{-8}$ $R_{VT1} = 1{,}8x10^{-6}$

Então: $\boldsymbol{R_1} = 2{,}34x10^{-6} + 5{,}85x10^{-5} + 14{,}4x10^{-8} + 3{,}6x10^{-6} + 7{,}2x10^{-8} + 1{,}8x10^{-6} = \boldsymbol{6{,}6x10^{-5}}$

Lembrando que o valor típico de risco tolerável (*R_T*) referente à perdas de vidas humanas ou ferimentos permanentes é $\boldsymbol{10^{-5}}$, então:

$$\boldsymbol{R_1} > \boldsymbol{R_T} \rightarrow \quad 6{,}6x10^{-5} > 10^{-5}$$

Portanto, há que se observar quais providências são possíveis para que se reduza ***R₁*** para um valor inferior a $\boldsymbol{10^{-5}}$.

Analisando os componentes de cálculo de ***R₁***, observa-se que apenas a componentes ***R_B*** tem ordem de grandeza $\boldsymbol{10^{-5}}$, os demais componentes já tem ordem de grandeza menor, ou seja, qualquer medida que busque reduzi-los, traria pouca ou nenhuma influência na redução de ***R₁***. Assim, há que se avaliar o que se poderia fazer para reduzir ***R_B***.

Relembrando que ***RB*** é calculado por: $\boldsymbol{R_B = N_D x P_B x L_B}$

Devemos fazer uma análise de cada um dos fatores, para levantar os possíveis ajustes que poderiam influenciar no cálculo do risco R1, de forma a levá-lo para um valor abaixo do risco tolerável ($1x10^{-5}$).

Para tanto, vamos voltar ao ponto onde os fatores foram definidos/calculados, para realizar a análise.

Dá análise realizada, se pode concluir:

- ✓ Para os fatores ***ND*** (0,234) e ***LB*** ($25\ x10^{-5}$) não há o que alterar de forma a contribuir com a redução de ***RB***;
- ✓ Para PB, se pode observar que na Tabela B.2, se tomarmos a inclusão de SPDA com nível IV (***PB***=0,2) ou III (***PB***=0,1), se vislumbra uma contribuição para a redução de ***RB***;

Se fosse utilizado SPDA nível IV, se teria: $\boldsymbol{R_B} = 0{,}234x\mathbf{0,2}x25x10^{-5}$ => $\boldsymbol{R_B = 1,17x10^{-5}}$

$\boldsymbol{R_1} = 2{,}34x10^{-6} + \mathbf{1,17x10^{-5}} + 14{,}4x10^{-8} + 3{,}6x10^{-6} + 7{,}2x10^{-8} + 1{,}8x10^{-6} = \mathbf{1,97x10^{-5}}$

Comparando com $\boldsymbol{R_T}$ ➔ $\mathbf{1,97x10^{-5}} > 10^{-5}$ Não atende à Norma

Se fosse utilizado SPDA nível III, se teria: $\boldsymbol{R_B} = 0{,}234x\mathbf{0,1}x25x10^{-5}$ => $\boldsymbol{R_B = 5,85x10^{-6}}$

$\boldsymbol{R_1} = 2{,}34x10^{-6} + \mathbf{5,85x10^{-6}} + 14{,}4x10^{-8} + 3{,}6x10^{-6} + 7{,}2x10^{-8} + 1{,}8x10^{-6} = \mathbf{0,983x10^{-5}}$

Comparando com $\boldsymbol{R_T}$ ➔ $\mathbf{0,983x10^{-5}} < 10^{-5}$ ➔ $\boldsymbol{R_1 < R_T}$ ➔ Atende à Norma

Portanto, se fará o desenvolvimento de um projeto de SPDA nível III para a edificação em estudo.

FIM

Mapas com a Densidade de Descargas Atmosféricas

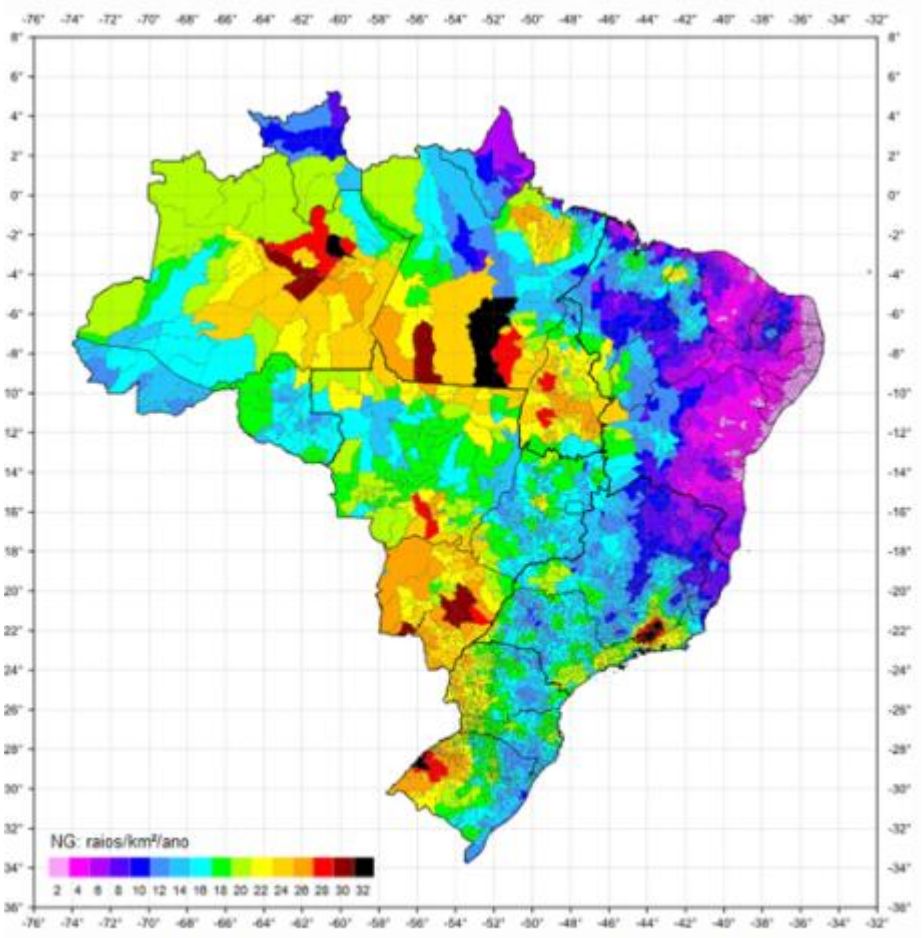


Figura F.1 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa do Brasil (raios/km²/ano)

JOINVILLE

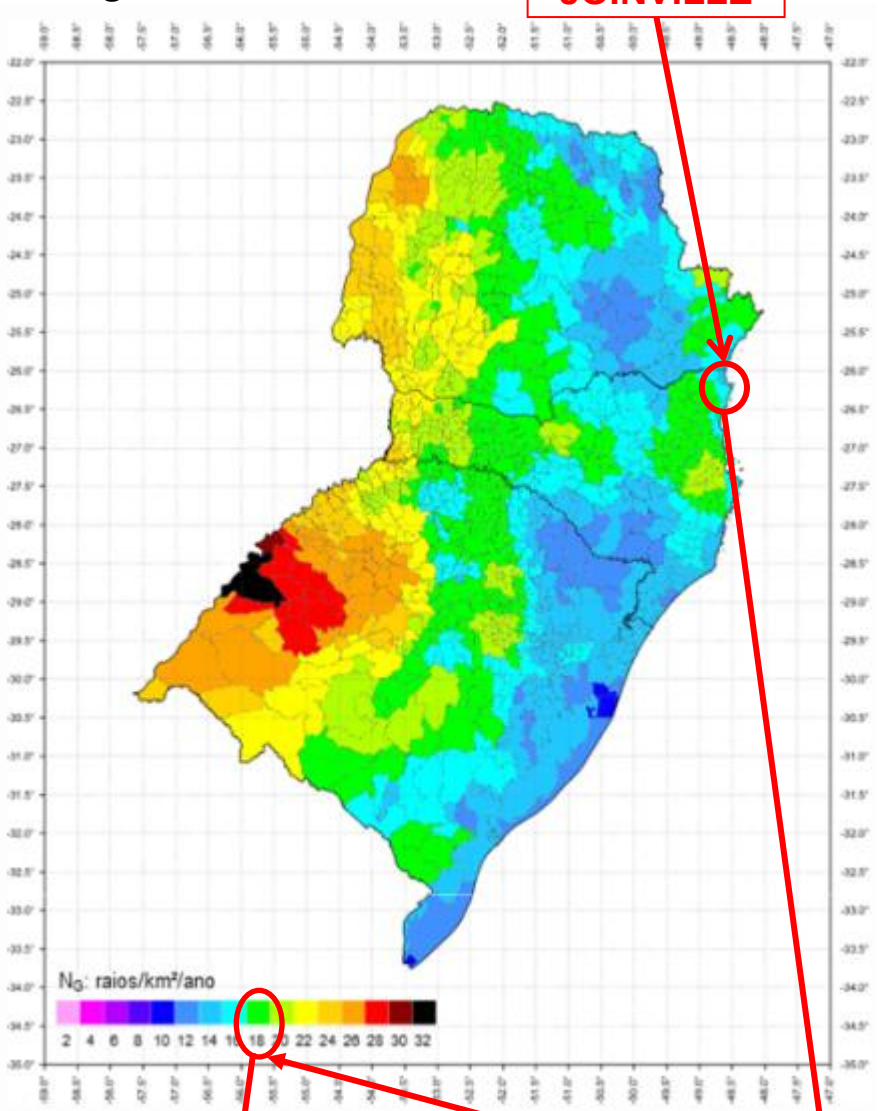


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região Sul (raios/km²/ano)

18

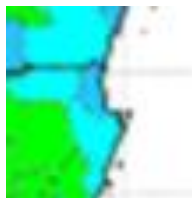


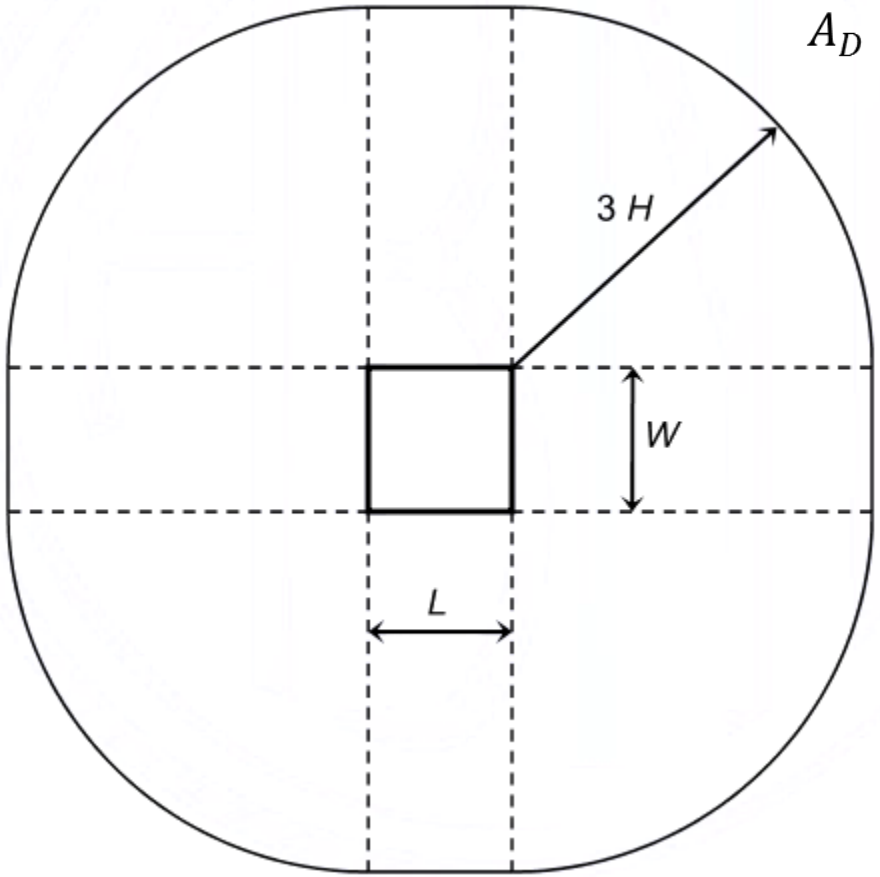
Tabela com a Densidade de Descargas Atmosféricas por Município

Município	UF	N_G
João Lisboa	MA	12
João Monlevade	MG	16
João Neiva	ES	8
João Pessoa	PB	2
João Pinheiro	MG	14
João Ramalho	SP	16
Joaquim Felício	MG	10
Joaquim Gomes	AL	2
Joaquim Nabuco	PE	2
Joaquim Pires	PI	14
Joaquim Távora	PR	12
Joca Claudino	PB	4
Joca Marques	PI	14
Joia	RS	26
Joinville	SC	18
Jordânia	MG	6
Jordão	AC	10

Área de Exposição Equivalente (A_D)

- Estrutura retangular e isolada





$$A_D = \mathrm{LxW} + 2\mathrm{x}(3\mathrm{xH})\mathrm{X}(\mathrm{L} + \mathrm{W}) + \pi x(3xH)^2$$

- Estrutura com forma complexa

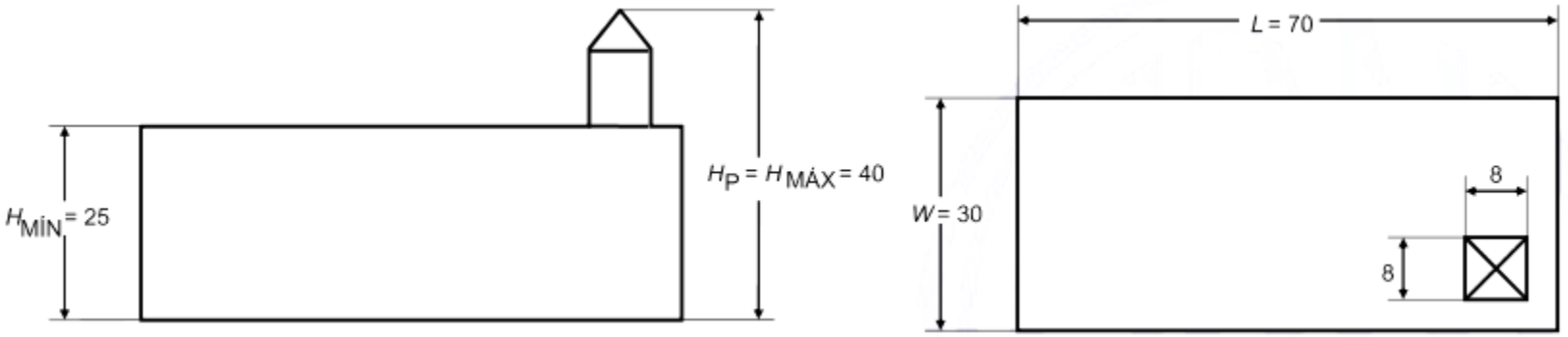


Figura A.2 – Estrutura com forma complexa

Calcular A_D com o H_{MIN} da estrutura e calcular uma área A_D' com a altura da saliência utilizando a fórmula: $A_D' = \pi x (3 \text{x} H_P)^2$

Sobrepondo as áreas calculadas, obtém-se a área total.

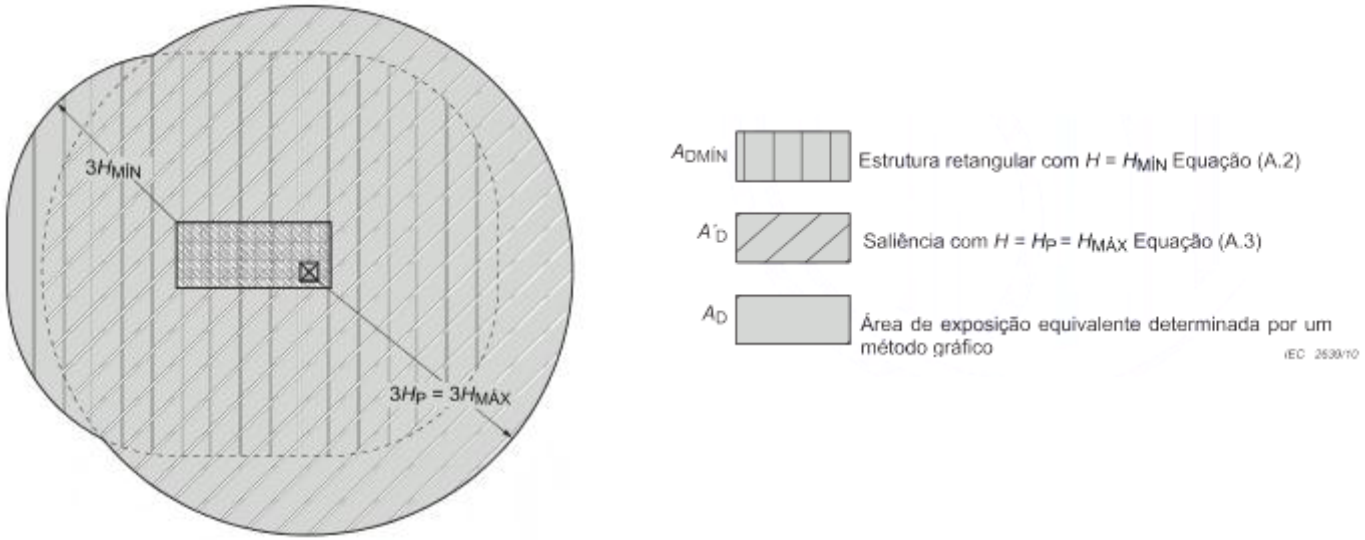


Figura A.3 – Diferentes métodos para determinar a área de exposição equivalente para uma dada estrutura

Para o edifício em questão, podemos calcular as áreas de exposição A_D e A'_D.

Considerando: Altura Mínima (H_m) de 25,5m, Altura Total (H_p) de 29,5m, Comprimento (L) de 22,5m e Largura (W) de 23m.

Usando H_m pode-se calcular:

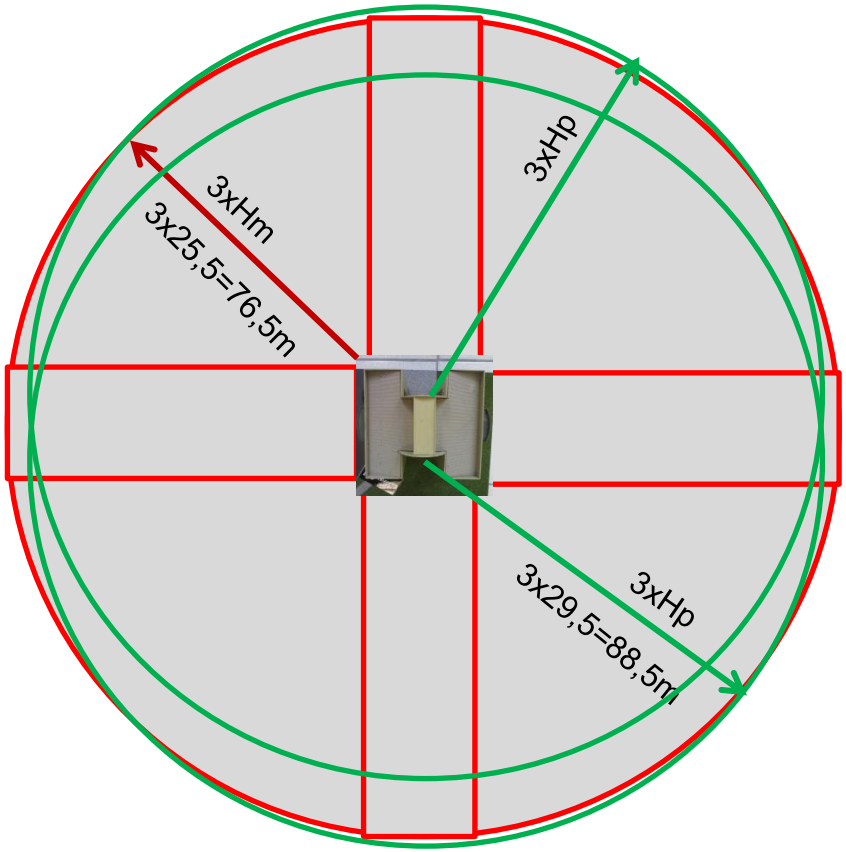
$$A_D = LxW + 2x(3xH_m)x(L+W) + \pi x(3H_m)^2$$

$$A_D = 25.864m^2$$

Usando H_p pode-se calcular:

$$A'_D = \pi x(3H_p)^2$$

$$A'_D = 24.606m^2$$



Pode-se observar que a área resultante está praticamente contida em A_D (cinza) e, portanto, para facilitar os cálculo posteriores, se fará um arredondamento na área A_D, buscando incorporar as duas pequena áreas delimitadas entre o círculo vermelho e os dois em verde. Considerando A_D= 26.000m2 .

Tabelas e Figuras do Anexo A

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D e C_{DJ}
Estrutura cercada por objetos significativamente mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou ligeiramente mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças ou cercada por objetos significativamente mais baixos	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

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

Instalação da linha elétrica no trecho considerado	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Trecho da linha elétrica enterrado e instalado, ao longo do comprimento L_L, no interior dos limites de um eletrodo de aterramento em malha (ABNT NBR 5419-4:2026, 5.2).	0,01

NOTA 1 A resistividade do solo afeta a área de exposição equivalente AL de trechos enterrados. Em geral, quanto maior for a resistividade do solo, maior será a área de exposição equivalente. O fator de instalação da Tabela A.2 é baseado em $\rho = 400\ \Omega m$. Para $\rho > 400\ \Omega m$, a seguinte equação para um trecho enterrado será usada $A_L = 0,6 \times \sqrt{\rho} \times LL$.

NOTA 2 Mais informações sobre a área de exposição equivalente AL para linhas elétricas de sinal podem ser encontradas na ITU-T Recomendação K.47.

Tabela A.3 – Fator do tipo de linha elétrica C_T

Tipo de linha elétrica no trecho considerado	C_T
Linha elétrica de energia em BT ou sinal	1
Linha elétrica de energia em AT (com transformador AT/BT com enrolamentos eletricamente separados)	0,2
NOTA Este fator se aplica aos transformadores localizados no interior da estrutura e aos transformadores localizados nos trechos da linha elétrica fora da estrutura.	

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha elétrica C_E

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com estruturas acima de 20 m de altura	0,01

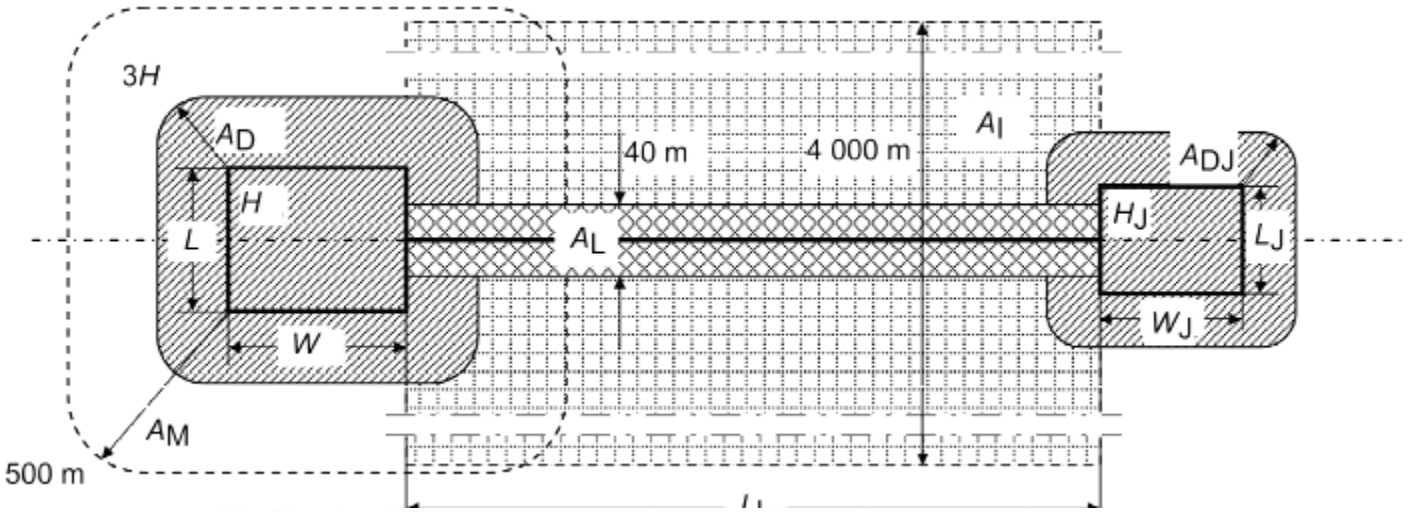


Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes (A_D, A_M, A_I, A_L)

Tabela 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 [a]	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção.	1
Avisos de alerta (usar após a análise de viabilidade)[b]	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas nos condutores de descida). Esta medida vale apenas para proteção contra tensão de toque.	10^{-2}
Malha de equipotencialização do solo por meio de eletrodo de aterramento reticulado incorporado ao eletrodo, tipicamente no ponto em que a descida fica interligada ao eletrodo. Esta medida vale apenas para proteção contra tensão de passo.	10^{-2}
Estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como subsistema de descida natural.	10^{-3}
Restrições físicas fixas (considerar proteção contra tensão de toque e passo).	0

[a] Ver ABNT NBR 5419-3:2025, Seção 8.

[b] Por viabilidade entende-se a forma de emprego do aviso, de maneira a proporcionar sua correta utilização, tanto sob o ponto de vista de visualização e acesso, quanto da maneira pela qual o aviso é respeitado.

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

Características da estrutura	NP do *SPDA*	P_B
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* NP I e estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como subsistema de descida natural que atenda à ABNT NBR 5419-3:2026, 8.1.2-b)		0,01
Estrutura com cobertura metálica atuando como subsistema de captação natural, com proteção das instalações expostas na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e centelhamento e estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como subsistema de descida natural que atenda à ABNT NBR 5419-3:2026, 8.1.2-b)		0,001

NOTA 1 Valores de P_B diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se forem baseados em um estudo detalhado que considere os requisitos de dimensionamento e os parâmetros mostrados na ABNT NBR 5419-1.

NOTA 2 As características do *SPDA*, incluindo distância de segurança e ligação equipotencial, são descritas na ABNT NBR 5419-3.

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e a existência de interface isolante (continua)

Tipo de linha elétrica externa	Ligação equipotencial na entrada da linha elétrica	C_{LD}	C_{LI}
Linha elétrica aérea não blindada	Nenhuma ou indefinida	1	1
Linha elétrica subterrânea não blindada	Nenhuma ou indefinida	1	1
Linha elétrica de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha elétrica subterrânea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha elétrica aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha elétrica aérea ou subterrânea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo de proteção contra descargas atmosféricas ou cabeamento em duto (para cabos) de proteção contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
Nenhuma linha elétrica externa ou linha não metálica (por exemplo fibra óptica)	Sem conexões com linhas elétricas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4[a]	0	0

[a] Para este equipamento, os valores de C_{LD} e C_{LI} são fornecidos nesta Tabela, de acordo com o tipo de linha elétrica externa e equipotencialização na entrada da linha elétrica na estrutura. $C_{LD} = 0$ somente se a interface de isolamento for protegida por *DPS* ou se for demonstrado por ensaios que a interface isolante possui tensão suportável nominal de impulso maior que a prevista no ponto de instalação. Em outros casos, $C_{LD} = 1$. Ver B.4.3

NOTA 1 Para sistemas internos não blindados:

— não conectados a linhas elétricas externas (sistemas independentes); ou

— conectados a linhas elétricas externas por meio de interfaces isolantes; ou

— conectados a linhas elétricas externas consistindo em cabo de proteção contra descargas atmosféricas ou sistemas com cabeamento em duto (para cabos) de proteção contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos, interligados no mesmo barramento de equipotencialização que os equipamentos,

um sistema coordenado de *DPS* de acordo com a ABNT NBR 5419-4 não é necessário para reduzir P_C, desde que a tensão induzida U_I não seja maior que a tensão suportável nominal de impulso U_W do sistema interno ($U_I \leq U_W$). Para avaliação da tensão induzida U_I, ver ABNT NBR 5419-4:2026, Anexo A.

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha elétrica conectada à estrutura causar choque em seres vivos devido a tensões de toque

Medida de proteção (ver ABNT NBR 5419-3:2026, Seção 8)	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0
NOTA 1 Se mais de uma medida for tomada, o valor de P_{TU} será o produto dos valores correspondentes.	

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

NP	P_{EB}
Sem DPS classe I	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota 2	0,005 – 0,001
NOTA 2 Valores de P_{EB} menores do que os apresentados na Tabela B.7 são possíveis se os valores de I_{imp} para os quais o *DPS* foi projetado forem maiores do que os requeridos para NP I.	

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

Tipo da linha elétrica	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável nominal de impulso U_W kV						
			0,35	0,5	1	1,5	2,5	4	6
Linhas elétricas de energia ou sinal	Linha elétrica aérea ou subterrânea, não blindada ou com a blindagem não interligada à mesma referência de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1	1	1
	Blindada, aérea ou subterrânea cuja blindagem esteja interligada à mesma referência de equipotencialização do equipamento	5 Ω/km < R_S ≤ 20 Ω/km	1	1	1	1	0,95	0,9	0,8
		1 Ω/km < R_S ≤ 5 Ω/km	1	1	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		R_S ≤ 20 ≤ 1 Ω/km	1	0,85	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

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
		5×10^{-2}	Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-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

NOTA 1 Os valores da Tabela C.2 se referem ao atendimento contínuo de pessoas na estrutura.

NOTA 2 No caso de uma estrutura com risco de explosão, os valores para L_F e L_O podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, considerando o tipo de estrutura, o risco de explosão, o conceito de zona de estudo de áreas perigosas e as medidas para encontrar o risco.

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

Tipo de superfície[b]	Resistência de contato kΩ[a]	r_t
Terra, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Brita, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

PIOR CASO

[a] Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm^2 comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

[b] Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, com 5 cm de espessura geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

NOTA É preciso ter cuidado ao criar camadas isolantes sobre o solo, se elas ficarem em condições úmidas ou cobertas por uma camada de água.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência ou qualquer parte da estrutura (zona de estudo) com risco de explosão	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo ou rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente[a] ou instalações de alarme automático [a,b]	0,2

[a] Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos.

[b] Se o local dispõe de pessoas capacitadas para combater o incêndio no local.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

NOTA No caso de uma estrutura com risco de explosão, o valor para r_f pode necessitar de uma avaliação mais detalhada.

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
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.7 – Fator r_S

Tipo de estrutura	r_S
Simples: madeira ou alvenaria simples	2
Robusta: estrutura metálica ou concreto armado	1