



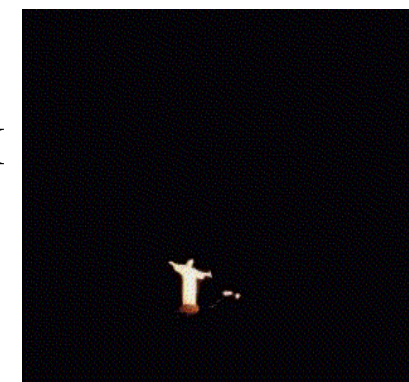
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Centro Tecnológico**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**  
**Prof. Hélio Marcos André Antunes**



## **Unidade 9: Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) – Aula 20**

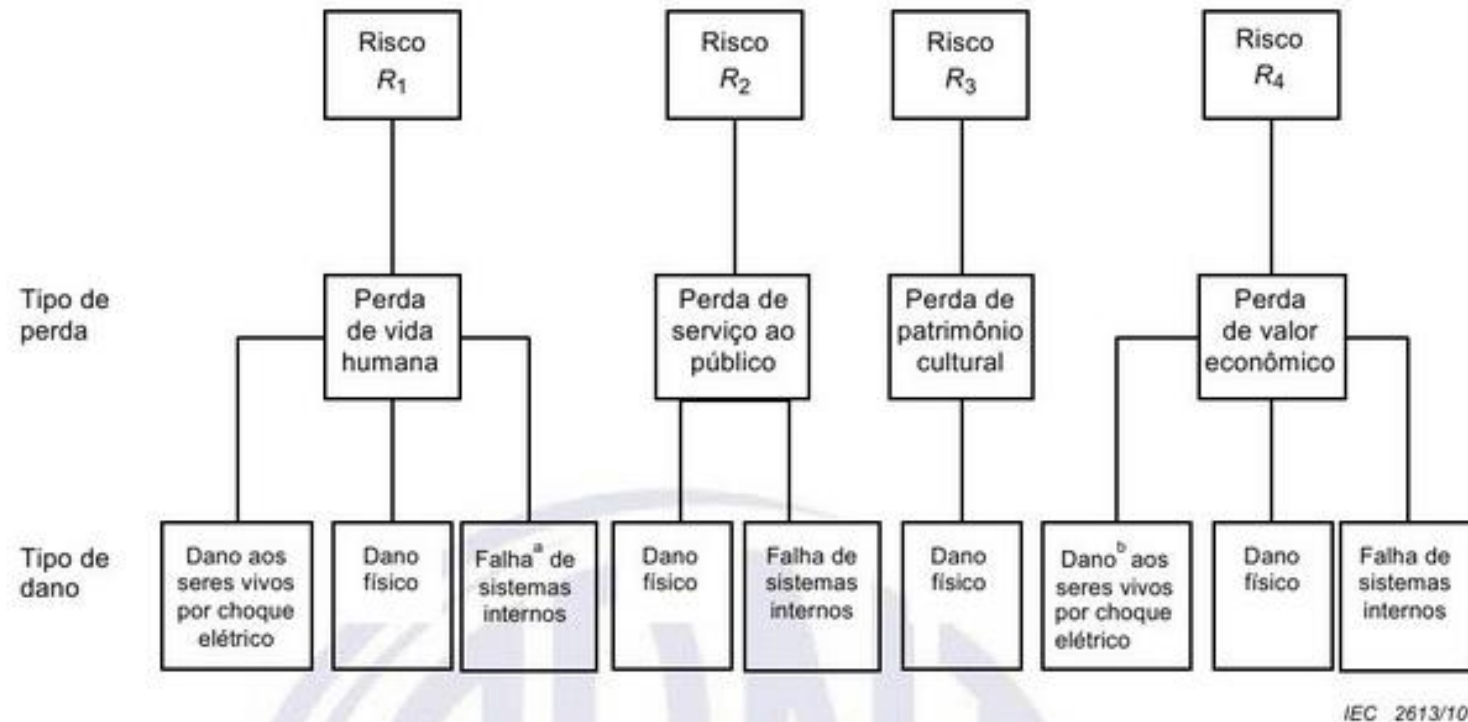


**Instalações Elétricas I**  
**Engenharia Elétrica**



## 9.5 – Gerenciamento de Risco

- Relembrando os tipos de riscos:



- <sup>a</sup> Somente para hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.
- <sup>b</sup> Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

**Figura 2 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos**

# Tipos de Riscos e seus Componentes

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

- Componentes de risco para descarga atmosférica na estrutura ( $S_1$ ):
  - $R_A$ : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3m ao redor dos condutores de descida. Perda de tipo  $L_1$  e, no caso de estruturas contendo animais vivos as perdas do tipo  $L_4$ .
  - $R_B$ : componente relativo a danos físicos causados por centelhamento perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais também podem colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ ).
  - $R_C$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP (Lightning Eletromagnetic Impulse). Perdas do tipo  $L_2$  e  $L_4$  podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo  $L_1$ , nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais.

—

# Tipos de Riscos e seus Componentes

## 2) Componente de risco para descarga perto da estrutura ( $S_2$ ):

- $R_M$ : componente de risco relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo  $L_2$  e  $L_4$  podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo  $L_1$ , nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais.

## 3) Componentes de risco para uma estrutura devido as descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura ( $S_3$ ):

- $R_U$ : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo  $L_1$  e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo  $L_4$  com possíveis perdas de animais também podem ocorrer;
- $R_V$ : componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ ) podem ocorrer;

# Tipos de Riscos e seus Componentes

- $R_W$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo  $L_2$  e  $L_4$  podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo  $L_1$ , nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais.
- 4) Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura ( $S_4$ ):
  - $R_Z$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo  $L_2$  e  $L_4$  podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo  $L_1$ , nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais.
  - NOTA 1 As linhas consideradas nesta análise são somente aquelas que entram na estrutura.
  - NOTA 2 Descargas atmosféricas em, ou perto de, tubulações não são consideradas como uma fonte de danos, uma vez que existe a interligação ao barramento de equipotencialização. Se o barramento de equipotencialização não existir, recomenda-se que este tipo de ameaça também seja considerado.

# Tipos de Riscos e seus Componentes

- Os componentes de risco a serem considerados para tipo de perda na estrutura são listados a seguir:

a)  $R_1$ : Risco de perda de vida humana:

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

<sup>1</sup> Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

b)  $R_2$ : Risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

c)  $R_3$ : Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

d)  $R_4$ : Risco de perdas de valor econômico:

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

<sup>2</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

# Avaliação da Necessidade de Proteção

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

Tabela 3 – Fatores que influenciam os componentes de risco

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 <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	X <sup>b</sup>		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X <sup>c</sup>	X <sup>c</sup>	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X

# Análise dos Riscos

- 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, denominado Risco Tolerável ( $R_T$ ), dependendo da perda envolvida, conforme a tabela abaixo:

Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável  $R_T$

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
L2	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
L3	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$

- Obs: Para a perda de valor econômico ( $L_4$ ), os cálculos são definidos no Anexo D da norma, e segue uma análise custo/benefício. Sem dados disponíveis para análise, deve ser utilizado o valor de  $R_T$  para  $L_2$ .



# Análise dos Riscos

---

- Para avaliar a necessidade de proteção os riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  devem ser calculados e comparados com os valores da Tabela anterior e então:
  - Se  $R \leq R_T$ , não é necessária a proteção contra descargas atmosféricas;
  - Se  $R > R_T$ , então medidas devem ser tomadas para se obter  $R \leq R_T$ .

# Análise dos Riscos

- 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, para o cálculo dos riscos  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ . Para tanto, há uma fórmula genérica para o cálculo das componentes, conforme segue:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

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  $L_X$  é afetada pelo uso para o qual a estrutura foi projetada, a frequência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

# Análise dos Riscos

- 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 NBR 5419-3/2015. Nesses Anexos, se obtêm as fórmulas para os cálculos dos parâmetros e tabelas com valores a serem utilizados.

# Exemplo de Cálculo para $R_A$

- A componente  $R_A$  está relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico ( $D_1$ ) :

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

Determinação de  $N_D$

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

Fator de utilização da estrutura (Tabela A.1)

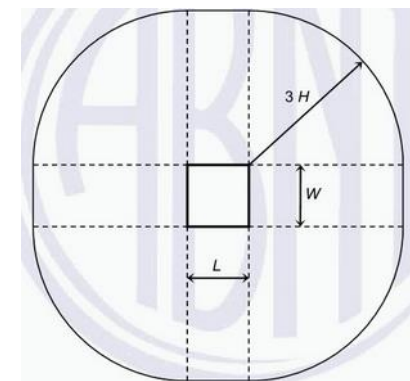
Área de exposição equivalente em m<sup>2</sup> (Figura A.1, A.2 e A.3)

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

- $A_D$ : Estrutura retangular



- Obs: Estruturas com  $A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$  a.



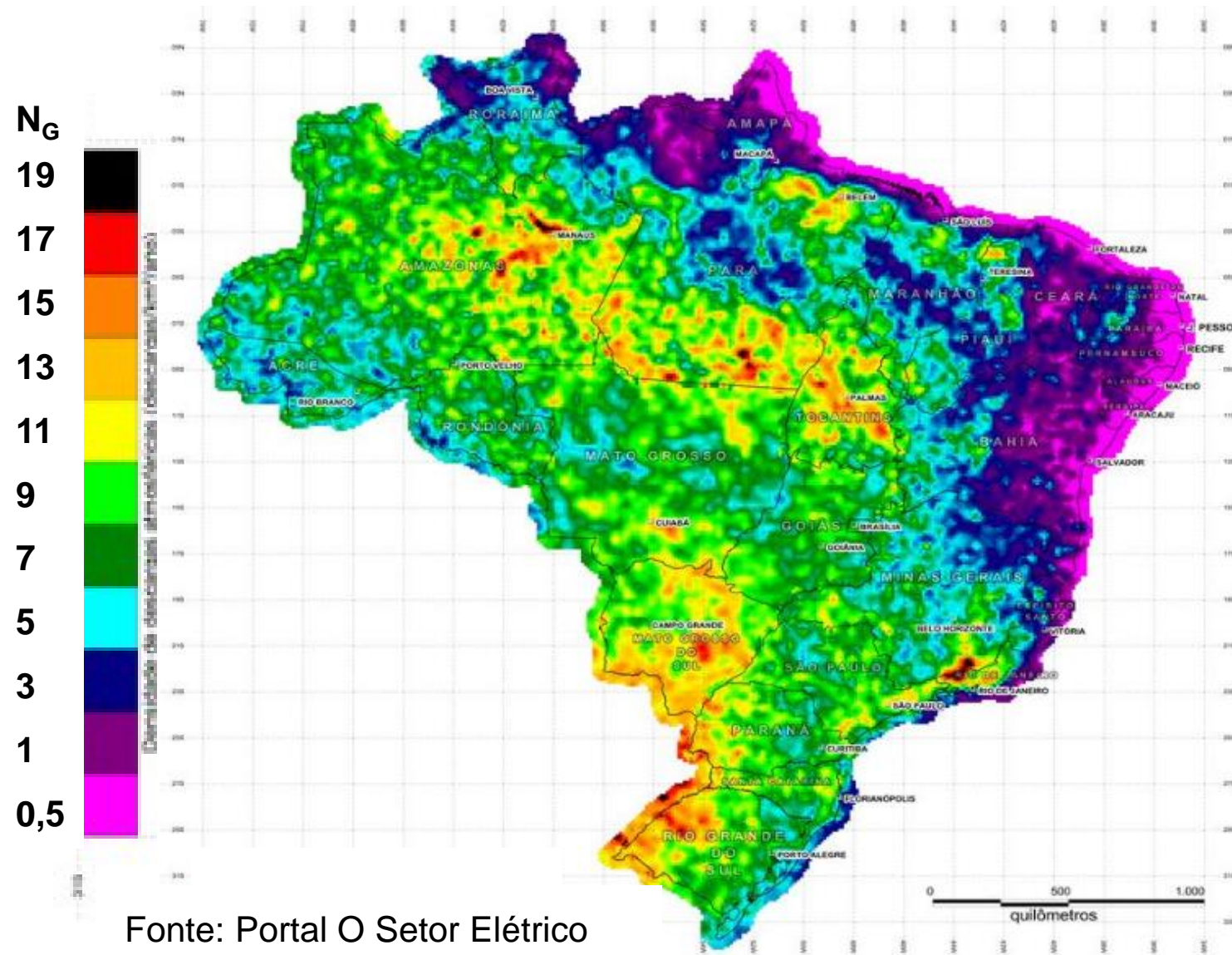
# Exemplo de Cálculo para $R_A$

- $N_G$ : densidade de descargas atmosféricas para a terra. É o número de descargas atmosféricas por  $\text{km}^2$  por ano.
- Pode ser obtido por:
  - Mapas impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (ver Anexo F)
  - Pelo link: [http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng/](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/)
  - Se um mapa  $N_G$  não estiver disponível:

$$N_G \approx 0,1 \times T_D \quad (\text{raios por Km}^2 \text{ por ano})$$

- Onde:
  - $T_D$ : é o número de dias de trovoadas por ano, obtido por mapas isocerânicos.

# Densidade de Descargas Atmosféricas ( $N_G$ )



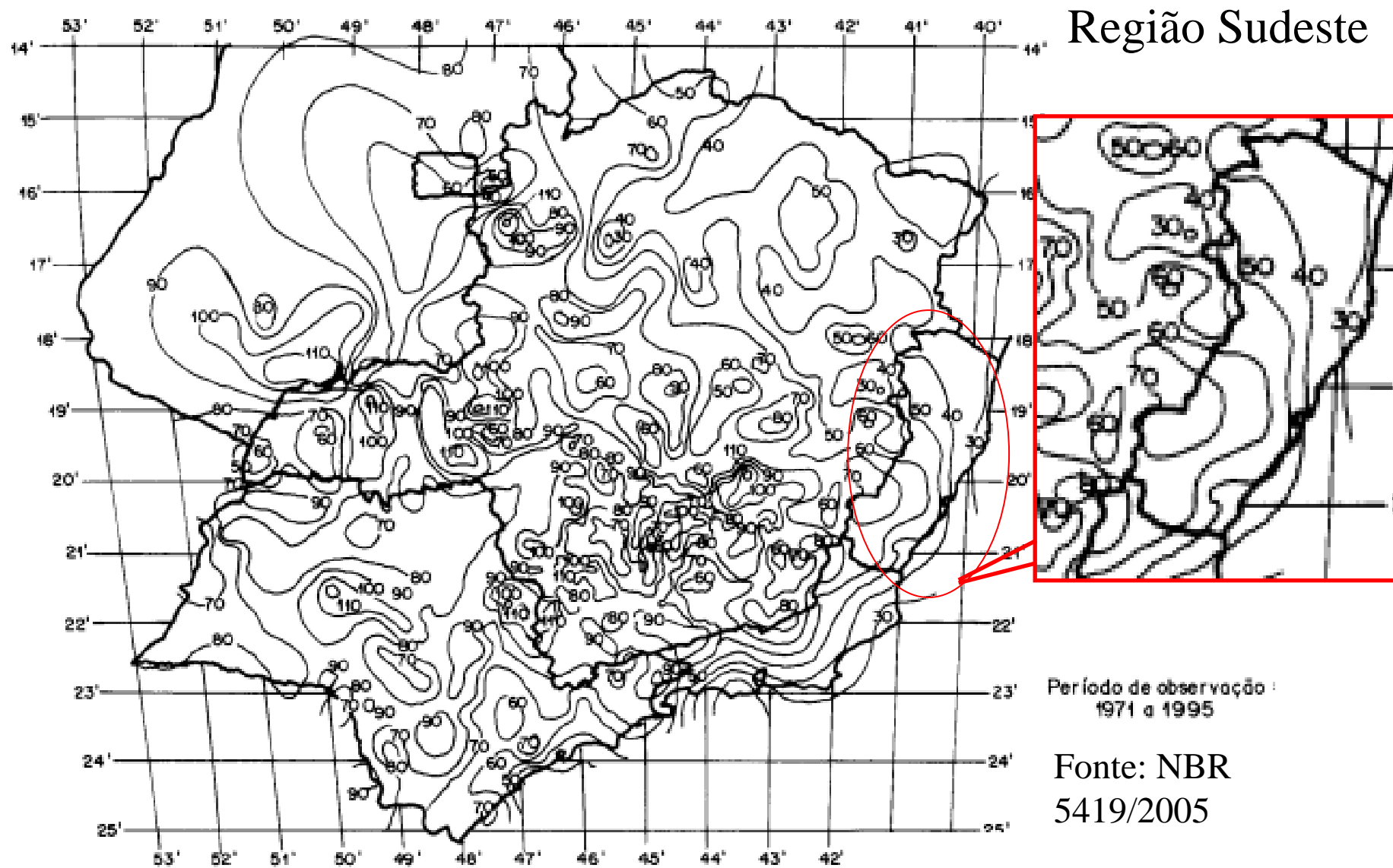


# Mapa de Curvas Isocerânicas (Brasil)



Fonte: NBR 5419/2005

# Mapa de Curvas Isocerânicas





# Exemplo de cálculo para $R_A$

- Determinação de  $P_A$ :

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

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)

- Determinação de  $L_A$ :

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

Número de pessoas na zona (dado de projeto)

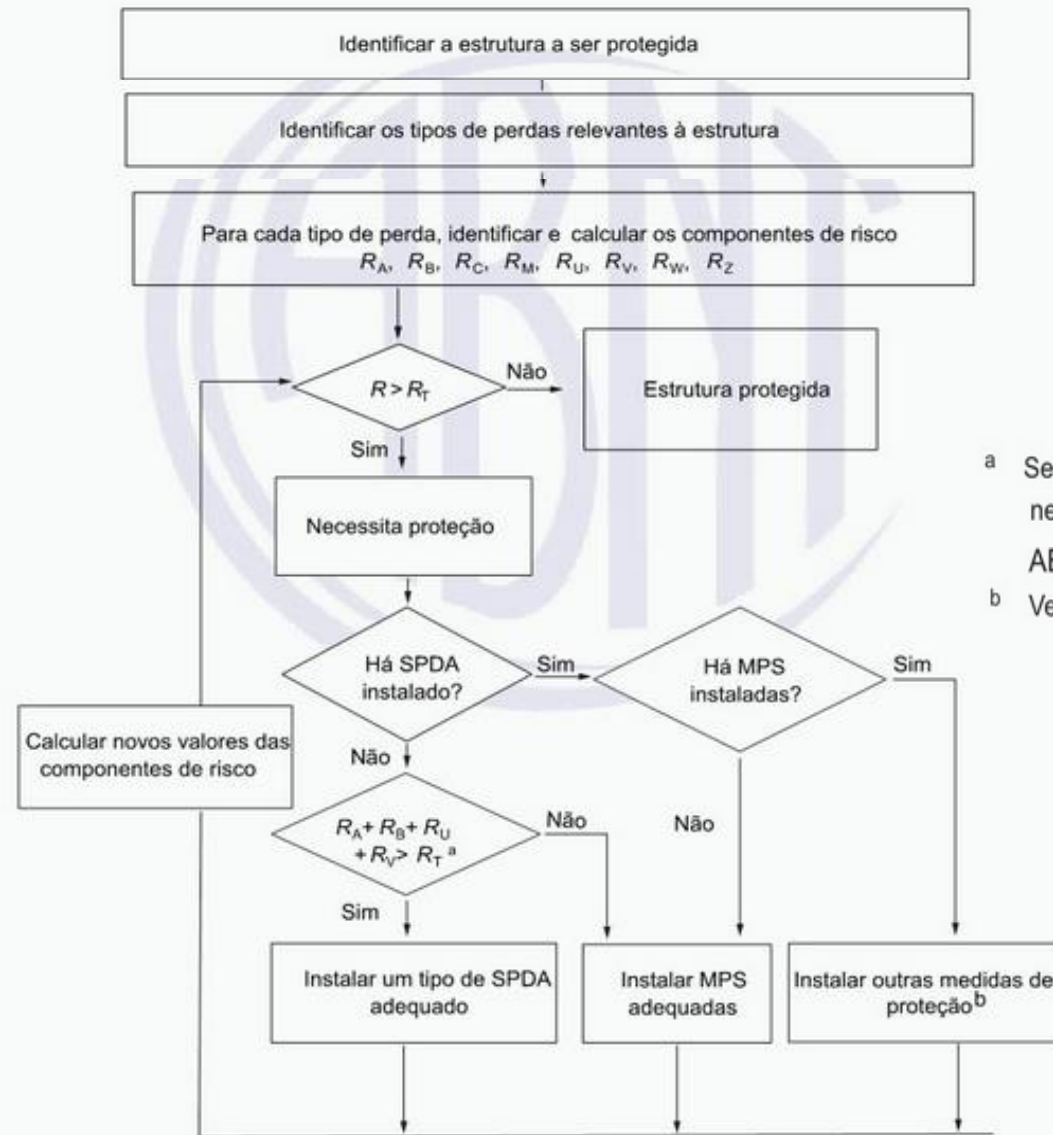
Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano (dado de projeto)

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)

# Fluxograma de Avaliação de Risco



<sup>a</sup> 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.

<sup>b</sup> Ver Tabela 3.

# Exemplo 1 - Cálculo de Risco

Exemplo) Seja um edifício com 32 unidades residenciais, com total de pessoas na estrutura igual a 120, localizado em Joinville/SC, em território plano com estruturas de mesma altura na redondeza. O edifício possui altura total ( $H_m$ ) de 26 m, comprimento ( $L$ ) de 22,5 m e largura ( $W$ ) de 23 m. As linhas de energia e telefonia são aéreas e sem blindagem, com comprimento de 200 m e 100 m respectivamente.

Considerações: calcular somente o risco  $R_1$  para perda de vidas humanas ( $L_1$ ) com componentes  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$ . Adotar  $R_T = 10^{-5}$ .

