

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
5419-2

Primeira edição
22.05.2015

Versão corrigida
02.07.2018

Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco

*Lightning protection
Part 2: Risk management*



ICS 91.120.40

ISBN 978-85-07-05502-0



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 5419-2:2015
104 páginas

© ABNT 2015

ABNT NBR 5419-2:2015



© ABNT 2015

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	ix
Introdução	xi
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos, definições, símbolos e abreviaturas	2
3.1 Termos e definições	2
3.2 Símbolos e abreviaturas	9
4 Interpretação dos termos	14
4.1 Danos e perdas	14
4.1.1 Fontes dos danos	14
4.1.2 Tipos de danos	14
4.1.3 Tipos de perdas	14
4.2 Riscos e componentes de risco	15
4.2.1 Risco	15
4.2.2 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura	16
4.2.3 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura	16
4.2.4 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura	16
4.2.5 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura	17
4.3 Composição dos componentes de risco	17
5 Gerenciamento de risco	19
5.1 Procedimento básico	19
5.2 Estrutura a ser considerada para análise de risco	19
5.3 Risco tolerável R_T	20
5.4 Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção	20
5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção	21
5.6 Medidas de proteção	23
5.7 Seleção das medidas de proteção	24
6 Análise dos componentes de risco	24
6.1 Equação básica	24
6.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)	25
6.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)	25
6.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)	25
6.5 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)	26
6.6 Sumário dos componentes de risco	27

ABNT NBR 5419-2:2015

6.7	Dividindo a estrutura em zonas Z_S	28
6.8	Dividindo uma linha em seções S_L	28
6.9	Análise dos componentes de risco em uma estrutura com zonas Z_S	29
6.9.1	Critério geral.....	29
6.9.2	Estrutura com zona única.....	29
6.9.3	Estrutura multizona.....	29
6.10	Análise de custo-benefício para perda econômica (L4).....	30
Anexo A	(informativo) Análise do número anual N de eventos perigosos.....	31
A.1	Geral.....	31
A.2	Análise do número médio anual de eventos perigosos N_D devido a descargas atmosféricas na estrutura e N_{DJ} em uma estrutura adjacente.....	31
A.2.1	Determinação da área de exposição equivalente A_D	31
A.2.1.1	Estrutura retangular.....	32
A.2.1.2	Estrutura com forma complexa.....	32
A.2.2	Estrutura como uma parte de uma edificação.....	34
A.2.3	Localização relativa da estrutura.....	35
A.2.4	Número de eventos perigosos N_D para a estrutura.....	36
A.2.5	Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente.....	36
A.3	Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura.....	36
A.4	Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha.....	37
A.5	Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_I devido a descargas atmosféricas perto da linha.....	38
Anexo B	(informativo) Avaliação da probabilidade P_X de danos.....	40
B.1	Geral.....	40
B.2	Probabilidade P_A de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico.....	40
B.3	Probabilidade P_B de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos.....	41
B.4	Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos.....	41
B.5	Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos.....	43
B.6	Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico.....	45
B.7	Probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos.....	47
B.8	Probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos.....	48
B.9	Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos.....	48
Anexo C	(informativo) Análise de quantidade de perda L_X	50
C.1	Geral.....	50

C.2	Quantidade relativa média da perda por evento perigoso	50
C.3	Perda de vida humana (L1).....	50
C.4	Perda inaceitável de serviço ao público (L2).....	55
C.5	Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3).....	56
C.6	Perda econômica (L4)	56
Anexo D (informativo) Avaliação dos custos das perdas		59
Anexo E (informativo) Estudo de caso.....		61
E.1	Geral	61
E.2	Casa de campo	61
E.2.1	Dados relevantes e características	62
E.2.2	Definição das zonas em uma casa de campo	63
E.2.3	Cálculo das quantidades relevantes	65
E.2.4	Risco R_1 – Determinação da necessidade de proteção	66
E.2.5	Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção	66
E.3	Edifício de escritórios.....	67
E.3.1	Características e dados relevantes	68
E.3.2	Definição das zonas em um edifício de escritórios	69
E.3.3	Cálculo das quantidades relevantes	74
E.3.4	Risco R_1 – Decisão da necessidade de proteção	75
E.3.5	Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção	75
E.4	Hospital	76
E.4.1	Dados relevantes e características	77
E.4.2	Definição das zonas em um hospital	79
E.4.3	Cálculo das quantidades relevantes	84
E.4.4	Risco R_1 – Decisão da necessidade de proteção	85
E.4.5	Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção	87
E.4.6	Risco R_4 – Análise de custo-benefício.....	89
E.5	Bloco de apartamentos.....	91
E.5.1	Dados relevantes e características	91
E.5.2	Definição das zonas em um bloco de apartamentos.....	93
E.5.3	Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção	94
Anexo F (informativo) Densidade de descargas atmosféricas N_G		96
F.1	Considerações sobre os dados apresentados relacionados à densidade de descargas atmosféricas	96
Bibliografia.....		103

Figuras

Figura 1 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção	22
Figura 2 – Procedimento para avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção	23
Figura A.1 – Área de exposição equivalente A_D de uma estrutura isolada	32
Figura A.2 – Estrutura com forma complexa	33

ABNT NBR 5419-2:2015

Figura A.3 – Diferentes métodos para determinar a área de exposição equivalente para uma dada estrutura	34
Figura A.4 – Estrutura a ser considerada para a avaliação para a área de exposição equivalente A_D	35
Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes (A_D , A_M , A_I , A_L)	39
Figura E.1 – Casa de campo.....	61
Figura E.2 – Edifício de escritórios.....	67
Figura E.3 – Hospital.....	77
Figura E.4 – Bloco de apartamentos	91
Figura F.1 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa do Brasil (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	97
Figura F.2 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região norte (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	98
Figura F.3 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região nordeste (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	99
Figura F.4 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região centro-oeste (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	100
Figura F.5 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região Sudeste (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	101
Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	102
Tabelas	
Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.....	15
Tabela 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.....	18
Tabela 3 – Fatores que influenciam os componentes de risco.....	18
Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T	20
Tabela 5 – Parâmetros relevantes para avaliação dos componentes de risco	26
Tabela 6 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos.....	27
Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D	36
Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C_I	37
Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T	38
Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C_E	38
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.....	40
Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos	41
Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados	42
Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.....	42

Tabela B.5 – Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna.....	45
Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas	46
Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados	46
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	47
Tabela B.9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_W dos equipamentos	49
Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona	51
Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	52
Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso	53
Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio	53
Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura....	53
Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	54
Tabela C.7 – Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona	55
Tabela C.8 – Tipo de perda L2: valores médios típicos de L_F e L_O	55
Tabela C.9 – Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona	56
Tabela C.10 – Tipo de perda L3: valor médio típico de L_F	56
Tabela C.11 – Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona.....	57
Tabela C.12 – Tipo de perda L4: valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	58
Tabela E.1 – Casa de campo: características da estrutura e meio ambiente	62
Tabela E.2 – Casa de campo: linha de energia	62
Tabela E.3 – Casa de campo: linha de sinal.....	63
Tabela E.4 – Casa de campo: fator válido para a zona Z_2 (dentro da casa).....	64
Tabela E.5 – Casa de campo: áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas	65
Tabela E.6 – Casa de campo: número esperado anual de eventos perigosos.....	65
Tabela E.7 – Casa de campo: risco R_1 para estrutura não protegida (valores $\times 10^{-5}$).....	66
Tabela E.8 – Casa de campo: componentes de risco relevantes ao risco R_1 para a estrutura protegida	67
Tabela E.9 – Edifício de escritórios: características da estrutura e do meio ambiente.....	68
Tabela E.10 – Edifício de escritórios: linha de energia.....	68
Tabela E.12 – Edifício de escritórios: distribuição das pessoas nas zonas.....	70
Tabela E.13 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_1 (entrada da área externa) .	71
Tabela E.14 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_2 (jardim externo)	71
Tabela E.15 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_3 (arquivos).....	72
Tabela E.16 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_4 (escritórios)	72
Tabela E.17 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_5 (centro de informática)	73
Tabela E.18 – Edifício de escritórios: áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas	74

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.19 – Edifício de escritórios: Número anual de eventos perigosos esperados	75
Tabela E.20 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estruturas não protegidas (valores $\times 10^{-5}$)	75
Tabela E.21 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estrutura protegida (valores $\times 10^{-5}$)	76
Tabela E.22 – Hospital: características ambientais e globais da estrutura	77
Tabela E.23 – Hospital: linha de energia	78
Tabela E.24 – Hospital: linha de sinal	78
Tabela E.25 – Hospital: distribuição das pessoas e dos valores econômicos nas zonas	80
Tabela E.26 – Hospital: fatores válidos para zona Z_1 (fora do edifício)	81
Tabela E.27 – Hospital: fatores válidos para zona Z_2 (bloco de apartamentos)	81
Tabela E.28 – Hospital: fatores válidos para zona Z_3 (bloco cirúrgico)	82
Tabela E.29 – Hospital: fatores válidos para a zona Z_4 (Unidade de Terapia Intensiva)	83
Tabela E.30 – Hospital: áreas de exposição equivalentes da estrutura e linhas	85
Tabela E.31 – Hospital: número anual de eventos perigosos esperados	85
Tabela E.32 – Hospital: risco R_1 – Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção	86
Tabela E.33 – Hospital: risco R_1 para a estrutura sem proteção (valores $\times 10^{-5}$)	86
Tabela E.34 – Hospital: risco R_1 para estrutura protegida de acordo com a solução 1 (valores $\times 10^{-5}$)	88
Tabela E.35 – Hospital: risco R_1 para a estrutura protegida de acordo com a solução 2 (valores $\times 10^{-5}$)	88
Tabela E.36 – Hospital: Risco R_1 para estruturas protegidas conforme a solução c) (valores $\times 10^{-5}$)	89
Tabela E.37 – Hospital: custo de perda C_L (não protegida) e C_{RL} (protegida)	90
Tabela E.38 – Hospital: taxas relevantes às medidas de proteção	90
Tabela E.39 – Hospital: custo C_P e C_{PM} das medidas de proteção (valores em \$)	90
Tabela E.40 – Hospital: economia anual monetária (valores em \$)	91
Tabela E.41 – Bloco de apartamentos: características ambientais e globais da estrutura	92
Tabela E.42 – Bloco de apartamentos: linha de energia	92
Tabela E.43 – Bloco de apartamentos: linha de sinal	93
Tabela E.44 – Bloco de apartamentos: fatores válidos para zona Z_2 (dentro da edificação)	94
Tabela E.45 – Bloco de apartamentos: Risco R_1 para um bloco de apartamentos dependendo das medidas de proteção	95

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretiva ABNT, Parte 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma, independentemente de sua data de entrada em vigor.

A ABNT NBR 5419-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (CE-003:064.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 08, de 12.08.2014 a 10.12.2014, com o número de Projeto 03:064.10-100/2.

Esta parte da ABNT NBR 5419 e as ABNT NBR 5419-1, ABNT NBR 5419-3 e ABNT NBR 5419-4 cancelam e substituem a(s) ABNT NBR 5419:2005.

Esta versão corrigida da ABNT NBR 5419-2:2015 incorpora a Errata 1, de 02.07.2018.

As instalações elétricas cobertas pela ABNT NBR 5419 estão sujeitas também, naquilo que for pertinente, às normas para fornecimento de energia estabelecidas pelas autoridades reguladoras e pelas empresas distribuidoras de eletricidade.

A ABNT NBR 5419, sob o título geral *“Proteção contra descargas atmosféricas”*, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Princípios gerais;
- Parte 2: Gerenciamento de risco;
- Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida
- Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

This part of ABNT NBR 5419 is applicable to risk assessment for a structure due to lightning flashes to earth.

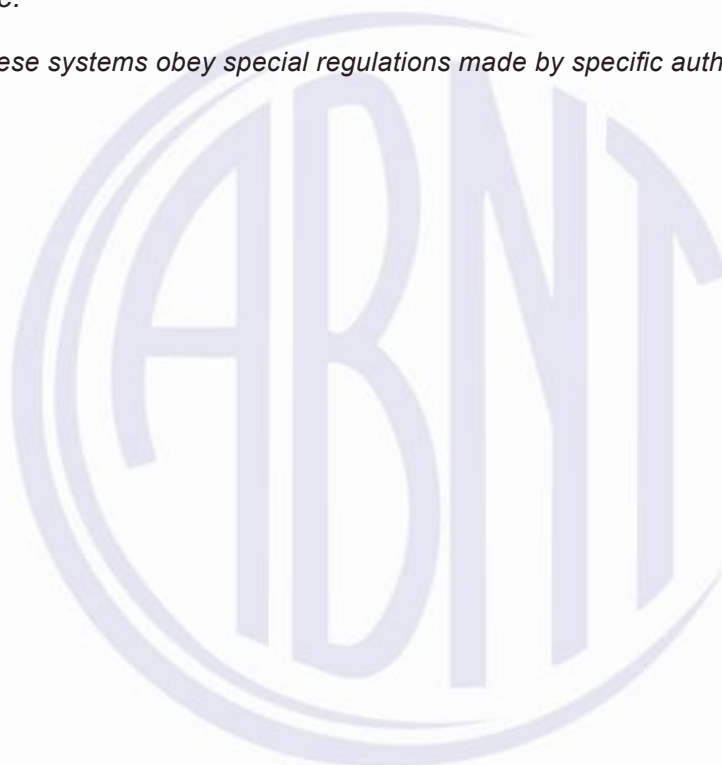
ABNT NBR 5419-2:2015

Its purpose is to provide a procedure for the evaluation of such a risk. Once an upper tolerable limit for the risk has been selected, this procedure allows the selection of appropriate protection measures to be adopted to reduce the risk to or below the tolerable limit.

ABNT NBR 5419 applies to all projects and new facilities, as well as those in case of inspection or building refit, do not conform "as built" original documentation. The applicability of this part of ABNT NBR 5419 may have restrictions especially in the protection of human life when it is based on indirect effects of lightning.

This part of ABNT NBR 5419 does not apply to rail systems, vehicles, aircraft, ships and offshore platforms, high pressure underground pipelines, pipes and supply lines and telecommunications placed outside the structure.

NOTE *Usually these systems obey special regulations made by specific authorities.*



Introdução

Descargas atmosféricas para a terra podem ser perigosas para as estruturas e para as linhas de energia e de sinal.

Os perigos para uma estrutura podem resultar em:

- danos à estrutura e ao seu conteúdo;
- falhas aos sistemas eletroeletrônicos associados,
- ferimentos a seres vivos dentro ou perto das estruturas.

Os efeitos consequentes dos danos e falhas podem ser estendidos às vizinhanças da estrutura ou podem envolver o meio ambiente.

Para reduzir as perdas devido às descargas atmosféricas, podem ser necessárias medidas de proteção. Quando estas são necessárias, e em qual medida, deve ser determinado pela análise de risco.

O risco, definido por esta Norma como a provável perda média anual em uma estrutura devido às descargas atmosféricas, depende de:

- o número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura;
- a probabilidade de dano por uma das descargas atmosféricas que influenciam;
- a quantidade média das perdas causadas.

As descargas atmosféricas que influenciam a estrutura podem ser divididas em:

- descargas diretas à estrutura,
- descargas próximas à estrutura, diretas às linhas conectadas (linhas de energia, linhas de telecomunicações) ou perto das linhas.

Descargas atmosféricas diretas à estrutura ou a uma linha conectada podem causar danos físicos e perigo à vida.

Descargas atmosféricas próximas à estrutura ou à linha, assim como as descargas atmosféricas diretas à estrutura ou à linha, podem causar falhas dos sistemas eletroeletrônicos devido às sobretensões resultantes do acoplamento resistivo e indutivo destes sistemas com a corrente da descarga atmosférica.

Entretanto, as falhas causadas pelas sobretensões atmosféricas nas instalações do usuário e nas linhas de suprimento de energia podem também gerar sobretensões do tipo chaveamento nas instalações.

NOTA O mau funcionamento dos sistemas eletroeletrônicos não é coberto pela serie ABNT NBR 5419. Para tanto, recomenda-se consultar a IEC 61000-4-5.

ABNT NBR 5419-2:2015

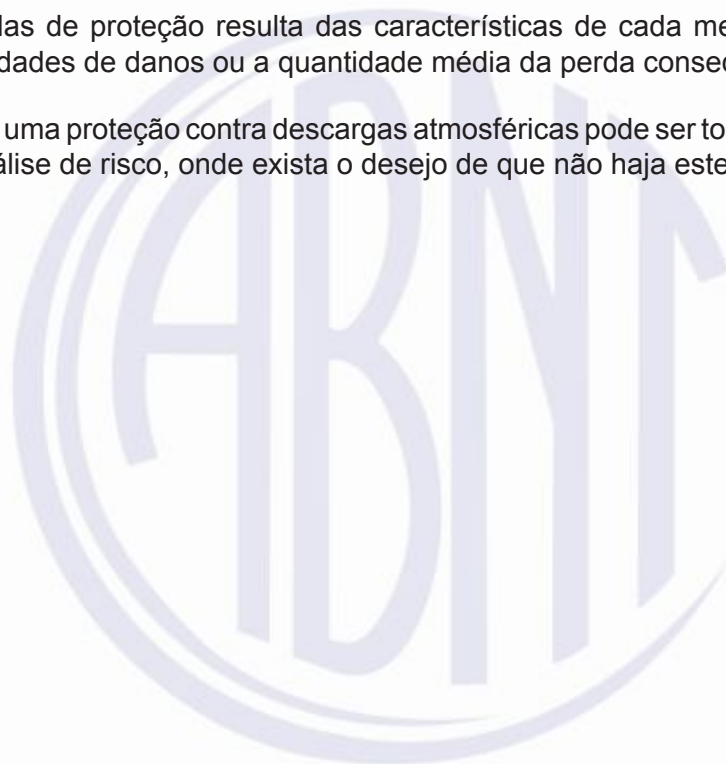
O número das descargas atmosféricas que influenciam a estrutura depende das dimensões e das características das estruturas e das linhas conectadas, das características do ambiente da estrutura e das linhas, assim como da densidade de descargas atmosféricas para a terra na região onde estão localizadas a estrutura e as linhas.

A probabilidade de danos devido à descarga atmosférica depende da estrutura, das linhas conectadas, e das características da corrente da descarga atmosférica, assim como do tipo e da eficiência das medidas de proteção efetuadas.

A quantidade média da perda consequente depende da extensão dos danos e dos efeitos consequentes, os quais podem ocorrer como resultado de uma descarga atmosférica.

O efeito das medidas de proteção resulta das características de cada medida de proteção e pode reduzir as probabilidades de danos ou a quantidade média da perda consequente.

A decisão de prover uma proteção contra descargas atmosféricas pode ser tomada independentemente do resultado da análise de risco, onde exista o desejo de que não haja este.



Proteção contra descargas atmosféricas

Parte 2: Gerenciamento de risco

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos. Uma vez que um limite superior tolerável para o risco foi escolhido, este procedimento permite a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco ao limite ou abaixo do limite tolerável.

A aplicabilidade desta Parte da ABNT NBR 5419 pode ter restrições especialmente na proteção da vida humana quando for baseada em efeitos indiretos de descargas atmosféricas.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 não se aplica a sistemas ferroviários, veículos, aviões, navios e plataformas *offshore*, tubulações subterrâneas de alta pressão, tubulações e linhas de energia e de sinais colocados fora da estrutura.

NOTA Usualmente, estes sistemas obedecem a regulamentos especiais elaborados por autoridades específicas.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5419-1:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais*

ABNT NBR 5419-3:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida*

ABNT NBR 5419-4:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura*

ABNT NBR IEC 60050-426, *Vocabulário eletrotécnico internacional – Parte 426: Equipamentos para atmosferas explosivas*

ABNT NBR IEC 60079-10-1, *Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás*

ABNT NBR IEC 60079-10-2, *Atmosferas explosivas – Parte 10-2: Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras combustíveis*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

ABNT NBR 5419-2:2015

3 Termos, definições, símbolos e abreviaturas.

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos, definições, símbolos e abreviaturas.

3.1 Termos e definições

3.1.1

descarga atmosférica para a terra (*lightning flash to earth*)

descarga elétrica de origem atmosférica entre nuvem e terra, consistindo em um ou mais componentes da descarga atmosférica

3.1.2

descarga atmosférica descendente (*downward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder descendente de uma nuvem para terra

3.1.3

descarga atmosférica ascendente (*upward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder ascendente de uma estrutura aterrada para uma nuvem

3.1.4

componente da descarga atmosférica (*lightning stroke*)

descarga elétrica singela de uma descarga atmosférica para a terra

3.1.5

componente curta da descarga atmosférica (*short stroke*)

parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a um impulso de corrente

NOTA A corrente em questão tem um tempo para o meio valor T_2 tipicamente inferior a 2 ms.

3.1.6

componente longa da descarga atmosférica (*long stroke*)

parte de uma descarga atmosférica para terra que corresponde a componente da corrente de continuidade

NOTA A duração T_{longo} (intervalo entre o valor 10 % na frente ao valor 10 % na cauda) desta corrente de continuidade é tipicamente superior a 2 ms e menor que 1 s.

3.1.7

múltiplos componentes da descarga atmosférica (*multiple strokes*)

descarga atmosférica para a terra que consiste em média de 3 a 4 componentes, com um intervalo de tempo típico entre eles de cerca de 50 ms

NOTA Existem relatos de eventos que têm algumas dezenas de componentes com intervalos entre eles entre 10 ms e 250 ms.

3.1.8

ponto de impacto (*point of strike*)

ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, ou um objeto elevado (por exemplo: estrutura, SPDA, serviços, árvore, etc.)

NOTA Uma descarga atmosférica para a terra pode ter diversos pontos de impacto.

3.1.9**corrente da descarga atmosférica***i*

corrente que flui no ponto de impacto

3.1.10**valor de pico da corrente***I*

máximo valor da corrente de descarga atmosférica

3.1.11**estrutura a ser protegida**

estrutura para qual a proteção é necessária contra os efeitos das descargas atmosféricas de acordo com esta Norma

NOTA A estrutura a ser protegida pode ser uma parte de uma estrutura maior.

3.1.12**estruturas com risco de explosões**

estruturas contendo materiais sólidos explosivos ou zonas perigosas determinadas de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1 e ABNT NBR IEC 60079-10-2

3.1.13**estruturas perigosas ao meio ambiente**

estruturas que podem causar emissões biológicas, químicas ou radioativas como consequência de uma descarga atmosférica (como plantas químicas, petroquímicas, nucleares etc.)

3.1.14**ambiente urbano**

área com alta densidade de edificações ou comunidades densamente populosas com edifícios altos

NOTA O centro de uma cidade é um exemplo de um ambiente urbano.

3.1.15**ambiente suburbano**

área com uma densidade média de edificações

NOTA A periferia de uma cidade é um exemplo de um ambiente suburbano.

3.1.16**ambiente rural**

área com baixa densidade de edificações

NOTA A zona rural (sítios e fazendas) é um exemplo de um ambiente rural.

3.1.17**nível de tensão nominal suportável de impulso***U_w*

tensão suportável de impulso definida pelo fabricante de um equipamento ou de uma parte dele, caracterizando a capacidade de suportabilidade específica da sua isolação contra sobretensões (transitórias)

[IEC 60664-1:2007, definição 3.9.2, modificada]

NOTA Para os efeitos desta Norma, somente a tensão suportável entre condutores vivos e a terra é considerada.

ABNT NBR 5419-2:2015

3.1.18

sistema elétrico

sistema que incorpora componentes de fornecimento de energia em baixa tensão

3.1.19

sistema eletrônico

sistema que incorpora os componentes de uma instalação elétrica de sinal, por exemplo, equipamentos eletrônicos de sinais, controladores microprocessados, sistemas de instrumentação, sistemas de rádio

3.1.20

sistemas internos

sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura

3.1.21

linha

linha de energia ou linha de sinal conectada à estrutura a ser protegida

3.1.22

linhas de sinais

linhas utilizadas para comunicação entre equipamentos que podem ser instalados em estruturas separadas, como as linhas telefônicas e as linhas de dados

3.1.23

linhas de energia

linhas de transmissão que fornecem energia elétrica, dentro de uma estrutura, aos equipamentos eletrônicos e elétricos localizados nesta, por exemplo, os quadros elétricos de baixa tensão (BT) ou alta tensão (AT)

3.1.24

evento perigoso

descarga atmosférica direta ou perto da estrutura a ser protegida ou direta ou perto de uma linha conectada à estrutura a ser protegida que pode causar danos

3.1.25

descarga atmosférica na estrutura (*lightning flash to a structure*)

descarga atmosférica que atinge uma estrutura a ser protegida

3.1.26

descarga atmosférica perto de uma estrutura (*lightning flash near a structure*)

descarga atmosférica que atinge perto o suficiente de uma estrutura a ser protegida que pode causar sobretensões perigosas

3.1.27

descarga atmosférica direta a uma linha (*lightning flash to a line*)

descarga atmosférica que atinge uma linha conectada à estrutura a ser protegida

3.1.28

descarga atmosférica perto de uma linha (*lightning flash near a line*)

descarga atmosférica que atinge perto o suficiente de uma linha conectada à estrutura a ser protegida que pode causar sobretensões perigosas

3.1.29**número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura** **N_D**

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura

3.1.30**número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma linha** **N_L**

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma linha

3.1.31**número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma estrutura** **N_M**

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma estrutura

3.1.32**número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma linha** **N_l**

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma linha

3.1.33**pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas (*lightning electromagnetic impulse*)****LEMP**

todos os efeitos eletromagnéticos provocados pelas correntes das descargas atmosféricas via acoplamento resistivo, indutivo e capacitivo, que criem surtos e campos eletromagnéticos

3.1.34**surto**

efeito transitório causado por LEMP que aparece na forma de sobretensão e/ou sobrecorrente

3.1.35**nó**

ponto de uma linha a partir do qual a propagação do surto pode ser assumido como irrisória

EXEMPLO O ponto em um ramal de distribuição de uma linha de energia no transformador AT/BT ou em uma subestação de energia, a estação de sinal ou um equipamento (por exemplo, o multiplexador ou um equipamento xDSL) em uma linha de sinal.

3.1.36**danos físicos**

danos a uma estrutura (ou a seu conteúdo) devido aos efeitos mecânicos, térmicos, químicos ou explosivos da descarga atmosférica

3.1.37**ferimentos a seres vivos**

ferimentos, incluindo perda da vida, em pessoas ou animais, devido a tensões de toque e de passo causadas pelas descargas atmosféricas

NOTA Embora os seres vivos possam se ferir de outras maneiras, nesta Parte da ABNT NBR 5419, o termo “ferimentos a seres vivos” está limitado às ameaças devido ao choque elétrico (tipo de dano D1).

ABNT NBR 5419-2:2015**3.1.38****falhas de sistemas eletroeletrônicos**

danos permanentes de sistemas eletroeletrônicos devido aos LEMP

3.1.39**probabilidade de dano**

P_X

probabilidade de um evento perigoso causar danos na, ou dentro, da estrutura a ser protegida

3.1.40**perda**

L_X

quantidade média de perda (pessoas e bens) consequente a um tipo específico de dano devido a um evento perigoso, relativo a um valor (pessoas e bens) de uma estrutura a ser protegida

3.1.41**risco**

R

valor da perda média anual provável (pessoas e bens) devido à descarga atmosférica, em relação ao valor total (pessoas e bens) da estrutura a ser protegida

3.1.42**componente de risco**

R_X

risco parcial que depende da fonte e do tipo de dano

3.1.43**risco tolerável**

R_T

valor máximo do risco que pode ser tolerável para a estrutura a ser protegida

3.1.44**zona de uma estrutura**

Z_S

parte de uma estrutura com características homogêneas onde somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de um componente de risco

3.1.45**seção de uma linha**

S_L

parte de uma linha com características homogêneas onde somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de um componente de risco

3.1.46**zona de proteção contra descarga atmosférica “raio” (*lightning protection zone - LPZ*)**

ZPR

zona onde o ambiente eletromagnético causado pelo raio é definido

NOTA O limite de um ZPR não é necessariamente um limite físico (por exemplo, paredes, piso e teto).

3.1.47**nível de proteção contra descargas atmosféricas (*lightning protection level*)****NP**

número associado a um conjunto de parâmetros da corrente da descarga atmosférica para garantir que os valores especificados em projeto não estão superdimensionados ou subdimensionados quando da ocorrência de uma descarga atmosférica

NOTA O nível de proteção contra descargas atmosféricas é utilizado para projetar as medidas de proteção de acordo com o conjunto relevante de parâmetros da corrente da descarga atmosférica.

3.1.48**medidas de proteção**

medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir os riscos

3.1.49**proteção contra descargas atmosféricas****PDA**

sistema completo para proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas, incluindo seus sistemas internos e conteúdo, assim como as pessoas, em geral consistindo em um SPDA e MPS

3.1.50**sistema de proteção contra descargas atmosféricas****SPDA**

sistema utilizado para reduzir danos físicos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura

NOTA Consiste nos sistemas externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas.

3.1.51**medidas de proteção contra surtos (*LEMP protection measures*)****MPS**

medidas a serem tomadas para proteger os sistemas internos contra os efeitos dos LEMP

NOTA É uma parte da proteção contra descargas atmosféricas.

3.1.52**blindagem magnética**

tela metálica, em forma de malha ou contínua, que envolve a estrutura a ser protegida, ou parte dela, utilizada para reduzir falhas dos sistemas eletroeletrônicos

3.1.53**cabo protegido contra descargas atmosféricas**

cabo especial com aumento de isolamento dielétrico, cujo revestimento metálico está em contínuo contato com o solo diretamente ou por meio de cobertura plástica condutora

3.1.54**duto (para cabos) protegido contra descargas atmosféricas**

duto (para cabos) de baixa resistividade em contato com o solo (por exemplo, de concreto com armadura de aço interconectada ou duto metálico)

3.1.55**dispositivo de proteção contra surto****DPS**

dispositivo destinado a limitar as sobretensões e desviar correntes de surto. Contém pelo menos um componente não linear

ABNT NBR 5419-2:2015**3.1.56****sistema coordenado de DPS**

DPS adequadamente selecionados, coordenados e instalados para formar um conjunto que visa reduzir falhas nos sistemas internos

3.1.57**interfaces isolantes**

dispositivos que são capazes de reduzir surtos conduzidos nas linhas que adentram as zonas de proteção contra raios (ZPR)

NOTA 1 Estas incluem transformadores de isolamento com grade aterrada entre enrolamentos, cabos de fibras ópticas não metalizados e optoisoladores.

NOTA 2 As características de suportabilidade isolante destes dispositivos são adequadas para esta aplicação intrinsecamente ou por meio de DPS.

3.1.58**ligação equipotencial para descargas atmosféricas (*lightning equipotential bonding*)
EB**

ligação ao SPDA de partes metálicas separadas, por conexões condutoras diretas ou por meio de dispositivos de proteção contra surtos, para reduzir diferenças de potenciais causadas pelas correntes das descargas atmosféricas

3.1.59**zona 0**

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa está presente continuamente ou por longos períodos ou frequentemente (ver ABNT NBR IEC 60050-426)

3.1.60**zona 1**

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa pode ocorrer em operação normal ocasionalmente (ver ABNT NBR IEC 60050-426)

3.1.61**zona 2**

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa não é provável de ocorrer em operação normal mas, se isto acontecer, irá persistir somente por períodos curtos

NOTA 1 Nesta definição, a palavra “persistir” significa o tempo total durante o qual a atmosfera inflamável irá existir. Isto irá compreender a duração total da ocorrência mais o tempo levado para que a atmosfera inflamável se disperse depois da ocorrência ter cessado.

NOTA 2 Indicações da frequência de ocorrência e duração podem ser obtidas das normas relativas a indústrias ou aplicações específicas.

3.1.62**zona 20**

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, está presente continuamente ou por longos períodos ou frequentemente (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.1.63**zona 21**

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, pode ocorrer em operação normal ocasionalmente (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.1.64**zona 22**

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, não é provável de ocorrer em operação normal, mas se isto ocorrer, irá persistir somente por um período curto (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.2 Símbolos e abreviaturas

a	Taxa de amortização
A_D	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
A_{DJ}	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
$A_{D'}$	Área de exposição equivalente atribuída a uma saliência elevada na cobertura
A_l	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
A_L	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
A_M	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
B	Edificação
C_D	Fator de localização
C_{DJ}	Fator de localização de uma estrutura adjacente
C_E	Fator ambiental
C_l	Fator de instalação de uma linha
C_L	Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção
C_{LD}	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
C_{LI}	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
C_{LZ}	Custo das perdas em uma zona
C_P	Custo das medidas de proteção
C_{PM}	Custo anual das medidas de proteção selecionadas
C_{RL}	Custo anual de perdas residuais
C_{RLZ}	Custo de perdas residuais em uma zona

ABNT NBR 5419-2:2015

C_T	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
c_a	Valor dos animais em uma zona, em espécie
c_b	Valor do edifício relevante a zona, em espécie
c_c	Valor do conteúdo em uma zona, em espécie
c_e	Valor total dos bens em locais perigosos fora da estrutura, em espécie
c_s	Valor dos sistemas internos (incluindo suas atividades) em uma zona, em espécie
c_t	Valor total da estrutura, em espécie
c_z	Valor do patrimônio cultural em uma zona, em espécie
D1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
D2	Danos físicos
D3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos
h_z	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
H	Altura da estrutura
H_J	Altura de uma estrutura adjacente
i	Taxa de juros
K_{MS}	Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra LEMP
K_{S1}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
K_{S2}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura
K_{S3}	Fator relevante às características do cabeamento interno
K_{S4}	Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
L	Comprimento da estrutura
L_a	Comprimento da estrutura adjacente
L_A	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
L_B	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)
L_L	Comprimento de uma seção da linha
L_C	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
L_E	Perda adicional quando os danos envolvem estruturas ao redor

L_F	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
L_{FE}	Perda devido a danos físicos fora da estrutura
L_{FT}	Perda total devido a danos físicos dentro e fora da estrutura
L_M	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)
L_O	Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos
L_T	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
L_U	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)
L_V	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)
L_W	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)
L_X	Perda consequente a danos relevantes à estrutura
L_Z	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)
L_1	Perda de vida humana
L_2	Perda de serviço ao público
L_3	Perda de patrimônio cultural
L_4	Perda de valor econômico
m	Taxa de manutenção
N_X	Número de eventos perigosos por ano
N_D	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura
N_{DJ}	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente
N_G	Densidade de descargas atmosféricas para a terra
N_l	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha
N_L	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha
N_M	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura
n_z	Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)
n_t	Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado
P	Probabilidade de danos
P_A	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

ABNT NBR 5419-2:2015

P_B	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
P_C	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
P_{EB}	Probabilidade de reduzir P_U e P_V dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada
P_{LD}	Probabilidade de reduzir P_U , P_V e P_W dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)
P_{LI}	Probabilidade de reduzir P_Z dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
P_M	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)
P_{MSI}	Probabilidade de reduzir P_M dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento
P_{SPD}	Probabilidade de reduzir P_C , P_M , P_W e P_Z quando um sistema coordenado de DPS está instalado
P_{TA}	Probabilidade de reduzir P_A dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo
P_U	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
P_V	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
P_W	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)
P_X	Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
P_Z	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
r_t	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo
r_f	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio
r_p	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
R	Risco
R_A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
R_B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
R_C	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)
R_M	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)
R_S	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo
R_T	Risco tolerável

R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_X	Componente de risco para uma estrutura
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)
R_1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura
R_2	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura
R_3	Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura
R_4	Risco de perda de valor econômico em uma estrutura
R'_4	Risco R_4 quando medidas de proteção forem adotadas
S	Estrutura
S	Economia anual de dinheiro
S_L	Seção de uma linha
S_1	Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura
S_2	Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura
S_3	Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha
S_4	Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha
t_e	Tempo, em horas por ano, da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura
t_z	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso
T_D	Dias de tempestades por ano
U_W	Tensão suportável nominal de impulso de um sistema
w	Largura da malha
W	Largura da estrutura
W_J	Largura da estrutura adjacente
X	Identificador subscrito do componente de risco relevante
Z_S	Zonas de uma estrutura

ABNT NBR 5419-2:2015**4 Interpretação dos termos****4.1 Danos e perdas****4.1.1 Fontes dos danos**

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano. As seguintes fontes são distintas pelo ponto de impacto (ver Tabela 1):

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas na linha;
- d) S4: descargas atmosféricas perto da linha.

4.1.2 Tipos de danos

A descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características mais importantes são: tipo de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas de proteção existentes.

Para aplicações práticas desta análise de risco, é usual distinguir entre três tipos básicos de danos os quais aparecem como consequência das descargas atmosféricas. Eles são os seguintes (ver Tabela 1):

- a) D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- b) D2: danos físicos;
- c) D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

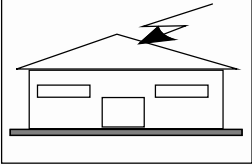

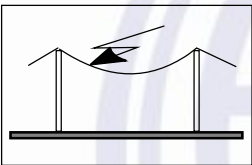
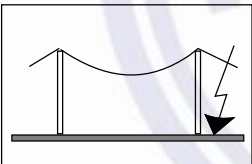
Os danos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte da estrutura ou pode se estender a estrutura inteira. Podem envolver também as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas).

4.1.3 Tipos de perdas

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração (ver Tabela 1):

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
<p>^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p> <p>^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.</p>			

4.2 Riscos e componentes de risco

4.2.1 Risco

O risco, R , é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado.

Os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- a) R_1 : risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R_2 : risco de perda de serviço ao público;
- c) R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R_4 : risco de perda de valores econômicos.

ABNT NBR 5419-2:2015

Para avaliar os riscos, R , os relevantes componentes de risco (riscos parciais dependem da fonte e do tipo de dano) devem ser definidos e calculados.

Cada risco, R , é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

4.2.2 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura

- a) R_A : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

NOTA Em estruturas especiais, pessoas podem estar em perigo por descargas atmosféricas diretas (por exemplo, no nível superior de estacionamentos ou estádios). Recomenda-se que estes casos também sejam considerados utilizando os princípios desta Parte da ABNT NBR 5419.

- b) R_B : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;
- c) R_C : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

4.2.3 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

- R_M : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

4.2.4 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura

- a) 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 L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;
- b) 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 (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;
- c) 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 L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

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.

4.2.5 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura

- 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 L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

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.

4.3 Composição dos componentes de risco

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

a) R_1 : Risco de perda de vida humana:

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

¹ 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:

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

² Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Os componentes de risco que correspondem a cada tipo de perda são também agrupados na Tabela 2.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
Componente de risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*
<p>^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.</p> <p>^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p>								

Características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco para uma estrutura são dados na Tabela 3.

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 ^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

Tabela 3 (continuação)

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
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 tipo malha externa. ^b Devido a ligações equipotenciais. ^c Somente se eles pertencem ao equipamento.								

5 Gerenciamento de risco

5.1 Procedimento básico

- identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R (R_1 a R_4);
- avaliação do risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 ;
- avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com os riscos toleráveis R_T ;
- avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco R_4 deve ser feita no sentido de avaliar tais custos (ver Anexo D).

5.2 Estrutura a ser considerada para análise de risco

A estrutura a ser considerada inclui:

- a própria estrutura;

ABNT NBR 5419-2:2015

- b) as instalações na estrutura;
- c) o conteúdo da estrutura;
- d) as pessoas na estrutura ou nas zonas até 3 m para fora da estrutura;
- e) o meio ambiente afetado por danos na estrutura.

A proteção não inclui as linhas conectadas fora da estrutura.

NOTA A estrutura a ser considerada pode ser subdividida em várias zonas (ver 6.7).

5.3 Risco tolerável R_T

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável.

Valores representativos de risco tolerável R_T , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos na Tabela 4.

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}

Em princípio, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

5.4 Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção

De acordo com ABNT NBR 5419-1, os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas.

Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

- a) identificação dos componentes R_X que compõe o risco;
- b) cálculo dos componentes de risco identificados R_X ;
- c) cálculo do risco total R (ver 4.3);
- d) identificação dos riscos toleráveis R_T ;
- e) comparação do risco R com o valor do risco tolerável R_T .

Se $R \leq R_T$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

Se $R > R_T$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq R_T$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

O procedimento para avaliar a necessidade de proteção está descrito na Figura 1.

No caso em que o risco não possa ser reduzido a um nível tolerável, o proprietário deve ser informado e o mais alto nível de proteção deve ser providenciado para a instalação.

Onde a proteção contra descargas atmosféricas for exigida pela autoridade que tenha jurisdição para estruturas com risco de explosão, pelo menos um SPDA classe II deve ser adotado. Exceções ao uso de proteção contra descargas atmosféricas nível II podem ser permitidas quando tecnicamente justificadas e autorizadas pela autoridade que tenha jurisdição. Por exemplo, o uso de uma proteção contra descargas atmosféricas nível I é permitida em todos os casos, especialmente nos casos em que o meio ambiente ou o conteúdo dentro da estrutura são excepcionalmente sensíveis aos efeitos das descargas atmosféricas. Em complemento, as autoridades que tenham jurisdição podem permitir SPDA nível III onde houver uma baixa frequência de atividade atmosférica e/ou a baixa sensibilidade dos conteúdos da estrutura garanta isto.

NOTA Onde o dano à estrutura devido à descarga atmosférica possa também envolver as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), medidas de proteção adicionais para a estrutura e medidas apropriadas para estas zonas podem ser exigidas pelas autoridades que tenham jurisdição.

5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção

Além da necessidade da proteção contra descargas atmosféricas da estrutura, pode ser muito útil a verificação dos benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção no sentido de reduzir as perdas econômicas L4.

A análise dos componentes de risco R_4 permite ao usuário avaliar o custo da perda econômica com ou sem as medidas de proteção adotadas (ver Anexo D).

O procedimento para verificar o custo da eficiência da proteção requer:

- identificação dos componentes R_X que compõem o risco R_4 ;
- cálculo dos componentes de risco identificados R_X na ausência de novas/adicionais medidas de proteção;
- cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco R_X ;
- cálculo do custo anual C_L da perda total na ausência das medidas de proteção;
- adoção das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo dos componentes de risco R_X com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo do custo anual das perdas residuais devido a cada componente de risco R_X na estrutura protegida;
- cálculo do custo anual total C_{RL} das perdas residuais com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo do custo anual C_{PM} das medidas de proteção selecionadas;
- comparação dos custos.

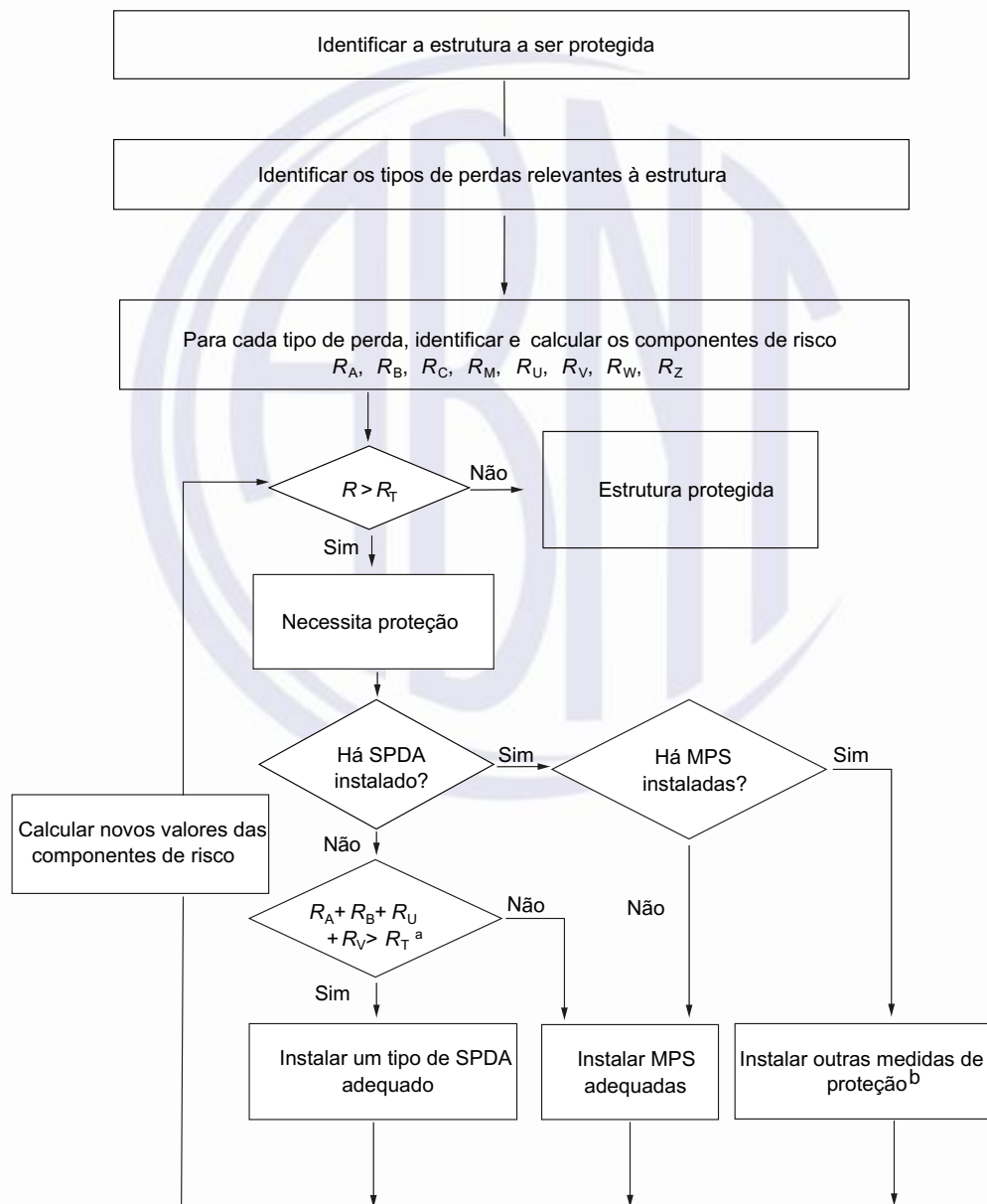
ABNT NBR 5419-2:2015

Se $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo custo eficiente.

Se $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, as medidas de proteção podem provar a economia monetária durante a vida da estrutura.

O procedimento para avaliar a eficiência do custo da proteção está mostrado na Figura 2.

Pode ser útil avaliar algumas variações da combinação das medidas de proteção para achar a solução ótima em relação à eficiência do custo.



^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.

Figura 1 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção

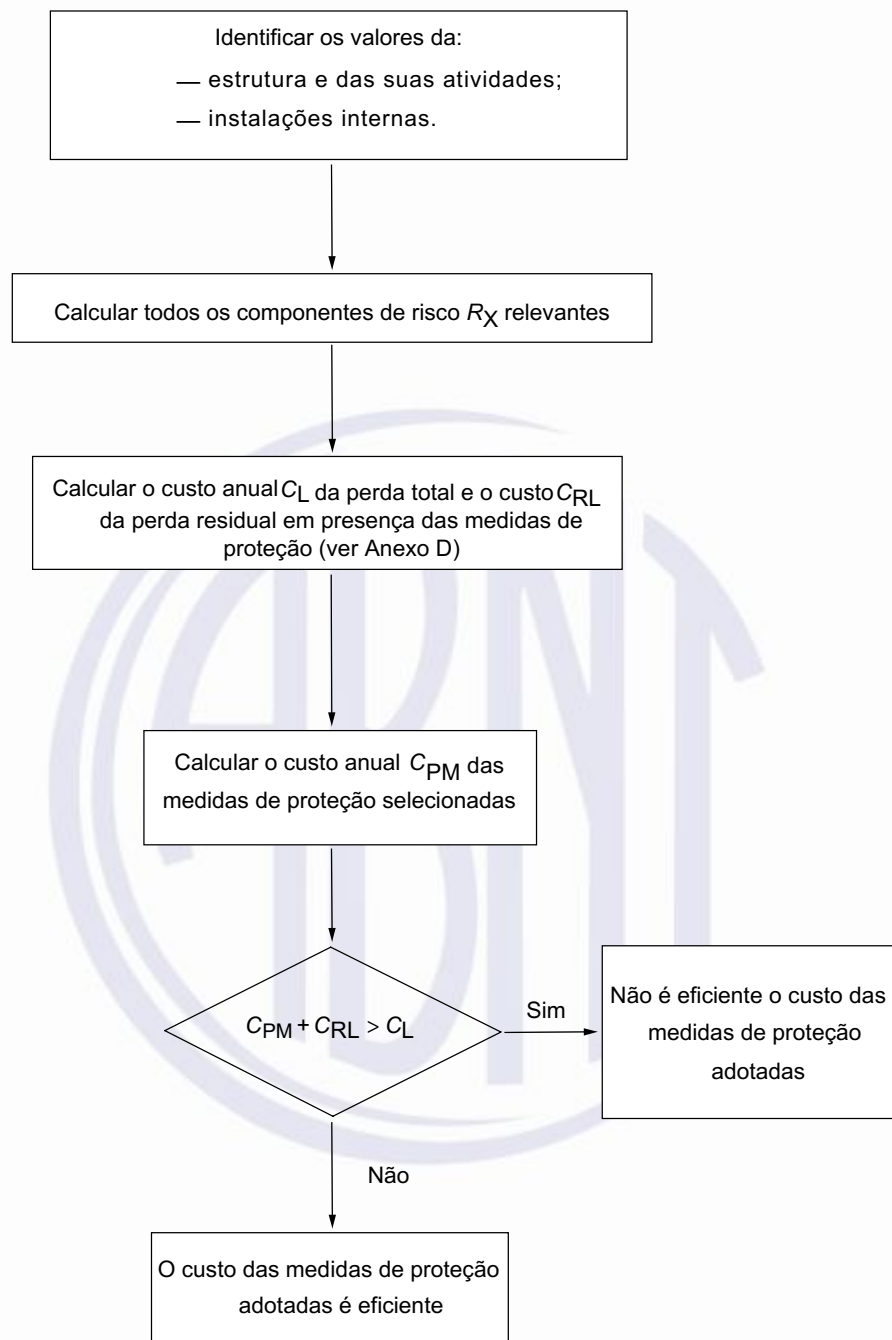


Figura 2 – Procedimento para avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção

5.6 Medidas de proteção

Medidas de proteção são direcionadas para reduzir o risco de acordo com o tipo de dano.

Medidas de proteção devem ser consideradas efetivas somente se elas estiverem conforme os requisitos das seguintes normas:

- ABNT NBR 5419-3 para proteção contra ferimentos de seres vivos e danos físicos à estrutura;
- ABNT NBR 5419-4 para proteção contra falhas de sistemas eletroeletrônicos.

ABNT NBR 5419-2:2015**5.7 Seleção das medidas de proteção**

A seleção da maioria das medidas de proteção adequadas deve ser feita pelo projetista de acordo com a participação de cada componente de risco no risco total R e de acordo com aspectos técnicos e econômicos das diferentes medidas de proteção.

Parâmetros críticos devem ser identificados com o objetivo de determinar as medidas mais eficientes para reduzir o risco R .

Para cada tipo de perda, há um número de medidas de proteção que, individualmente ou em combinação, faz com que a condição $R \leq R_T$ seja mantida. A solução a ser adotada deve ser selecionada em função dos aspectos técnicos e econômicos. Um procedimento simplificado para a seleção das medidas de proteção é dado no diagrama de fluxo da Figura 1. Em qualquer caso, o instalador ou o projetista deve identificar os componentes de risco mais críticos e reduzi-los, levando também em consideração os aspectos econômicos.

6 Análise dos componentes de risco**6.1 Equação básica**

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito em 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

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

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.

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 .

6.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura, as seguintes equações são aplicáveis:

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

- b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

- c) componente relacionado à falha de sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

6.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura, a seguinte equação é aplicável:

- componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

6.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura, as seguintes equações são aplicáveis:

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

- b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

- c) componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTA 1 Em muitos casos, N_{DJ} pode ser desprezado.

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

Se a linha tiver mais de uma seção (ver 6.8), os valores de R_U , R_V e R_W são a soma dos valores relevantes de R_U , R_V e R_W para cada seção da linha. As seções a serem consideradas são aquelas entre a estrutura e o primeiro nó.

ABNT NBR 5419-2:2015

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com diferente roteamento, os cálculos devem ser feitos para cada linha.

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com o mesmo roteamento, o cálculo deve ser feito somente para a linha com as piores características, ou seja, a linha com os valores mais altos de N_L e N_I conectado ao sistema interno com os menores valores de U_W (linha de sinal *versus* linha de energia, linha não blindada *versus* linha blindada, linha de energia em baixa tensão *versus* linha de energia em alta tensão com transformador AT/BT etc.).

NOTA 2 No caso de linhas para as quais exista uma sobreposição da área de exposição equivalente, a área sobreposta é considerada somente uma vez.

6.5 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura, a seguinte equação é aplicável:

— componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

Se a linha tiver mais de uma seção (ver 6.8), o valor de R_Z é a soma dos componentes relevantes de R_Z para cada seção da linha. As seções a serem consideradas são aquelas entre a estrutura e o primeiro nó.

Tabela 5 – Parâmetros relevantes para avaliação dos componentes de risco

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas		
N_D	— à estrutura	A.2
N_M	— perto da estrutura	A.3
N_L	— em uma linha conectada à estrutura	A.4
N_I	— perto de uma linha conectada à estrutura	A.5
N_{DJ}	— a uma estrutura adjacente (ver Figura A.5)	A.2
Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar		
P_A	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.2
P_B	— danos físicos	B.3
P_C	— falha de sistemas internos	B.4
Probabilidade de uma descarga atmosférica perto da estrutura causar		
P_M	— falha de sistemas internos	B.5

Tabela 5 (continuação)

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar		
P_U	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.6
P_V	— danos físicos	B.7
P_W	— falha de sistemas internos	B.8
Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha causar		
P_Z	— falha de sistemas internos	B.9
Perda devido a		
$L_A = L_U$	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	C.3
$L_B = L_V$	— danos físicos	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	— falha de sistemas internos	C.3, C.4, C.6

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com roteamento diferente, os cálculos devem ser feitos para cada linha.

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com o mesmo roteamento, o cálculo deve ser feito somente para a linha com as piores características, ou seja, a linha com os valores mais altos de N_L e N_I conectado ao sistema interno com os menores valores de U_W (linha de sinal *versus* linha de energia, linha não blindada *versus* linha blindada, linha de energia em baixa tensão *versus* linha de energia em alta tensão com transformador AT/BT etc.).

6.6 Sumário dos componentes de risco

Os componentes de risco para estruturas estão descritos na Tabela 6 de acordo com os tipos diferentes de danos e diferentes fontes de danos.

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	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

ABNT NBR 5419-2:2015

Se a estrutura for dividida em zonas Z_S (ver 6.7), cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona Z_S .

O risco total R da estrutura é a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas Z_S que constituem a estrutura.

6.7 Dividindo a estrutura em zonas Z_S

Para avaliar cada componente de risco, a estrutura pode ser dividida em zonas Z_S cada uma com características homogêneas. Entretanto, a estrutura pode ser, ou pode assumir ser, uma zona única.

a) Zonas Z_S são principalmente definidas por:

- tipo de solo ou piso (componentes de risco R_A e R_U);
- compartimentos à prova de fogo (componentes de risco R_B e R_V);
- blindagem espacial (componentes de risco R_C e R_M).

b) Zonas adicionais podem ser definidas de acordo com:

- leiaute dos sistemas internos (componentes de risco R_C e R_M);
- medidas de proteção existentes ou a serem instaladas (todos componentes de risco);
- valores de perdas L_X (todos componentes de risco).

A divisão da estrutura em zonas Z_S deve levar em conta a exequibilidade da implementação da maioria das medidas de proteção adequadas.

NOTA As zonas Z_S de acordo com esta Parte da ABNT NBR 5419 podem ser ZPR alinhadas com a ABNT NBR 5419-4. Entretanto, elas podem ser diferentes também das ZPR.

6.8 Dividindo uma linha em seções S_L

Para avaliar cada componente de risco devido a uma descarga atmosférica na, ou perto da, linha, a linha pode ser dividida em seções S_L . Entretanto, a linha pode ser, ou pode assumir ser, uma seção única.

Para todos os componentes de riscos, seções S_L são principalmente definidas por:

- a) tipo da linha (aérea ou enterrada);
- b) fatores que afetem a área de exposição equivalente (C_D , C_E , C_T);
- c) características da linha (blindada ou não blindada, resistência da blindagem).

Se mais de um valor de um parâmetro existir em uma seção, o valor que leve ao mais alto valor de risco deve ser assumido.

6.9 Análise dos componentes de risco em uma estrutura com zonas Z_S

6.9.1 Critério geral

Para a avaliação dos componentes de risco e a seleção dos parâmetros relevantes envolvidos, as seguintes regras são aplicadas:

- parâmetros relevantes ao número N de eventos perigosos devem ser avaliados de acordo com o Anexo A;
- parâmetros relevantes à probabilidade P de danos devem ser avaliados de acordo com o Anexo B.

Entretanto:

- para componentes R_A , R_B , R_U , R_V , R_W e R_Z , somente um valor deve ser fixado em cada zona para cada parâmetro envolvido. Quando mais de um valor é aplicável, o maior deles deve ser escolhido.
- para componentes R_C e R_M , se mais de um sistema interno é envolvido em uma zona, valores de P_C e P_M são dados por:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (14)$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (15)$$

onde P_{Ci} e P_{Mi} são parâmetros relevantes ao sistema interno $i = 1, 2, 3, \dots$

- parâmetros relevantes à quantidade L de perdas deve ser avaliado de acordo com o Anexo C.

Com exceção feita para P_C e P_M , se mais de um valor de qualquer outro parâmetro existir em uma zona, o valor do parâmetro que levar ao mais alto valor de risco deve ser assumido.

6.9.2 Estrutura com zona única

Neste caso, somente uma zona Z_S fictícia da estrutura completa é definida. O risco R é a soma dos componentes de risco R_X desta zona.

Definir a estrutura com uma zona única pode levar a medidas de proteção caras porque cada medida deve ser estendida à estrutura completa.

6.9.3 Estrutura multizona

Neste caso, a estrutura é dividida em zonas múltiplas Z_S . O risco para a estrutura é a soma dos riscos relevantes de todas as zonas da estrutura; em cada zona, o risco é a soma de todos os componentes de risco relevantes na zona.

Dividir a estrutura em zonas permite ao projetista levar em conta as características de cada parte da estrutura na avaliação dos componentes de risco e selecionar as medidas de proteção mais adequadas trabalhadas zona a zona, reduzindo o custo total da proteção contra as descargas atmosféricas.

ABNT NBR 5419-2:2015**6.10 Análise de custo-benefício para perda econômica (L4)**

Queira ou não queira, existe a necessidade de determinar a proteção para reduzir os riscos R_1 , R_2 , e R_3 , sendo útil para avaliar uma justificativa econômica na adoção das medidas de proteção no sentido de reduzir o risco R_4 de perda econômica.

Os itens para os quais a avaliação de risco R_4 deve ser feita podem ser definidos para:

- a) a estrutura completa;
- b) uma parte da estrutura;
- c) uma instalação interna;
- d) uma parte de uma instalação interna;
- e) uma parte de um equipamento;
- f) o conteúdo da estrutura.

O custo de perdas, o custo das medidas de proteção e a possível economia devem ser avaliados de acordo com o Anexo D. Se os dados para esta análise não forem disponíveis, o valor representativo do risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

Anexo A (informativo)

Análise do numero anual N de eventos perigosos

A.1 Geral

O número médio anual N de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que influenciam a estrutura a ser protegida depende da atividade atmosférica da região onde a estrutura está localizada e das características físicas da estrutura. Para calcular o número N , deve-se multiplicar a densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G pela área de exposição equivalente da estrutura, levando em conta os fatores de correção para as características físicas da estrutura.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano. Este valor é disponível nas redes de localização de descargas atmosféricas para a terra em diversas áreas no mundo.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica, disponibilizou os dados de N_G de duas formas:

- Mapas impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (ver Anexo F)
- *Link na internet:* http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng

NOTA Se um mapa N_G não estiver disponível, pode ser estimado por:

$$N_G \approx 0,1 T_D \quad (\text{A.1})$$

onde T_D é o número de dias de tempestades por ano (o qual pode ser obtido dos mapas isocerânicos).

Eventos que podem ser considerados como perigosos para uma estrutura a ser protegida são:

- descargas atmosféricas na estrutura;
- descargas atmosféricas perto da estrutura;
- descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura;
- descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura;
- descargas atmosféricas em outra estrutura na qual a linha da primeira está conectada.

A.2 Análise do número médio anual de eventos perigosos N_D devido a descargas atmosféricas na estrutura e N_{DJ} em uma estrutura adjacente

A.2.1 Determinação da área de exposição equivalente A_D

Para estruturas isoladas em solos planos, a área de exposição equivalente A_D é a área definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas

ABNT NBR 5419-2:2015

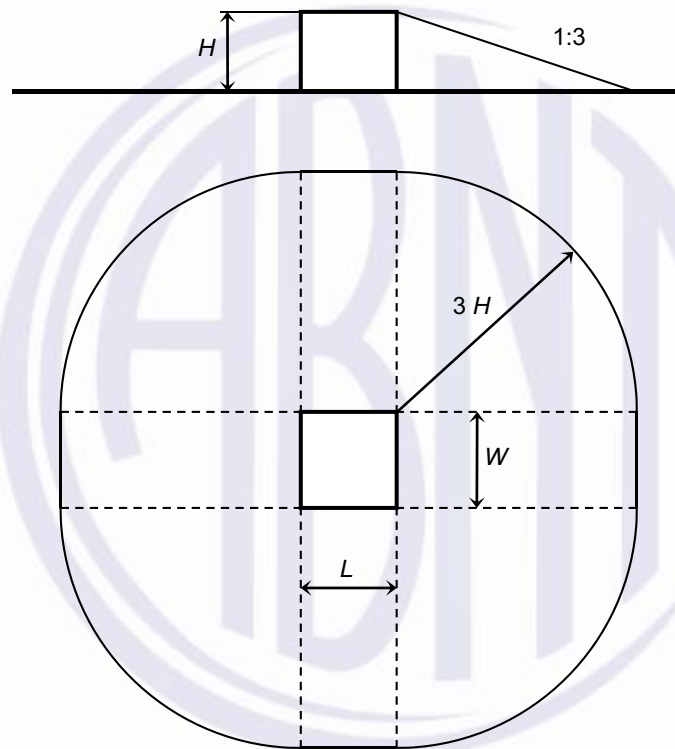
partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela. A determinação do valor de A_D pode ser obtida graficamente ou matematicamente.

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:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (\text{A.2})$$

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



IEC 2637/10

Figura A.1 – Área de exposição equivalente A_D de uma estrutura isolada

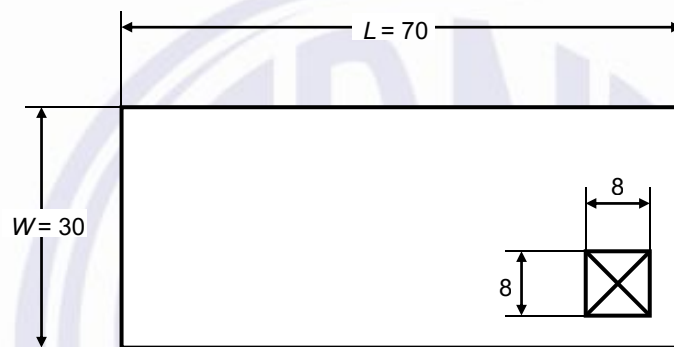
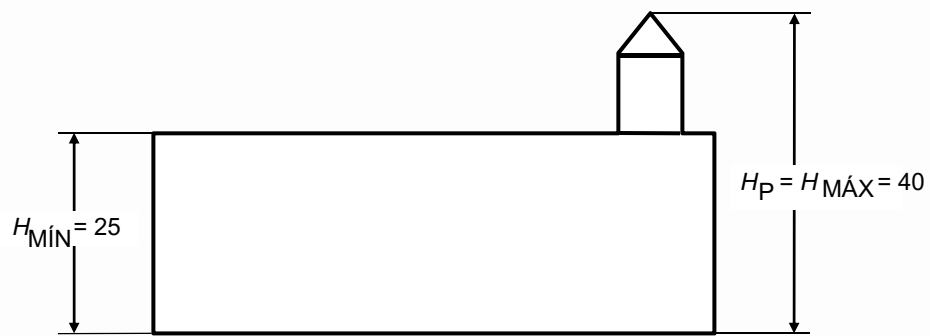
A.2.1.2 Estrutura com forma complexa

Se a estrutura tiver uma forma complexa, como saliências elevadas na cobertura (ver Figura A.2), um método gráfico deve ser utilizado para avaliar A_D (ver Figura A.3).

Um valor aproximado aceitável para a área de exposição equivalente é o maior valor entre a área de exposição equivalente $A_{D\text{MÍN}}$ avaliada pela Equação (A.2), tomando a altura mínima $H_{\text{MÍN}}$ da estrutura, e a área de exposição equivalente atribuída à saliência elevada na cobertura $A_{D'}$. $A_{D'}$ pode ser calculada por:

$$A_{D'} = \pi \times (3 \times H_P)^2 \quad (\text{A.3})$$

onde H_P é a altura da saliência.



IEC 2638/10

Figura A.2 – Estrutura com forma complexa

ABNT NBR 5419-2:2015

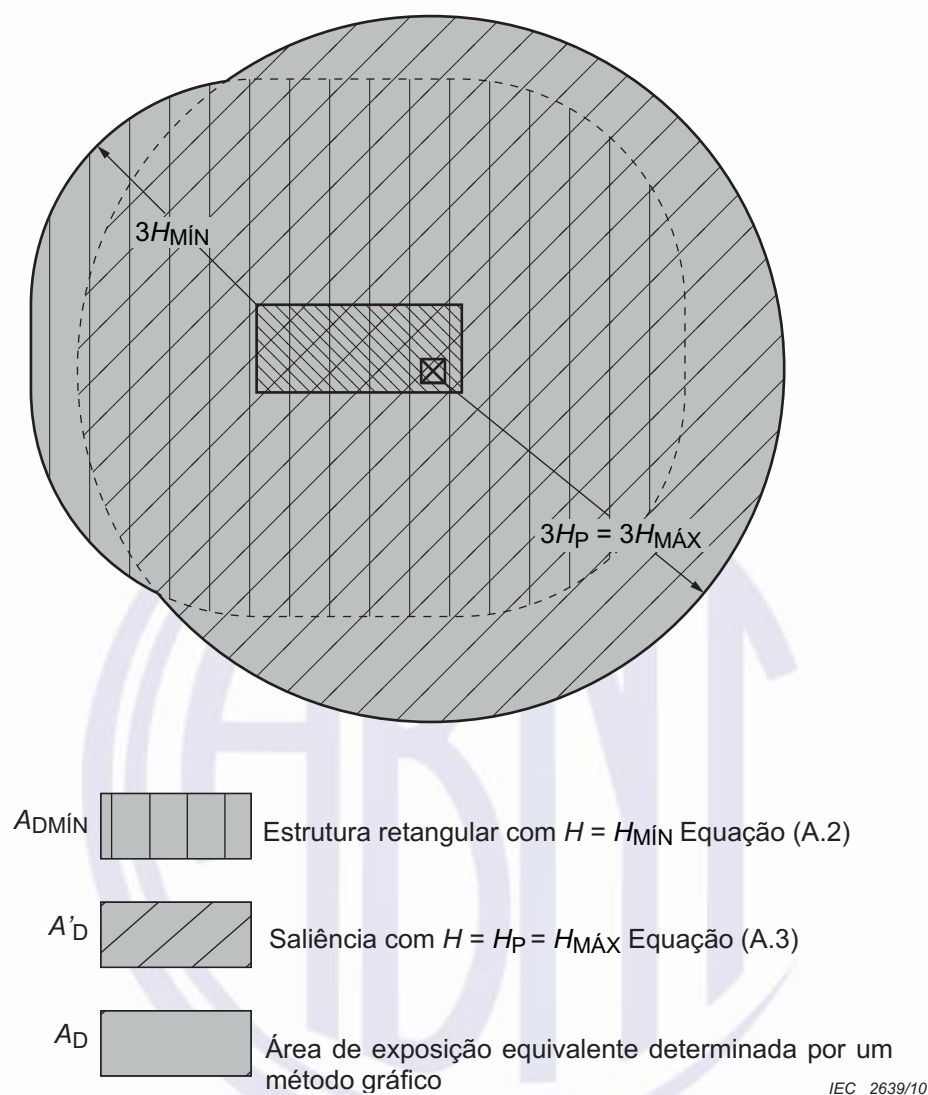


Figura A.3 – Diferentes métodos para determinar a área de exposição equivalente para uma dada estrutura

A.2.2 Estrutura como uma parte de uma edificação

Quando a estrutura S a ser considerada consiste em apenas uma parte de um edifício B , as dimensões da estrutura S pode ser utilizada na avaliação de A_D , desde que as seguintes condições sejam respeitadas (ver Figura A.4):

- a estrutura S é uma parte vertical separada do edifício B ;
- o edifício B não tem risco de explosão;
- a propagação de fogo entre a estrutura S e outras partes da edificação B pode ser retida por meio de paredes com resistência ao fogo de 120 min (REI 120) ou por meio de outras medidas de proteção equivalentes;
- a propagação de sobretensões ao longo das linhas comuns, se existirem, é protegida por meio de DPS instalados no ponto de entrada destas linhas na estrutura ou por meio de outra medida de proteção equivalente.

Quando estas condições não puderem ser preenchidas, as dimensões da edificação inteira B devem ser utilizadas.

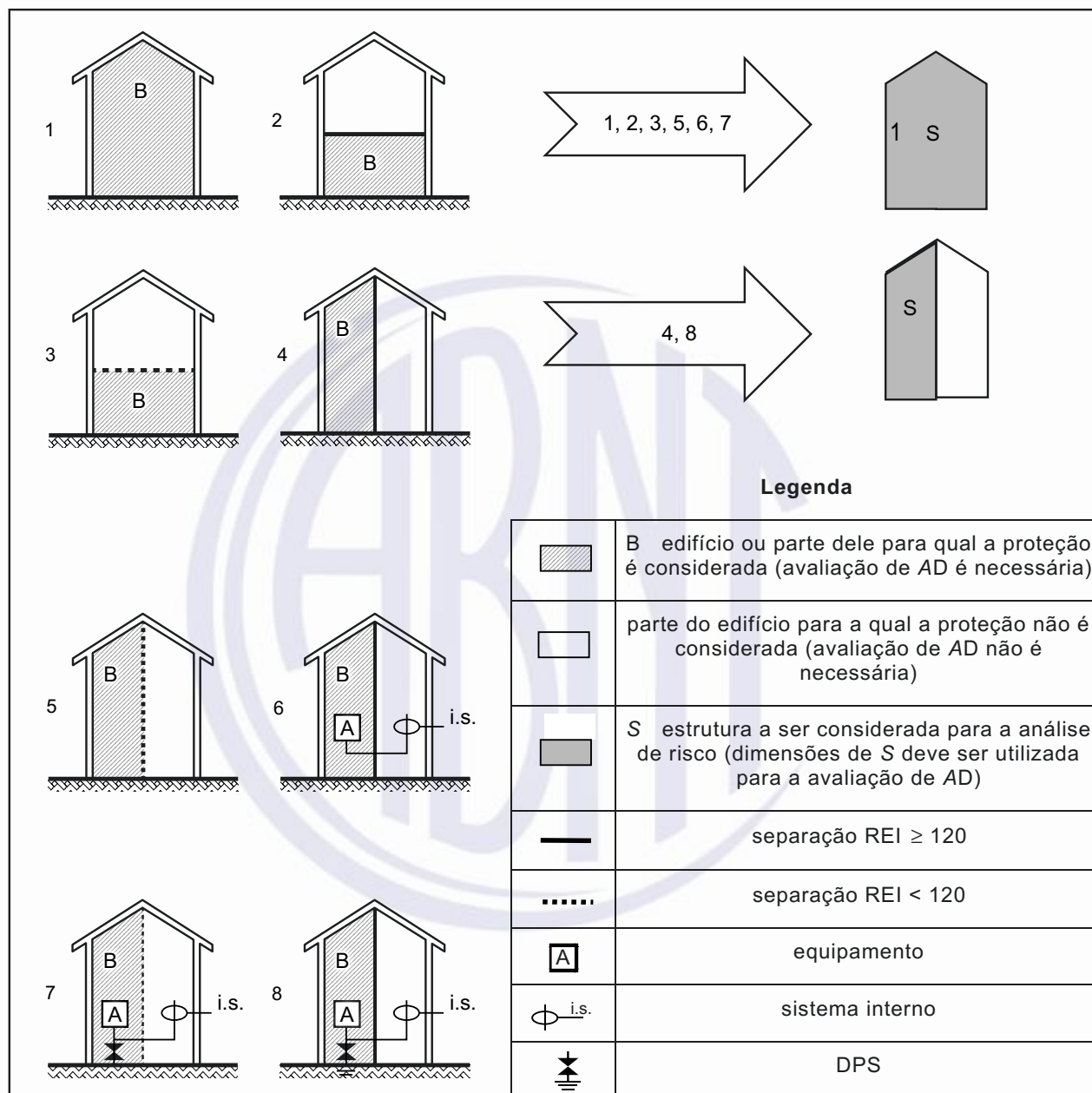


Figura A.4 – Estrutura a ser considerada para a avaliação para a área de exposição equivalente A_D

A.2.3 Localização relativa da estrutura

A localização relativa da estrutura, compensada pelas estruturas ao redor ou uma localização exposta, deve ser levada em consideração pelo fator de localização C_D (ver Tabela A.1).

Uma avaliação mais precisa da influência dos objetos ao redor pode ser obtida considerando a altura relativa da estrutura em relação aos objetos nas cercanias ou o solo dentro de uma distância de $3 \times H$ da estrutura e assumindo $C_D = 1$.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
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.2.4 Número de eventos perigosos N_D para a estrutura

N_D pode ser avaliado como o produto:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_D é o fator de localização da estrutura (ver Tabela A.1).

A.2.5 Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente

A.2.6 O número médio anual de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, N_{DJ} (ver 6.5 e Figura A.5), pode ser avaliada como o produto:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.5})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_{DJ} é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_{DJ} é o fator de localização da estrutura adjacente (ver Tabela A.1);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3).

A.3 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura

N_M pode ser avaliado como o produto:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (\text{A.6})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2).

A área de exposição equivalente A_M que se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 m do perímetro da estrutura (ver Figura A.5):

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (A.7)$$

A.4 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

onde

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \times ano$);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m^2). (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação da linha (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4);

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\ 000$ m.

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

ABNT NBR 5419-2:2015

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/BT)	0,2

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

NOTA 1 A resistividade do solo afeta a área de exposição equivalente A_L de seções enterradas. Em geral, quanto maior a resistividade do solo, maior a área de exposição equivalente (A_L proporcional a $\sqrt{\rho}$). O fator de instalação da Tabela A.2 é baseada em $\rho = 400 \Omega\text{m}$.

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

A.5 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_I devido a descargas atmosféricas perto da linha

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_I pode ser avaliado por

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

onde

N_I é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_I é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo da linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4).

Com a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha

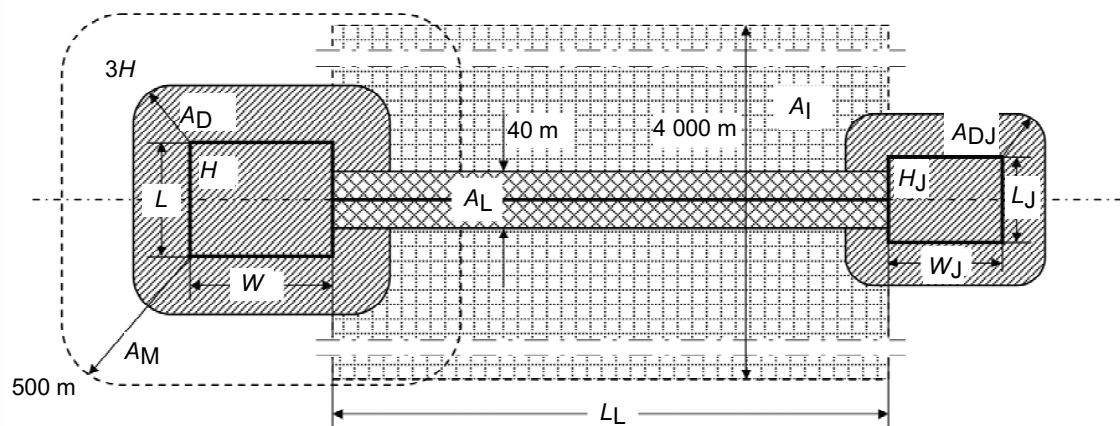
$$A_I = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Quando o comprimento da seção da linha for desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\,000\text{ m}$.

NOTA Uma avaliação mais precisa de A_I pode ser encontrada na Electra n. 161 e 162, para linhas de energia, e na ITU-T Recomendação K.46, para linhas de sinais.



IEC 2641/10

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

Anexo B (informativo)

Avaliação da probabilidade P_X de danos

B.1 Geral

As probabilidades fornecidas neste Anexo são válidas se as medidas de proteção estiverem de acordo com:

- a) ABNT NBR 5419-3 para medidas de proteção para reduzir ferimentos a seres vivos e reduzir danos físicos;
- b) ABNT NBR 5419-4 para medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas internos.

Outros valores podem ser escolhidos, se tecnicamente justificados.

Valores de probabilidades P_X menores que 1 podem ser escolhidos somente se a medida ou característica é válida para a estrutura completa ou zona da estrutura (Z_S) a ser protegida e para todos os equipamentos pertinentes.

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

Os valores de probabilidade P_A de choque a seres vivos devido à tensão de toque e passo devido a uma descarga atmosférica em uma estrutura dependem do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais adotadas:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (B.1)$$

onde

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela B.1. Valores de P_{TA} são obtidos na Tabela B.1.

P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela B.2.

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

Se mais que uma medida for tomada, o valor de P_{TA} é o produto dos valores correspondentes.

NOTA 1 Medidas de proteção são efetivas na redução de P_A somente para estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas metálicas contínuas ou com estrutura de concreto armado atuando como um SPDA natural, onde os requisitos de interligação e aterramento conforme a ABNT NBR 5419-3 estiverem satisfeitos.

NOTA 2 Para maiores informações, ver ABNT NBR 5419-3:2015, 8.1 e 8.2.

B.3 Probabilidade P_B de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos

Um SPDA é adequado como medida de proteção para reduzir P_B .

Os valores de probabilidade P_B de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura, em função do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP), são obtidos na Tabela B.2.

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	—	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_B diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação detalhada considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de interceptação 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.

B.4 Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos

Um sistema coordenado de DPS é adequado como uma medida de proteção para reduzir P_C .

ABNT NBR 5419-2:2015

A probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha dos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela B.3.

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela B.4.

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

NOTA 1 Um sistema de DPS coordenado é efetivo na redução de P_C somente em estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas com colunas metálicas contínuas ou com colunas de concreto armado atuando como um SPDA natural, onde os requisitos de interligação e aterramento descritos na ABNT NBR 5419-3 forem satisfeitos.

NOTA 2 Os valores de P_{SPD} podem ser reduzidos para os DPS que tenham características melhores de proteção (maior corrente nominal I_N , menor nível de proteção U_P etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação (ver ABNT NBR 5419-1:2015, Tabela A.3 para informação das probabilidades de corrente da descarga atmosférica e ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E e ABNT NBR 5419-4:2015, Anexo D ou a divisão da corrente da descarga atmosférica). Os mesmos anexos podem ser utilizados para DPS que tenham maiores probabilidades P_{SPD} .

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 multiterrado	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 cabeamento 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

NOTA 3 Na avaliação da probabilidade P_C , valores de C_{LD} da Tabela B.4 referem-se aos sistemas internos blindados; para sistemas internos não blindados, $C_{LD} = 1$ pode ser assumido.

NOTA 4 Para sistemas internos não blindados:

- não conectados a linhas externas (sistemas independentes); ou
- conectados a linhas externas por meio de interfaces isolantes; ou
- conectados a linhas externas consistindo em cabo protegido contra descargas atmosféricas ou sistemas com cabeamento em dutos para cabos protegido 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 for maior que a tensão suportável U_W do sistema interno ($U_I \leq U_W$). Para avaliação da tensão induzida U_I ver ABNT NBR 5419-4:2015, Anexo A.

B.5 Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos

Um SPDA em malha, blindagens com malha, precauções de roteamento, tensão suportável aumentada, interfaces isolantes e sistemas coordenados de DPS são adequados como medidas de proteção para reduzir P_M .

A probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas.

Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4 não for instalado, o valor de P_M deve ser igual ao valor de P_{MS} .

Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4 estiver instalado, o valor de P_M deve ser dado por:

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \quad (\text{B.3})$$

ABNT NBR 5419-2:2015

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_M = 1$ deve ser assumido.

Os valores de P_{MS} são obtidos do produto:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \quad (B.4)$$

onde

K_{S1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;

K_{S2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ($X > 0$, $Y > 1$);

K_{S3} leva em consideração as características da fiação interna (ver Tabela B.5);

K_{S4} leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Quando equipamento provido com interfaces isolantes consistindo em transformadores de isolamento com grade aterrada entre enrolamentos, ou cabos de fibra óptica ou acoplamento óptico for utilizado, $P_{MS} = 0$ deve ser assumido.

Dentro de uma ZPR, em uma distância de segurança do limite da malha no mínimo igual à largura da malha w_m , fatores K_{S1} e K_{S2} para SPDA ou blindagem tipo malha espacial podem ser avaliados como

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (B.5)$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (B.6)$$

onde w_{m1} (m) e w_{m2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

NOTA 1 Onde uma rede de equipotencialização tipo malha for utilizada de acordo com a ABNT NBR 5419-4, valores de K_{S1} e K_{S2} podem ser repartidos ao meio.

Onde o laço de indução estiver passando próximo aos condutores do limite da malha da ZPR a uma distância da blindagem menor que a distância de segurança, os valores de K_{S1} e K_{S2} devem ser maiores. Por exemplo, os valores de K_{S1} e K_{S2} devem ser dobrados onde a distância para a blindagem varia de $0,1 w_m$ a $0,2 w_m$. Para uma cascata de ZPR, o valor final de K_{S2} é o produto dos K_{S2} resultantes de cada ZPR.

NOTA 2 Os valores máximos de K_{S1} e K_{S2} são limitados a 1.

Tabela B.5 – Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,000 1
^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²). ^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²). ^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m ²). ^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.	

O fator K_{S4} é avaliado como:

$$K_{S4} = 1/U_W \quad (B.7)$$

onde

U_W é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

NOTA 3 O valor máximo de K_{S4} é limitado a 1.

Se existirem equipamentos com níveis diferentes de tensão suportável a impulso em um sistema interno, o fator K_{S4} correspondente ao menor nível de tensão suportável de impulso deve ser escolhido.

B.6 Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico

Os valores de probabilidade P_U de ferimentos a seres vivos dentro da estrutura devido à tensão de toque por uma descarga atmosférica em uma linha que adentra à estrutura dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e interfaces isolantes ou DPS utilizados para ligação equipotencial na entrada da linha de acordo com a ABNT NBR 5419-3.

NOTA 1 Um sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 não é necessário para reduzir P_U ; neste caso, DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-3 são suficientes.

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.8)$$

onde

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela B.6;

ABNT NBR 5419-2:2015

P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na 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, do aterramento e das condições da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

NOTA 2 Quando DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-3 são instalados para ligação equipotencial na entrada da linha, aterramento e interligação de acordo com a ABNT NBR 5419-4 podem aumentar a proteção.

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

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

NOTA 3 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 foram projetados

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

NOTA 4 Os valores de P_{EB} podem ser reduzidos para DPS que tenham melhores características de proteção (correntes nominais maiores I_N , níveis de proteção menores U_P etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação (ver ABNT NBR 5419-1:2015, Tabela A.3, para informações da probabilidade de correntes de descargas atmosféricas, e ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E, e ABNT NBR 5419-4, Anexo D, para divisão da corrente da descarga atmosférica). Os mesmos anexos podem ser utilizados para DPS que tenha probabilidades maiores que P_{EB} .

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
	Blindada 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	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

NOTA 5 Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de $5\Omega/\text{km}$, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm). Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de $1\Omega/\text{km}$ a $5\Omega/\text{km}$.

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 coordenado 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:

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

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 isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

ABNT NBR 5419-2:2015

B.8 Probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos

Os valores da probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura causar uma falha dos sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado.

O valor de P_W é dado por:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.10)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

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 das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

B.9 Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos

Os valores de probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado.

O valor de P_Z é dado por:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (B.11)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela B.9;

C_{LI} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LI} são dados na Tabela B.4.

Tabela B.9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_W dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

NOTA Avaliações mais precisas de P_{LI} podem ser encontradas na IEC/TR 62066:2002, para linhas de energia, e na ITU-T Recomendação K.46, para linhas de sinais.



Anexo C (informativo)

Análise de quantidade de perda L_X

C.1 Geral

Recomenda-se que os valores de quantidade de perda L_X sejam avaliados e fixados pelo projetista de SPDA (ou o proprietário da estrutura). Os valores médios típicos da perda L_X de uma estrutura dados neste Anexo são valores meramente propostos pela IEC e adotados nesta Norma.

NOTA 1 Quando um dano a uma estrutura devido à descarga atmosférica possa também envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), uma avaliação mais detalhada de L_X que leve em conta esta perda adicional pode ser utilizada.

NOTA 2 É recomendável que as equações dadas neste Anexo sejam utilizadas como fonte primária dos valores para L_X .

C.2 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso

A perda L_X se refere à quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, considerando a sua extensão e os efeitos.

O valor de perda L_X varia com o tipo de perda considerada:

- a) L1 (perda de vida humana, incluindo ferimento permanente): o número de pessoas em perigo (vítimas);
- b) L2 (perda de serviço público): o número de usuários não servidos;
- c) L3 (perda de patrimônio cultural): o valor econômico em perigo da estrutura e conteúdo;
- d) L4 (perda de valores econômicos): o valor econômico em perigo de animais, a estrutura (incluindo suas atividades), conteúdo e sistemas internos,

e, para cada tipo de perda, com o tipo de dano (D1, D2 e D3) causando a perda.

Recomenda-se que a perda L_X seja determinada para cada zona da estrutura na qual ela foi dividida.

C.3 Perda de vida humana (L1)

O valor de perda L_X 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 (h_z) e diminuição (r_t , r_p , r_f);

- b) o valor máximo da perda em uma zona pode ser reduzido pela relação entre o número de pessoas na zona (n_z) *versus* o número total de pessoas (n_t) na estrutura inteira;
- c) o tempo em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona (t_z), se este for menor que um total de 8 760 h de um ano, também irá reduzir a perda.

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.4)

onde

- L_T é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_F é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_O é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5);
- h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6);
- n_z é o número de pessoas na zona;
- n_t é o número total de pessoas na estrutura;
- t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

ABNT NBR 5419-2:2015

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, risco de explosão, o conceito de zona de áreas perigosas e as medidas para encontrar o risco.

Quando o dano a estrutura devido às descargas atmosféricas envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais (L_E) podem ser consideradas para avaliar a perda total (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.5)$$

onde

$$L_E = L_{FE} \times t_e / 8\,760 \quad (C.6)$$

L_{FE} sendo a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

t_e sendo o tempo da presença de pessoas nos lugares perigosos fora da estrutura.

NOTA 3 Se valores de L_{FE} e t_e forem desconhecidos, recomenda-se que L_{FE} e $t_e / 8\,760 = 1$ sejam assumidos.

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 $k \Omega$ ^a	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

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

Providências	r_p
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 ^a	0,2

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Se mais de uma providência tiver sido tomada, recomenda-se que o valor de r_p seja tomado com o menor dos valores relevantes.

Em estruturas com risco de explosão, $r_p = 1$ para todos os casos.

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

ABNT NBR 5419-2:2015

NOTA 5 Estruturas com alto risco de incêndio podem ser assumidas como sendo estruturas feitas de materiais combustíveis ou estruturas com coberturas feitas com materiais combustíveis ou estruturas com uma carga específica de incêndio maior que 800 MJ/m².

NOTA 6 Estruturas com um risco normal de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio entre 800 MJ/m² e 400 MJ/m².

NOTA 7 Estruturas com um risco baixo de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio menor que 400 MJ/m², ou estruturas contendo somente uma pequena quantidade de material combustível.

NOTA 8 Carga específica de incêndio é a relação da energia da quantidade total do material combustível em uma estrutura e a superfície total da estrutura.

NOTA 9 Para os propósitos da ABNT NBR 5419-2 não é recomendado que estruturas contendo zonas perigosas ou contendo materiais explosivos sólidos sejam assumidas como estruturas com risco de explosão se qualquer uma das seguintes condições for preenchida:

- a) o tempo de presença da substância explosiva for menor que 0,1 h/ano;
- b) o volume da atmosfera explosiva for desprezível de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1 e ABNT NBR IEC 60079-10-2;
- c) a zona não possa ser atingida diretamente por uma descarga atmosférica e os centelhamentos perigosos na zona forem evitados.

NOTA 10 Para zonas perigosas fechadas dentro de abrigos metálicos, a condição c) é respeitada quando o abrigo, como um subsistema de captação natural, atuar seguramente sem perfuração ou problemas de pontos quentes, e sistemas internos dentro do abrigo, se existirem, forem protegidos contra sobretensões para evitar centelhamentos perigosos.

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

C.4 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)

O valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.7, considerando que:

- perda de serviço ao público é afetada pelas características da zona da estrutura. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_f , r_p);
- o valor máximo de perda devido a dano na zona deve ser reduzido pela relação entre o número de usuários servidos pela zona (n_z) *versus* o número total de usuários (n_t) servidos pela estrutura inteira.

Tabela C.7 – Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

onde

- L_F é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.8);
- L_O é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.8);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela C.5);
- n_z é o número de usuários servidos pela zona;
- n_t é o número total de usuários servidos pela estrutura.

Tabela C.8 – Tipo de perda L2: valores médios típicos de L_F e L_O

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2}	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-2}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3}	TV, linhas de sinais

ABNT NBR 5419-2:2015

C.5 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

Recomenda-se que o valor de perda L_X para cada zona seja determinado de acordo com a Tabela C.9, considerando que:

- a perda de patrimônio cultural é afetada pelas características da zona. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_f , r_p);
- o valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre o valor da zona (c_z) *versus* o valor total (c_t) da estrutura completa (edificação e conteúdo).

Tabela C.9 – Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

onde

- L_F é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.10);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela C.5);
- c_z é o valor do patrimônio cultural na zona;
- c_t é o valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas).

Tabela C.10 – Tipo de perda L3: valor médio típico de L_F

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Museus, galerias

C.6 Perda econômica (L4)

O valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.11, considerando que:

- perda de valores econômicos é afetada pelas características da zona. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_t , r_p , r_f);
- o valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre o valor relevante na zona *versus* o valor total (c_t) da estrutura completa (animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades). O valor relevante da zona depende do tipo de dano:
 - D1 (ferimentos de animais devido a choque): c_a (somente valor de animais);

- D2 (danos físicos): $c_a + c_b + c_c + c_s$ (total de todos valores);
- D3 (falha de sistemas internos): c_s (valor dos sistemas internos e suas atividades).

Tabela C.11 – Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)
^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas nas equações (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 6.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.		

onde

- L_T é o valor relativo médio típico de todos valores danificados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- L_F é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- L_O é o valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- r_t é um fator de redução da perda de animais dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão na estrutura (ver Tabela C.5);
- c_a é o valor dos animais na zona;
- c_b é o valor da edificação relevante à zona;
- c_c é o valor do conteúdo da zona;
- c_s é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;
- c_t é o valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela C.12 – Tipo de perda L4: valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

NOTA 1 Nas estruturas onde existe um risco de explosão, os valores para L_F e L_O podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, onde considerações do tipo de estrutura, o risco de explosão, o conceito de zona de áreas perigosas e as medidas para determinar o risco etc. são endereçadas.

Quando um dano a estrutura devido às descargas atmosféricas envolve as estruturas nas vizinhanças ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais (L_E) devem ser levadas em consideração para avaliar a perda total (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.14)$$

onde

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad (C.15)$$

L_{FE} é a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

c_e é o total dos valores em perigo localizados fora da estrutura.

NOTA 2 Se o valor de L_{FE} for desconhecido, $L_{FE} = 1$ pode ser assumido.

Anexo D (informativo)

Avaliação dos custos das perdas

O custo da perda C_{LZ} em uma zona pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_{LZ} = R_{4Z} \times c_t \quad (D.1)$$

onde

R_{4Z} é o risco relacionado à perda de valor na zona, sem as medidas de proteção;

c_t é o valor total da estrutura (animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades em espécie).

O custo total de perdas C_L em uma estrutura pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad (D.2)$$

onde

$R_4 = \sum R_{4Z}$ é o risco relacionado à perda de valor, sem as medidas de proteção.

O custo C_{RLZ} de perdas residuais em uma zona apesar das medidas de proteção pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \times c_t \quad (D.3)$$

onde

R'_{4Z} é o risco relacionado à perda de valor na zona, com as medidas de proteção.

O custo total C_{RL} de perda residual em uma estrutura, apesar das medidas de proteção, pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R'_4 \times c_t \quad (D.4)$$

onde

$R'_4 = \sum R'_{4Z}$ é o risco relacionado à perda de valor em uma estrutura, com medidas de proteção.

O custo anual C_{PM} das medidas de proteção pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{PM} = C_P \times (i + a + m) \quad (D.5)$$

onde

C_P é o custo das medidas de proteção;

i é a taxa de juros;

ABNT NBR 5419-2:2015

a é a taxa de amortização;

m é a taxa de manutenção.

O valor econômico anual S_M , em espécie, é:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (D.6)$$

A proteção é justificada se o valor econômico anual for $S_M > 0$.



Anexo E (informativo)

Estudo de caso

E.1 Geral

Neste anexo, estudos de casos relevantes a uma casa de campo, um edifício de escritórios, um hospital e um bloco de apartamentos são desenvolvidos com o objetivo de mostrar:

- como calcular o risco e determinar a necessidade de proteção;
- a contribuição dos diferentes componentes de risco ao risco total;
- o efeito das diferentes medidas de proteção para diminuir os riscos;
- o método de seleção por meio de diferentes soluções de proteção considerando a eficiência de custo.

NOTA Este Anexo apresenta dados hipotéticos para todos os casos. A intenção é fornecer informações sobre a avaliação de risco no sentido de ilustrar os princípios contidos nesta Parte da ABNT NBR 5419. Não tem a intenção de endereçar os aspectos únicos das condições que existem em todos os meios ou sistemas.

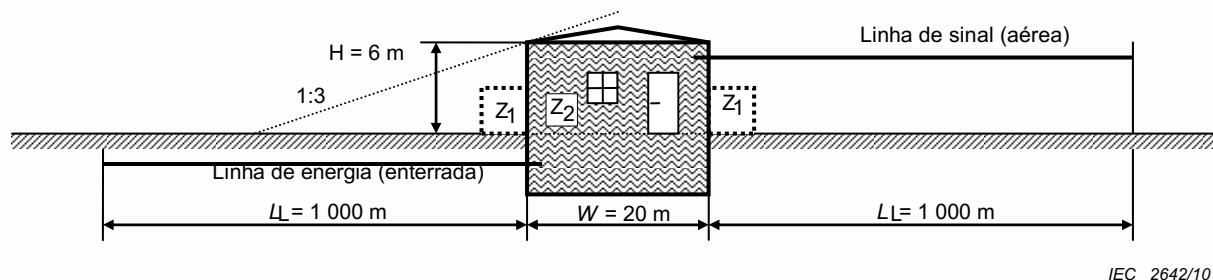
E.2 Casa de campo

É considerado como um primeiro estudo de caso uma casa de campo (Figura E.1).

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura.

Isto é requisito para a avaliação da necessidade de proteção. Isto implica na necessidade de se determinar somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) e para comparar com o risco $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). As medidas de proteção adequadas para mitigar estes riscos devem ser selecionadas.

Seguindo a decisão tomada pelo proprietário que uma avaliação econômica não é requerida, o risco R_4 para perda econômica (L4) não é considerada.



IEC 2642/10

Legenda

- Z_1 lado de fora
 Z_2 cômodos

Figura E.1 – Casa de campo

ABNT NBR 5419-2:2015**E.2.1 Dados relevantes e características**

A casa de campo está localizada em um território plano e sem nenhuma estrutura nas vizinhanças. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ descargas atmosféricas por quilometro quadrado por ano. Cinco pessoas vivem na casa. Este é também o número total de pessoas a serem consideradas, porque se assume que não haverá nenhuma pessoa fora da casa durante a tempestade.

Dados para a casa e redondeza são dados na Tabela E.1.

Dados para as linhas que adentram e seus sistemas internos conectados são dados para linha de energia na Tabela E.2 e para linhas de sinais na Tabela E.3.

Tabela E.1 – Casa de campo: características da estrutura e meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	15, 20, 6	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.2 – Casa de campo: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		L_L	1 000	
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	2,5	

Tabela E.2 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9
^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1\ 000\text{ m}$ é assumido (ver A.4 e A.5).				

Tabela E.3 – Casa de campo: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		L_L	1 000 m	
Fator de Instalação	Aérea	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de sinais	C_T	1	Tabela A.3
Fator do ambiente	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1\ 000$ m é assumido (ver A.4 e A.5).

E.2.2 Definição das zonas em uma casa de campo

As seguintes zonas principais podem ser definidas:

- Z_1 (fora da casa);
- Z_2 (dentro da casa).

Para zona Z_1 , é assumida que nenhuma pessoa está fora da casa. Entretanto, o risco de choque em pessoas $R_A = 0$. Porque R_A é a componente de risco somente fora da casa, a zona Z_1 pode ser desconsiderada completamente.

ABNT NBR 5419-2:2015

Dentro da casa, somente uma zona Z_2 é definida levando em consideração que:

- ambos sistemas internos (energia e telecom) se estendem através da casa,
- nenhuma blindagem espacial existe,
- a estrutura é um compartimento único à prova de fogo,
- perdas são assumidas como constantes em toda a casa e correspondem aos valores médios típicos da Tabela C.1.

O fator resultante válido para zona Z_2 é reportado na Tabela E.4.

Tabela E.4 – Casa de campo: fator válido para a zona Z_2 (dentro da casa)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (laço dos condutores em um mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços $> 10 \text{ m}^2$)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	—	

Tabela E.4 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 5/5 \times 8\ 760/8\ 760$	–	1	
	Parâmetros resultantes	L_A	10^{-7}	Equação (C.1)
		L_U	10^{-7}	Equação (C.2)
		L_B	10^{-4}	Equação (C.3)
		L_V	10^{-4}	Equação (C.3)

E.2.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.5 para a área de exposição equivalente e na Tabela E.6 para o número esperado de eventos perigosos.

Tabela E.5 – Casa de campo: áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A_D	$2,58 \times 10^3$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Não relevante
Linha de energia	$A_{L/P}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\ 000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/T} = 4\ 000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

Tabela E.6 – Casa de campo: número esperado anual de eventos perigosos

	Símbolo	Resultado 1/ ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N_D	$1,03 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Não relevante
Linha de energia	$N_{L/P}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8,00	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	$N_{L/T}$	$1,60 \times 10^{-1}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

ABNT NBR 5419-2:2015

E.2.4 Risco R_1 – Determinação da necessidade de proteção

O risco R_1 pode ser expresso de acordo com a Equação (1) por meio da seguinte soma de componentes:

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U/P} + R_{V/P} + R_{U/T} + R_{V/T}$$

Componentes de risco devem ser avaliados de acordo com a Tabela 6.

Componentes envolvidos e avaliação do risco total são dados na Tabela E.7

Tabela E.7 – Casa de campo: risco R_1 para estrutura não protegida (valores $\times 10^{-5}$)

	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D1 Ferimento	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,002	0,002
D2 Danos físicos	R_B		0,103	0,103
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		$R_T = 1$

Porque $R_1 = 2,51 \times 10^{-5}$ é superior ao valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é requerida.

E.2.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

De acordo com a Tabela E.7, as contribuições principais ao valor de risco são dadas por:

- componente R_V (descargas atmosféricas na linha) de 96 %;
- componente R_B (descargas atmosféricas na estrutura) de 4 %.

Para reduzir o risco R_1 a um valor tolerável, as medidas de proteção que influenciam os componentes R_V e R_B devem ser consideradas. Medidas adequadas incluem:

- instalação de DPS de NP IV na entrada da linha (ligação equipotencial para descargas atmosféricas) para proteger ambas as linhas de energia e telefones na casa. De acordo com a Tabela B.7 isto reduz o valor de P_{EB} (devido aos DPS nas linhas conectadas) de 1 a 0,05 e os valores de P_U e P_V pelo mesmo fator;
- instalação de um SPDA de classe IV (incluindo as ligações equipotenciais de descargas atmosféricas obrigatórias). De acordo com as Tabelas B.2 e B.7 isto reduz o valor de P_B de 1 a 0,2 e o valor de P_{EB} (devido ao DPS nas linhas conectadas) de 1 a 0,05 e finalmente os valores de P_U e P_V pelo mesmo fator.

Utilizando estes valores nas equações, novos valores de componentes de risco são obtidos, como mostrados na Tabela E.8.

Tabela E.8 – Casa de campo: componentes de risco relevantes ao risco R_1 para a estrutura protegida

Tipo de danos	Símbolo	Resultado caso a) $\times (10^{-5})$	Resultado caso b) $\times (10^{-5})$
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B	0,103	0,021
	R_V	0,120	0,120
Total	R_1	0,223	0,141

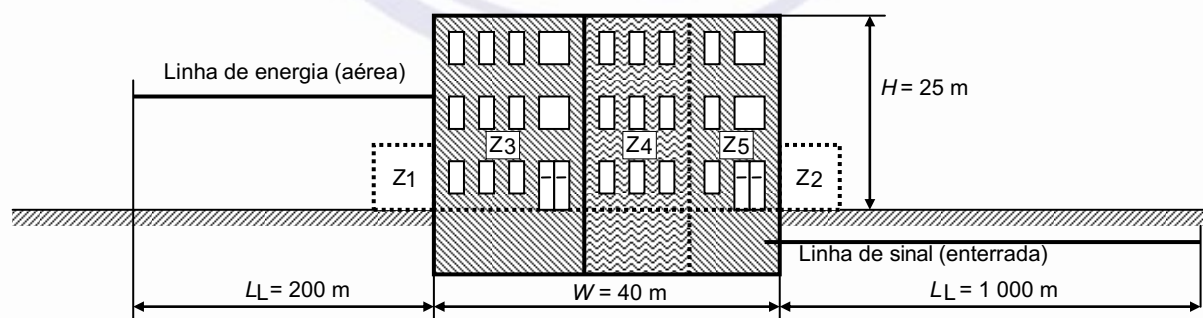
A escolha da solução é decidida por fatores técnicos e econômicos.

E.3 Edifício de escritórios

Como um segundo estudo de caso, um edifício de escritórios com um arquivo, escritórios e um centro de informática é considerado (Figura E.2).

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção. Isto implica a determinação de somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) e para compará-los com o risco tolerável $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). Medidas de proteção adequadas devem ser selecionadas para reduzir o risco ao, ou abaixo do, risco tolerável.

Seguindo a decisão tomada pelo proprietário onde a avaliação econômica não foi requisitada, o risco R_4 para perdas econômicas (L4) não é considerado.



IEC 2643/10

Legenda

- Z₁ entrada (fora da edificação)
- Z₂ jardim (interno)
- Z₃ arquivo
- Z₄ escritórios
- Z₅ centro de informática

Figura E.2 – Edifício de escritórios

ABNT NBR 5419-2:2015**E.3.1 Características e dados relevantes**

O edifício de escritórios está localizado em um território plano sem estruturas nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra $N_G = 4$ descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano.

Dados para a edificação e sua vizinhança são dados na Tabela E.9.

Dados para as linhas que adentram o edifício e suas conexões com os sistemas internos são dados para linhas de energia na Tabela E.10 e para linhas de sinais na Tabela E.11.

Tabela E.9 – Edifício de escritórios: características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	20, 40, 25	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.10 – Edifício de escritórios: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento m		L_L	200	
Fator de instalação	Aéreo	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	

Tabela E.10 (continuação)

	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela E.11 – Edifício de escritórios: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	1 000	
Fator de instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos kV		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.3.2 Definição das zonas em um edifício de escritórios

As seguintes zonas são definidas:

- Z_1 (entrada área fora da edificação);
- Z_2 (jardim externo);
- Z_3 (arquivo);
- Z_4 (escritórios);
- Z_5 (centro de informática).

ABNT NBR 5419-2:2015

Levando em conta que:

- o tipo de superfície é diferente na entrada da área externa, no jardim externo e dentro da estrutura;
- a estrutura é dividida em dois compartimentos separados à prova de fogo: o primeiro é o arquivo (Z_3) e o segundo são os escritórios juntos com o centro de informática (Z_4 e Z_5);
- em todas as zonas internas, Z_3 , Z_4 e Z_5 , há sistemas internos conectados à energia assim como às linhas de sinais;
- não há nenhuma blindagem espacial.

Nas diferentes zonas interna e externa do edifício de escritórios, é considerado um número total de 200 pessoas.

O número de pessoas relacionadas a cada zona é diferente. A distribuição dentro de cada zona individual está mostrada na Tabela E.12. Estes valores serão utilizados mais tarde para subdividir os valores de perda total em frações para cada zona.

Tabela E.12 – Edifício de escritórios: distribuição das pessoas nas zonas

Zona	Número de pessoas	Tempo da presença
Z_1 (entrada área fora da edificação)	4	8 760
Z_2 (jardim externo)	2	8 760
Z_3 (arquivo)	20	8 760
Z_4 (escritórios)	160	8 760
Z_5 (centro de informática)	14	8 760
Total	$n_t = 200$	–

Seguindo a avaliação pelo projetista de SPDA, os valores médios típicos da quantidade relativa de perdas por ano relevante ao risco R_1 (ver Tabela C.1) para a estrutura completa são:

- $L_T = 10^{-2}$ (fora da estrutura),
- $L_T = 10^{-2}$ (dentro da estrutura),
- $L_F = 0,02$ classificado como “edifício comercial”.

Os valores globais foram reduzidos para cada zona de acordo com o número de pessoas em perigo na zona individual relacionada ao número total de pessoas consideradas.

As características resultantes das zonas Z_1 a Z_5 são dadas nas Tabelas E.13 a E.17.

**Tabela E.13 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₁
(entrada da área externa)**

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Supefície do piso	Mármore	r_t	10^{-3}	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 4/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,02	

Tabela E.14 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₂ (jardim externo)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso	Grama	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	cerca	P_{TA}	0	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 2/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,01	

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.15 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₃ (arquivos)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Alto	r_f	10^{-1}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços >10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo pânico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas em perigo		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 20/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,10	

Tabela E.16 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₄ (escritórios)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6

Tabela E.16 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo panico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 160/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,80	

Tabela E.17 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₅ (centro de informática)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.17 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo pânico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 14/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,07	

E.3.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.18 para as áreas de exposição equivalentes e na Tabela E.19 para número de eventos perigosos esperados.

Tabela E.18 – Edifício de escritórios: áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A_D	$2,75 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Não relevante
Linha de energia	$A_{L/P}$	$8,00 \times 10^3$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$8,00 \times 10^5$	(A.11)	Não relevante
	$A_{DA/P}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de sinal	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	Não relevante
	$A_{DA/T}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

Tabela E.19 – Edifício de escritórios: Número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado 1 / ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N_D	$1,10 \times 10^{-1}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Não relevante
Linha de Energia	$N_{L/P}$	$3,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	3,20	(A.10)	Não relevante
	$N_{DA/P}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de sinal	$N_{L/T}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	8,00	(A.10)	Não relevante
	$N_{DA/T}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

E.3.4 Risco R_1 – Decisão da necessidade de proteção

Valores de componentes de risco para estruturas não protegidas são relatados na Tabela E.20.

Tabela E.20 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estruturas não protegidas (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	0,002	0	≈ 0	0,001	≈ 0	0,003
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$			≈ 0	0,001	≈ 0	0,001
D2 Danos físicos	R_B			4,395	0,352	0,031	4,778
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$			4,480	0,358	0,031	4,870
Total		0,002	0	8,876	0,712	0,062	$R_1 = 9,65$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosférica é necessária					$R_T = 1$

Porque $R_1 = 9,65 \times 10^{-5}$ é maior que o valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas é necessária.

E.3.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

O risco R_1 na estrutura é principalmente concentrado na zona Z_3 devido aos danos físicos causados pela descarga atmosférica que atinge a estrutura ou as linhas conectadas (componentes $R_B \approx 49\%$ e $R_V \approx 50\%$ juntos cobrem 99 % do risco total) (ver Tabela E.20).

Estes componentes de risco dominantes podem ser reduzidos:

- provendo ao edifício completo com um SPDA de acordo com a ABNT NBR 5419-3 reduzindo o componente R_B por meio da probabilidade P_B . Ligação equipotencial para descargas

ABNT NBR 5419-2:2015

atmosféricas na entrada – um requisito obrigatório de SPDA – reduzindo também os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} ;

- provendo a zona Z_3 (arquivo) com medidas de proteção contra as consequências de incêndio (como extintores, sistema automático de detecção de incêndio etc.). Isto irá reduzir os componentes R_B e R_V por meio da redução do fator r_p ;
- provendo uma ligação equipotencial para descargas atmosféricas de acordo com a ABNT NBR 5419-3 na entrada da edificação. Isto irá reduzir somente os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} .

Combinando elementos diferentes destas medidas de proteção, as seguintes soluções podem ser adotadas:

- Solução 1:
 - proteger o edifício com um SPDA classe III de acordo com a ABNT NBR 5419-3, para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,1$).
 - este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP III ($P_{EB} = 0,05$) e reduzir componentes R_U e R_V .
- Solução 2:
 - proteger o edifício com um SPDA classe IV de acordo com a ABNT NBR 5419-3, para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,2$);
 - este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP IV ($P_{EB} = 0,05$) e reduzir componentes R_U e R_V ;
 - utilizar sistemas de extinção de incêndio (ou detecção) para reduzir componentes R_B e R_V . Instalar um sistema manual na zona Z_3 (arquivo) ($r_p = 0,5$).

Para ambas as soluções, os valores de risco da Tabela E.20 irá mudar a valores reduzidos relatados na Tabela E.21

Tabela E.21 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estrutura protegida
(valores $\times 10^{-5}$)

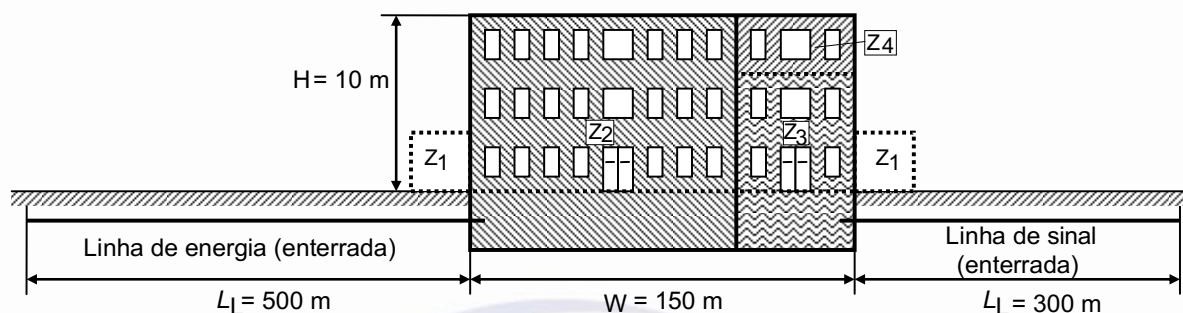
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Total	Tolerável	Resultado
Solução 1	≈ 0	0	0,664	0,053	0,005	$R_1 = 0,722$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$
Solução 2	≈ 0	0	0,552	0,089	0,008	$R_1 = 0,648$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$

Ambas as soluções reduzem o risco para valores abaixo do tolerável. A solução a ser adotada está sujeita a ambos os critérios: melhor solução técnica e solução de melhor custo efetivo.

E.4 Hospital

Como um caso mais complexo, este estudo considera as facilidades de um hospital normal com um bloco de quartos, um bloco de operação e uma unidade de terapia intensiva.

As perdas de vida humana (L_1) e das perdas econômicas (L_4) são relevantes para este tipo de hospital e são necessárias para avaliar a necessidade de proteção e para a eficiência do custo das medidas de proteção; estes são requisitos para avaliação dos riscos R_1 e R_4 .



IEC 2644/10

Legenda

- Z_1 externa
- Z_2 bloco de quartos
- Z_3 bloco de operação
- Z_4 unidade de terapia intensiva

Figura E.3 – Hospital

E.4.1 Dados relevantes e características

O hospital está localizado em um território plano sem nenhuma estrutura nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano.

Dados para o edifício e suas redondezas são dados na Tabela E.22.

Dados para as linhas que adentram a estrutura e seus sistemas internos conectados são dados, para linha de energia, na Tabela E.23, e, para linha de sinal, na Tabela E.24.

Tabela E.22 – Hospital: características ambientais e globais da estrutura

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	50, 150, 10	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.23 – Hospital: linha de energia

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	500	
Fator de Instalação	Enterrado	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	AT(com transformador AT/BT)	C_T	0,2	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha blindada interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	R_S	$R_S \leq 1$	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha blindada interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	0	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhum	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	0,2	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela E.24 – Hospital: linha de sinal

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	300	
Fator de instalação	Enterrado	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha blindada interligada a mesma barra de interligação que o equipamento	R_S	$1 < R_S \leq 5$	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha blindada interligada a mesma barra de interligação que o equipamento	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	0	

Tabela E.24 (continuação)

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Estrutura adjacente	Comprimento, largura, altura	L_J, W_J, H_J	20, 30, 5	
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura isolada	C_{DJ}	1	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	0,8	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.4.2 Definição das zonas em um hospital

As seguintes zonas foram definidas:

- Z_1 (externa ao edifício);
- Z_2 (bloco de apartamentos);
- Z_3 (bloco cirúrgico);
- Z_4 (unidade de terapia intensiva).

Levando em conta o seguinte:

- o tipo de superfície é diferente fora da estrutura em comparação com o interior do edifício;
- existem dois compartimentos à prova de fogo, separados: o primeiro é o bloco de apartamentos (Z_2) e o segundo é o bloco cirúrgico junto com a UTI (Z_3 e Z_4);
- em todas as zonas internas Z_2 , Z_3 e Z_4 , existem sistemas internos conectados à energia assim como linhas de sinais;
- não existe blindagem espacial;
- a unidade de terapia intensiva contém muitos sistemas eletrônicos sensíveis, e uma blindagem espacial pode ser adotada como medida de proteção;

Nas diferentes zonas, dentro e fora do hospital, um número total de 1 000 pessoas deve ser considerado.

O número de pessoas, o tempo de presença e os valores econômicos relativos a cada zona são diferentes. A distribuição dentro de cada zona individual e os valores totais são mostrados na Tabela E.25. Estes valores serão utilizados mais tarde para subdividir os valores de perda total dentro de cada fração para cada zona.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.25 – Hospital: distribuição das pessoas e dos valores econômicos nas zonas

Zona	Número de pessoas	Tempo de presença (h/a)	Valores econômicos em \$ x 10 ⁶				
			Animais c_a	Edifício c_b	Conteúdo c_c	Sistemas internos c_s	Total c_t
Z ₁ (externa)	10	8 760	–	–	–	–	–
Z ₂ (bloco de aptos)	950	8 760	–	70	6	3,5	79,5
Z ₃ (bloco cirúrgico)	35	8 760	–	2	0,9	5,5	8,4
Z ₄ (UTI)	5	8 760	–	1	0,1	1,0	2,1
Total	$n_t = 1\ 000$	–	0	73	7	10	90,0

Para risco R_1 , seguindo a avaliação do projetista de SPDA, os valores de perda básicos (valores médios típicos da quantidade relativa de perda por ano) de acordo com a Tabela C.2 e o fator de acréscimo para perigos especiais de acordo com a Tabela C.6 são os seguintes:

- $L_T = 10^{-2}$ na zona Z₁ fora da estrutura;
- $L_T = 10^{-2}$ nas zonas Z₂, Z₃, Z₄ dentro da estrutura;
- $L_F = 10^{-1}$ nas zonas Z₂, Z₃, Z₄ dentro da estrutura;
- $h_z = 5$ nas zonas Z₂, Z₃, Z₄ dentro da estrutura devido à dificuldade de evacuação;
- $L_O = 10^{-3}$ na zona Z₂ (bloco de apartamentos);
- $L_O = 10^{-2}$ na zona Z₃ (bloco cirúrgico) e zona Z₄ (UTI).

Estes valores de perdas básicos foram reduzidos para cada zona de acordo com as Equações (C.1) a (C.4), levando em consideração o número de pessoas em perigo em cada zona individual em relação ao número total de pessoas considerado e o tempo durante o qual as pessoas estão presentes.

Para risco R_4 , os valores de perda básicos de acordo com a Tabela C.12 são os seguintes:

- $L_T = 0$ nenhum animal em perigo;
- $L_F = 0,5$ nas zonas Z₂, Z₃, Z₄ dentro da estrutura;
- $L_O = 10^{-2}$ nas zonas Z₂, Z₃, Z₄ dentro da estrutura

Estes valores de perda básicos foram reduzidos para cada zona de acordo com as Equações (C.11) a (C.13), levando em consideração o valor em perigo na zona individual relativo ao valor total da estrutura (animais, edificação, conteúdo, sistemas internos e atividades) considerado. O valor em perigo em uma zona individual depende do tipo de dano:

- D1 (ferimentos por choque elétrico): valor c_a de animais somente;
- D2 (danos físicos): soma de todos os valores $c_a + c_b + c_c + c_s$;
- D3 (falha de sistema interno): valor c_s dos sistemas internos e suas atividades somente.

As características resultantes das zonas Z₁ a Z₄ são fornecidas nas Tabelas E.26 a E.29.

Tabela E.26 – Hospital: fatores válidos para zona Z_1 (fora do edifício)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Supecífice do piso	Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.5
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	0	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	0	
Fator para pessoas na zona	$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 10 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	–	0,01	

Tabela E.27 – Hospital: fatores válidos para zona Z_2 (bloco de apartamentos)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio		Normal	r_f	10^{-2}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.27 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-3}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 950 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	—	0,95	
L4: Perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 79,5 / 90$	—	0,883	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 3,5 / 90$	—	0,039	

Tabela E.28 – Hospital: fatores válidos para zona Z₃ (bloco cirúrgico)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3

Tabela E.28 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 35 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	—	0,035	
L4: perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 8,4 / 90$	—	0,093	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 5,5 / 90$	—	0,061	

Tabela E.29 – Hospital: fatores válidos para a zona Z₄ (Unidade de Terapia Intensiva)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio	Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.29 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 5 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	—	0,005	
L4: perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 2,1 / 90$	—	0,023	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 1,0 / 90$	—	0,011	

E.4.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.30 para as áreas de exposição equivalente e na Tabela E.31 para o número de eventos perigosos esperados.

Tabela E.30 – Hospital: áreas de exposição equivalentes da estrutura e linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A_D	$2,23 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	$9,85 \times 10^5$	(A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L+W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	$A_{L/P}$	$2,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$2,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{I/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de sinal	$A_{L/T}$	$1,20 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$1,20 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	$2,81 \times 10^3$	(A.2)	$A_{DJ/T} = L_J \times W_J + 2 \times (3 \times H_J) \times (L_J + W_J) + \pi \times (3 \times H_J)^2$

Tabela E.31 – Hospital: número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado 1 / ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N_D	$8,93 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_{D/B} \times C_{D/B} \times 10^{-6}$
	N_M	3,94	(A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Linha de energia	$N_{L/P}$	$4,00 \times 10^{-3}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	$4,00 \times 10^{-1}$	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de sinal	$N_{L/T}$	$1,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	1,20	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	$1,12 \times 10^{-2}$	(A.5)	$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$

E.4.4 Risco R_1 – Decisão da necessidade de proteção

Valores das probabilidades P_X são fornecidos na Tabela E.32, e os componentes de risco para estruturas sem proteção são relatados na Tabela E.33.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.32 – Hospital: risco R_1 – Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Referência Equação	Equação
D1 Ferimentos devido a choque	P_A	1		1			
	$P_{U/P}$			0,2			
	$P_{U/T}$			0,8			
D2 Danos físicos	P_B			1			
	$P_{V/P}$			0,2			
	$P_{V/T}$			0,8			
D3 Falha de sistemas interno	P_C			1		(14)	$P_C = 1 - (1 - P_{C/P}) \times (1 - P_{C/T}) = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1)$
	P_M			0,006 4		(15)	$P_M = 1 - (1 - P_{M/P}) \times (1 - P_{M/T}) = 1 - (1 - 0,006 4) \times (1 - 0,000 04)$
	$P_{W/P}$			0,2			
	$P_{W/T}$			0,8			
	$P_{Z/P}$			0			
	$P_{Z/T}$			0			

Tabela E.33 – Hospital: risco R_1 para a estrutura sem proteção (values $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	0,009	0,000 9	≈ 0	≈ 0	0,010
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		42,4	0,156	0,022	42,6
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		9,21	0,034	0,005	9,245
D3 Falha de sistemas interno	R_C		8,484	3,126	0,447	12,057
	R_M		2,413	0,889	0,127	3,429
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		1,841	0,678	0,097	2,616
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		0,009	64,37	4,89	0,698	$R_1 = 69,96$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é necessária				$R_T = 1$

Porque $R_1 = 69,96 \times 10^{-5}$ é superior ao valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é necessária.

E.4.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

O risco R_1 é principalmente influenciado (ver Tabela E.33):

- pelos danos físicos na zona Z_2 (componentes $R_B \approx 61\%$ e $R_V \approx 13\%$ do risco total);
- pelas falhas dos sistemas internos nas zonas Z_2 e Z_3 (componentes $R_C \approx 12\%$ respectivamente $R_C \approx 5\%$ do risco total).

Estes componentes de risco dominantes podem ser reduzidos:

- instalando no edifício completo um SPDA de acordo com a ABNT NBR 5419-3, reduzindo o componente R_B por meio da probabilidade P_B . A inclusão obrigatória da ligação equipotencial para descargas atmosféricas na entrada reduz também os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} ;
- fornecendo à zona Z_2 as medidas de proteção contra as consequências de fogo (como extintores, sistema automático de detecção de incêndio etc.). Isto irá reduzir os componentes R_B e R_V por meio do fator de redução r_p ;
- instalando nas zonas Z_3 e Z_4 uma proteção com DPS coordenados de acordo com a ABNT NBR 5419-4 para os sistemas de energia interno e sistemas de sinais. Isto irá reduzir os componentes R_C , R_M , R_W por meio da probabilidade P_{SPD} .
- instalando nas zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem tipo malha espacial adequada de acordo com a ABNT NBR 5419-4. Isto irá reduzir o componente R_M por meio da probabilidade P_M .

Combinando diferentes elementos destas medidas de proteção, as seguintes soluções podem ser adotadas:

- Solução 1:
 - proteger a edificação com um SPDA classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
 - instalar uma proteção com DPS coordenado na linha elétrica de energia e na linha elétrica de sinal para (1,5 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,005$) nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
 - instalar na zona Z_2 um sistema automático de proteção contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z_2 somente);
 - instalar nas zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem tipo malha com $w_m = 0,5$ m.

Utilizando esta solução, os valores de risco da Tabela E.33 irão mudar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.34.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.34 – Hospital: risco R_1 para estrutura protegida de acordo com a solução 1 (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,085	0,031	0,004	0,12
	R_M		0,012	≈ 0	≈ 0	0,012
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,009	0,003	≈ 0	0,004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,294	0,038	0,005	$R_1 = 0,338$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

— Solução 2:

- proteger o edifício com um SPDA classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
- instalar uma proteção com DPS coordenada nas linhas elétricas de energia e de sinal para (3 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,001$) nas zonas Z_2, Z_3, Z_4 ;
- providenciar para zona Z_2 um sistema automático contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z_2 somente).

Utilizando esta solução, os valores de risco da Tabela E.33 irá modificar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.35.

Tabela E.35 – Hospital: risco R_1 para estrutura protegida de acordo com a solução 2 (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	0,001	0,174
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,017	0,006	0,001	0,024
	R_M		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,209	0,011	0,002	$R_1 = 0,222$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

— Solução 3:

- proteger o edifício com um SPDA Classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
- instalar uma proteção com DPS coordenado nas linhas elétricas de energia e de sinal para (2 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,002$) nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
- providenciar para zona Z_2 um sistema automático contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z_2 somente);
- providenciar para zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem tipo malha com $w_m = 0,1$ m.

Utilizando esta solução, os valores de risco da Tabela E.33 irão mudar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.36.

Tabela E.36 – Hospital: Risco R_1 para estruturas protegidas conforme a solução c)
(valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,034	0,012	0,002	0,048
	R_M		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,004	0,001	≈ 0	0,005
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,226	0,016	0,002	$R_1 = 0,244$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

Todas as soluções reduzem o risco a valores abaixo do nível tolerável. A solução a ser adotada está sujeita a ambos os critérios de melhor solução técnica e de melhor custo efetivo.

E.4.6 Risco R_4 – Análise de custo-benefício

Para as perdas econômicas L_4 , o correspondente risco R_4 pode ser avaliado da mesma forma que foi feito anteriormente. Todos os parâmetros necessários para avaliação dos componentes de risco são dados nas Tabelas E.22 a E.29, onde os valores de perdas L_X para perda econômica L_4 somente são válidos. Entretanto, somente as zonas Z_2 , Z_3 e Z_4 são relevantes, enquanto que a zona Z_1 é desprezada (ela pode ser relevante somente no caso de perdas de animais).

Dos valores de risco R_4 ou R'_4 e do valor total da estrutura $c_t = 90 \times 10^6$ \$ (Tabela E.25), o custo anual de perda $C_L = R_4 \times c_t$ para uma estrutura não protegida e $C_{RL} = R'_4 \times c_t$ para uma estrutura protegida pode ser calculado (ver Equações (D.2) e (D.4)). Os resultados estão mostrados na Tabela E.37.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.37 – Hospital: custo de perda C_L (não protegida) e C_{RL} (protegida)

Proteção	Risco R_4 valores $\times 10^{-5}$					Custo de perdas \$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura	C_L ou C_{RL}
Não protegida	–	53,2	8,7	1,6	63,5	57 185
Solução 1	–	0,22	0,07	0,01	0,30	271
Solução 2	–	0,18	0,02	0,005	0,21	190
Solução 3	–	0,19	0,03	0,007	0,23	208

Os valores assumidos para taxa de juros, amortização e manutenção relevantes às medidas de proteção são dados na Tabela E.38.

Tabela E.38 – Hospital: taxas relevantes às medidas de proteção

Taxa	Símbolo	Valor
Juros	i	0,04
Amortização	a	0,05
Manutenção	m	0,01

Uma lista de custo C_P para possíveis medidas de proteção e custo anual C_{PM} das medidas de proteção adotadas nas soluções 1, 2 ou 3 é dada na Tabela E.39 (ver Equação (D.5)).

Tabela E.39 – Hospital: custo C_P e C_{PM} das medidas de proteção (valores em \$)

Medida de proteção	Custo C_P	Custo anual $C_{PM} = C_P (i + a + m)$		
		Solução 1	Solução 2	Solução 3
SPDA classe I	100 000	10 000	10 000	10 000
Proteção automática contra incêndio na zona Z_2	50 000	5 000	5 000	5 000
Blindagem nas Zonas Z_3 e Z_4 ($w = 0,5$ m)	100 000	10 000		
Blindagem nas Zonas Z_3 e Z_4 ($w = 0,1$ m)	110 000			11 000
DPS na linha de energia ($1,5 \times NP$ I)	20 000	2 000		
DPS na linha de energia ($2 \times NP$ I)	24 000			2 400
DPS na linha de energia ($3 \times NP$ I)	30 000		3 000	
DPS na linha de sinal ($1,5 \times NP$ I)	10 000	1 000		
DPS na linha de sinal ($2 \times NP$ I)	12 000			1 200
DPS na linha de sinal ($3 \times NP$ I)	15 000		1 500	
Custo total anual C_{PM}		28 000	19 500	29 600

A economia anual monetária S_M pode ser avaliada pela comparação do custo anual de perdas C_L para a estrutura não protegida com a soma do custo anual residual de perdas C_{RL} para a estrutura protegida e o custo anual das medidas de proteção C_{PM} . Os resultados para as soluções 1, 2 e 3 são dados na Tabela E.40.

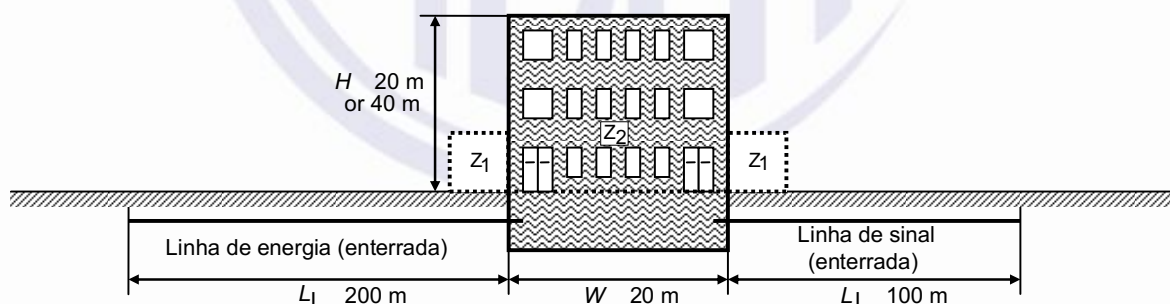
Tabela E.40 – Hospital: economia anual monetária (valores em \$)

	Símbolo	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Perdas para estrutura não protegida	C_L	57 185	57 185	57 185
Perda residual para estrutura protegida	C_{RL}	271	190	208
Custo anual da proteção	C_{PM}	28 000	19 500	29 600
Economia anual $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	28 914	37 495	27 377

E.5 Bloco de apartamentos

Este estudo de caso compara diferentes soluções para proteção contra descargas atmosféricas para um bloco de apartamentos. Os resultados mostram que algumas soluções podem não ser suficientes, enquanto que várias soluções adequadas podem ser escolhidas de diferentes combinações das medidas de proteção.

Somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) é determinado e comparado com o valor do risco tolerável $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). A avaliação econômica não foi requerida uma vez que o risco R_4 para perdas econômicas (L4) não foi considerado.



IEC 2645/10

Legenda

Z_1 : externa

Z_2 : interna

Figura E.4 – Bloco de apartamentos

E.5.1 Dados relevantes e características

O Bloco de apartamentos está localizado em um território plano sem nenhuma estrutura nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano. No bloco vivem 200 pessoas. Este também é o número total de pessoas a ser considerado, porque é assumido que fora do edifício nenhuma pessoa deve estar durante a tempestade.

ABNT NBR 5419-2:2015

Dados para o bloco e suas redondezas são fornecidos na Tabela E.41.

Dados para as linhas e seus sistemas internos conectados são fornecidos, para a linha de energia na Tabela E.42 e para as linhas de sinais na Tabela E.43.

Tabela E.41 – Bloco de apartamentos: características ambientais e globais da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)	$H = 20$ ou 40 (ver Tabela E.45)	L, W	30, 20	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Variável (ver Tabela E.45)	P_B	–	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.42 – Bloco de apartamentos: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	200	
Fator de instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela E.43 – Bloco de apartamentos: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	100	
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura Adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.5.2 Definição das zonas em um bloco de apartamentos

As seguintes zonas podem ser definidas:

- Z_1 (fora ao edifício);
- Z_2 (dentro do edifício).

Para a zona Z_1 , é assumido que nenhuma pessoa estará fora do edifício. Entretanto, o risco de choque às pessoas é $R_A = 0$. Porque R_A é somente o componente de risco fora do edifício, a zona Z_1 pode ser desprezada completamente.

A zona Z_2 é definida levando em consideração o seguinte:

- a estrutura é classificada como um “edifício civil”;
- há, nesta zona, ambos os sistemas internos (energia e sinal);
- não há blindagem espacial;
- a estrutura é considerada um único compartimento à prova de fogo;
- perdas são assumidas como correspondente aos valores médios típicos da Tabela C.1.

Os fatores resultantes válidos para zona Z_2 estão relatados na Tabela E.44.

ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela E.44 – Bloco de apartamentos: fatores válidos para zona Z_2 (dentro da edificação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Madeira	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Variável (ver Tabela E.45)	r_f	–	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Variável (ver Tabela E.45)	r_p	–	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (laços grandes $> 10m^2$)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: Nenhum	h_z	1	Tabela C.6
		D1: devido a tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 200 / 200 \times 8\,760 / 8\,760$	–	1	

E.5.3 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

Os valores de risco R_1 e das medidas de proteção selecionadas para reduzir o risco ao nível tolerável $R_T = 10^{-5}$ são dadas na Tabela E.45, dependendo dos seguintes parâmetros:

- altura do edifício H ;
- fator de redução r_f para risco de incêndio;
- fator de redução r_p reduzindo as consequências de incêndio;
- probabilidade P_B dependendo da classe do SPDA adotada.

Tabela E.45 – Bloco de apartamentos: Risco R_1 para um bloco de apartamentos dependendo das medidas de proteção

Altura H (m)	Risco de incêndio		SPDA		Proteção contra incêndio		Risco R_1 Valores $\times 10^{-5}$	Estrutura protegida $R_1 \leq R_T$
	Tipo	r_f	Classe	P_B	Tipo	r_p		
20	Baixo	0,001	Nenhum	1	Nenhuma	1	0,837	Sim
	Normal	0,01	Nenhum	1	Nenhuma	1	8,364	Não
			III	0,1	Nenhuma	1	0,776	Sim
			IV	0,2	Manual	0,5	0,747	Sim
	Alto	0,1	Nenhum	1	Nenhuma	1	83,64	Não
			II	0,05	Automático	0,2	0,764	Sim
			I	0,02	Nenhuma	1	1,553	Não
			I	0,02	Manual	0,5	0,776	Sim
40	Baixo	0,001	Nenhum	1	Nenhuma	1	2,436	Não
			Nenhum	1	Automática	0,2	0,489	Sim
			IV	0,2	Nenhuma	1	0,469	Sim
	Normal	0,01	Nenhum	1	Nenhuma	1	24,34	Não
			IV	0,2	Automática	0,2	0,938	Sim
			I	0,02	Nenhuma	1	0,475	Sim
	Alto	0,1	Nenhum	1	Nenhuma	1	243,4	Não
			I	0,02	Automática	0,2	0,949	Sim

Anexo F (informativo)

Densidade de descargas atmosféricas N_G

F.1 Considerações sobre os dados apresentados relacionados à densidade de descargas atmosféricas

O mapa de densidade de descargas atmosféricas foi gerado pelo ELAT/INPE (Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para todo o território nacional, a partir dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo *Lightning Imaging Sensor* – LIS, a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM, da NASA, durante o período de 1998 a 2011.

Os dados brutos de descargas atmosféricas, oriundos do LIS, foram tratados de forma a considerar a eficiência de detecção do sensor, o período de observação de um ponto sobre a superfície terrestre pelo fato de o TRMM não ser geoestacionário, a distorção causada por efeitos geomagnéticos e o percentual médio das descargas atmosféricas nuvem para o solo em relação ao total registrado pelo LIS.

Para estimar o percentual médio de descargas atmosféricas da nuvem para o solo, foram utilizados os registros oriundos da rede de detecção de superfície disponível no período.

Após o tratamento dos dados, foi gerada uma grade de densidade de descargas atmosféricas composta por células com resolução de 12,5 km x 12,5 km. Cada célula da grade de densidade contém um valor médio anual de densidade.

Os valores de densidade de descargas atmosféricas do mapa, representados por diferentes tons de cor, foram calculados por meio de um aplicativo *Geographic Information System* – GIS, que utiliza o método de interpolação numérica *Inverse Distance Weighted* – IDW, a partir dos valores médios anuais da grade de densidade.

Na legenda do mapa, consta uma escala de cores contendo dez valores de densidade de descargas atmosféricas.

NOTA Valores de densidade inferiores a 0,5 descargas atmosféricas/km²/ano ou superiores a 19 descargas atmosféricas/km²/ano são representados no mapa pelas cores das paletas da extremidade da escala: lilás claro (0,5) e preto (19). Valores intermediários a esses limites são representados no mapa por tons de cor indicados na escala.

Alternativamente à utilização dos mapas, pode-se obter o N_G por meio de coordenadas cartesianas obtidas por GPS e inseridas no site http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng

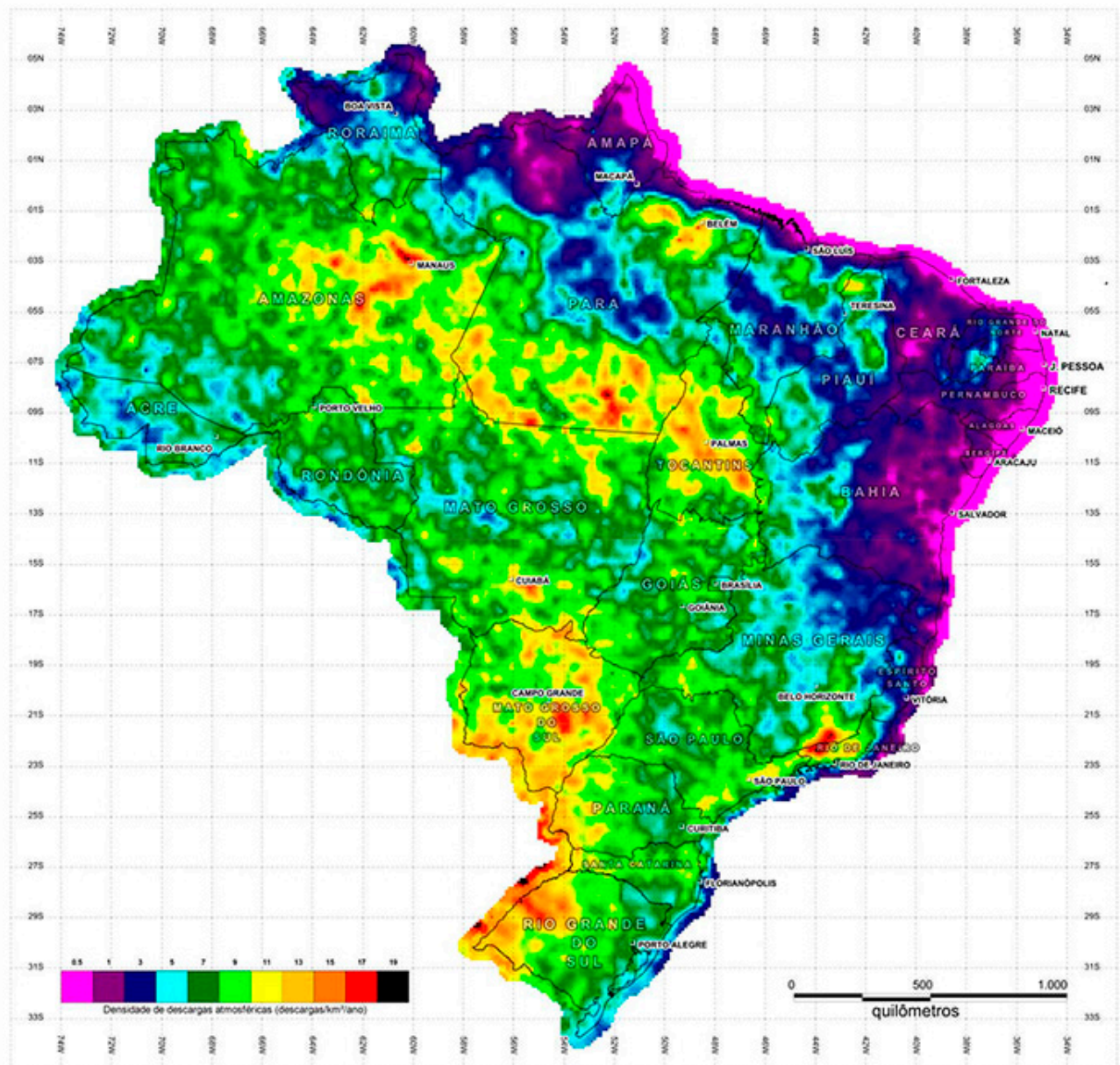


Figura F.1 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa do Brasil (descargas atmosféricas/km²/ano)

ABNT NBR 5419-2:2015

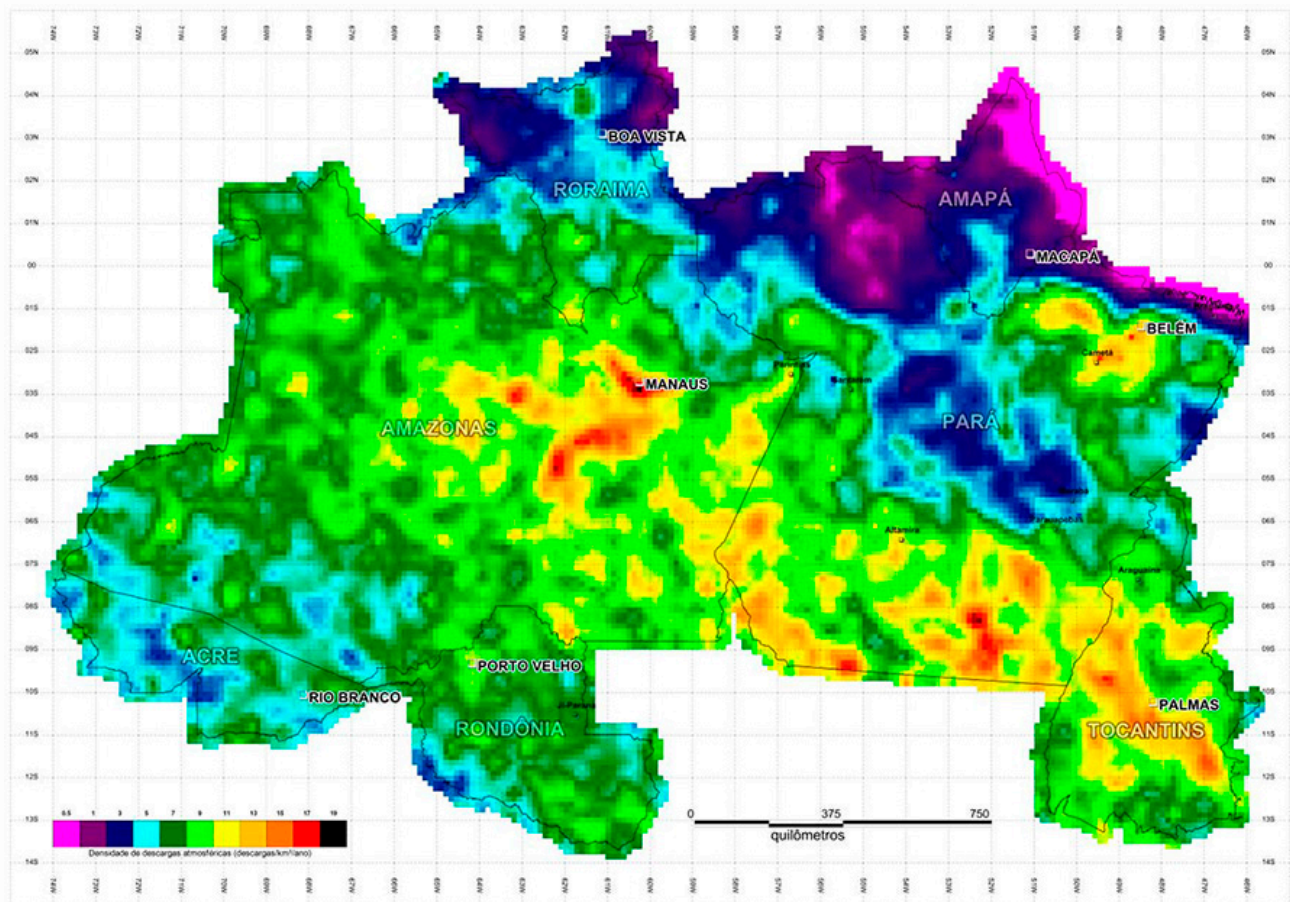


Figura F.2 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região norte (descargas atmosféricas/km²/ano)

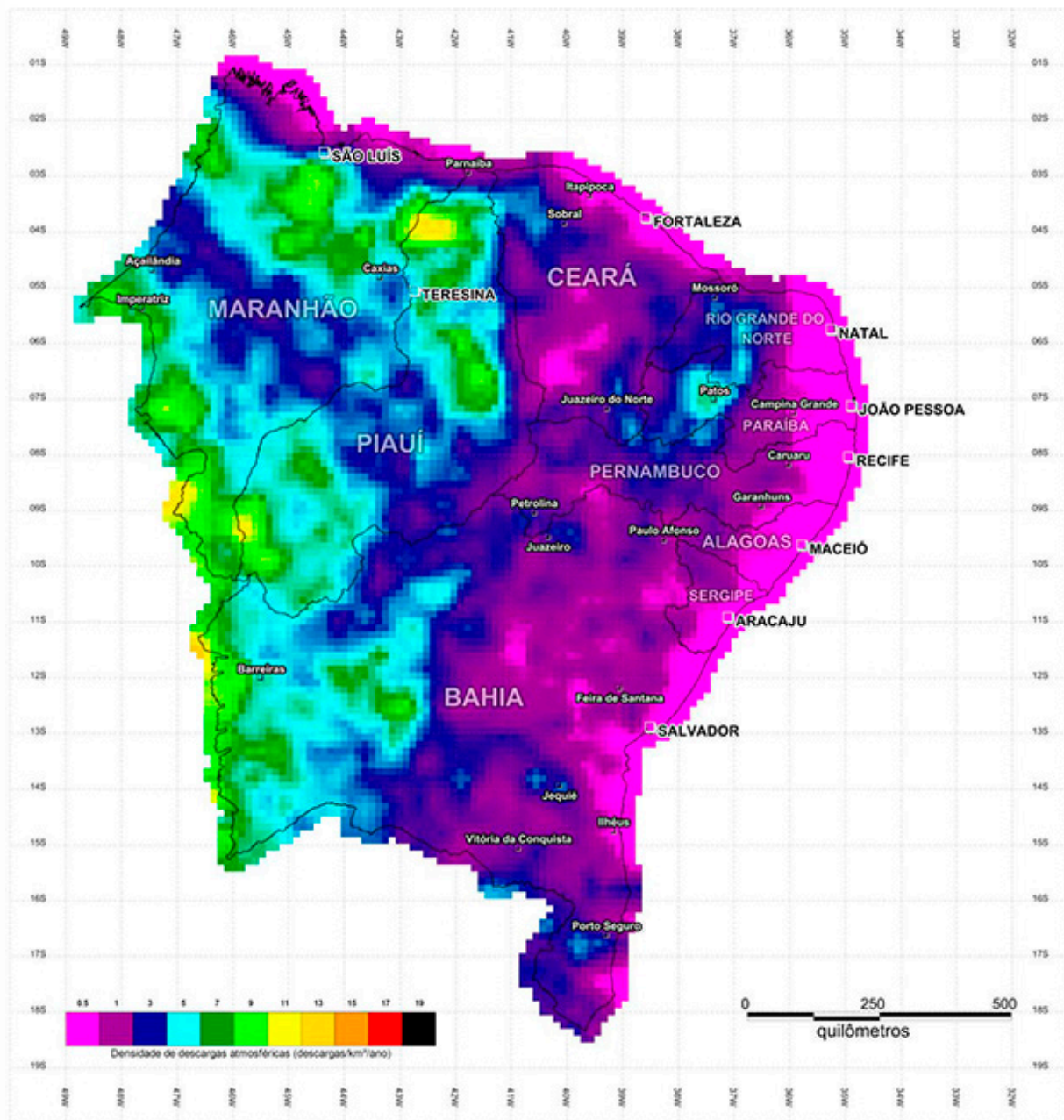


Figura F.3 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região nordeste (descargas atmosféricas/km²/ano)

ABNT NBR 5419-2:2015

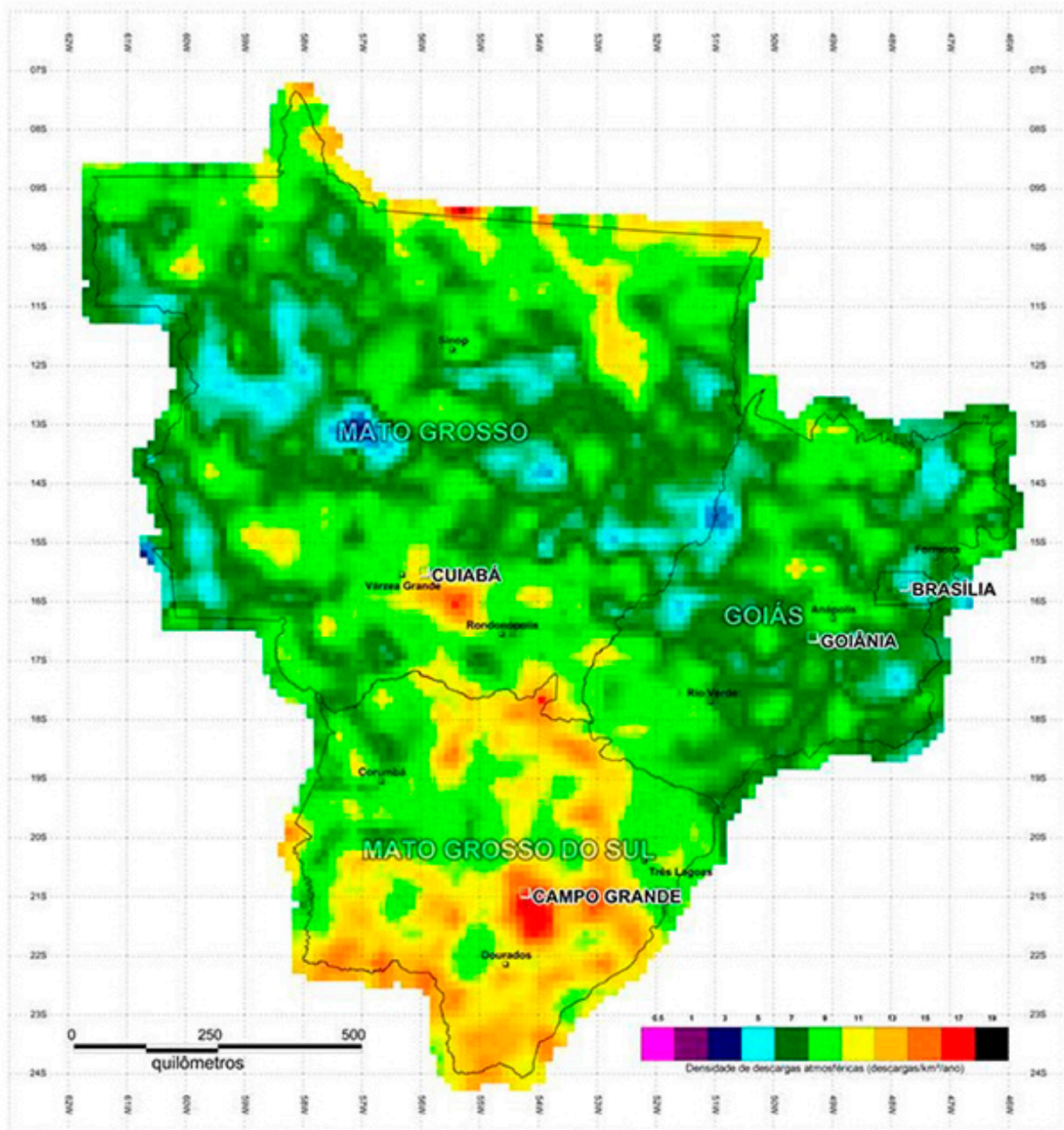


Figura F.4 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região centro-oeste (descargas atmosféricas/ km^2/ano)

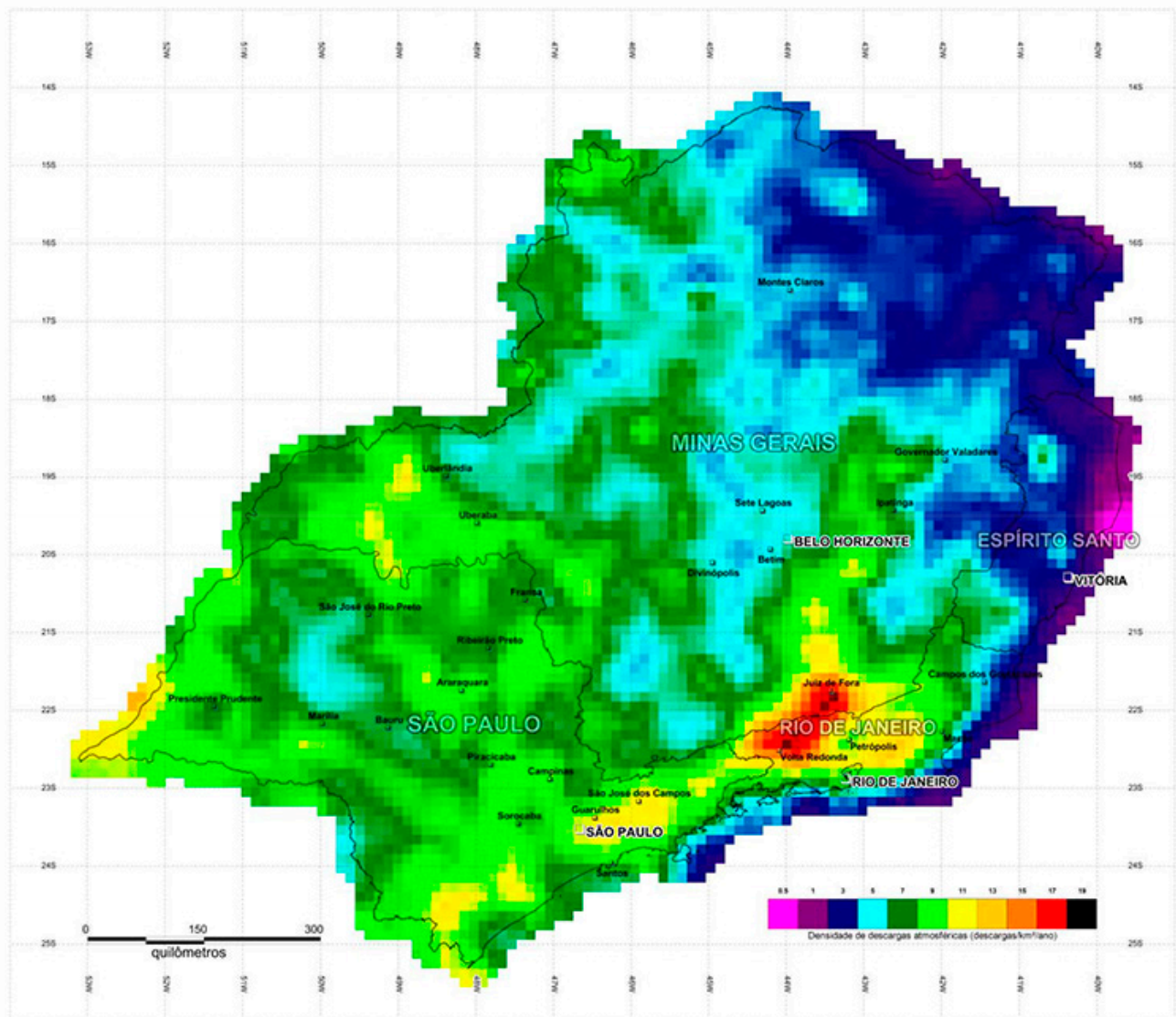


Figura F.5 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região Sudeste (descargas atmosféricas/km²/ano)

ABNT NBR 5419-2:2015

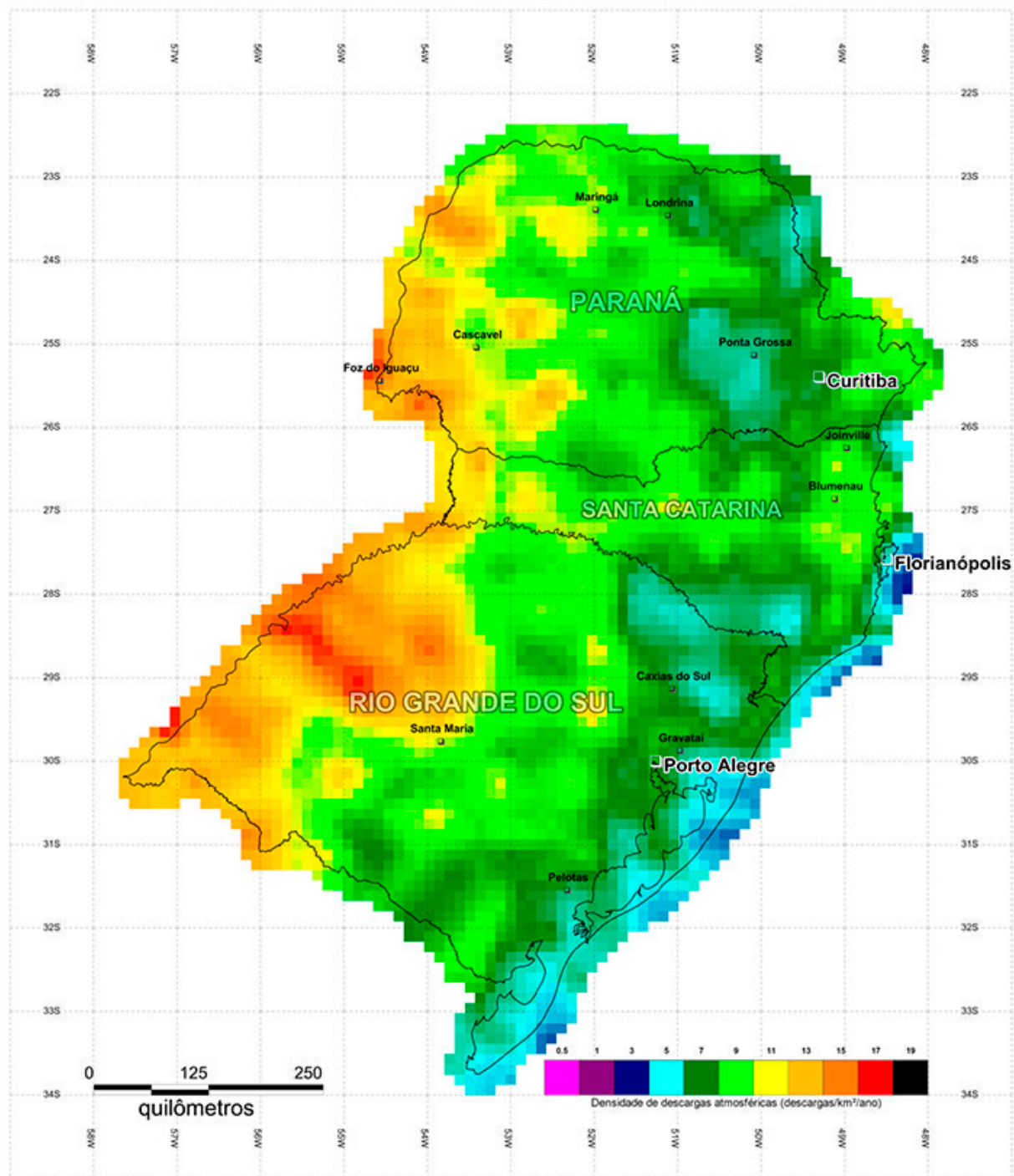


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km²/ano)

Bibliografia

- [1] ABNT NBR 5410, *Instalações elétricas de baixa tensão*
- [2] ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*
- [3] ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios – Especificação*
- [4] ABNT NBR 15749, *Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*
- [5] ABNT NBR IEC 60079-14, *Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas*
- [6] ABNT NBR IEC 61643-1, *Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão – Parte 1: Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão – Requisitos de desempenho e métodos de ensaio*
- [7] IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*
- [8] IEC/TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*
- [9] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
- [10] IEC 61400-24, *Wind turbines – Part 24: Lightning protection*
- [11] IEC 61557-4, *Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding*
- [12] IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*
- [13] IEC 61643-21, *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*
- [14] IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*
- [15] IEC 62561(all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*
- [16] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines-Analytical models*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993
- [17] ITU-T Recommendation K.67, *Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning*
- [18] BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., *Parameters of lightning flashes*. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37

ABNT NBR 5419-2:2015

- [19] ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., *Lightning parameters for engineering application*. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102
- [20] ITU-T Recommendation K.46, *Protection of telecommunication lines using metallic symmetric conductors against lightning-induced surges*
- [21] ITU-T Recommendation K.47, *Protection of telecommunication lines using metallic conductors against direct lightning discharges*
- [22] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part I: Return stroke current models with specified channel-base current for the evaluation of return stroke electromagnetic fields*. CIGRE Electra No 161 (Agosto 1995)
- [23] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part II: Coupling models for the evaluation of the induced voltages*. CIGRE Electra No 162 (Outubro 1995)

