

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EMERSON GOMES FERREIRA

ANÁLISE DO SPDA DE UMA INDÚSTRIA À LUZ DA NBR 5419/2015 –
ESTUDO DE CASO

ITUMBIARA - GO
2026

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Emerson Gomes Ferreira

Matrícula: 20202040070016

Título do Trabalho: Análise do SPDA de uma indústria à luz da NBR 5419/2015 – Estudo de Caso

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 04/02/2026.



Documento assinado digitalmente

EMERSON GOMES FERREIRA

Data: 04/02/2026 15:38:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

EMERSON GOMES FERREIRA

ANÁLISE DO SPDA DE UMA INDÚSTRIA À LUZ DA NBR 5419/2015 –
ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Itumbiara, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do professor Dr. Roberlam Gonçalves de Mendonça.

ITUMBIARA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F383a Ferreira, Emerson Gomes

Análise do SPDA de uma indústria à luz da NBR 5419/2015 - estudo de caso. / Emerson Gomes Ferreira. – Itumbiara, 2026.

115 p. : il.

Trabalho de conclusão do curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Roberlam Gonçalves de Mendonça.

1. Descarga atmosférica - Raio. 2. Riscos. 3. Sistemas de energia elétrica - Proteção. I. Título. II. Mendonça, Roberlam Gonçalves de. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.317

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecário: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

Termo de Aprovação

Emerson Gomes Ferreira

ANÁLISE DO SPDA DE UMA INDÚSTRIA À LUZ DA NBR 5419/2015 – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 29 de janeiro de 2026, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. Roberlam Gonçalves de Mendonça - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Campus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. DSc. Cláudio Roberto Pacheco - Membro interno

Instituto Federal de Goiás, Campus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. DSc. Victor Régis Bernardeli - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Campus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Itumbiara – GO

Documento assinado eletronicamente por:

- **Victor Regis Bernardeli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2026 20:12:25.
- **Claudio Roberto Pacheco**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2026 19:24:45.
- **Roberlam Goncalves de Mendonca**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2026 17:21:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 03/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 741857

Código de Autenticação: 713f7fc710



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

Dedico este trabalho à memória da minha mãe, Iêda Gomes do Nascimento, e do meu irmão Eliton Gomes do Nascimento, que, mesmo ausentes fisicamente, permanecem vivos em minhas lembranças, valores e conquistas. Pessoas que sempre acreditaram em mim e nunca mediram esforços para que eu pudesse seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe, Iêda Gomes do Nascimento (*in memoriam*), e ao meu pai, Onésio Ferreira da Silva, por terem sido a base da minha formação humana e por todo o amor, apoio e ensinamentos que seguem presentes em cada etapa da minha vida. Aos meus irmãos, Elaine, Eliane e Eliton (*in memoriam*), cunhados e sobrinhos e ao João Victor, deixo o meu sincero agradecimento pelo incentivo constante, pela presença e pelo apoio incondicional nas decisões que moldaram minha trajetória.

Agradeço ao meu orientador, Roberlam Gonçalves Mendonça, pela paciência, dedicação e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo deste trabalho, que contribuíram de forma significativa para meu crescimento acadêmico e profissional.

RESUMO

As descargas atmosféricas representam um risco significativo para edificações residenciais e industriais, podendo causar danos estruturais, falhas em sistemas elétricos e eletrônicos e colocar em risco a segurança das pessoas. Diante desse cenário, torna-se essencial a adoção de sistemas eficazes de proteção, fundamentados em normas técnicas específicas. Este trabalho tem como objetivo analisar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de uma indústria localizada no município de Itumbiara – GO, com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5419:2015. A metodologia adotada envolve o levantamento das características da edificação, a análise da densidade de descargas atmosféricas da região, o cálculo dos riscos associados e a verificação da conformidade do sistema existente. A partir dos resultados obtidos, foram identificados pontos de adequação e propostas melhorias técnicas visando à redução dos riscos a níveis toleráveis. A aplicação correta da metodologia de gerenciamento de riscos prevista na norma é fundamental para garantir a segurança da edificação, a proteção dos equipamentos e a integridade das pessoas, além de reforçar a importância do engenheiro eletricista na avaliação e implementação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. SPDA. Gerenciamento de riscos. NBR 5419-2015.

ABSTRACT

Lightning strikes pose a significant risk to industrial buildings, potentially causing structural damage, failures in electrical and electronic systems, and endangering human safety. In this context, the adoption of effective protection systems based on technical standards is essential. This study aims to analyze the Lightning Protection System (LPS) of an industrial facility located in the city of Itumbiara, Goiás, Brazil, according to the criteria established by ABNT NBR 5419:2015. The methodology includes the assessment of the building's characteristics, analysis of the regional lightning density, calculation of associated risks, and verification of compliance of the existing system. Based on the results, nonconformities were identified and technical improvements were proposed to reduce risks to acceptable levels. The study concludes that the proper application of the risk management methodology defined by the standard is fundamental to ensure building safety, equipment protection, and human life preservation, highlighting the important role of electrical engineers in the design and evaluation of lightning protection systems.

Keywords: Lightning strikes. Lightning Protection System. Risk management. NBR 5419-2015.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Distribuição de cargas elétricas no interior de uma nuvem.....	19
Figura 02 - Etapas de início e progressão da descarga piloto.....	20
Figura 03 - Perfil da descarga ascendente e progressão da corrente de retorno.....	21
Figura 04 - Perfil da descarga "sem ramificações" e corrente de retorno.....	21
Figura 05- Imagem real do processo de formação da descarga atmosférica.....	22
Figura 06 - Descarga nuvem-solo.....	23
Figura 07 - Descarga solo-nuvem.....	23
Figura 08 - Possíveis componentes em uma descarga NS.....	25
Figura 09 - Possíveis componentes em uma descarga NS, outros tipos.....	25
Figura 10 - Descarga ascendente.....	26
Figura 11 - Descarga descendente.....	26
Figura 12 - Tensão de passo.....	27
Figura 13 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas, biênio 2018/2019.....	29
Figura 14 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas em Goiás.....	30
Figura 15 - Abrangência e conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.....	32
Figura 16 - Cone correspondente ao Método do Ângulo de Proteção.....	64
Figura 17 - Ângulo de proteção de acordo com a classe do SPDA.....	64
Figura 18 - Método da Esfera Rolante.....	65
Figura 19 - Subsistema de captores a um fio.....	72
Figura 20 - Caso de subsistema de captores em malha	72
Figura 21 - Laço em condutor de descida.....	73
Figura 22 - Comprimento mínimo I1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.....	77
Figura 23 - Localização das estruturas dentro da planta fabril.....	87
Figura 24 - Escritório dentro da planta fabril.....	88
Figura 25 - Vista Superior do Galpão.....	88
Figura 26 - Vista aérea da planta fabril.....	89
Figura 27 - Vista frontal do galpão industrial.....	91
Figura 28 - Vista frontal do galpão industrial com rede de média tensão.....	91
Figura 29 - Dimensões do galpão industrial.....	92
Figura 30 - Dimensões do galpão industrial.....	92
Figura 31- SPDA na vista superior do Galpão industrial.....	93
Figura 32 - SPDA na vista superior do Galpão industrial.....	94

Figura 33 - Sistemas de Descida e Aterramento do Galpão.....	96
Figura 34 - Visão superior do SPDA do Galpão Industrial.....	106
Figura 35 - Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA	107
Figura 36 - Visão superior do SPDA do escritório.....	109
Figura 37 - Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA	109
Figura 38 - Cone correspondente ao Método do Ângulo de Proteção.....	110
Figura 39 - Dimensões do topo da caixa d'água.....	110
Figura 40 - Raio delimitado pelo cone da área de proteção do captor.....	111
Figura 41 - Vista lateral da caixa d'água com SPDA proposto.....	112
Figura 42 – Comparativo entre antes e depois das correções e melhoras no SPDA.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto provenientes de uma descarga atmosférica.....	33
Tabela 02 - Valores típicos do risco tolerável.....	35
Tabela 03 - Componentes de risco x tipo de perda.....	36
Tabela 04 - Fator de localização da estrutura CD.....	42
Tabela 05 - Fator tipo de linha CT.....	43
Tabela 06 - Fator de instalação da linha CI.....	44
Tabela 07 - Fator ambiental da linha CE.....	45
Tabela 08 - Valores de PTA em função das medidas de proteção adicional.....	46
Tabela 09 - Valores de PB em função das medidas de proteção para reduzir danos físicos.....	47
Tabela 10 - Valores de PSPD em função do NP do DPS utilizado.....	48
Tabela 11 - Valores de CLD e CLI em função das condições de blindagem, isolamento e aterramento.....	48
Tabela 12 - Valores de KS3 em função da fiação interna.....	50
Tabela 13 - Valores de PTU em função das medidas de proteção.....	51
Tabela 14 - Valores de PEB em função do NP do DPS utilizado.....	52
Tabela 15 - Valores de PLD em função da resistência da blindagem do cabo RS e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.....	52
Tabela 16 - Valores de PLI em função do tipo de linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos.....	54
Tabela 17 - Perda - L1 valores de perda típica para cada zona.....	55
Tabela 18 - Perda L 1 - valores médios típicos de LT, LF e LO.....	55
Tabela 19 - Fator de redução r_t em função do tipo de solo ou piso.....	56
Tabela 20 - Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.....	57
Tabela 21 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.....	57
Tabela 22 - Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.....	57
Tabela 23 - Perda L2 - valores de perda para cada zona.....	58
Tabela 24 - Tipo de perda L2 - valores médios típicos de LF e LO.....	59
Tabela 25 - Tipo de perda L3 - valores de perda para cada zona.....	59
Tabela 26 - Tipo de perda L3 - valor médio típico de LF.....	60

Tabela 27 - Tipo de perda L4 - valores de perda para cada zona.....	60
Tabela 28 - Tipo de perda L4 - valores médios típicos de LT, LF e LO.....	61
Tabela 29 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA...	61
Tabela 30 - Valores do raio da esfera rolante em função da classe do SPDA.....	65
Tabela 31 - Valores do Método das Malhas de acordo com a classe do SPDA.....	66
Tabela 32 - Espessura mínima de chapas metálicas ou t tubulações metálicas em sistema de captação.....	67
Tabela 33 - Distâncias entre os condutores de descida por classes do SPDA.....	70
Tabela 34 - Valores do coeficiente Kc.....	71
Tabela 35 - Valores do coeficiente Ki.....	74
Tabela 36 - Valores do coeficiente Km.....	74
Tabela 37 - Valores do coeficiente Km.....	74
Tabela 38 - Materiais para SPDA e condições de utilização.....	78
Tabela 39 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida.....	80
Tabela 40 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodos de aterramento.....	81
Tabela 41 - Horários e previsão de quantidade de funcionários.....	90
Tabela 42 - Número de pessoas e tempo de presença anual da estrutura.....	91
Tabela 43 - Tamanho da malha correspondentes a classe do SPDA.....	95
Tabela 44 - Distância máxima entre os condutores de descida pela a classe do SPDA.....	95
Tabela 45 - Características da estrutura do Galpão Industrial.....	97
Tabela 46 - Características da estrutura e meio ambiente do Galpão Industrial.....	98
Tabela 47 - Características da linha de sinal do Galpão da Indústria.....	98
Tabela 48 - Cálculos dos parâmetros P e L da Zona 2 (Z2) Galpão da Indústria.....	99
Tabela 49 - Cálculo de parâmetros P e L da Zona 1 (Z1) Pátio externo.....	100
Tabela 50 - Cálculos dos parâmetros P e L da Zona 3 (Z3) Escritório.....	100
Tabela 51 - Cálculo dos valores de N.....	102
Tabela 52 - Cálculo do risco R1 e R4 do PDA atual da estrutura.....	102
Tabela 53 - Cálculo do risco R1 do PDA atual da estrutura.....	103
Tabela 54 - Tamanho da malha correspondentes a classe do SPDA.....	105
Tabela 55 - Valores modificados em relação às características da análise de risco.....	108
Tabela 56 - Nova análise de risco para o novo PDA para a estrutura.....	108

LISTA DE SIGLAS

Ae – Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada

Aes – Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente

Alp – Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha

Al – Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha

Aep – Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura

Cd – Fator de localização

Cdj – Fator de localização de uma estrutura adjacente

Ce – Fator ambiental

Ci – Fator de instalação de uma linha

Cld – Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha

Clp – Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha

Ct – Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha

D1 – Ferimentos a seres vivos por choque elétrico

D2 – Danos físicos

D3 – Falhas de sistemas eletroeletrônicos

Hz – Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente

K – Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra LEMP

Km – Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura

Ki – Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura

Kc – Fator relevante às características do cabeamento interno

Ku – Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema

L – Comprimento da estrutura

L1 – Perda de vida humana

L2 – Perda de serviço ao público

L3 – Perda de patrimônio cultural

L4 – Perda de valor econômico

LA – Perda relacionada a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

LB – Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)

LC – Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)

LEMP – Lightning Electromagnetic Impulse (Pulso Eletromagnético Devido às Descargas Atmosféricas)

LFB – Perda em uma estrutura devido a danos físicos

Ll – Comprimento de uma seção da linha

LLS – Lightning Location Systems (Sistema de Localização de Raios)

LM – Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)

LMB – Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos

LU – Perda devido a ferimentos por choque elétrico

LUA – Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)

LUB – Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)

LUC – Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)

LV – Perda consequente a danos relevantes à estrutura

LVC – Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)

Nd – Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura

Ndj – Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente

Ng – Densidade de descargas atmosféricas para a terra

Nlp – Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha

Nl – Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma linha

Nep – Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura

Nt – Número total de pessoas esperado

N – Número de eventos perigosos por ano

Np – Número de possíveis pessoas em perigo

PA – Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

PB – Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

PC – Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)

PU, Pv – Probabilidade de redução de Pu e Pv dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando a ligação equipotencial é instalada

PU', Pv', Pw – Probabilidade de redução de Pu', Pv' e Pw dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento

P2 – Probabilidade de redução de P2 dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento

PM – Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)

PC', PM', Pw, P2 – Probabilidade de redução de PC', PM', Pw e P2 quando um sistema coordenado de DPS está instalado

PV – Probabilidade de danos relevantes à estrutura

R1 – Risco de perda de vida humana

R2 – Risco de perda de serviço ao público

R3 – Risco de perda de patrimônio cultural

R4 – Risco de perda de valor econômico

RA – Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)

RB – Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)

RC – Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)

Rf – Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio

RM – Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

Rp – Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio

Rs – Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo

Rt – Risco tolerável

RU – Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)

RV – Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)

RW – Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)

RX – Componente de risco para uma estrutura

RZ – Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

T – Tempo, em horas por ano, de exposição de pessoas em local perigoso

Uw – Tensão suportável nominal de impulso de um sistema

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	18
3. DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL.....	28
3.1. Densidade de descargas atmosféricas em Itumbiara - GO.....	30
4. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA.....	30
5. NBR 5419-2015.....	31
5.1. Princípios gerais.....	32
5.2. Gerenciamento de risco.....	32
5.3. Componentes de risco de descargas atmosféricas diretamente na estrutura (S1).....	38
5.4. Componentes de risco devido às descargas atmosféricas próximas da estrutura (S2).....	39
5.5. Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3).....	39
5.6. Componentes de risco devido a descargas atmosféricas nas proximidades de uma linha conectada à estrutura (S4).....	40
5.7. Dividindo a Estrutura.....	40
6. EQUACIONANDO DANOS E RISCOS.....	41
6.1. Análise do número médio anual de eventos perigosos ND devido a descargas atmosféricas na estrutura e NDJ em estrutura adjacente.....	41
6.2. Determinação da área de exposição equivalente (AD).....	41
7. PERDAS CAUSADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	54
7.1. Quantidade relativa média de perda por evento perigoso.....	54
7.2. Perda de Vida Humana (L1).....	55
7.3. Perda Inaceitável de Serviço ao Público (L2).....	58
7.4. Perda Inaceitável de Patrimônio Cultural (L3).....	59
7.5. Perda Econômica (L4).....	60
8. PROTEÇÃO EXTERNA - DANOS FÍSICOS A ESTRUTURAS E PERIGO À VIDA....	61
9. PROTEÇÃO DE SISTEMAS E NT DO CORPO DE BOMBEIROS.....	82
9.1 NT 40/2019 do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás.....	84
10. ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA DE TINTAS.....	87
11. CONCLUSÃO.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas representam um dos fenômenos naturais de maior impacto sobre estruturas, sistemas elétricos e a segurança de pessoas, especialmente em países de clima tropical como o Brasil, que apresenta elevada incidência de raios ao longo do ano.

Esses eventos podem causar danos físicos às edificações, falhas em sistemas eletroeletrônicos, interrupções de serviços essenciais e, em situações mais graves, perdas de vidas humanas. Diante desse cenário, torna-se indispensável a adoção de medidas eficazes de proteção contra descargas atmosféricas.

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem como principal objetivo reduzir os riscos associados aos efeitos diretos e indiretos dos raios, proporcionando um caminho seguro para a dissipação da corrente elétrica no solo e minimizando danos às estruturas e às pessoas. No Brasil, os critérios para projeto, dimensionamento, instalação e avaliação desses sistemas são estabelecidos pela ABNT NBR 5419:2015, que introduz uma abordagem baseada no gerenciamento de riscos, permitindo a análise técnica da necessidade e do nível adequado de proteção para cada tipo de edificação.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a análise do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas de uma indústria, à luz dos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5419:2015, por meio de um estudo de caso. A pesquisa contempla a avaliação da incidência de descargas atmosféricas na região, o cálculo dos riscos envolvidos, a verificação da conformidade do SPDA existente e a proposição de melhorias técnicas quando necessário, visando garantir níveis de segurança compatíveis com os valores de risco toleráveis definidos pela norma.

Dessa forma, o estudo contribui para o aprofundamento do conhecimento técnico sobre proteção contra descargas atmosféricas, além de reforçar a importância da aplicação criteriosa das normas técnicas como ferramenta fundamental para a segurança de instalações industriais, a preservação do patrimônio e a proteção da vida humana.

2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os seres humanos sempre se sentiram intimidados ou pelo menos intrigados pelas descargas atmosféricas, seja pelo medo, devido aos danos que causam às estruturas, e também aos seres vivos, ou pelo que significava, dependendo da crença adotada por uma determinada população. Os nórdicos, por exemplo, acreditavam em Thor, deus do raio e do trovão, e sempre que trovejava e relampejava se dizia que era Thor andando no céu em sua carruagem e balançando seu martelo. (LEITE, 1997).

As descargas atmosféricas podem ser separadas em três eventos, que são o raio, relâmpago e o trovão. O raio é a descarga elétrica que ocorre entre nuvem e terra, é um evento imperceptível ao olho humano, pois se dá em forma de faísca. Já o relâmpago, que é o clarão que vemos cortando o céu, é a reprodução da luz gerada pelo arco elétrico causado pelo raio. O barulho estrondoso que ouvimos logo após vermos o relâmpago é chamado de trovão, ele ocorre porque quando a descarga elétrica acontece, o ar que fica em volta se aquece muito e isso gera um deslocamento do ar. (KINDERMANN, 2009).

Quando estudamos as descargas atmosféricas, o nome mais conhecido é do estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790), que foi também um dos líderes da Revolução Americana. Em poucos anos, Franklin fez descobertas sobre a eletricidade que lhe renderam reputação internacional. Ele identificou as cargas positivas e negativas, além de demonstrar que os raios são um fenômeno de natureza elétrica. Para Franklin, só foi possível comprovar sua teoria sobre os raios depois de realizar uma experiência extremamente perigosa. Em 1º de outubro de 1752, ele fez uma pipa voar durante uma tempestade. Em seus escritos, ele apontou os envolvidos na demonstração: foi descrito que o raio é formado por uma descarga elétrica que pode ocorrer entre as nuvens e o solo, ou mesmo entre as nuvens.

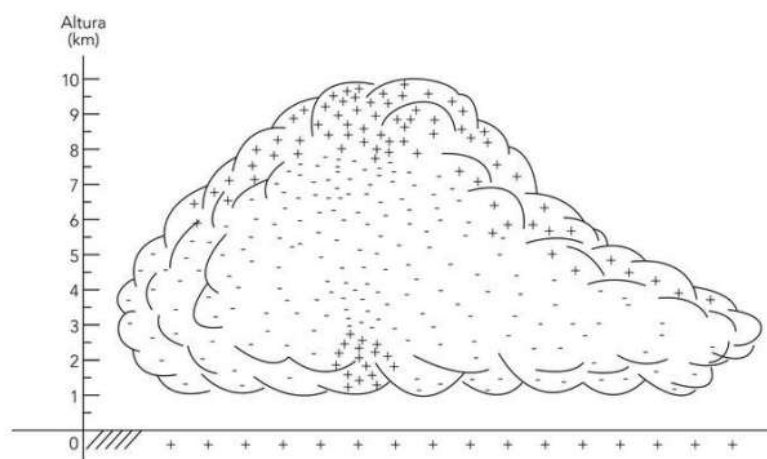
A metodologia experimental de Benjamin Franklin consistia em colocar uma haste metálica aterrada sob uma nuvem de tempestade. Ao aproximar o corpo aterrado da nuvem, propiciava o caminho de contato entre o solo e a nuvem, escoando para a terra a energia contida na nuvem. Esse método foi comprovado pelo cientista francês Thomas François D'Alibard (1709-1799) em 1752. Ao aproximar um fio aterrado de uma barra de ferro pontiaguda previamente colocada em direção a nuvens carregadas, foi possível observar que faíscas

saltavam do mastro para o fio, estabelecendo, dessa forma, o princípio de funcionamento dos para-raios.

Após esse período, diversos estudos apresentaram conceitos sobre as descargas nas nuvens. A maneira simplificada, porém clássica, de explicar a origem das descargas atmosféricas é considerar a descarga como um rompimento da isolação do ar entre duas superfícies carregadas eletricamente e com polaridades opostas. Os raios são originados a partir da formação das nuvens e estão associados às fases do ciclo da água. Quando a água sobe para a atmosfera por meio da evaporação, na condensação e na sua precipitação, ocorre uma troca de cargas provocada pelo choque entre as partículas de água.

Na formação das nuvens, as cargas negativas se concentram na parte inferior, enquanto as positivas vão para o topo. O vento provoca a separação das partículas de polaridades opostas. Assim, é aceito que as correntes ascendentes de ar são responsáveis pelo transporte das partículas positivas, enquanto as pequenas gotas de água sobem para a parte superior da nuvem. Já as partículas negativas são transportadas para a base da nuvem por meio das grandes gotas d'água (UMAN, 1987). A Figura 01 ilustra a distribuição aproximada de cargas elétricas no interior de uma nuvem.

Figura 01 - Distribuição de cargas elétricas no interior de uma nuvem.



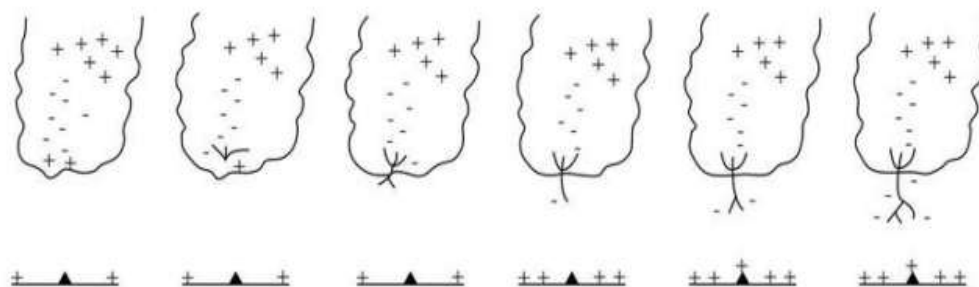
Fonte: SOUZA et al (2020).

Na região inferior da nuvem, há uma elevada concentração de cargas de polaridade negativa. Como consequência, segundo SOUZA, uma grande quantidade de cargas opostas é

induzida ao solo. A distribuição e a concentração das cargas geram o gradiente elétrico, que supera o limite de isolamento do ar. Isso resulta na circulação de corrente elétrica na direção da nuvem para solo ou em sentido contrário, por meio de percursos tortuosos e ramificados.

O modelo de desenvolvimento do processo de uma descarga atmosférica é caracterizado pela formação de uma descarga preliminar denominada piloto. Ela ocorre a partir de um centro de cargas negativas dentro da nuvem, acompanhado por uma corrente de retorno. A Figura 02 exibe as etapas de uma descarga atmosférica, demonstrando o sentido da sua evolução. A sequência apresenta o início e a progressão da descarga inicial (piloto).

Figura 02 - Etapas de início e progressão da descarga piloto.

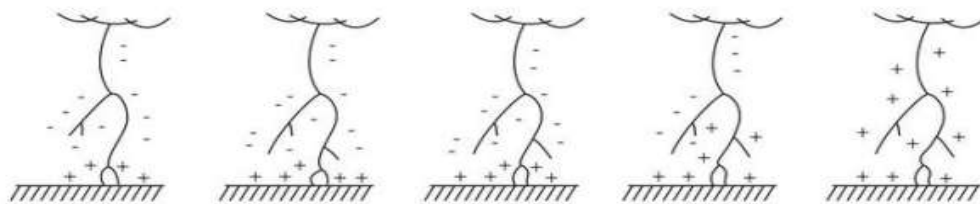


Fonte: SOUZA et al (2020).

Quando a descarga piloto atinge o solo, surge uma corrente de retorno excessivamente brilhante, que se propaga em direção à nuvem. Ela segue o mesmo percurso da descarga piloto e descarrega para o solo as cargas existentes no canal ionizado e uma parcela das cargas da nuvem.

Alguns pesquisadores supõem que a descarga piloto, antes de atingir o solo, inicia um movimento ascendente de cargas de polaridade oposta. Isso é atribuído à elevada intensidade do campo elétrico existente entre a ponta da descarga e o solo. Essas cargas ascendentes podem se encontrar com a descarga piloto em algum ponto acima do solo e iniciar a corrente de retorno. As etapas descritas anteriormente são apresentadas na Figura 03 destacando a descarga ascendente, o início e a progressão da corrente de retorno.

Figura 03 - Perfil da descarga ascendente e progressão da corrente de retorno.



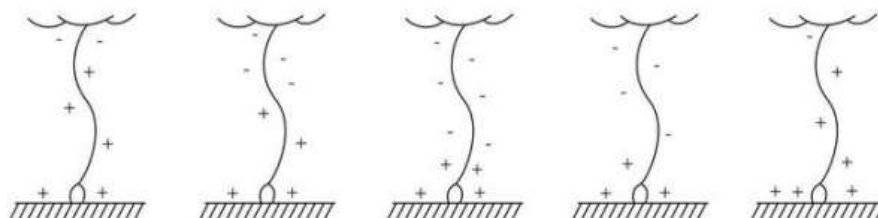
Fonte: SOUZA et al (2020).

Após a corrente de retorno escoar as cargas da nuvem, observa-se uma diminuição do potencial elétrico desse centro de cargas. Nesse momento, porém, desenvolve-se uma diferença de potencial entre o centro de cargas e outro ponto de cargas qualquer dentro da nuvem.

Assim, são criados canais interligados ao percurso ainda ionizado pela primeira descarga. Nesse instante, uma nova descarga ocorre entre a nuvem e o solo, e não apresenta ramificações em seu percurso. Depois de atingir o solo, surge uma nova corrente de retorno, que se dirige de volta para a nuvem. Esse processo pode se repetir diversas vezes, mas somente pode ser percebido com o auxílio de equipamentos visuais sofisticados.

A Figura 04 apresenta as etapas do desenvolvimento de uma típica descarga "sem ramificações". Na imagem, é possível observar a ausência de ramificações no processo da descarga, o que justifica o fato de algumas descargas atmosféricas apresentarem mais ramificações do que outras.

Figura 04 - Perfil da descarga "sem ramificações" e corrente de retorno.



Fonte: SOUZA et al (2020).

A Figura 05 apresenta o resultado em tempo real obtido com câmaras fixas, utilizado no registro da formação da descarga atmosférica. O processo de formação da descarga é

dinâmico e todos os dados são importantes para a compreensão desse fenômeno. É importante considerar a duração de cada etapa, velocidade de propagação, etc.

Figura 05 - Imagem real do processo de formação da descarga atmosférica.



Fonte: Acervo do autor.

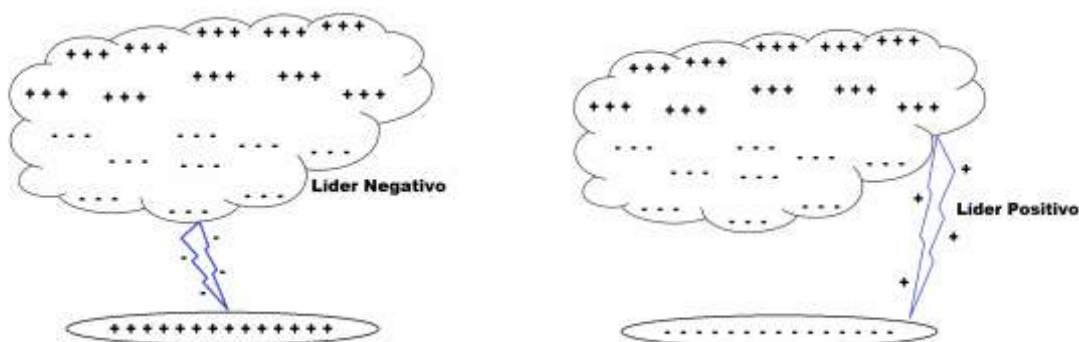
À medida que a densidade de cargas na nuvem atinge um determinado nível crítico, o campo elétrico gerado se torna suficientemente forte para romper a rigidez dielétrica do ar, estimada em cerca de 30 kV/cm. Esse rompimento inicial dá origem a uma descarga preliminar, chamada de Líder, que forma um canal ionizado.

Depois de rompida a isolação do ar, formando o raio piloto, que é responsável por descarregar na terra parte da carga contida na nuvem, este canal fica aberto por uma fração de segundo proporcionando que aconteça o raio de retorno, considerado o raio principal, que vai da terra para a nuvem, tendo um valor de corrente altíssimo que varia de 2.000 a 200.000 Ampères. Dependendo do caso pode haver ainda uma terceira descarga, que ocorre de maneira muito rápida, com valores de corrente variando de 100 a 1.000 Ampères. Estas três descargas são o que compõem o raio, dando a impressão de que é apenas uma descarga, devido ao curto espaço de tempo em que isso ocorre. (KINDERMANN, 2009).

Segundo Dehn und Söhne (2014), a descarga nuvem-solo (NS) tende a ocorrer em superfícies de baixa altitude e próximas a prédios mais baixos. O tipo mais comum deste raio é com um líder negativo saindo da nuvem e indo para a terra, como na Figura 06. Este se propaga em uma velocidade de aproximadamente 300 km/h em saltos de 10 metros.

O segundo tipo, com o líder positivo, se inicia da parte superior da nuvem como mostrado na Figura 06 com a probabilidade de ocorrência de apenas 10% em relação a quantidade total de raios NS. A relação de 90% de líder negativo para 10% de positivo varia com a localização geográfica.

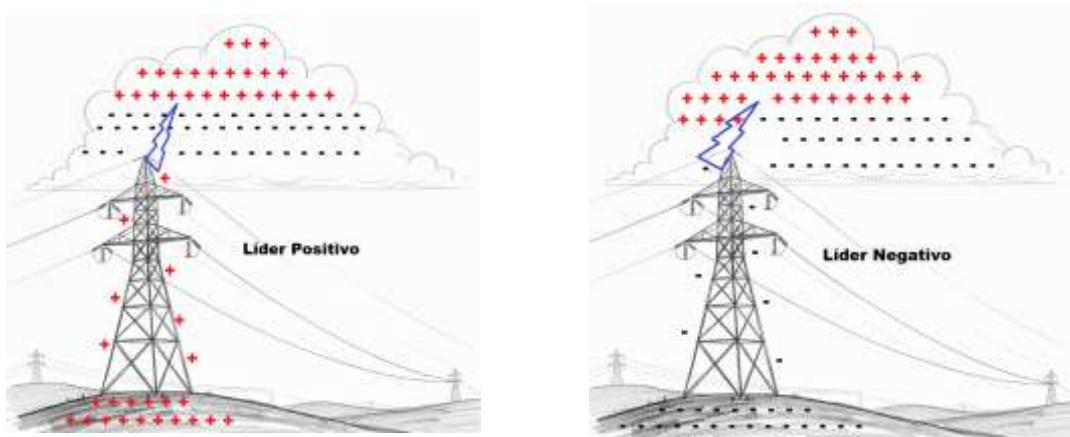
Figura 06 - Descarga nuvem-solo



Fonte: Elaborado pelo autor

Por outro lado, a descarga Solo-Nuvem (SN) normalmente ocorre em locais de maior altitude (montanhas, torres de telecomunicação, turbinas eólicas). Segundo Dehn und Söhne (2014), o campo elétrico necessário para iniciar um líder não é alcançado na nuvem em si, mas sim em um objeto que esteja exposto e associado a este campo. Essa descarga pode ser tanto positiva, como negativa, partindo do solo passando pelo objeto e atingindo, finalmente, a nuvem, conforme apresentado na Figura 07.

Figura 07 - Descarga solo-nuvem



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando um líder se conecta com o solo, uma estrutura, ou a nuvem, um canal condutor de elétrons é estabelecido. O ar neste caso funciona como um fio condutor, mas a condução não se dá apenas pelos portadores de elétrons, e sim por uma gama de portadores positivos, negativos e de elétrons livres (produto da radiação secundária ionizante).

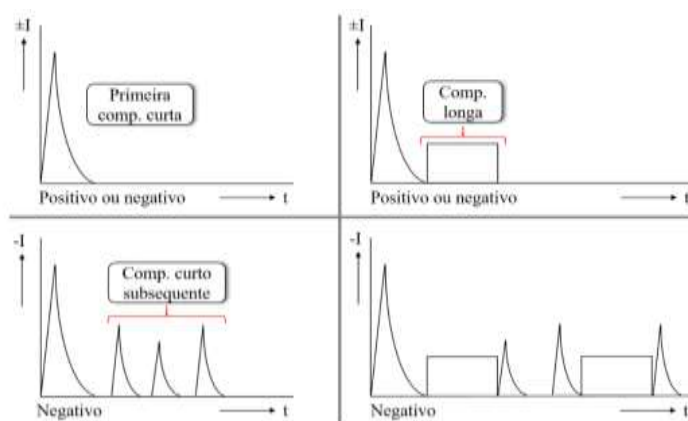
Por meio da avalanche destes elétrons livres e portadores, elétrons que antes estavam atraídos pelos núcleos das moléculas presentes no ar (N e O) recebem energia suficiente para romperem a força de atração com o núcleo, emitindo radiação eletromagnética visível. Este processo de ionização do ar é conhecido como um dos estados da matéria: o plasma.

A condução iônica é dada de forma rápida com uma alta liberação de energia, em poucos segundos as cargas próximas ao canal são em sua maioria neutralizadas. Além disso, com este canal aberto e o atrito dos elétrons com os núcleos das moléculas é gerado calor, atingindo temperaturas máximas de 30.000 °C em um tempo de 10 ms (SIMOMURA, 2020). Este aquecimento repentino faz com que as moléculas presentes no ar próximas ao canal se agitem rapidamente criando uma onda de choque supersônica. A onda sonora intensa se afasta do canal em todas as direções, com frequências entre 50 a 100 Hz, sendo conhecida como trovão. Mas, o processo de condução pelo canal e neutralização de cargas não ocorre em apenas uma única descarga.

As cargas próximas ao canal saem da nuvem em “levas”, já que nem sempre a totalidade destas estão em conjunto com o líder da descarga. Dessa forma, é criada uma gama de comportamentos no momento de descarga. A distinção é feita pela classificação de componentes de curta duração (≤ 2 ms) e de longa duração (> 2 ms). Além da duração, também são feitas classificações quanto a sua polaridade e a sua posição temporal na descarga atmosférica (primeira componente, componente subsequente e superposta) (DEHN und SÖHNE, 2014).

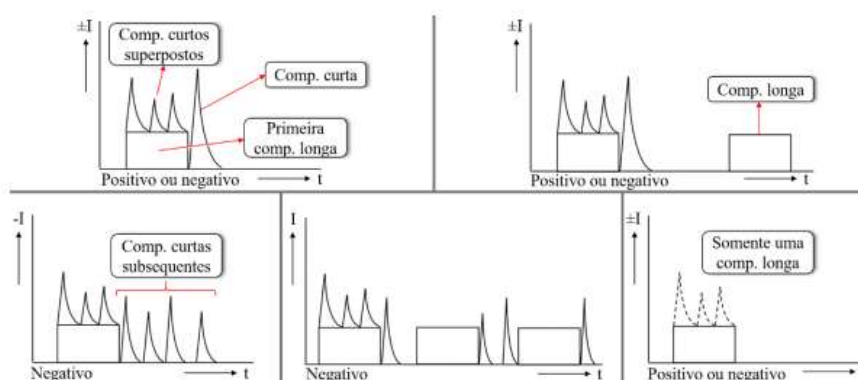
O comportamento no objeto que foi atingido muda para cada tipo de combinação entre os tipos das descargas. As Figuras 08 e 09 são uma padronização do comportamento das descargas atmosféricas. A partir destes gráficos são planejados e desenvolvidos os parâmetros dos níveis de proteção contra descargas atmosféricas. Os níveis de proteção (NP) variam de I até IV. O NP I conta com uma proteção prevista para um nível de corrente pico de 200 kA, enquanto o NP IV para 100 kA.

Figura 08 - Possíveis componentes em uma descarga NS.



Fonte: Adaptado de IEC 2618/10.

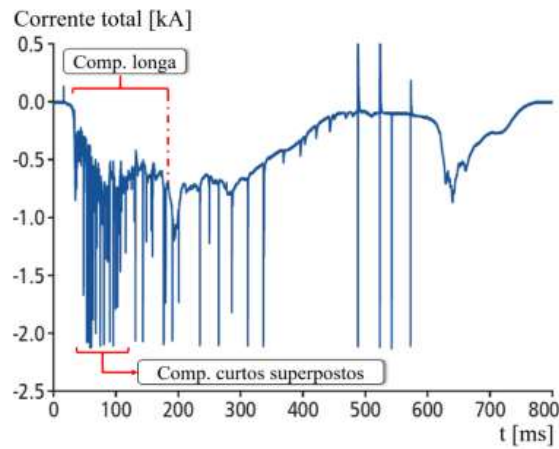
Figura 09 - Possíveis componentes em uma descarga NS, outros tipos.



Fonte: Adaptado de IEC 2618/10.

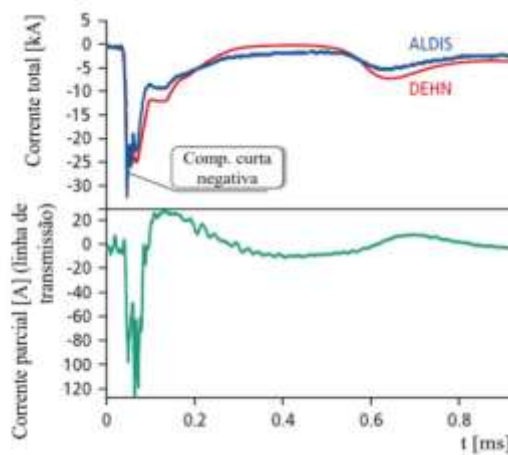
As Figuras 10 e 11 mostram o real comportamento das descargas. Estes dados são fornecidos pelo grupo de pesquisa austríaco ALDIS, que conta com uma estação de medição instalada em uma montanha próxima a Salzburg, na Áustria (DEHN und SÖHNE, 2014). Segundo Dehn und Söhne (2014), tais gráficos demonstram que o comportamento real se aproxima das correntes previamente parametrizadas propostas pela IEC.

Figura 10 - Descarga ascendente.



Fonte: Adaptado adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Figura 11 - Descarga descendente.



Fonte: Adaptado adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

O caminho ao qual a corrente do raio passará é aquele que fornece a menor resistência para a passagem dos elétrons. Como no ar existem áreas com diferentes condutividades, o canal condutor NS ou SN não será uma reta, portanto o plasma aparecerá em uma forma tortuosa muitas vezes com ramificações.

O líder do raio NS, quando mais próximo ao chão, tende a ir ao encontro do objeto ao qual fornecerá a menor resistência para sua condução. Portanto, o canal de descarga pode ser uma árvore, uma torre de transmissão de energia elétrica, ou até o material de uma para raio conectado a um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Segundo Dehn und Söhne (2014), a corrente de um raio pode ser considerada como uma fonte de corrente ideal. Com isso, haverá uma queda de tensão pelo material condutor, ao qual criará um gradiente de potencial elétrico. Caso o raio atinja a terra e essa tenha um alto grau de condutividade, uma tensão de passo é formada e pode culminar em choque elétrico vindo a atingir seres vivos, como o homem e animais. A Figura 12 representa o gradiente.

Figura 12 - Tensão de passo.



Fonte: Elaborado pelo autor

No caso de atingir uma estrutura com SPDA, o sistema será responsável por mitigar quaisquer danos possíveis provindos de um raio, portanto, diminuirá o gradiente e fornecerá um melhor caminho para que a carga se dissipe na terra.

Do ponto de vista apenas do SPDA externo (para-raios, condutor de descida e aterramento) o líder da descarga tenderá a se conectar com a superfície das hastes de metal presentes no para raio. Como o comportamento do raio é variável no tempo, o condutor de descida deve seguir em linha reta o máximo possível, desde o para-raios até a haste de aterramento, para que não ocorra o processo de indução em componentes elétricos dentro da construção.

Informações relativamente recentes foram fundamentais para a elaboração de novos modelos de descargas atmosféricas. Esses estudos consideram a velocidade de propagação da descarga, a corrente de crista, a carga e a inclinação da corrente (di/dt). Esses modelos são classificados de acordo com o sentido do canal de descarga adotado.

É importante lembrar que não existe unanimidade quanto à melhor teoria para explicar todas as etapas de formação da descarga atmosférica. Assim, é necessário que haja estudos mais aprofundados para melhorar o entendimento do fenômeno, medidas de proteção, equipamentos disponíveis, métodos de instalações e legislações vigentes.

3 DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

A densidade de descargas atmosféricas refere-se ao número de raios que ocorrem em uma área específica durante um determinado período. Geralmente, essa medida é expressa em quantidade de descargas por quilômetro quadrado ao ano. Esse dado é fundamental para avaliar o grau de exposição de uma região a esse tipo de fenômeno natural.

O Brasil, devido a sua ampla extensão territorial e características climáticas e meteorológicas, é o país que mais sofre com descargas atmosféricas: aproximadamente 78 milhões por ano (ELAT/INPE, 2024). Isso equivale, em média, a 148 raios por minuto no país. Com esse intenso volume de descargas, o ELAT elaborou um levantamento de dados e foi constatado que a média de mortes por raios no país é de cerca de 100 a 120 pessoas por ano. Os prejuízos econômicos gerados por essas descargas são em torno de 1 bilhão de reais, segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ELAT).

O ELAT disponibiliza o mapa de densidade de descargas atmosféricas, através do site do ELAT na internet, traz dados para todo território nacional, utilizando-se dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM da NASA. O índice de descargas atmosféricas para a terra, representado pela sigla Ng dado em Km^2 por ano, é facilmente obtido no site do ELAT/INPE. Basta saber o nome da cidade onde a avaliação do projeto está sendo realizada. Esse fator é importante para a tomada de decisão sobre a necessidade de a estrutura precisar ou não da implementação de um SPDA, e também influencia no nível de proteção do SPDA. Caso o mapa não esteja disponível para consulta, o índice Ng pode ser obtido através de uma aproximação:

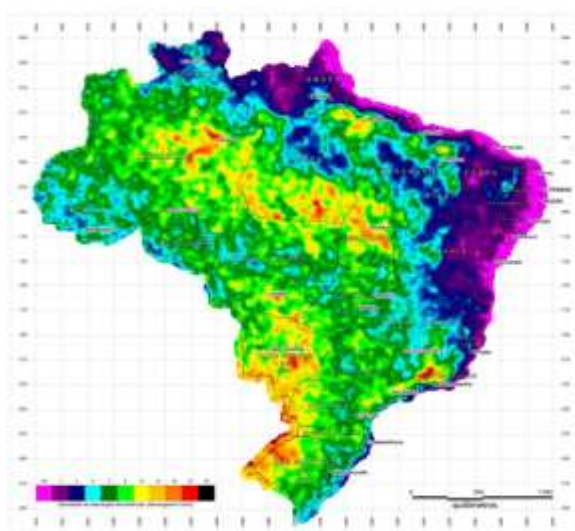
$$N_g \approx 0,1 T_d$$

Onde T_d é o número de dias com trovoadas por ano.

O mapa isoceráunico (mapa de curvas que representa o número de dias com trovoadas por ano) deixou de ser utilizado para avaliação da necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Para determinação da densidade de descargas atmosféricas N_g , visando a obtenção de valores mais precisos e utilizando-se das novas tecnologias a atualização da norma ABNT NBR 5419 de 2015 adotou uma nova forma de consulta.

Durante o período de 1998 a 2011. O mapa possui uma escala de cores na legenda que contém dez valores de densidade de descargas atmosféricas. Valores que vão de 0,5 a 19 descargas atmosféricas/km²/ano e são representados pelas cores de lilás claro para 0,5 e preto 19. Verifica-se que índices menores de incidência de descargas atmosféricas ocorrem nos estados litorâneos do nordeste do Brasil e os lugares com maiores densidades de descargas estão espalhados por vários pontos do mapa, sendo os estados: Amazonas, entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais, Sul do Pará, Sudeste de Mato Grosso do Sul entre outros pontos do mapa, conforme Figura 13.

Figura 13 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas, biênio 2018/2019.

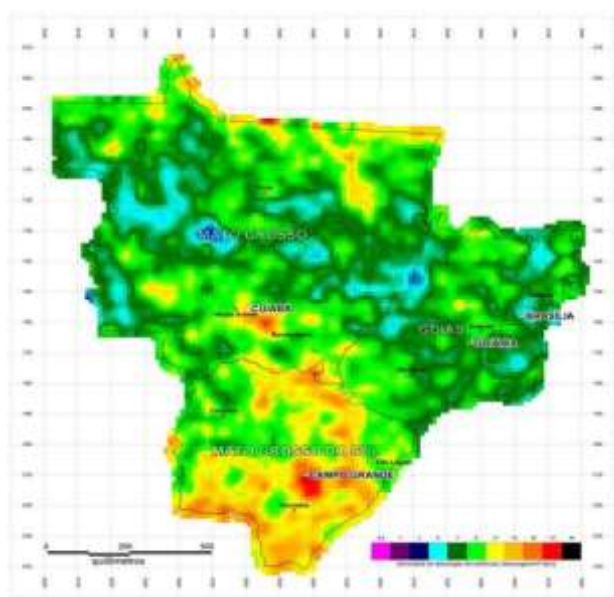


Fonte: INPE / CGPDI.

3.1 Densidade de descargas atmosféricas em Itumbiara - GO

Segundo dados consolidados pelo ELAT/INPE, a densidade de descargas atmosféricas em Itumbiara - GO, é de 5,00191866426 por km²/ano. Esse número coloca a cidade na sétima colocação no ranking estadual de concentração de raios.

Figura 14 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas em Goiás



Fonte: INPE / CGPDI.

4 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é um sistema criado para proteção de estruturas, instalações industriais, antenas e até pessoas contra descargas atmosféricas. Esse sistema não impede a ocorrência das descargas, mas diminui os danos por elas ocasionados. Ele funciona a partir de equipamentos que são instalados em locais com mais elevada altitude da estrutura, para que possam captar as descargas e servirem como um caminho direto para a terra, livrando assim outros equipamentos, a própria estrutura e pessoas em seu interior de danos causados por essas descargas.

A finalidade do SPDA é reduzir os danos impostos às estruturas, os impactos dos desligamentos e as manutenções corretivas. Por razões práticas, os critérios para projeto, instalação e manutenção das medidas de proteção contemplam dois conjuntos separados:

- a) as medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos às vidas dentro de uma estrutura;
- b) medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos dispostos no interior de uma estrutura.

Esses sistemas estão em constante aprimoramento. O monitoramento é realizado por meio de dispositivos que visam reduzir essas ocorrências. De maneira geral, o SPDA tem a função de proteger ao captar a corrente elétrica proveniente da queda de raios e direcioná-la. Essa corrente é, em seguida, escoada por meio de sistemas de aterramentos. Dessa forma, a primeira função do SPDA é neutralizar o poder de atração das pontas e o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens. Sua função é realizar o permanente escoamento de cargas elétricas provenientes da descarga atmosférica para a terra. Outra função do sistema é oferecer, quando ocorrer uma descarga elétrica, um caminho adequado, de baixa impedância, para essa descarga. Isso reduz os riscos decorrentes e associados (SOUZA, et al, 2020).

O SPDA é o sistema completo, composto de um sistema de proteção interno e outro externo. O sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas é constituído de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente nos circuitos e equipamentos elétricos dentro do volume a proteger. O sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas consiste em captadores, condutores de descida e aterramento. Para facilitar o perfeito entendimento do tema, o SPDA pode ser dividido no sistema de proteção das estruturas e proteção dos equipamentos existentes no interior dessas estruturas.

5 NBR 5419-2015

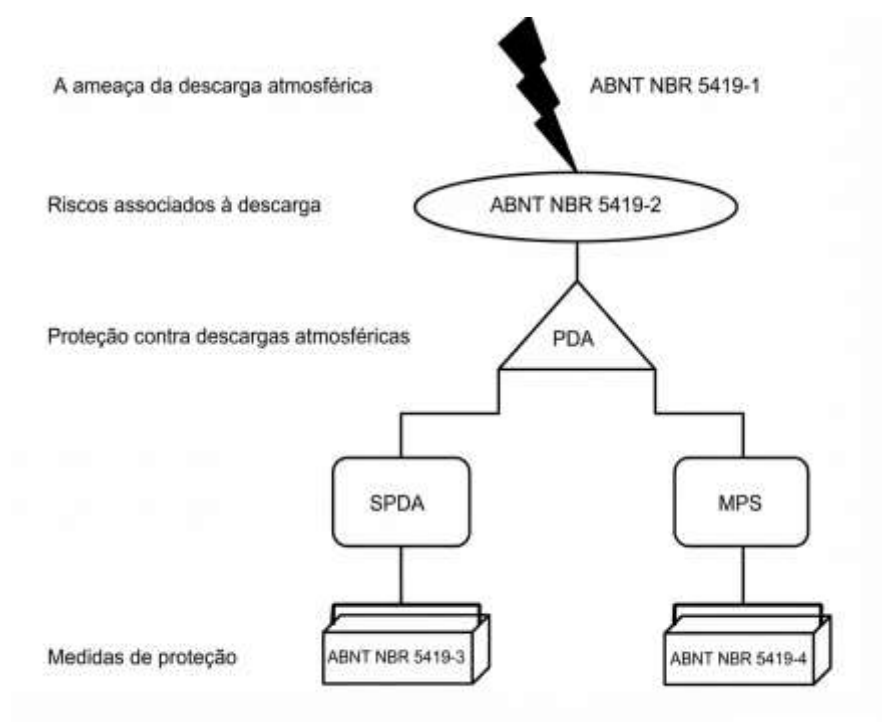
O conjunto de normas relacionadas à proteção contra descargas atmosféricas, dentro do território brasileiro, é estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABNT NBR 5419-2015 é fracionada em 4 partes cada uma com seu respectivo tema.

5.1 Princípios gerais

A Parte I do texto do documento trata exclusivamente sobre o fenômeno da descarga atmosférica, definindo parâmetros das correntes das descargas que são utilizados como a base das regras de medidas de proteção e dimensionamento de componentes. Tais parâmetros são considerados para detalhamento das medidas de proteção (MPS).

Logo na introdução, a Parte I apresenta a importância de cada parte da NBR 5419/2015 e a conexão entre elas, como ilustrada na Figura 15.

Figura 15 - Abrangência e conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.



Fonte: NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

5.2 Gerenciamento de risco

Na Parte 2, que trata de gerenciamento de risco, é possível encontrar a apresentação e a definição detalhada da fonte de danos às estruturas decorrentes do ponto de impacto oriundo das descargas atmosféricas:

- a) S1 - descarga atmosférica direta na estrutura;
- b) S2 - descarga atmosférica próxima da estrutura;
- c) S3 - descarga atmosférica direta na linha;
- d) S4 - descarga atmosférica próxima da linha.

Essa parte da norma também descreve os tipos de danos que podem ser causados pelas descargas atmosféricas, sendo:

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

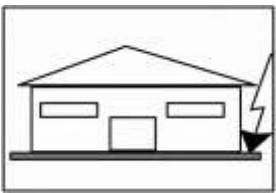
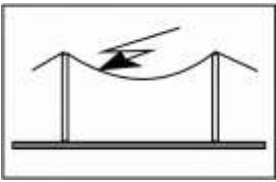
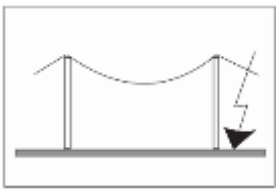
Cada um dos danos, isolados ou combinados, resulta em diferentes tipos de perdas (Lx) à estrutura, assim definidas:

- a) L1 - perda da vida humana;
- b) L2 - perda de serviços públicos;
- c) L3 - perda de patrimônio cultural;
- d) L4 - perda de valores econômicos.

A Tabela 01 apresenta cada uma das situações descritas anteriormente.

Tabela 01 - Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto provenientes de uma descarga atmosférica

Descarga atmosférica		Estrutura	
Local do impacto	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Direto na estrutura 	S1	D1	L1, L4*
		D2	L1, L2, L3 e L4
		D3	L1**, L2, L4

Próximo à estrutura 	S2	D3	L1**, L2, L4
Diretamente nas linhas elétricas e tubulações metálicas conectadas à estrutura 	S3	D1	L1, L4*
		D2	L1, L2, L3 e L4
		D3	L1**, L2, L4
Próximo a linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura 	S4	D3	L1**, L2, L4

*Somente para propriedades em que possa haver perda de vidas animais.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

5.2.1 Riscos

Tendo em mente que as descargas atmosféricas são fenômenos naturais impossíveis de serem impedidos, faz-se necessária a adoção de medidas de proteção para reduzir os danos causados à população e às edificações. Contudo, não são todas as estruturas que necessitam de implantação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). A confirmação da necessidade de instalação de SPDA resulta da análise das variáveis envolvidas para cada caso. Dessa forma, quatro possíveis riscos devem ser considerados na tomada de decisão, de acordo com a NBR 5419-2, são eles:

a) R1: risco de perda ou ferimentos temporários e permanentes em vidas humanas.

- b) R2: risco de perdas de serviços ao público.
- c) R3: risco de perdas do patrimônio cultural.
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

Portanto, esses riscos devem ser analisados com cuidado. O sistema SPDA deve ser instalado em uma edificação, exceto quando o risco de problemas é menor do que o valor tolerável. O valor de risco tolerável para cada tipo de perda pode ser observado na Tabela 02.

Tabela 02 - Valores típicos do risco tolerável

Tipo de perda	Riscos toleráveis (RT)
L 1 - Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2 - Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3 - Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

Para cada tipo de risco a ser considerado, devemos observar esta sequência de passos:

- a) identificar os componentes Rx que compõem o risco;
- b) calcular os componentes de risco identificados Rx;
- c) calcular o risco total R;
- d) identificar os riscos toleráveis RT;
- e) comparar o risco R com o risco tolerável RT;

Se $R \leq RT$, a proteção contra descarga atmosférica não é necessária. Caso contrário, se $R > RT$, devem ser adotadas medidas de proteção com o objetivo de reduzir o risco total para valores inferiores ao risco tolerável a que a estrutura está submetida.

Caso o risco não possa ser reduzido ao nível tolerável, é fundamental providenciar o mais alto nível de proteção para a instalação. Cada um dos riscos é calculado por meio do somatório de seus componentes. As Equações 1 a 4 podem ser utilizadas:

- a) R1: Risco de perda de vida humana, calculada pela equação:

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1 + RM1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1 \quad (1)$$

b) R2: Risco de perdas de serviço ao público, obtida através da equação:

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2 \quad (2)$$

c) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural, calculada pela equação:

$$R3 = RB3 + RV3 \quad (3)$$

d) R4: Risco de perdas de valor econômico, obtida pela equação:

$$R4 = RA4 + RB4 + RC4 + RMA + RU4 + RVA + RW4 + RZA \quad (4)$$

Por meio das equações que os componentes de risco é possível se chegar em até oito possibilidades. Eles são divididos nas quatro fontes de danos S1, S2, S3 e S4, conforme a Tabela 03.

Tabela 03 - Componentes de risco x tipo de perda

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura (S1)			Descarga atmosférica próxima da estrutura (S2)	Descarga atmosférica em linha conectada a estrutura (S3)			Descarga atmosférica próxima de linha conectada a estrutura (S4)
	RA	RB	RC		RU	RV	RW	
Componente de risco	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda R1	X	X	X(a)	X(a)	X	X	X(a)	X(a)
Risco para cada tipo de perda R2		X	X			X	X	X
Risco para cada tipo de perda R3		X				X		
Risco para cada tipo de perda R4	X(b)	X	X	X	X(b)	X	X	X

X(a): somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas na qual a falha de sistemas internos possam colocar imediatamente a vida humana em perigo.

X(b): somente para propriedades em que possa haver perda de vidas animais

Fonte: NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

Os componentes de risco descritos na Tabela 03 são expressos por meio da Equação 5:

$$RX = NX * PX * LX \quad (5)$$

Em que NX: é o número de eventos perigosos por ano, PX a probabilidade de dano à estrutura, e LX a perda inferida. O número NX de eventos perigosos por ano pode assumir diferentes valores devido à densidade de descargas atmosféricas para a terra (NG) e ainda pelas características físicas da estrutura que deve ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

A probabilidade de dano PX está diretamente relacionada com as características da estrutura que deve ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes. A perda consequente LX está diretamente ligada ao tipo de serviço fornecido ao público, ao número de pessoas no interior da estrutura, o uso para o qual a estrutura foi projetada, o valor dos bens ou equipamentos afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

5.2.2 Análise do número anual (N) de eventos perigosos

O número médio anual N de eventos perigosos em razão das descargas atmosféricas que podem atingir a estrutura a ser protegida depende da localização e das características físicas. A localização da estrutura estabelece a atividade atmosférica da região.

O valor de N pode ser obtido por meio da multiplicação da densidade de descargas atmosféricas para a terra (NG) pela área equivalente da estrutura, considerando os fatores de ajuste para as características físicas da estrutura.

O parâmetro NG, que representa o número de descargas atmosféricas por km² x ano, pode ser obtido por meio de coordenadas cartesianas de GPS e inseridas no site do INPE.

Se o site não estiver disponível, o NG pode ser estimado por:

$$NG \cong 0,1 * TD \quad (6)$$

Em que TD é o número de dias com tempestades por ano.

5.3 Componentes de risco de descargas atmosféricas diretamente na estrutura (S1)

Esse componente corresponde ao dano D1 associado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico, devido à tensão de passo e ao toque no interior da estrutura, e ao redor dos condutores de descida considerada a distância de até 3 m:

$$RA = ND * PA * LA \quad (7)$$

Em que ND é o número médio anual de eventos perigosos à estrutura, PA a probabilidade de ferimentos de seres vivos devido ao choque elétrico, e LA a perda relacionada aos ferimentos a seres vivos decorrentes do choque elétrico.

Correspondente ao dano D2, associado ao dano físico, decorrente de centelhamentos perigosos no interior da estrutura resultando em incêndio ou explosão:

$$RB = ND * PB * LB \quad (8)$$

Em que PB é a probabilidade de danos físicos e LB a perda em uma estrutura relacionada a danos físicos.

Correspondente ao dano D3 (falhas de sistemas internos) associado às falhas de sistemas internos:

$$RC = ND * PC * LC \quad (9)$$

Em que PC é a probabilidade de a descarga atmosférica causar falha de sistemas internos e LC a perda relacionada à falha dos sistemas internos.

5.4 Componentes de risco devido às descargas atmosféricas próximas da estrutura (S2)

Correspondente ao dano D3 (falhas de sistemas internos) nos casos de estrutura com risco de explosão e hospitais, ou outras estruturas, em que falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana:

$$RM = NM * PM * LM \quad (10)$$

Em que NM é o número médio anual de eventos perigosos perto da estrutura, PM a probabilidade de a descarga próxima a estrutura causar falha nos sistemas internos, e LM a perda relacionada à falha nos sistemas internos.

5.5 Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)

Correspondente ao dano D1 relacionado a ferimentos em seres vivos por choque elétrico:

$$RU = (NL + NDJ) * PU * LU \quad (11)$$

Em que NL é o número médio anual de eventos perigosos em linha conectada à estrutura, NDJ o número médio anual de eventos perigosos a uma estrutura adjacente, PU a probabilidade de a descarga em uma linha causar ferimentos por choque elétrico e LU a perda devido a ferimentos por choque elétrico.

Correspondente ao dano D2 relacionado a danos físicos:

$$RV = (NL + NDJ) * PV * LV \quad (12)$$

Em que NL é o número médio anual de eventos perigosos em linha conectada à estrutura, NDJ o número médio anual de eventos perigosos a uma estrutura adjacente, PV a probabilidade de descarga em uma linha causar danos físicos, e LV a perda devido à danos físicos.

Correspondente ao dano D3 relacionado a falhas em sistemas internos:

$$RW = (NL + NDJ) * PW * LW \quad (13)$$

Em que NL é o número médio anual de eventos perigosos em linha conectada à estrutura, NDJ o número médio anual de eventos perigosos a uma estrutura adjacente PW a probabilidade de descarga em uma linha causar falha nos sistemas internos, e LW a perda devido a falha nos sistemas internos.

5.6 Componentes de risco devido a descargas atmosféricas nas proximidades de uma linha conectada à estrutura (S4)

Correspondente ao dano D3 relacionado a falhas nos sistemas internos causado por sobretensões induzidas nas linhas que adentram a estrutura:

$$RZ = N1 * PZ * LZ \quad (14)$$

Em que N1 é o número médio anual de eventos perigosos em uma linha conectada à estrutura, P2 a probabilidade de descarga próxima a uma linha causar falha nos sistemas internos, e LW a perda devido a falha nos sistemas internos.

5.7 Dividindo a estrutura

Segundo a NBR 5419, em vez de constituir uma única zona, uma estrutura pode ser dividida em "n" zonas ZS com características homogêneas, definidas, por exemplo, de acordo com o tipo de solo ou piso, compartimentos à prova de fogo e blindagem espacial. Contudo, se a estrutura for dividida em zonas (ZS), cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona criada.

Dessa forma, o risco total R da estrutura representa a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas (ZS) que compõem a estrutura. De maneira análoga, uma linha pode ser dividida em seções (SL) em função, por exemplo, da linha enterrada ou aérea, blindada ou não blindada. Caso existam muitos valores de parâmetros em uma única seção, deve ser assumido aquele valor que conduza ao maior valor de risco.

No caso dos parâmetros RA', RB', RU', RV', RW' e RZ', quando se tem mais de uma zona e mais de um valor aplicável, é indicado escolher o maior valor de todos. Para os componentes RC e RM, se mais de um sistema interno é envolvido em uma zona, os valores de PC e PM são dados por:

$$PC = 1 - (1 - PC1) * (1 - PC2) * \dots * (1 - PCi) \quad (15)$$

$$PM = 1 - (1 - PM1) * (1 - PM2) * \dots * (1 - PMi) \quad (16)$$

Vale lembrar que PC_i e PM_i são parâmetros relevantes ao sistema interno, em que i = 1, 2, 3 ...

É conveniente destacar que o custo das medidas de proteção para uma única zona pode ser mais oneroso, tendo em vista que cada medida deve ser estendida para toda a estrutura. Dividir a estrutura em zona, porém, pode reduzir o custo total da proteção contra descargas atmosféricas, visto que permite levar em consideração as características de cada parte da estrutura durante a avaliação dos componentes de risco. Dessa forma, é possível selecionar medidas de proteção mais adequadas a cada uma das zonas que constituem a estrutura.

6 EQUACIONANDO DANOS E RISCOS

6.1 Análise do número médio anual de eventos perigosos ND devido a descargas atmosféricas na estrutura e NDJ em estrutura adjacente

A atividade atmosférica presente no local em que está situada a estrutura objeto da proteção, bem como suas características físicas, influencia diretamente o número médio anual N de eventos perigosos. Para realizar tal análise, é necessário conhecer outros conceitos conforme será descrito a seguir.

6.2 Determinação da área de exposição equivalente (AD)

A área de exposição equivalente é calculada por meio de equações que consideram apenas as dimensões da estrutura. Admitindo-se uma estrutura de forma retangular, e

conhecendo-se seu comprimento (L), sua largura (W) e sua altura (H), expressos em metros, é possível calcular o valor de AD a partir de:

$$AD = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (17)$$

Caso a estrutura analisada não seja retangular e ainda dotada de saliências, é necessário que dois cálculos sejam feitos. O primeiro, por meio da Equação 17, utilizando H Mín (altura mínima da estrutura) e, o outro, considerando a Equação 18, utilizando HP, que representa a altura de saliência. Diante dos dois valores, escolhe-se o maior deles para representar a área de exposição equivalente.

$$AD' = \pi * (3 * HP)^2 \quad (18)$$

6.2.1 Localização relativa da estrutura

A localização relativa da estrutura, que pode ser compensada pelas estruturas dispostas ao redor ou uma localização exposta, deve ser considerada a partir do fator de localização (CD), o qual é obtido a partir da localização da estrutura em função das demais estruturas no seu entorno, conforme os valores mostrados na Tabela 04.

Tabela 04 - Fator de localização da estrutura CD

Localização relativa	CD
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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

Com a área de exposição equivalente calculada e o fator de localização determinado, calcula-se o número de eventos perigosos (ND) para a estrutura por:

$$ND = NG * AD * CD * 10^{-6} \quad (19)$$

Em que NG é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1 / \text{km}^2 * \text{ano}$), AD a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em m^2 , e CD é o fator de localização da estrutura (ver Tabela 04).

6.2.2 Número de eventos perigosos NDJ para uma estrutura adjacente

Para uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, o número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descarga atmosférica direta resulta da seguinte equação:

$$NDJ = NG * ADJ * CDJ * CT * 10^{-6} \quad (20)$$

Em que NG é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1 / \text{km}^2 * \text{ano}$), ADJ a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em m^2 , CDJ o fator de localização da estrutura adjacente (ver Tabela 04) e CT o fator tipo de linha (ver Tabela 05).

O fator tipo de linha (CT) deve ser determinado a partir da Tabela 05, de acordo com as especificações da linha em análise.

Tabela 05 - Fator tipo de linha CT

Instalação	CT
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/ BT)	0,2

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

6.3 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos NM devido a descargas atmosféricas próximas da estrutura

O valor de NM, número médio anual de eventos perigosos, é dado por meio do produto dos fatores NG e AM, em que AM corresponde à área de exposição equivalente, que se estende a uma linha localizada a uma distância D do perímetro da estrutura.

$$NM = NG * AM * 10^{-6} \quad (21)$$

$$\text{Logo, } AM = 2 * D * (L + W) + \pi * D^2 \quad (22)$$

Em que NG é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 * \text{ano}$), L o comprimento da estrutura, W a largura, e D a distância entre o perímetro da estrutura e um limite próximo.

6.4 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha

O valor de NL, número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha, pode ser obtido por meio da equação:

$$NL = NG * AL * CI * CE * CT * 10^{-6} \quad (23)$$

Em que N é o número de sobretensões de amplitude superior a 1 kV (1 / ano) na seção da linha, NG a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1 / km^2 x ano, AL a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em m^2 , CI o fator de instalação da linha (ver Tabela 06), CT o fator tipo de linha (ver Tabela 07), e CE o fator ambiental (ver Tabela 07).

Tabela 06 - Fator de instalação da linha Ci

Roteamento	CI
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos e nte rrados insta lados completamente dentro de uma malha de aterramento 0,01 (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2)	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

Tabela 07 - Fator ambiental da linha CE

Ambiente	CE
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios cuja altura > 20 m	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

O número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas próximas à linha pode ser obtido por meio da equação:

$$NI = NG * AL * CI * CE * CT * 10^{-6} \quad (24)$$

Em que NI é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha, NG a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1 / km² x ano), AL a área de exposição equivalente da descarga atmosférica para a terra, próximo da linha, expressa em m², e pode ser calculada a partir do comprimento da seção da linha (LL), em metros, cujo valor é fixado em 1.000, quando não for possível medi-lo. CI é o fator de instalação de linha, obtido a partir da Tabela 05, de acordo com o tipo de roteamento da linha, a qual que teve seu fator tipo de linha (CT) determinado na Tabela 05, e CE é o fator ambiental da linha (ver Tabela 07).

6.5 Avaliação da probabilidade Px de danos

A probabilidade de dano, denominada inicialmente de PX, é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas elétricas e de sinal conectados à edificação, bem como das medidas de proteção existentes.

Nessa análise, deve-se considerar:

- a) o nível de proteção contra descargas atmosféricas instalado ou projetado;
- b) as medidas de proteção adicionais para redução das tensões de toque e passo;
- c) a efetiva utilização de DPS;

- d) as condições de blindagem das linhas de energia e telecomunicação;
- e) os níveis de tensão suportáveis provocados por impulsos.

A seguir, serão apresentados os estudos de probabilidades e as respectivas equações.

6.5.1 Probabilidade PA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

O valor de PA é decorrente da probabilidade de choque a seres vivos resultante das tensões de passo e toque devido à descarga atmosférica em determinada estrutura. Depende do SPDA, bem como das medidas de proteção adicionais adotadas. Portanto:

$$PA = PTA * PB \quad (25)$$

Em que PTA depende das medidas de proteção adicionais adotadas contra tensões de toque e passo, de acordo com a Tabela 08, PB depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual foi projetado o SPDA, obtido na Tabela 09.

Tabela 08 - Valores de PTA em função das medidas de proteção adicional

Medida de Proteção Adicional	PTA
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	0,1
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas - por exemplo, condutores de descida)	0,01
Equipotencialização efetiva do solo	0,01
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

6.5.2 Probabilidade PB de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos

Os valores de probabilidade PB associados à possibilidade de ocorrer danos físicos devido à descarga atmosférica em determinada estrutura, com base no nível de proteção NP, são apresentados na Tabela 09.

Tabela 09 - Valores de PB em função das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Característica da estrutura	Classe do SPDA	PB
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura dotada de subsistema de captação conforme SPDA classe 1, com 0,01 estrutura metálica contínua ou de concreto armado constituindo um subsistema de descida natural.		0,01
Estrutura dotada de cobertura metálica e um subsistema de captação, constituído de componentes naturais, que resulta na proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou ainda em concreto armado, que funcione como um subsistema de descida natural.		0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

6.5.3 Probabilidade PC de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falhas a sistemas internos

A probabilidade PC de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falhas a sistemas internos está diretamente ligada à presença de sistemas coordenados de DPS. É obtida pela equação:

$$PC = PSPD * CLD \quad (26)$$

Em que PSPS depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados e do sistema coordenado de DPS, conforme a ABNT NBR 5419-4. Os valores de PSPD podem ser obtidos com apoio da Tabela 10, e CLD representa o fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de PSPD em função do NP do DPS utilizado

NP	PSPD
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota 2	0,005 - 0,001

Nota 2: caso os DPS tenham características melhores de proteção (maior corrente nominal IN, menor nível de proteção Up etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação, os valores de PSPD podem ser reduzidos.

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

Tabela 11 - Valores de CLD e CLI em função das condições de blindagem, isolamento e aterramento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	CLD	CLI
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 não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo	1	0

	barramento de equipotencialização que o equipamento		
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegidos contra atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
Nenhuma linha externa	Sem conexão com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com ABNT NBR 5419-4	0	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015 (adaptado).

6.5.4 Probabilidade PM de uma descarga atmosférica próxima de uma estrutura causar falha em sistemas internos

A probabilidade PM possibilidade de falhas de sistemas internos por meio de descargas próximas da linha conectada, está diretamente relacionada com as medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas. Portanto, quando estiver implantado o sistema coordenado de DPS, conforme os requisitos de ABNT NBR 5419:4, o valor de PM pode ser obtido de acordo com a seguinte equação:

$$PM = PSPD * PMS \quad (27)$$

Vale destacar que, nas situações em que um sistema coordenado de DPS, conforme os requisitos da ABNT NBR 5149:4 não for instalado, o valor de PM deverá ser igual ao valor de PMS. O fator PSPD foi definido anteriormente, e tem seus valores apresentados na Tabela 10. O fator PMS é obtido considerando-se quatro fatores:

$$PMS = (KS1 * KS2 * KS3 * KS4)^2 \quad (28)$$

Em que KS1 considera a eficiência da blindagem do SPDA, da malha da estrutura ou outra blindagem na região ZPR 0/1, KS2: considera a eficiência da blindagem da malha de blindagem interna a estrutura na região ZPR X/Y ($X > 0$, $Y > 1$), KS3 considera as características da fiação interna (ver Tabela 12), KS considera a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Dentro de uma ZPR, KS1 e KS2, cujos valores máximos são limitados a 1, podem ser calculados a partir da largura da malha WM. Os fatores KS1 e KS2 para SPDA ou blindagem tipo malha especial podem ser avaliados por meio de:

$$KS1 = 0,12 * WM1 \quad (29)$$

$$KS2 = 0,12 * WM2 \quad (30)$$

Em que WM1, e WM2 representam as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descida do SPDA tipo malha, ou, ainda, a distância 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 espessuras superiores a 0,1 mm, KS1 = KS2 = 0,0001. Os valores para KS3 são dados a partir da Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de KS3 em função da fiação interna

Tipo de fiação interna	KS3
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços*	1
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços**	0,2
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços***	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos****	0,0001

Sendo: * Condutores em laços com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).

** Condutores em laços roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).

*** Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²). **** Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas as extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

De maneira idêntica aos três fatores anteriores, KS4 também tem seu valor máximo limitado a 1 e pode ser calculado por meio de:

$$KS4 = \frac{1}{UW} \quad (31)$$

Em que UW é tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expresso em kV.

6.5.5 Probabilidade PU de uma descarga atmosférica em uma linha resultar em ferimentos a seres vivos por choque elétrico

A probabilidade PU de ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico, por meio de descargas atmosféricas em linhas que adentram a estrutura, depende das características de blindagem da linha; da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha; das medidas de proteção, como restrições físicas, avisos de alerta e interfaces isolantes; ou DPS em pregados para equipotencialização da entrada da linha, de acordo com a ABNT NBR 5149-3. O valor é dado por:

$$PU = PTU * PEB * PLD * CLD \quad (32)$$

Em que PTU depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos em forma de alerta, dispostos de maneira visível. A Tabela 13 O apresenta os valores de PTU, PEB depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5149-3:2015 e do nível de proteção (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de PEB constam da Tabela 14, PLD representa a probabilidade de falha elétrica de sistemas internos decorrentes de descarga atmosférica na linha conectada, observando-se ainda as características da linha envolvida. Valores de PLD constam da Tabela 15, e CLD: depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha. Valores de CLD constam da Tabela 11.

Tabela 13 - Valores de PTU em função das medidas de proteção

Medidas de proteção	PTU
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Restrições físicas	0

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Vale destacar que, se for adotada mais de uma medida, o valor de PTU será o produto dos valores correspondentes.

Tabela 14 - Valores de PEB em função do NP do DPS utilizado

Nível de proteção	PEB
Sem DPS	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota *	0,005 - 0,001

* Caso os DPS tenham melhores características de proteção (correntes nominais maiores IN, níveis de proteção menores UP etc.) comparadas com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação os valores de PEB podem ser reduzidos.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 15 - Valores de PLD em função da resistência da blindagem do cabo RS e da tensão suportável de impulso UW do equipamento

Tipo da linha	Condições de roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável UW 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.	$5 \Omega/\text{km} < \text{RS} \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1 \Omega/\text{km} < \text{RS} \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$\text{RS} \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

6.5.6 Probabilidade PV de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos

O valor da probabilidade PV de danos físicos devido à descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura depende 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 equipotencializar a entrada da linha de acordo com a ABNT NBR 5149-3. O valor de PV é assim obtido:

$$PV = PEB * PLD * CLD \quad (33)$$

Todos os fatores utilizados nessa equação foram apresentados nas Tabelas 11, 14 e 15.

6.5.7 Probabilidade PW de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos

A fórmula de PW, probabilidade de falhas de sistemas internos por descargas atmosféricas na linha conectada, é dada a seguir:

$$PW = PSPD * PLD * CLD \quad (34)$$

Assim, com base nas Tabelas 10, 11 e 15, é possível obter os três valores necessários para se chegar ao resultado.

6.5.8 Probabilidade PZ de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos

A equação que determina o valor de PZ, probabilidade de falhas de sistemas internos por descargas atmosféricas próximo da linha conectada, é:

$$PZ = PSPD * PLI * CLI \quad (35)$$

Em que PLI é probabilidade de falha de sistema interno devido a uma descarga atmosférica próxima de uma linha conectada em função das características da linha e dos equipamentos. A Tabela 16 mostra Valores de PLI.

Tabela 16 - Valores de PLI em função do tipo de linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos

Tipo de linha	Tensão suportável UW 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

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

7 PERDAS CAUSADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

7.1 Quantidade relativa média de perda por evento perigoso

De acordo com a NBR 5419:2015, a perda está relacionada com cada tipo de dano (D1, D2, D3), os quais podem ser causados por uma descarga atmosférica. Dessa forma, temos os seguintes tipos de perda:

- a) L1 (perda de vida humana, incluindo ferimentos permanentes): representa o número de vítimas.
- b) L2 (perda de serviço público): representa o número de usuários que deixam de ser atendidos.
- c) L3 (perda de patrimônio cultural): representa o valor econômico que pode ser perdido se houver danos em uma estrutura e no que está contido nela.
- d) L4 (perda de valores econômicos): representa o valor econômico que pode ser perdido se houver danos na estrutura, incluindo as atividades desenvolvidas, mobiliários, sistemas internos e animais.

7.2 Perda de vida humana (L1)

A perda L1 é calculada para danos que envolvem vidas humanas por meio das equações indicadas na Tabela 17. A maioria dos fatores utilizados é tabelada, a não ser n_z , n_t e t_z , que correspondem ao número de pessoas na zona, número total de pessoas na z estrutura e o tempo (em horas x ano) que as pessoas habitam a zona, respectivamente.

Tabela 17 - Perda - L1 valores de perda típica para cada zona

Tipo de dano	Perda típica
D1	$LA = LU = r_t * L_T * n_z / n_t * t_z / 8760$
D2	$LB = LV = r_p * r_f * h_z * L_F * n_z / n_t * t_z / 8760$
D3	$LC = LM = LW = LZ = L_O * n_z / n_t * t_z / 8760$

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Em que L_T é o número relativo médio típico de vítimas com ferimentos provocados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela 18), L_F o número relativo médio típico de vítimas acometidas de danos físicos (D2) em razão de um um evento perigoso (ver Tabela 18), L_O o número relativo médio típico de vítimas em decorrência de falhas de sistemas internos (D3) por conta de um evento perigoso (ver Tabela 18), r_t o fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo de solo ou piso (ver Tabela 19), r_p o fator de redução da perda devido a danos físicos em função das providências top macias para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela 20), r_f o fator de redução da perda por conta de danos físicos, dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela 21); h_z o fator de aumento da perda provocada por danos físicos, considerando a presença de um perigo especial (ver Tabela 22), n_z o número de pessoas na zona, n_t o número total de pessoas dentro da estrutura, e t_z o intervalo de tempo durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas x ano.

Tabela 18 - Perda L 1 - valores médios típicos de L_T , L_F e L_O .

Tipo de estrutura	Valor de perda típico		Tipos de danos
Todos os tipos	L_T	0,01	D1 Ferimentos

Risco de explosão	LF	0,1	D2 Danos físicos
Hospital, hotel, escola, edifício cívico		0,1	
Entretenimento público, igreja, museu		0,05	
Industrial, comercial		0,02	
Outros		0,01	
Risco de explosão	LO	0,1	D3 Falhas de sistemas internos
Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital		0,01	
Outras partes de hospital		0,01	

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 19 - Fator de redução r_t em função do tipo de solo ou piso.

Tipo de superfície*	Resistência de contato $k \Omega^{**}$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	0,01
Mármore, cerâmica	1 a 10	0,001
Cascalho, tapete, carpete	10 a 100	0,0001
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	0,00001

*Normalmente, a redução do perigo a níveis toleráveis ocorre com a aplicação de uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto de 5 cm de espessura ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura. **Obtido por meio da medição entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 20 - Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático*	0,2
Extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Nenhuma providência	1,0

*Válida somente se protegidas contra sobretensões e outros danos. Considera-se ainda que os bombeiros possam chegar em menos de 10 minutos.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 21 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

Quantidade de risco	Risco	r_f
Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	Explosão	1
Zonas 1, 21		0,1
Zonas 2, 22		0,001
Alto	Incêndio	0,1
Normal		0,01
Baixo		0,001
Nenhum		0

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 22 - Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Nenhum perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, número de pessoas inferior a 100 em estrutura limitada a	2

dois andares)	
Nível médio de pânico (por exemplo, número de pessoas entre 100 e 1.000 em locais destinados a eventos esportivos ou culturais)	5
Dificuldade de evacuação (a exemplo de hospitais ou outros locais com pessoas imobilizadas)	5
Alto nível de pânico (a exemplo de locais destinados a eventos esportivos ou culturais em que o número de participantes é superior a 1.000 pessoas)	10

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

7.3 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)

A perda de serviço ao público é afetada pelas características das zonas da estrutura. Dessa forma, o dano D1, que corresponde a ferimentos aos seres humanos devido a choques elétricos, não é considerado. Assim, apenas os danos D2 (danos físicos em função dos efeitos das correntes de descargas atmosféricas) e D3 (falha em sistemas internos) serão computados, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23 - Perda L2 - valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica
D2	$LB = LV = rp * rf * LF * nz/nt$
D3	$LC = LM = LW = LZ = LO * nz/nt$

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Em que LF é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) em função de um evento perigoso (ver Tabela 24), LO o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) em função de um evento perigoso (ver Tabela 24), rp o fator de redução da perda devido a danos físicos em função das providências adotadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela 20), rf o fator de redução da perda em razão dos danos físicos atribuídos ao risco de incêndio (ver Tabela 21), nz o número de usuários servidos pela zona, e nt o número total de usuários servidos pela estrutura.

Tabela 24 - Tipo de perda L2 - valores médios típicos de LF e LO.

Tipo de serviço	Tipo de dano	Valor da perda típica	
Gás, água, fornecimento de energia	D2 Danos físicos	LF	0,1
TV, linhas de sinais			0,01
Gás, água, fornecimento de energia	D3 Falhas de sistemas internos	LO	0,01
TV, linhas de sinais			0,001

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

7.4 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

As características e as peculiaridades da zona influenciam na perda de patrimônio cultural. Dessa forma, será considerado presente apenas o dano D2, bem como os fatores de redução (rf, rp). O valor máximo da perda devido a danos deve ser reduzido por meio da relação entre o valor (CZ) da zona e o valor total (CT) da estrutura, considerando a edificação e o respectivo conteúdo. Observe a Tabela 25.

Tabela 25 - Tipo de perda L3 - valores de perda para cada zona.

Tipo de dano	Valor típico da perda
D2 Danos físicos	$LB = LV = rp * rf * LF * CZ/CT$

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Em que LF é o número relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) em função de um evento perigoso (ver Tabela 26), rp o fator de redução da perda devido a danos físicos. Depende das providências adotadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela 20), rf o fator de redução da perda devido a danos físicos em função do risco de incêndio (ver Tabela 21), CZ o patrimônio cultural da zona, e CT o valor total da edificação e o respectivo conteúdo da estrutura.

Tabela 26 - Tipo de perda L3 - valor médio típico de LF.

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 Danos físicos	LF	0,1	Museus, galerias

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

7.5 Perda econômica (L4)

A perda econômica considera todos os tipos de danos (D1, D2 e D3), os quais possuem diferentes perdas típicas, conforme mostra a Tabela 27.

Tabela 27 - Tipo de perda L4 - valores de perda para cada zona

Tipos de danos	Perda típica
D1	$LA = rt * LT * Ca * Ct$
D1	$LU = rt * LT * Ca * Ct$
D2	$LB = LV = rp * rf * LF * (Ca + Cb + Cc + Cs) / Ct$
D3	$LC = LM = LW = LZ = LO * Cs / Ct$

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Em que LT é o número relativo médio típico considerando os valores afetados por choque elétrico (D1) em função de um evento perigoso (ver Tabela 28), LF o número relativo médio típico considerando os valores afetados por danos físicos (D2) em razão de um evento perigoso (ver Tabela 28), LO o número relativo médio típico dos valores afetados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela 28), rt o fator de redução da perda de animais em função do tipo de solo ou piso (ver Tabela 19), rp o fator de redução da perda por conta de danos físicos associado às providências adotadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela 20), rf o fator de redução da perda devido a danos físicos, considerando o risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela 21), Ca o valor dos animais da zona, Cb o valor da edificação relevante à zona, Cc o valor do conteúdo da zona, Cs o valor dos sistemas internos, incluindo suas atividades na zona, e Ct o valor da estrutura (considera a soma, de todas as zonas, o conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades, edificação e animais).

Tabela 28 - Tipo de perda L4 - valores médios típicos de LT, LF e LO.

Tipo de estrutura	Tipos de danos	Valor de perda típico	
Todos os tipos somente onde animais estão presentes	D1 Ferimento devido à choque	LT	10^{-2}
Risco de explosão	D2 Danos físicos	LF	1
Hospital, industrial, museu, agricultura			0,5
Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial			0,2
Outros			10^{-1}
Risco de explosão	D3 Falha de sistemas internos	LO	10^{-1}
Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial			10^{-2}
Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público			10^{-3}
Outros			10^{-4}

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

8 PROTEÇÃO EXTERNA - DANOS FÍSICOS A ESTRUTURAS E PERIGO À VIDA

8.1 Classe do SPDA

As características do SPDA estão diretamente ligadas aos níveis de proteção e aos dados da estrutura na qual o SPDA será instalado. As possíveis classes do SPDA estão relacionadas aos níveis de proteção, como mostra a Tabela 29.

Tabela 29 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA

Nível de Proteção	Classe do SPDA
I	I
II	II

III	III
IV	IV

Fonte: norma NBR 5419:3 (Tabela 1).

A classe do SPDA deve ser selecionada de acordo com a avaliação de risco estabelecida por meio da ABNT NBR 5419-2:2015. Os parâmetros que dependem da escolha da classe são:

- parâmetros da descarga atmosférica;
- raio da esfera no método da esfera rolante;
- tamanho da malha;
- ângulo de proteção;
- distância típica entre os condutores de descida e os condutores em anel;
- distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

8.2 Continuidade da armadura de aço em estruturas de concreto armado

O SPDA deve ser executado com base em projeto cuja documentação assegure a correta e completa instalação do sistema. A maioria das edificações é dotada de elementos estruturais em concreto, que são constituídos de armaduras de aço.

Quando se projeta um SPDA para uma estrutura, deve-se observar inicialmente se essa estrutura possui armadura eletricamente contínua dentro de uma estrutura de concreto armado, já que esta pode servir de condutor natural da corrente da descarga atmosférica (NBR 5419). É considerada armadura eletricamente contínua quando pelo menos 50% das conexões entre barras horizontais e verticais estejam firmemente conectadas ou unidas por meio de solda, cintas, grampos, arame recozido, trespasadas com uma sobreposição mínima de 20 vezes o seu diâmetro.

8.3 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas

A finalidade do SPDA externo é conduzir para a terra as descargas atmosféricas que atingem diretamente a cobertura ou a lateral da estrutura. O SPDA externo também visa

dispersar a corrente oriunda da descarga atmosférica sem causar centelhamentos, danos térmicos ou mecânicos, incêndios ou explosões. Os materiais condutores que integram a estrutura e não podem ser modificados, a exemplo de vigamentos metálicos e a ferragem estrutural do concreto armado, podem ser utilizados como componentes naturais do SPDA, desde que atendam aos requisitos específicos. Outros componentes metálicos que são participaram diretamente da estrutura devem ser incorporados em complemento ao SPDA.

8.4 Subsistema de captação

O subsistema de captação pode ser composto pela combinação de hastes, condutores suspensos e/ou condutores em malha. O volume de proteção é determinado por meio do correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação. É recomendado que os captadores que contenham material radioativo sejam removidos das estruturas em conformidade com a Resolução CNEN nº 04/ 89 (o conteúdo encontra-se no Apêndice B desta obra).

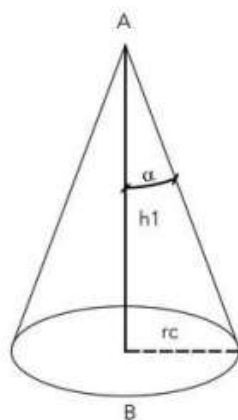
Os componentes do subsistema de captação devem ser instalados nos cantos salientes e nas beiradas das estruturas, considerando-se um ou mais dos seguintes métodos:

- a) Método do Ângulo de Proteção ou Método Franklin;
- b) Método da Esfera Rolante;
- c) Método das Malhas.

8.5 Método do Ângulo de Proteção ou Método de Franklin

Esse método é utilizado em estruturas dotadas de reduzida área horizontal e altura limitada, de acordo com a classe do SPDA a ser implementado. Deve oferecer uma proteção, que é efetivada por meio de um cone com vértice na extremidade superior do captor e cuja geratriz faça um ângulo α com a vertical, mostrado na Figura 16. Caso a área correspondente ao cone seja menor do que a área da edificação a ser protegida, mais de um captor deve ser instalado na edificação a fim de protegê-la em sua totalidade.

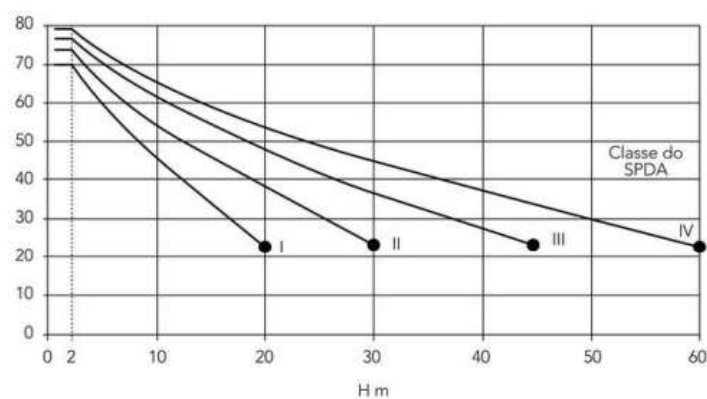
Figura 16. Cone correspondente ao Método do Ângulo de Proteção.



Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Em que A é o topo do captor, B o plano de referência, rc o raio do cone, hl a altura de um mastro acima do plano de referência e α o ângulo que varia de acordo com a classe do SPDA e altura (H) em questão. É possível obter os valores dos ângulos α correspondentes a cada classe de SPDA, como mostrado na Figura 17, e assim aplicá-los no Método de Franklin.

Figura 17. Ângulo de proteção de acordo com a classe do SPDA.



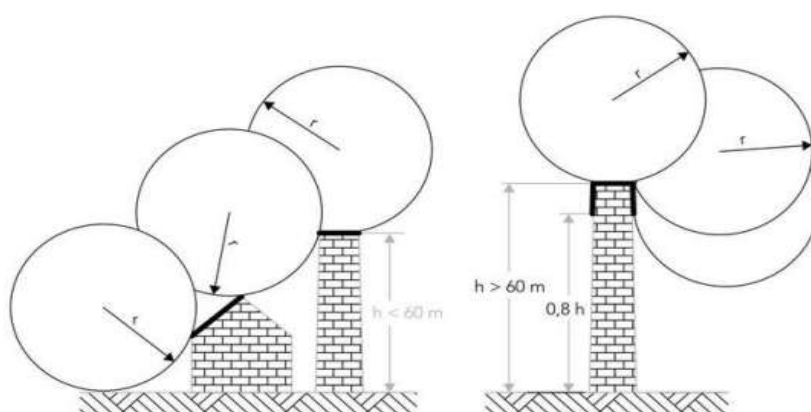
Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Cada uma das classes de SPDA está representada pelas curvas do Gráfico 6.1. O eixo horizontal corresponde à altura H do captor acima do plano de referência da área a ser protegida. O eixo vertical corresponde ao valor do ângulo α , expresso em graus. Vale destacar que para alturas (H) maiores do que os valores finais de cada curva são aplicáveis apenas os Métodos da Esfera Rolante ou o Método das Malhas.

8.6 Método da esfera rolante ou método eletrogeométrico

A Esfera Rolante constitui o método mais utilizado em estruturas com elevada altura ou formas arquitetônicas complexas. Esse método emprega uma esfera fictícia, que rola pela estrutura em todas as possíveis direções, conforme mostra a Figura 18. O posicionamento do subsistema de captação será considerado adequado quando a estrutura a ser protegida não for tocada em nenhum ponto pela esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura, excetuando-se o subsistema de captação.

Figura 18. Método da Esfera Rolante.



Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

O raio da esfera fictícia varia em função da classe do SPDA, conforme a Tabela 30.

Tabela 30 - Valores do raio da esfera rolante em função da classe do SPDA.

Classe SPDA	Raio da esfera rolante (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

O posicionamento do subsistema de captação lateral, na parte superior de uma estrutura, deve atender pelo menos aos requisitos para o nível de proteção IV. É importante que seja pensado levando em consideração a localização dos elementos de captação em cantos, bordas e saliências significativas. Vale destacar que pessoas e equipamentos elétricos e eletrônicos expostos nas paredes externas das estruturas podem ser atingidos e sofrer danos pelas descargas atmosféricas, mesmo com baixos valores de pico de corrente.

A probabilidade de as descargas atmosféricas ocorrerem na lateral das estruturas de altura elevada, segundo estatísticas, aumenta consideravelmente em função da altura do ponto de impacto. Dessa forma, deve ser considerada a instalação de captação lateral da parte superior das estruturas com altura superior a 60 m, posicionada a 20% do topo da altura da estrutura.

8.7 Método das Malhas ou Método da Gaiola de Faraday

O Método das Malhas é indicado para estrutura com grande área horizontal, a exemplo de telhados horizontais e inclinados sem curvatura. Também é apropriado para proteção de superfícies laterais planas contra descargas atmosféricas laterais. Consiste em uma malha captora composta de condutores espaçados entre si na distância correspondente ao nível de proteção, conforme mostra a Tabela 31.

Tabela 31 - Valores do Método das Malhas de acordo com a classe do SPDA

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores da malha (em metros)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

De acordo com a norma NBR 5419-3:2015, alguns requisitos devem ser cumpridos:

a) Os captosres e os condutores horizontais devem ser instalados:

- nas bordas (periferia) da cobertura da estrutura a ser protegida;
 - nas saliências horizontais da cobertura e da estrutura a ser protegida.
- b) Garantir que os componentes metálicos que não possam oferecer a condição de elemento captor fiquem fora do volume protegido pela malha do subsistema de captação.
- c) O percurso dos condutores da malha deve ser o mais curto e retilíneo possível.
- d) As dimensões de malha não podem exceder os valores dados na Tabela 31.
- e) O subsistema de captação deve ser construído considerando que a corrente elétrica proveniente da descarga atmosférica sempre encontre, no mínimo, dois caminhos condutores distintos com o subsistema de aterramento.

8.7.1 Captadores para descargas laterais

Pesquisas indicam que a probabilidade de descargas atmosféricas atingirem as estruturas lateralmente deve ser considerada para construções com mais de 60 m de altura, especialmente em pontas, cantos e saliências (como marquises e varandas). A captação lateral pode ser feita com:

- a) elementos metálicos externos que atendam aos valores mínimos, como mostra a Tabela 32;
- b) condutores externos de descida localizados nas arestas verticais da estrutura, quando não houver condutores metálicos naturais externos.

Tabela 32 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistema de captação

Classe SPDA	Material	Espessura t (mm)*	Espessura t' (mm)**
	Chumbo	-	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5

I a IV	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	-	0,7

*t previne perfuração, pontos quentes ou ignição.

**t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir perfuração, pontos quentes ou problemas com a ignição.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

8.7.2 Construção do subsistema de captação

O subsistema de captação deve ser posicionado considerando o tipo de material com que compõe a cobertura da estrutura. Caso a cobertura seja de material não combustível, os condutores do subsistema de captação podem ser instalados diretamente na superfície da cobertura.

Se a cobertura é constituída de materiais combustíveis, o subsistema deve manter certa distância da superfície. Para o caso de coberturas feitas de palha ou sapê, sem a presença de barras de aço empregadas para a sustentação do material, a distância mínima recomendada é de 15 cm, enquanto para os demais materiais combustíveis o valor é de 10 cm. Recomenda-se ainda que as partes altamente combustíveis da estrutura:

a) não permaneçam em contato direto com o SPDA externo;

b) não estejam localizadas abaixo de qualquer componente metálico que possa derreter, caso seja atingido por descarga atmosférica.

8.7.3 Componentes naturais

Os seguintes materiais são considerados captadores naturais e integrantes do SPDA: a) chapas metálicas no topo da estrutura a ser protegida, desde que:

- não sejam revestidas com material isolante;
- a espessura da folha metálica ultrapasse os limites mínimos t , conforme a Tabela 32;
- a espessura da chapa metálica seja superior aos valores de t' , conforme a Tabela 32;
- seja garantida a continuidade elétrica entre as partes, por meio de procedimento executivo duradouro (por exemplo, parafuso e porca).

b) as partes metálicas estejam instaladas permanentemente e integrem a estrutura (por exemplo, grades e coberturas de parapeitos);

c) os componentes metálicos da construção da cobertura, situadas abaixo de cobertura não metálica, possam ser excluídos do volume que deve ser protegido;

d) as tubulações metálicas e os tanques na cobertura, que tenham os valores especificados pela Tabela 32;

e) as tubulações metálicas e os tanques que possuam conteúdos combustíveis ou explosivos, desde que sejam feitos de materiais dotados de espessura superior ao valor de t conforme a Tabela 32.

Vale destacar que as tubulações metálicas que contêm misturas explosivas ou combustíveis não são consideradas componente captor natural. Caso disponham de componentes não metálicos, é necessário providenciar a apropriada equipotencialização do conjunto.

8.7.4 Subsistema de descida

O subsistema de descida possui a finalidade de escoar a corrente gerada pela descarga atmosférica para o solo. Isso é feito por meio de diversos caminhos paralelos, com o menor comprimento possível para a corrente elétrica e, ainda, garantindo a equipotencialização das partes condutoras. O espaçamento entre os condutores de descida e entre os anéis condutores horizontais é apresentado na Tabela 33.

Tabela 33 - Valores das distâncias entre os condutores de descida em função das classes do SPDA

Classe do SPDA	Distância (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Observação: é aceitável que o espaçamento dos condutores de descida alcance até 20% além dos valores mencionados na tabela.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Nos condutores de descida construídos em SPDA convencional, para melhor distribuição das correntes de descarga atmosféricas, devem ser consideradas interligações horizontais entre os condutores de descida em intervalos entre 10 m e 20 m de altura, sem dispensar a interligação ao nível do solo.

8.7.5 Posicionamento

O posicionamento das descidas depende do tipo de SPDA: SPDA externo isolado ou SPDA externo não isolado. O SPDA externo isolado da estrutura a ser protegida é aquele que dispõe dos subsistemas de captação e descida posicionados de tal forma que o caminho da corrente da descarga atmosférica não fique em contato com a estrutura a ser protegida. No caso do SPDA externo não isolado da estrutura a ser protegida, o caminho da corrente da descarga atmosférica proveniente dos subsistemas de captação e descida está em contato com a estrutura a ser protegida.

8.7.6 Posicionamento para SPDA externo isolado

No SPDA externo isolado, as descidas devem ser posicionadas considerando a disposição e a metodologia empregada nos captadores. Para os captadores constituídos de condutores suspensos em catenária, deve ser instalado, no mínimo, um condutor de descida para cada estrutura suporte. Quando os captadores são constituídos de hastes fixadas em mastros separados, ou em mastros não metálicos e não conectados às armaduras da estrutura, é necessário um condutor de descida para cada mastro. Vale destacar que não há necessidade de

condutor de descida para mastros metálicos ou interconectados às armaduras. No caso da existência de sistema de captação constituído de uma rede de condutores, é necessário ao menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

8.7.7 Posicionamento para SPDA externo não isolado

A quantidade mínima de condutores de descida para SPDA não isolado deve ser superior a duas, mesmo que o número apurado no cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o correspondente nível resultar em um valor menor. O posicionamento dos condutores de descida deve considerar o espaçamento mais uniforme possível. As distâncias entre os condutores de descidas foram dadas na Tabela 33.

8.8 Divisão da corrente da descarga atmosférica entre os condutores de descida

A divisão da corrente de descarga atmosférica entre os condutores de descida é dada pelo coeficiente K_c , o qual está diretamente ligado ao número total de condutores de descida e suas respectivas posições, número dos condutores em anel de interligação, tipos de subsistemas de captação e aterramento. Observe a Tabela 34 e as Figuras 17 e 18.

Tabela 34 - Valores do coeficiente K_c

Tipos de captosres	Número de condutores de descida (n)	kc
		Arranjo de aterramento em anel
Haste simples	1	1
Fio	2	0,5 ... 1*
Malha	4 e mais	0,25 ... 5**
Malha	4 e mais, conectadas por condutores horizontais em anel	1/n ... 0,5***

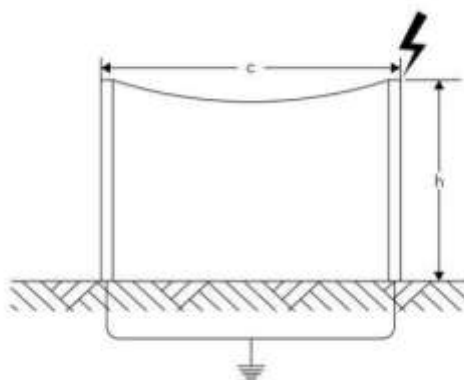
*Faixa de valores de $K_c = 0,5$ em que $c < h$ a $K_c = 1$ com $h < c$.

**A equação para K_c , de acordo com a Figura 19, é uma aproximação para estruturas em forma de cubo e $n > 4$. Os valores de h , c_s e c_d são fixados na faixa de 5 m a 20 m.

**Se os condutores de descida são conectados por condutores em anel, a distribuição de corrente é mais homogênea nas partes mais baixas do sistema de descidas e K_c é ainda mais reduzido. Isso é especialmente válido para estruturas altas.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Figura 19 - Subsistema de captores a um fio e um subsistema de aterramento em anel.

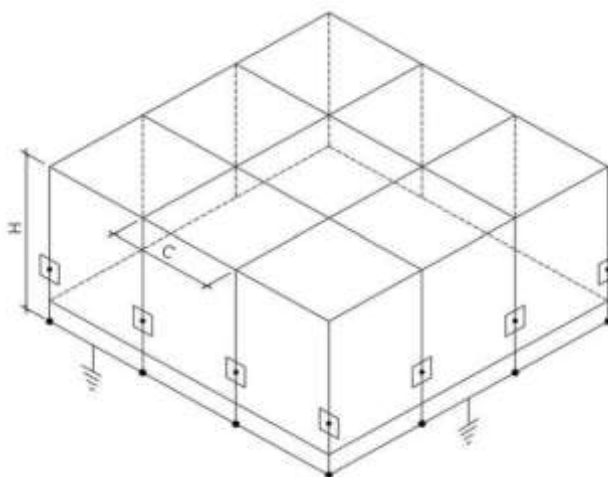


Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

A equação para obter o valor de K_c , no caso de subsistema de captores a um fio e um subsistema de aterramento em anel é:

$$K_c = \frac{h + c}{2h + c} \quad (35)$$

Figura 20 - Caso de subsistema de captores em malha e sistema de aterramento em anel.



Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

A equação para obter K_c no caso de subsistema de captosres em malha e sistema de aterramento em anel descrito é:

$$K_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 * 3 \sqrt{\frac{c}{h}} \quad (36)$$

Em que n é o número total de condutores de descidas, h o espaçamento (ou altura) entre os condutores em anel e c é a distância de um condutor de descida ao próximo condutor de descida.

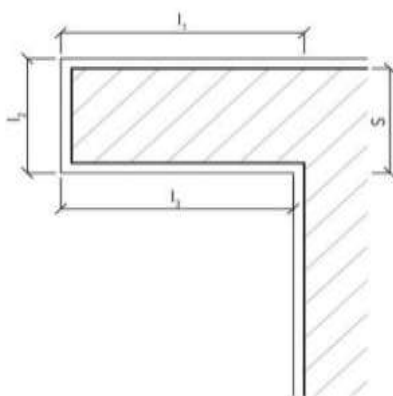
8.9 Construção

Os condutores de descida devem ser instalados de maneira que tenham o caminho mais curto e direto para a terra, constituindo a continuação dos condutores do sistema de captação e evitando a formação de laços. Porém, nos casos em que isso não for possível, deve ser calculada a distância de segurança “S” que é ilustrada pela Figura 21.

$$S = \frac{K_c}{K_m} * K_c * I \quad (37)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (38)$$

Figura 21 - Laço em condutor de descida.



Em que K_i depende do nível de proteção escolhido para o SPDA, K_c depende da corrente de descarga atmosférica pelos condutores de descida, K_m depende do material isolante e l é o comprimento, expresso em metros, ao longo do subsistema de captação ou descida, desde o ponto onde a distância de segurança deve ser considerada até a equipotencialização mais próxima.

Os parâmetros K_i , K_m e K_c são obtidos de acordo com as Tabelas 35 a 37, respectivamente.

Tabela 35 - Valores do coeficiente K_i

Nível de proteção do SPDA	K_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 36 - Valores do coeficiente K_m

Material	K_m
Ar	1
Concreto, tijolos	0,5

Nota 1: no caso de vários materiais isolantes em série, é uma boa prática usar o menor valor de K_m .

Nota 2: a utilização de outros materiais isolantes está sob consideração.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 37 - Valores do coeficiente K_c

Número de descidas (n)	K_c
1 (somente para SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

No caso de um SPDA não isolado, os condutores de descida podem ser instalados de acordo com o material de construção da parede.

Se a parede é constituída de material não combustível, os condutores de descida podem ser instalados na superfície ou no interior da parede. Caso a parede seja construída com material combustível, os condutores de descida podem ser instalados na superfície desde que, com a passagem da corrente de eventual descarga atmosférica, o aumento da temperatura não gere perigo para o material da parede.

Quando a parede é construída com material combustível, os condutores de descida, após a instalação, devem manter a distância mínima de 10 cm da parede. Se não for possível garantir a distância entre o condutor de descida e o material combustível, a seção transversal mínima do condutor de aço galvanizado deve ser de 100 mm². Deve-se evitar a instalação de condutores de descida no interior de calhas ou tubulações de águas pluviais, mesmo que recobertos de material isolante. É possível haver entupimento devido a folhas de árvores e formação de par galvânico, entre outros.

8.10 Componentes naturais

Algumas partes da estrutura podem ser consideradas condutores naturais de descida, como:

- a) instalações metálicas eletricamente contínuas;
- b) armaduras de estruturas de concreto armado eletricamente contínuas;
- c) elementos de fachada eletricamente contínuos e com espessuras superiores a t' (Tabela 32);
- d) vigamento de aço interconectado da estrutura, desde que as dimensões atendam aos requisitos dos condutores para descidas. As espessuras para folhas e tubulações metálicas não devem ser inferiores a t' (Tabela 32).

8.11 Conexões de ensaio

As conexões de ensaio devem ser previstas nas junções entre cada cabo de descida e eletrodos de aterramento. A exceção são os casos de condutores de descidas naturais combinados com os eletrodos de aterramento pela fundação (eletrodos naturais).

Nas conexões de ensaio, o elemento de conexão deve ser aberto apenas com o uso de ferramenta. Na condição normal, deve permanecer fechado e sem contato com o solo.

8.12 Subsistema de aterramento

A eficiência do subsistema de aterramento resulta da topologia e resistividade do solo local. Também resulta do arranjo empregado nos eletrodos, visando alcançar, além da menor resistência de aterramento possível, a dispersão da corrente de descarga atmosférica para a terra, evitando qualquer sobretensão perigosa.

Sob a ótica da proteção contra descargas atmosféricas, o eletrodo de aterramento adequado para todos os propósitos deve ser único e comum. O objetivo é que atenda a proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica, telecomunicações, TV a cabo, dados etc.

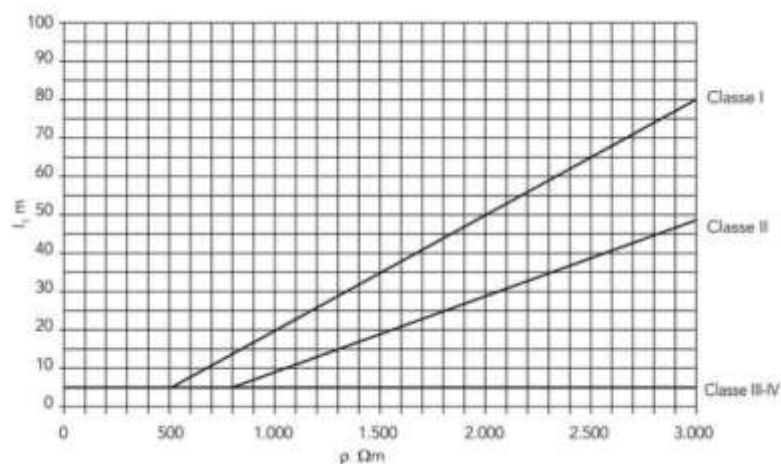
Quando não for possível aproveitar as armaduras das fundações, deve-se utilizar:

a) um condutor em anel na parte externa da estrutura a ser protegida. Oitenta por cento do comprimento total do condutor deve estar em contato com o solo;

b) um elemento condutor que interligue as armaduras descontínuas dos elementos da fundação. Vale destacar que, embora exista a possibilidade de 20% do eletrodo convencional não estar em contato direto com o solo, a continuidade elétrica do anel deve ser garantida em toda a sua extensão.

Ao empregar qualquer dos dois métodos mencionados anteriormente, o raio médio (r_e) da área abrangida pelos eletrodos deve ser maior ou igual a $1l$ ($r_e \geq 1$), cujo valor pode ser observado no Figura 22.

Figura 22 - Comprimento mínimo I1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.



Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

De acordo com o Gráfico 02, as classes III e IV são independentes da resistividade do solo. De acordo com a ABNT NBR 5419-3:2015, para solos com resistividade superior a 3.000 $\Omega.m$, as curvas devem ser prolongadas de acordo com as seguintes equações:

$$I_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (classe I)} \quad (39)$$

$$I_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (classe II)} \quad (40)$$

Se o valor requerido de I_1 for maior do que o valor conveniente de r_e , deve-se incluir eletrodos adicionais o mais próximo possível dos pontos em que os condutores de descida estão conectados. Os eletrodos podem ser adicionados no sentido horizontal ou vertical (ou inclinados), de acordo com as equações:

$$I_r = I_1 - r_e \text{ (para componente horizontal)} \quad (41)$$

$$I_v = (I_1 - r_e) / 2 \text{ (para componente vertical)} \quad (42)$$

8.12.1 Componentes

Os componentes do SPDA devem ser fabricados com materiais que suportem os efeitos causados por correntes de descargas atmosféricas sobre a estrutura. Também deve ser composto com materiais que resistam aos esforços acidentais previsíveis, afastando a possibilidade de ocorrer danos, conforme a Tabela 38. É admitido o uso de outros materiais, desde que apresentem características de comportamento mecânico, elétrico e químico equivalentes. O comportamento químico está relacionado com a corrosão.

Tabela 38 - Materiais para SPDA e condições de utilização

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico.
Cobre	Maciço Encordoad Como cobertura	Maciço Encordoad Como cobertura	Maciço Encordoad Como cobertura	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materiais orgânicos Altos conteúdos de cloretos	-
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	-
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Maciço Encordoad	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
Alumínio	Maciço Encordoad	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloretos	Soluções alcalinas	Cobre

Nota 1: esta tabela constitui um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.

Nota 2: condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando entram e saem nas posições concreto/terra.

Nota 3: aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

8.12.2 Fixação

Os captosres e os condutores de descida devem ser instalados de maneira que não sofram danos decorrentes de força eletrodinâmica ou mecânica, que resultem na quebra ou no afrouxamento de condutores. A fixação dos condutores do SPDA deve ser realizada obedecendo as seguintes distâncias máximas:

- a) até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- b) até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado;
- c) até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- d) até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

Vale destacar que não é permitida a emenda em cabos de descida, exceto para os conectores de ensaio, o qual é obrigatório e deve ser instalado próximo ao solo. A altura recomendada é de 1,5 m a partir do solo.

8.12.3 Materiais e dimensões

Os materiais de SPDA e suas respectivas configurações e dimensões estão presentes nas Tabelas 39 e 40. A Tabela 39 mostra os materiais e os valores para os subsistemas de captação e de descida, já a Tabela 40 corresponde ao subsistema de aterramento.

Tabela 39 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida

Material	Configuração	Área da seção mínima (mm ²)	Comentários
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoadado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço (minicapacitores)	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço (minicapacitores)	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30%	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço (minicapacitores)	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm

	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço (minicapacitores)	200	Diâmetro 16 mm

Nota: essa tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

Tabela 40 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodos de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas		Comentários
		Eletrodo cravado (diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço	-	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça	-	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	-
	Tubo	20mm	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado a quente	Arredondado maciço	16 mm	Diâmetro 10 mm	-
	Tubo	25mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça	-	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordado	-	70 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado maciço	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
	Encordado	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm

	Fita maciça	15 mm	100 mm ²	Espessura mínima 2 mm
--	-------------	-------	---------------------	-----------------------

Fonte: ABNT NBR 5419, 2015 (adaptado).

9 PROTEÇÃO DE SISTEMAS E NT DO CORPO DE BOMBEIROS

Para evitar danos aos sistemas elétricos e eletrônicos, a que estão sujeitos em função de Pulso Eletromagnético devido a Descargas Atmosféricas (LEMP), indica-se a adoção de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS).

A proteção contra LEMP é embasada no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). A fronteira de uma ZPR é definida pelas medidas de proteção utilizadas.

As medidas básicas de proteção contra LEMP podem ser resumidas em: aterramento e equipotencialização, blindagem magnética e roteamento das linhas, coordenação de Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) e interfaces isolantes.

A Proteção contra Surtos dos Sistemas Internos é constituída de DPS coordenados para a proteção de linhas de energia e sinal. A seleção e a instalação dos componentes são similares para ambos os casos:

- a) em MPS que consideram mais de uma zona interna (ZPR 1, ZPR 2 e zonas adicionais), os DPS devem ser localizados no ponto em que a linha entra em cada ZPR;
- b) em MPS que consideram apenas a ZPR 1, deve ser instalado um DPS no ponto em que a linha entra em ZPR 1;
- c) nos dois casos, DPS adicionais podem ser requeridos quando a distância entre a localização do DPS e o equipamento a ser protegido é longa.

Os requisitos para ensaio dos DPS destinados a sistemas de energia devem atender às normas ABNT NBR IEC 61643-1, 61643-12 e ABNR NBR 5410:2004 e, para sistemas de sinal, devem atender às normas IEC 61643-21 e IEC 61643-22.

De acordo com a posição na instalação, os DPS podem ser utilizados da seguinte forma:

a) Considerando o ponto de entrada da linha na estrutura (na periferia de ZPR 1, por exemplo, no quadro de distribuição principal):

- DPS ensaiado com a classe I;
- DPS ensaiado com a classe II.

b) Considerando a proximidade do dispositivo a ser protegido (na periferia de ZPR 2 e superior, por exemplo, no quadro de distribuição secundário ou em uma tomada):

- DPS ensaiado de acordo com a classe I para DPS de potência;
- DPS ensaiado com a classe II;
- DPS ensaiado de acordo com a classe III.

São considerados quatro níveis de proteção, associados a quatro classes de SPDA, denominadas classes I, II, III e IV. Esses níveis são embasados em regras, como o raio da esfera rolante, a largura da malha, entre outras. A classe I proporciona a maior proteção.

As medidas de proteção contra descargas atmosféricas, a exemplo do SPDA, geram zonas de proteção definidas, segundo a NBR 5419-1 :2015, por:

a) ZPR 0A: zona na qual a ameaça ocorre em função da queda direta e ao campo eletromagnético da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem estar sujeitos a corrente total ou parcial gerada pela descarga atmosférica.

b) ZPR 0B: zona protegida contra queda direta, mas onde o campo eletromagnético total da descarga atmosférica é uma ameaça. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente parcial da descarga atmosférica.

c) ZPR1: zona na qual a corrente de surto é limitada por uma divisão da corrente da descarga atmosférica e pela aplicação de interfaces isolantes e/ ou DPS na fronteira. Uma blindagem espacial pode atenuar ainda mais o campo eletromagnético da descarga atmosférica.

d) ZPR2: zona na qual a corrente de surto pode ser ainda mais limitada por uma divisão da corrente da descarga atmosférica e pela aplicação de interfaces isolantes e/ou DPS adicionais

na fronteira. Uma blindagem espacial adicional pode ser usada para atenuar ainda mais o campo eletromagnético da descarga atmosférica.

Em resumo, a instalação do SPDA resulta em dois sistemas de proteção contra uma eventual descarga atmosférica: o sistema externo e o interno.

O sistema externo é constituído do subsistema de captação, cuja finalidade é receber o impacto da descarga atmosférica, transferindo-a para o subsistema de descida. Assim, a descarga é conduzida e escoada para a terra, de maneira segura, e do sistema de aterramento, responsável por dispersar a corrente na terra.

O sistema interno evita que haja o centelhamento na estrutura em função da ligação equipotencial e da distância de segurança.

9.1 NT 40/2019 do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás

A Norma Técnica nº 40/2019, emitida pelo Corpo de Bombeiros Militar, estabelece os critérios técnicos mínimos para o projeto, execução, inspeção e manutenção dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), com o objetivo de garantir a segurança das edificações, das pessoas e das instalações frente aos efeitos diretos e indiretos das descargas atmosféricas.

Essa norma tem caráter regulamentador e fiscalizador, sendo aplicada nos processos de análise, vistoria e emissão do Certificado de Conformidade pelo Corpo de Bombeiros. A NT 40/2019 não substitui a ABNT NBR 5419:2015, mas atua de forma complementar, definindo exigências práticas, critérios mínimos e procedimentos de verificação que asseguram a correta aplicação da norma nacional no âmbito estadual.

Enquanto a NBR 5419:2015 estabelece os fundamentos técnicos do SPDA, abrangendo a análise de risco, o dimensionamento dos sistemas externos e internos, as medidas de proteção e os princípios de aterramento e equipotencialização, a NT 40/2019, por sua vez, exige explicitamente o atendimento integral à NBR 5419 vigente, servindo como instrumento normativo para a fiscalização e aceitação das instalações pelo Corpo de Bombeiros.

Segundo a NT 40/2019, o cabo de descida ou escoamento de para-raios deverá passar distante no mínimo 3 m de materiais de fácil combustão e de outros em que possa causar danos. Na NT 40/2019 há diversos pontos ressaltando a necessidade de se retirar captos radioativos, e qual é o procedimento correto para sua retirada, desativação e descarte.

A partir das caixas de medição, previstas pela NBR 5419-2015, são testadas a resistência ôhmica dos condutores do SPDA através de terrômetros, aliado à inspeção visual de todos os seus componentes. Como base para os inspetores os seguintes itens devem ser verificados (ABNT NBR 5419-2, 2015 e CORPO DE BOMBEIROS MILITAR, 2019):

- Não poderá haver captos mais baixos que antenas de TV;
- Não poderá haver sistemas sem conservação (sem cabos, mastros quebrados ou isoladores danificados) e nem emendas nos condutores de descida;
- Deverá haver, no mínimo, dois condutores de descida;
- O Corpo de Bombeiros Militar deverá exigir que seja apresentado, pelo responsável técnico, documentação de responsabilidade técnica devidamente anotado no conselho de classe, de execução, instalação ou manutenção do SPDA, com parecer conclusivo e com resultados das resistências medidas, devendo os mesmos estarem de acordo com a NBR 5419-2015;
- Condutores de descida não naturais devem ser instalados a uma distância mínima de 0,5 m de portas, janelas e outras aberturas, e fixadas a cada metro de percurso;
- Cabos de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos até no mínimo 2,5 m acima do nível do solo. A proteção deve ser por eletroduto rígido de PVC ou metálico, sendo que, no último caso, o cabo de descida deve ser conectado às extremidades.

Para fins de projeto e inspeção do Corpo de Bombeiros Militar, para de emissão do Certificado de Conformidade, são verificados, entre outros, os seguintes aspectos relacionados ao SPDA:

- Existência de projeto técnico de SPDA, elaborado conforme os critérios da ABNT NBR 5419, devidamente compatível com a edificação;
- Apresentação da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) ou documento equivalente, referente ao projeto e/ou execução do sistema;
- Conformidade dos captores, condutores de descida e sistema de aterramento, quanto ao dimensionamento, quantidade, espaçamento e material empregado;
- Continuidade elétrica dos condutores e correta interligação equipotencial entre os elementos metálicos da edificação;
- Adequação do sistema de aterramento, incluindo valores de resistência compatíveis com as exigências normativas;
- Proteção mecânica dos condutores expostos e correta fixação dos componentes do sistema;
- Ausência de dispositivos proibidos, como captores radioativos;
- Existência de documentação de inspeção e manutenção periódica do SPDA, quando aplicável;
- Condições gerais de conservação do sistema, assegurando sua funcionalidade e segurança.
- A verificação desses itens visa assegurar que o SPDA esteja tecnicamente adequado, funcional e em conformidade com as normas vigentes, reduzindo os riscos associados às descargas atmosféricas e garantindo a segurança da edificação e de seus ocupantes.

10 ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA DE TINTAS

Por meio das medidas técnicas dispostas na ABNT NBR 5419-1, NBR 5419-2, NBR 5419-3 e NBR 5419-4 é possível analisar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado em uma indústria produtora de tintas em Itumbiara.

10.1 Contextualização

Para se aprofundar no estudo de caso, é necessário avaliar as características do local de instalação da planta fabril. É preciso conhecer quais são as estruturas que estão instaladas em seu entorno e áreas próximas. O estudo se baseia na análise de risco da NBR 5419-2015 e Norma Técnica dos Bombeiros de Goiás, apresentadas anteriormente.

Devem ser levados em conta aspectos como localização relativa, ambiente e modos de conexão dos cabos de energia e de sinal com a estrutura a ser protegida. Só assim é possível determinar o grau de proteção ao qual a estrutura deve seguir. A Figura 23 apresenta as principais estruturas dentro da planta fabril. O galpão da indústria apresenta um sistema instalado, mas este não pode ser classificado nas diferentes classes de SPDA vigentes.

Figura 23 - Localização das estruturas dentro da planta fabril.



Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, no galpão da indústria há 9 torres de 50 cm com SPDA tipo Franklin. Os seus sistemas de proteção não consideram o contexto do entorno de sua construção para o desenvolvimento de seus projetos.

Figura 25 - Vista Superior do Galpão.



Fonte: elaborado pelo autor.

No escritório da planta fabril, Figura 24, utiliza-se uma torre com SPDA tipo Franklin e se espera que toda a área seja englobada pelo seu volume de proteção.

Figura 24 - Escritório dentro da planta fabril.



Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, todos os projetos de proteção para as estruturas foram desenvolvidos ainda com os fatores determinados pela ABNT NBR 5419 de 2005, portanto, não contam com o estudo da análise de risco prévia de cada estrutura. Caso o SPDA das estruturas mostradas na Figura 25 fosse construído e dimensionado seguindo a NBR 5419-2015, a atual estrutura de proteção e captação de descargas seria diferente, bem como o aterramento utilizado.

Se a norma atualizada tivesse sido utilizada, seria priorizado a equipotencialização dos aterramentos, por meio de Barramentos de Equipotencialização Local, distribuídos pela área do terreno na indústria, sendo estes conectados ao Barramento de Equipotencialização Principal. Além disso, várias outras modificações poderiam ser propostas para aumentar o custo-benefício da proteção.

No entorno do galpão existem três estruturas que têm altura próxima a sua construção. Na Figura 26 são destacadas árvores e estruturas que estão relativamente próximas, auxiliando na verificação do entorno. As árvores estão espaçadas em 46,65 e 58,1 metros. Além disso, existe uma caixa d'água de alvenaria que está a 15,4 m. O escritório se encontra a 101,18 metros do galpão da indústria.

Figura 26 - Vista aérea da planta fabril.



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir deste primeiro levantamento, já são conhecidas algumas estruturas que devem ser levadas em conta nos cálculos e análises de risco do galpão da indústria. Para se dimensionar um SPDA que seja o mais fiel às condições locais, é necessário levantar outros dados, como a finalidade dada à estrutura e frequência de sua utilização, entre outros aspectos.

Conforme histórico da empresa, o galpão começou a operar com a produção de tintas para a construção civil em 1997. Ele está inserido em uma área total de 16.000 m².

A indústria funciona em horário comercial, de segunda à sexta, de 7h30 às 17h45. Em média, o fluxo de pessoas na área da indústria é de 35 pessoas no galpão, 5 pessoas no pátio e 5 pessoas no escritório.

Com base nessas informações, é possível precisar o fluxo de pessoas, horários e frequências dentro das estruturas em análise. No entanto, para casos onde a estrutura esteja apenas em projeto, há a possibilidade de se fazer estudos preditivos para que esses fatores sejam definidos.

A Tabela 41 apresenta os horários dos turnos e a previsão da quantidade de funcionários para cada um deles.

Tabela 41 - Horários e previsão de quantidade de funcionários

Turno	Horário de funcionamento		Previsão de quantidade de pessoal
	Entrada	Saída	
Único	7h30	17h45	45

Fonte: adaptado de MixCor, 2025

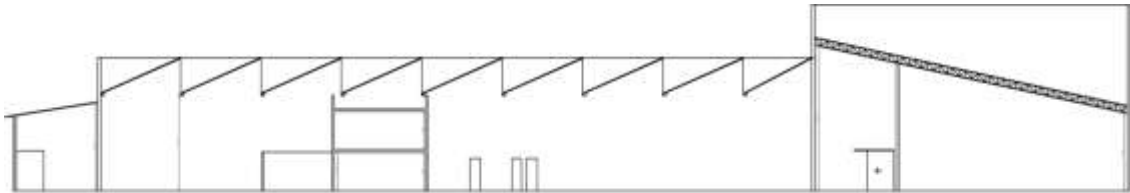
Tabela 42 - Número de pessoas e tempo de presença anual da estrutura.

Zona	Número de pessoas	Dias úteis	Tempo de presença (dia)	Tempo de presença (ano)
Z1 - Externa (Pátio)	5	253	8h	2024h
Z2 - Interna (Galpão)	35			
Z3 - Interna (Escritório)	5			
Total	nt =45			

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 27 apresenta a vista frontal da estrutura do galpão. A partir dessa figura, é possível retirar algumas conclusões. Essa é uma estrutura relativamente simples, com o galpão em formato retangular, com cobertura em formato shed - formado por uma sequência de planos inclinados assimétricos, criando um formato dente de serra.

Figura 27 - Vista frontal do galpão industrial.



Fonte: adaptado de PPCI MixCor, 2023.

A Figura 28 evidencia as linhas aéreas de média tensão que chegam à indústria.

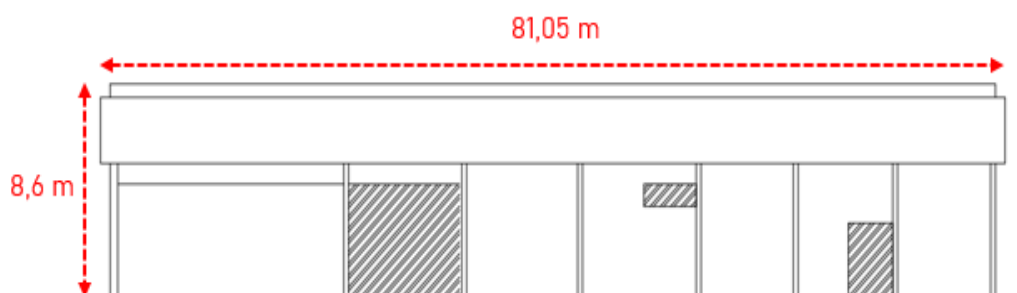
Figura 28 - Vista frontal do galpão industrial com rede de média tensão.



Fonte: elaborado pelo autor.

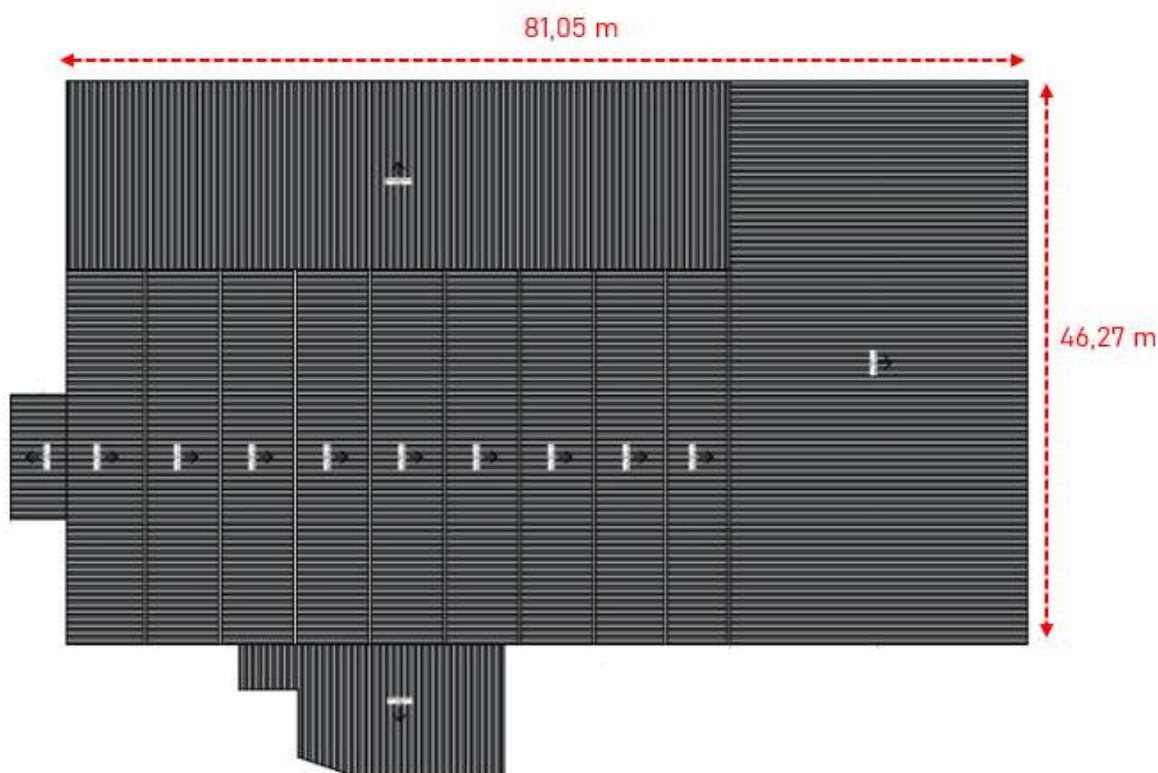
As Figuras 29 e 30 apresentam os valores de cada um dos pontos principais relacionados às dimensões do galpão. A partir desses valores é possível calcular os níveis relacionados ao valor de N (características da estrutura). A dimensão da construção é 81,05 x 46,27 x 8,60 m.

Figura 29 - Dimensões do galpão industrial



Fonte: adaptado de PPCI MixCor, 2023.

Figura 30 - Dimensões do galpão industrial.



Fonte: adaptado de PPCI MixCor, 2023.

Como mencionado anteriormente, a estrutura apresenta um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. No entanto, o seu projeto foi desenvolvido ainda nos moldes da NBR 5419 2015. Dessa forma, para classificar o seu nível de proteção, as suas características devem ser estudadas.

10.2 Análise do SPDA do galpão e análise de risco

A Figura 31 apresenta a área coberta do galpão da indústria, com os componentes do SPDA externo, que foi projetado ainda seguindo os conceitos especificados na NBR 5419-2005.

Figura 31 - SPDA na vista superior do galpão industrial.



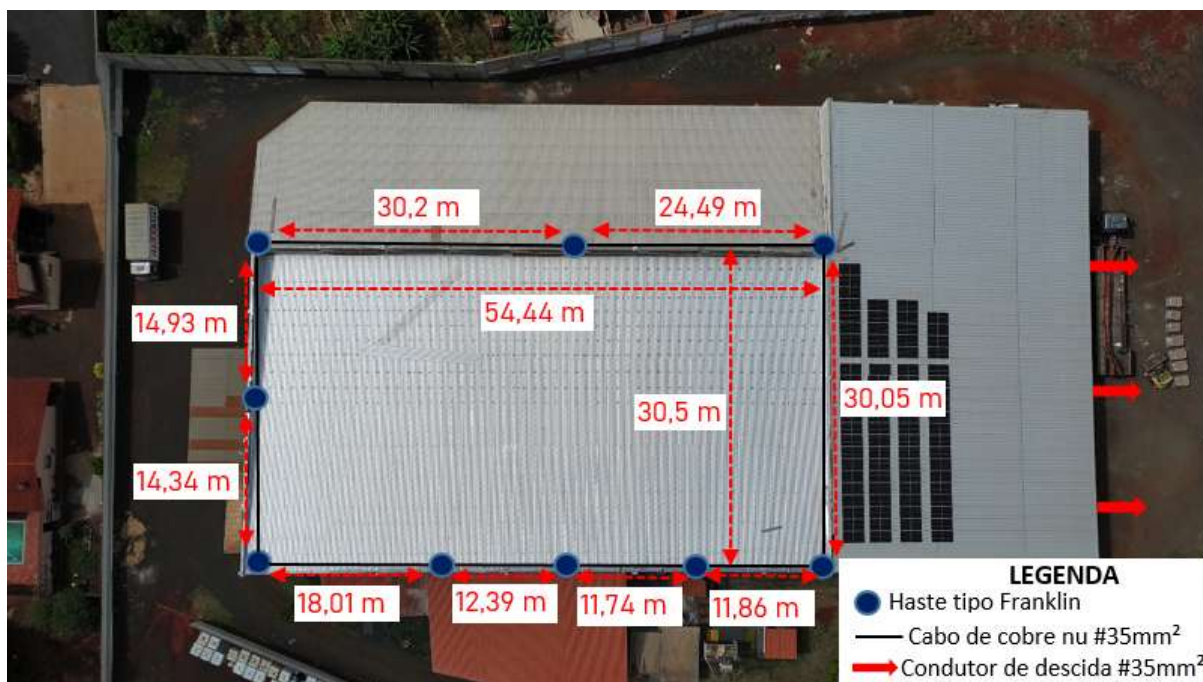
Fonte: elaborado pelo autor.

Na parte superior da estrutura são utilizadas hastes tipo Franklin distribuídas nas paredes da periferia do Galpão. As hastes estão espaçadas e interligadas entre si. Na parte superior e lateral do Galpão está o subsistema de descida, que leva os cabos conectores das hastes ao subsistema de aterramento, que conta com caixas de inspeção apenas na parede lateral para a verificação da integridade da condutividade do SPDA.

Não há a presença de mini-captadores posicionados em nenhum ponto da cobertura. O posicionamento das hastes não segue uma distância padrão, e foram colocados de forma arbitrária sobre os pontos onde se encontram as colunas que sustentam a estrutura.

A Figura 32 apresenta o SPDA em vigor projetado sobre a imagem real da estrutura da cobertura do Galpão.

Figura 32 - SPDA na vista superior do Galpão industrial.



Fonte: elaborado pelo autor.

O subsistema de captação atual contém ao todo 9 hastes com 50 cm de altura e terminação tipo Franklin. Os para-raios estão conectados uns aos outros por meio de cabos de cobre nu de 35 mm² de seção transversal, encordado. Ambos os materiais estão de acordo com Tabela 35 e 36 que dita a configuração dos materiais que devem ser utilizados para o subsistema de captação.

A NBR 5419-2015 não dita a quantidade de captadores para o Subsistema de Captação, por outro lado, para o caso do método de posicionamento da Gaiola de Faraday a norma destaca a importância da instalação nas extremidades da estrutura, fato que é constatado a partir da Figura 32. No entanto, o primeiro problema em relação a norma aparece no distanciamento entre as hastes espalhadas no topo da estrutura que não segue nenhum padrão em relação às diferentes classes de SPDA, conforme a Tabela 43.

Tabela 43 - Tamanho da malha correspondentes a classe do SPDA.

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores de malha (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
II	15 x 15
IV	20 x 20

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3,2015.

Ainda segundo a Tabela 43, o máximo distanciamento entre os condutores de malha para o SPDA I, o de maior NP, deve ser de 5 x 5 m e o SPDA IV, de menor NP, deve ser de 20 x 20 m. A Figura 30 apresenta o descumprimento desses valores em todos os pontos de fixação das hastes na estrutura, uma vez que não se pode classificar a proteção atual a nenhum nível.

Além disso, o Subsistema de Descida também pode ser verificado. Segundo a Tabela 44, o valor máximo das distâncias entre os condutores de descida pode ser de, no máximo, 10 m (em NP I) e de 20 m para o NP IV. Esse valor não é respeitado para o SPDA do galpão.

Tabela 44 - Distância máxima entre os condutores de descida correspondentes a classe do SPDA.

Classe do SPDA	Distância (m)
I	10
II	10
II	15
IV	20

Nota: É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20% além dos valores acima.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3,2015.

A Figura 33 apresenta o Subsistema de Descida e de Aterramento. A configuração atual instalada dispõe de 3 (três) cabos de descida e a distância mínima de instalação entre eles é de 17 e 13 metros.

Figura 33 - Sistemas de Descida e Aterramento do Galpão



Fonte: elaborado pelo autor

O atual SPDA instalado no Galpão e no escritório tem uma divergência da norma em relação ao seu Subsistema de Captação e no Subsistema de Descida.

Dessa forma, é necessário a aplicação de mudanças estruturais para que a proteção do complexo industrial atenda às exigências da NBR 5419 de 2015. A NBR exige comparar os riscos calculados R1: risco de perda ou ferimentos temporários e permanentes em vidas humanas; R2: risco de perdas de serviços ao público; R3: risco de perdas do patrimônio cultural e R4: risco de perda de valores econômicos, com os limites toleráveis, conforme SOUZA et al (2020).

Deste modo, são feitos os cálculos da Análise de Risco da Estrutura, das linhas de energia e sinal. Como a estrutura conta com um sistema de SPDA - mesmo que precário e sem se enquadrar nas classes especificadas pela norma - para fins de cálculo, será considerado nível de proteção NP IV, o menos rigoroso. Como as fórmulas e cálculos já foram anteriormente, por questões de brevidade, as Tabelas de 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 e 53 já apresentam os valores dos cálculos da análise de risco das estruturas.

Tabela 45 - Características da estrutura do galpão Industrial.

Estrutura - Galpão Industrial (Z2)			
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Área de exposição equivalente	-	AD	12410,0051
Densidade de descargas atmosféricas para terra	Em Itumbiara - GO	NG	5
Localização relativa da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos	CD	0,25
Área de exposição equivalente das linhas	Considerando LL a 120m	AL	120
Fator de instalação da linha	Aéreo	CL	1
Fator tipo de linha	Energia ou sinal	CT	1
Fator ambiental da linha	Suburbano	CE	0,5
Número de eventos perigosos para a estrutura	-	ND	0,015512506
Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha	Valores similares, nesse caso, para energia e sinal	NL	0,0063
Medida de proteção adicional	Nenhuma medida de proteção	PTA	1
Probabilidade da descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos	Considerado SPDA classe IV	PB	0,2
Probabilidade da descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	-	PA	0,2
Fator relacionado a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	Nível médio de pânico	HZ	2
Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico	Todos os tipos de estrutura	LT	0,01
Número relativo médio típico de vítimas feridas por dano físico	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	LF	0,1
Número total de pessoas na estrutura	-	NT	45

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 46 - Características da estrutura e meio ambiente do galpão Industrial.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)	Itumbiara - GO	NG	5
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos	CD	0,25
SPDA	Considerando NP IV	PB	0,2
Ligação equipotencial	Nenhuma	PEB	1
Blindagem espacial externa	Nenhuma	KS1	1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 47 - Características da linha de sinal do galpão da Indústria

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento (m)	-	LL	120
Fator de Instalação	Aéreo	CL	1
Fator tipo da linha	Linha de energia ou sinal	CT	1
Fator ambiental	Suburbano	CE	0,5
Blindagem da linha	Não blindada	RS	-
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada	CLD	1
		CLI	1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		UW	1
-	Parâmetros resultantes	KS4	1
		PLD	1
		PLI	1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 48 - Cálculos dos parâmetros P e L da Zona 2 (Z2) galpão da Indústria.

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso		Concreto	RT	0,01
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	PTA	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	PTU	1
Risco de incêndio		Explosão	RF	0,1
Proteção contra incêndio		Extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	RP	0,5
Blindagem espacial interna		Nenhuma	KS2	1
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1
Telecom	Fiação interna	Cabo não blindado	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1
L1: perda de vida humana		Baixo nível de pânico	HZ	2
		D1 - Ferimentos: devido à tensão de toque e passo	LT	0,01
		D2 - Danos físicos: risco de explosão	LF	0,1
		D3 - Falhas de sistemas internos: risco de explosão	LO	0,1
Fator para pessoas na zona		35	-	-
		Parâmetros resultantes	LA	2,31E-05
			LU	2,31E-05

		LB	2,31E-03
		LV	1,79705733E-3

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 49 - Cálculo de parâmetros P e L da Zona 1 (Z1) pátio externo.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso	Concreto	RT	0,01
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1
Risco de incêndio	Nenhum	RF	0
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência	RP	1
Blindagem espacial interna	Nenhuma	KS2	1
L1: perda de vida humana	D1 - Ferimentos: devido à tensão de toque e passo	LT	0,01
	D2 - Danos físicos: risco de explosão	LF	0,02
	D3 - Falhas de sistemas internos: área externa	LO	0
Fator para pessoas na zona	5	-	-

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 50 - Cálculos dos parâmetros P e L da Zona 3 (Z3) escritório.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso	Concreto	RT	0,01

Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	PTA	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	PTU	1
Risco de incêndio		Nenhum	RF	0
Proteção contra incêndio		Extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	RP	0,5
Blindagem espacial interna		Nenhuma	KS2	1
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1
Telecom	Fiação interna	Cabo não blindado	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1
L1: perda de vida humana		Nenhum perigo especial	HZ	1
		D1 - Ferimentos: nenhum	LT	1
		D2 - Danos físicos: industrial, comercial	LF	0,02
		D3 - Falhas de sistemas internos: nenhum	LO	0
Fator para pessoas na zona		5	-	-
		Parâmetros resultantes	LA	5,00E-05
			LU	5,00E-05
			LB	0
			LV	0

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 51 - Cálculo dos valores de N.

	Símbolo	Resultado (1 ano)
Estrutura	ND	1,55E-02
	NM	4,56
Linha de energia	NL energia	1,20E-02
	NI energia	1,20
Linha telecom	NL telecom	1,20E-02
	NI telecom	1,20

Fonte: elaborado pelo autor

A partir dos valores apresentados é possível verificar caso o SPDA atual da estrutura não está respeitando as normas apontadas pela NBR 5419 de 2015. A Tabela 57 mostra o cálculo dos riscos.

Para análise de risco, o risco tolerável para o Galpão leva em consideração apenas a perda de vida humana ou ferimentos permanentes (L1) e perda de valores econômicos (L4). Pela destinação da estrutura, não há a necessidade de cálculos de perda de serviços públicos (L2) e de perda de patrimônio cultural (L3).

Tabela 52 - Cálculo do risco R1 e R4 do PDA atual da estrutura.

Avaliação final	Risco Calculado	Risco Tolerado
R1:	5,733E-3	1,00E-5
R4:	7,023E-03	1,00E-4

Fonte: elaborado pelo autor

Por se tratar de um espaço para fins industriais, os riscos R2 (risco de perdas de serviços ao público) e R3 (risco de perdas do patrimônio cultural) não são considerados nesta análise.

Para fins de avaliação de necessidade de instalação de sistema de SPDA, neste cenário, são levados em consideração os riscos R1 e R4, risco de perda ou ferimentos temporários e permanentes em vidas humanas e risco de perda de valores econômicos, respectivamente.

Tabela 53 - Cálculo do risco R1 do PDA atual da estrutura.

Riscos para a estrutura					
		Z1 (Pátio)	Z2 (Galpão)	Z3 (Escritório)	Estrutura
D1	Ra	7,97E-9	7,17E-08	1,55E-07	2,3467E-7
	Ru	1,52E-07	1,37E-06	2,97E-06	4,492E-06
D2	Rb	x	7,17E-0	0	7,17E-0
	Rv	x	1,37E-04	0	1,37E-04
D3	Rc	x	3,58E-04	0	3,58E-04
	Rm	x	0	0	0
	Rw	x	1,37E-03	0	1,37E-03
	Rz	x	5,55E-02	0	5,55E-02
Total		0,016 E-5	5,733E-3	0,312E-5	5,7362E-3
Tolerável	Rt = 10E-5				
Resultado	R > Rt 5,7362 E-3 > 10E-5				

Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a análise de risco, considerando o SPDA atual como NP IV, é possível afirmar que a estrutura analisada não está protegida contra os efeitos das descargas atmosféricas, uma vez que o risco total (R) é muito maior do que o risco tolerável (Rt). O sistema de captação e descidas não cumprem os requisitos mínimos exigidos pela norma e não seguem nenhum padrão aparente.

Além disso, o SPDA atual da estrutura está em descumprimento do nível mínimo de proteção necessário para estruturas como indústrias dado pela NT 40/2019 do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás.

10.3 PROPOSTA DE UM NOVO SPDA PARA O GALPÃO INDUSTRIAL

Dado o tipo de indústria - química de tintas e solventes inflamáveis - com processos contínuos críticos, sistemas eletrônicos sensíveis e ocupação aproximada de 45 pessoas em toda a área, e ainda levando em consideração a presença de linhas aéreas energia e de sinal (telecom), os potenciais danos por um evento de descarga são elevados, como risco de incêndio e explosão, perda de produção, risco à vida humana e ao meio ambiente.

Para a adequação do SPDA da instalação à NBR 5419-2015 são necessários ajustes e medidas de correção para garantir que toda a estrutura seja protegida contra as descargas atmosféricas.

Conforme a norma, para reduzir riscos, procedeu-se a uma nova análise de riscos com adequações de modo a garantir que os riscos estejam dentro do risco tolerado. O primeiro ajuste feito foi a previsão de instalação de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) de nível I no Galpão da indústria e no escritório. O equipamento que é essencial na proteção aparelhos e instalações elétricas de picos de tensão (surtos) causados por raios, falhas na rede ou manobras elétricas, desviando o excesso de energia para o aterramento e prevenindo danos, queimaduras e mau funcionamento de eletrônicos sensíveis. Mas esta medida isolada não apresentou grandes reduções nos riscos calculados.

Com base nos cálculos, chegou-se à classe de proteção de SPDA Classe I, a mais rigorosa das quatro classes, baseada na norma ABNT NBR 5419:2015, usada para estruturas de alto risco (como depósitos de explosivos, hospitais, grandes centros de dados), que exigem o maior nível de proteção contra raios diretos e surtos. Porém, mesmo com a Classe I foram necessárias outras adequações para se atingir um nível de risco tolerável.

Para reduzir os riscos, também foi necessário prever a instalação de sistema de DPS coordenado nível I. Além disso, foi necessário prever a instalação de sistema de alarme contra

incêndio automático, e a adoção de cabos de sinal e de energia blindados instalados em dutos metálicos.

Para atualizar o SPDA, será necessária a remoção das 9 torres tipo Franklin que estão dispostas sobre a estrutura de cobertura do Galpão Industrial.

Para o caso em estudo, o Método das Malhas ou Método da Gaiola de Faraday é o mais aconselhável já que a estrutura tem uma grande área horizontal, diferentemente do Método de Franklin, além de ser apropriado para proteger superfícies planas laterais contra descargas atmosféricas (NBR 5419/2015). O modelo consiste em uma malha captora de condutores espaçados entre si de uma distância correspondente ao seu nível de proteção. Para a estrutura analisada, e conforme as análises de risco, a classe de SPDA recomendada é a Classe I.

Tabela 54 - Tamanho da malha correspondentes a classe do SPDA.

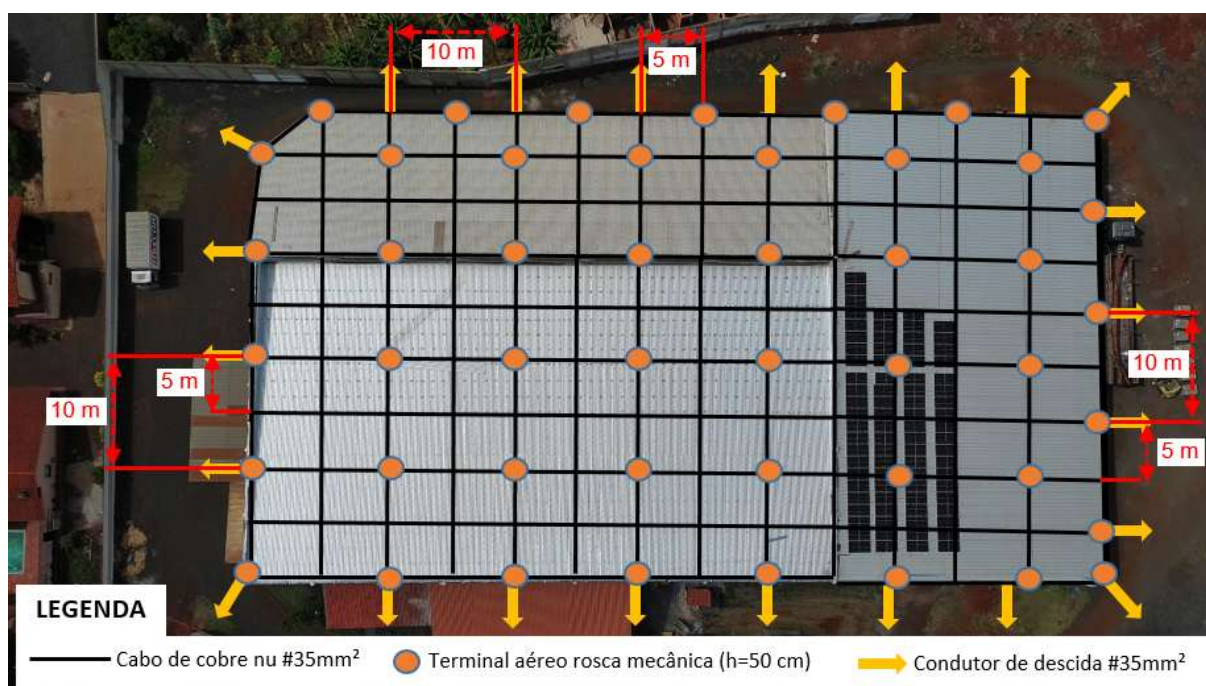
Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores de malha (m)	Distância máxima entre os condutores de descida
I	5 x 5	10 m
II	10 x 10	10 m
III	15 x 15	15 m
IV	20 x 20	20 m

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3,2015.

De acordo com a Norma NBR 5419-3/2015 alguns requisitos devem ser cumpridos. Condutores captadores devem ser instalados na periferia da cobertura da estrutura, nas saliências da cobertura da estrutura, nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10. As dimensões das malhas não podem ser maiores que os valores dados na tabela acima (Tabela 54). O conjunto de condutores do subsistema de captação deve ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento. Nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação e os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

A norma não exige que mini capttores sejam instalados. Todavia, recomenda-se instalá-los uma vez que os mesmos podem preservar os cabos de danos térmicos no caso de descargas atmosféricas os atingirem diretamente. Caso os mini capttores sejam instalados, eles devem estar presentes nos cruzamentos de cabos, nas quinas e a cada 5 metros de perímetro, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Visão superior do SPDA do Galpão Industrial.

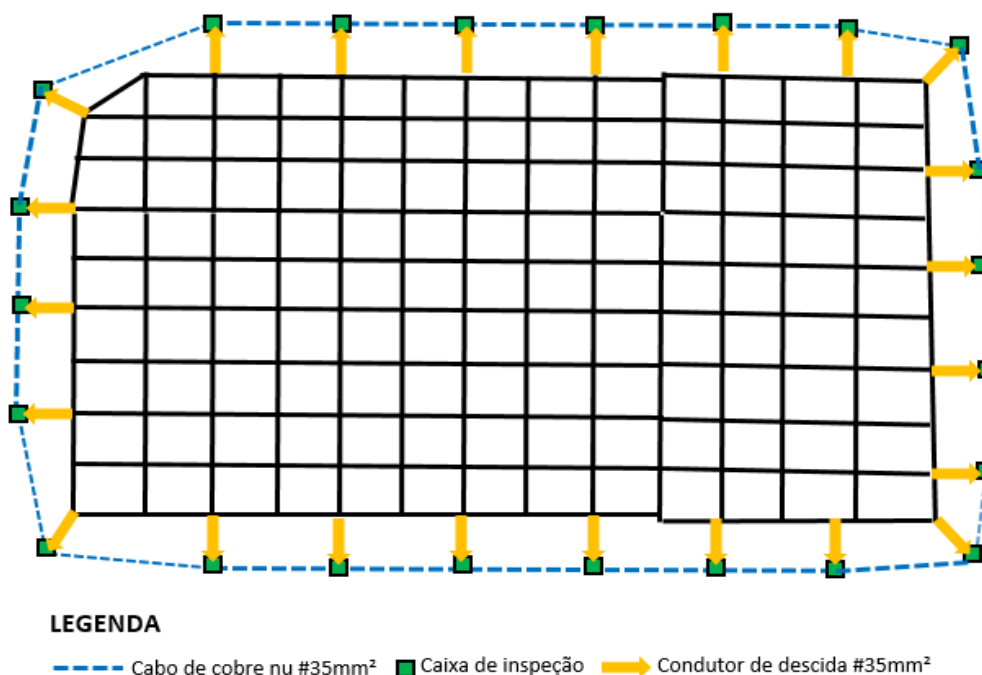


Fonte: elaborado pelo autor

O conceito, segundo o qual o campo magnético no interior de uma gaiola metálica é nulo e permitiria criar uma blindagem contra interferências eletromagnéticas, foi desenvolvido em 1836 por Michael Faraday.

O conceito inicial foi adaptado para se tornar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. De fato, para obter uma gaiola perfeita, a gaiola de Faraday teria que ser fechada na sua íntegra, o que na prática, no caso de uma edificação, não é possível. A norma especifica o máximo afastamento dos condutores da malha, conforme a Tabela 53, e representado na Figura 35.

Figura 35 - Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA atualizado.



Fonte: elaborado pelo autor

Não há garantia que as fitas metálicas ou condutores utilizadas no método da gaiola de Faraday serão atingidas pela descarga em preferência de outros pontos próximos e expostos. Tradicionalmente, para aumentar a probabilidade de impacto na gaiola, são adicionados terminais aéreos nas interseções dos condutores e, no mínimo, nos cantos. As normas especificam também o distanciamento e número de condutores de descida, conforme a Tabela 54.

10.4 ANÁLISE DE RISCO DO NOVO SPDA DO GALPÃO DA INDÚSTRIA

A partir das mudanças feitas da proposta de novo SPDA, pode-se recalcular e refazer a análise de risco, bem como avaliar se as adequações propostas atingiram o objetivo almejado, que é reduzir o risco a níveis toleráveis.

Tabela 55 - Valores modificados em relação às características da análise de risco.

Variável	Estrutura		Z1 (Pátio)		Z2 (Galpão)		Z3 (Escritório)	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
PTA	1	0,01	1	0,01	1	0,01	1	0,01
PB	0,2	0,02	-	-	0,2	0,02	0,2	0,01
PEB energia	1	0,001	1	1	1	0,001	1	0,01
PEB linha	1	0,001	1	1	1	0,001	1	0,01
PLD energia	1	1	1	1	1	1	1	1
PLD linha	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 56 - Nova análise de risco para o novo SPDA para a estrutura.

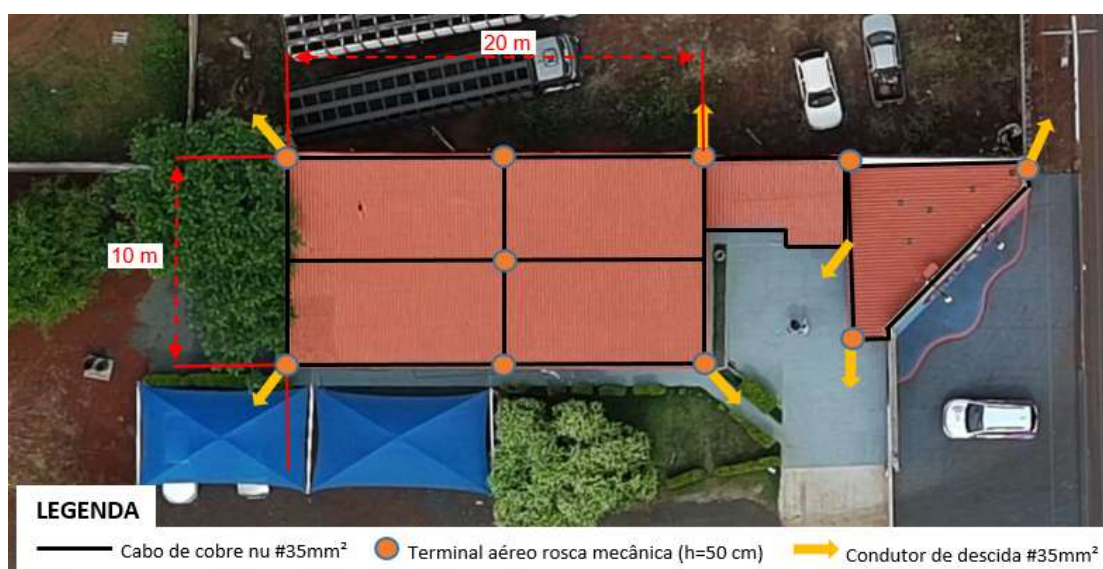
	Símbolo	Z1 (Pátio)	Z2 (Galpão)	Z3 (Escritório)	Estrutura
D1 Ferimentos	RA	7,97E-12	5,58E-11	1,55E-10	2,1877E-10
	RU = RU energia + RU telecom	0	0	2,97E-09	2,97E-09
D2 Danos físicos	RB	0	2,23E-07	0	2,23E-07
	RV = RV energia + RV telecom	0	4,27E-08	0	4,27E-08
Total					2,69E-7
Tolerável		$R > RT(10E-5)$ $2,69E-7 < 10E-5$			
Resultado		Riscos reduzidos a níveis toleráveis			

Fonte: elaborado pelo autor

10.5 PROPOSTA PARA UM NOVO SPDA PARA O ESCRITÓRIO

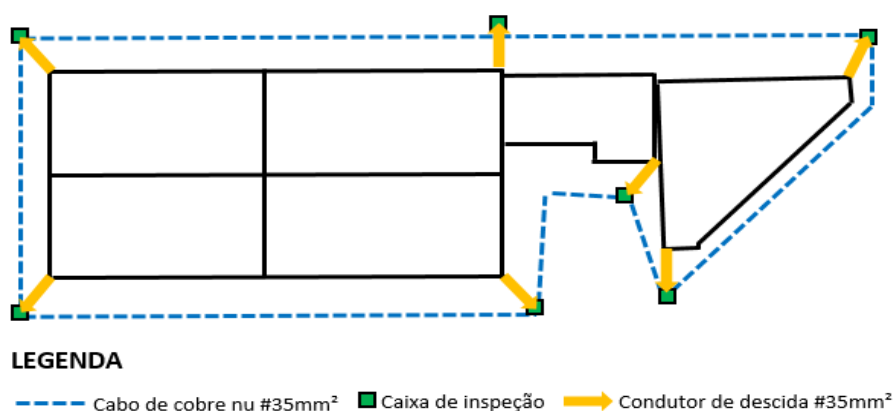
Para o escritório da indústria, foi possível adotar o SPDA Classe IV, nível de proteção mais baixo (menos restritivo) contra raios, usado em estruturas não inflamáveis e com pequeno acesso de pessoas. Para esse nível de proteção, a norma determina o máximo afastamento dos condutores de malha em 20m x 20m. e a distância máxima entre os condutores de descida em 20m. A Classe IV também apresenta menor custo. Por ser menos restritivo, exige menos materiais e complexidade, tornando-o mais econômico.

Figura 36 - Visão superior do SPDA do escritório.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 37 - Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA atualizado.



Fonte: elaborado pelo autor

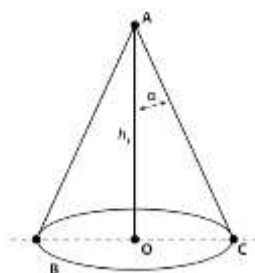
10.6 PROPOSTA DE SPDA PARA A CAIXA D'ÁGUA

A caixa d'água presente no pátio da indústria, conforme mencionado anteriormente, é a estrutura mais alta de todo o terreno. Por isso, há a necessidade de se proteger a essa edificação de alvenaria de possíveis descargas atmosféricas.

O Método do Ângulo de Proteção ou Método de Franklin é o mais adequado para edificações com formato simples, de altura não muito elevadas, e de pouca área horizontal, onde é possível a utilização de uma pequena quantidade de captores, tornando o projeto mais interessante economicamente (MAMEDE FILHO, 2001).

O volume de proteção provido por um mastro é definido pela forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, o ângulo α , dependendo da classe do SPDA.

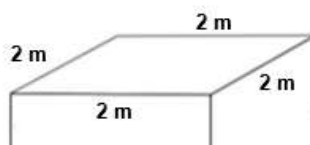
Figura 38 - Cone correspondente ao Método do Ângulo de Proteção.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3,2015.

A estrutura a ser protegida tem 15,4 m, conforme a Classe de SPDA I recomendada para para o caso em estudo. A base superior da edificação tem dimensões de 2 m x 2m, conforme demonstrado na Figura 59.

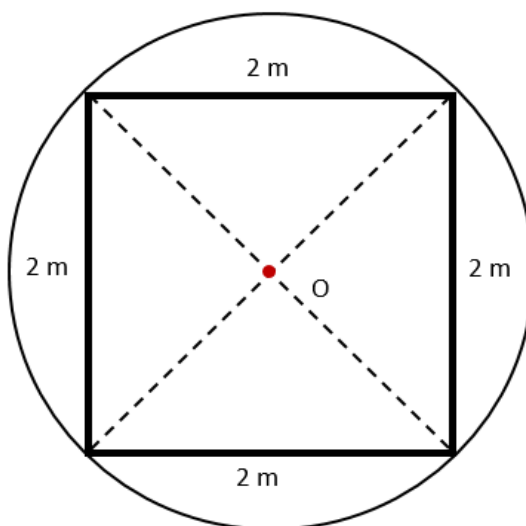
Figura 39 - Dimensões do topo da caixa d'água



Fonte: elaborado pelo autor

Com base nas dimensões do topo da edificação, será inserido um captor no centro da área, de modo que se apresentem duas diagonais na área delimitada, conforme a Figura 60. O captor terá de delimitar a área da base do cone. Sendo $R_p(OC)$ o valor do raio da base do cone.

Figura 40 - Raio delimitado pelo cone da área de proteção do captor.



Fonte: elaborado pelo autor

$R_p(OC) = \frac{\sqrt{2^2+2^2}}{2} = 1,41$ m, onde 1,41 m deve ser o raio mínimo de proteção que o captor deve cobrir.

Para a caixa d'água, o mastro a ser utilizado será de altura de 2 m. Para o cálculo do ângulo de proteção α , utiliza-se a seguinte equação $R_p(OC) = h_1 * \text{tg}(\alpha)$, onde h_1 é a altura do mastro acima do plano de referência, e α o ângulo que varia de acordo com a classe do SPDA e a altura H em questão.

Conforme o Gráfico FG, para um mastro de 2 metros e Classe de SPDA I, o ângulo α é de 70°.

Logo, tem-se:

$$R_p(OC) = 2 * \text{tg}(70) = 2,44 \text{ m}$$

Deste modo, a instalação de uma haste com captor tipo Franklin cobre o raio de 2,44m, superior ao mínimo necessário para a segurança da caixa d'água.

Figura 41 - Vista lateral da caixa d'água com SPDA proposto.



Fonte: elaborado pelo autor

Com as modificações e ajustes estruturais feitos no PDA foi possível fazer com que o nível de risco fique dentro dos parâmetros aceitáveis de acordo com a NBR 5419 de 2015, bem como a NT 40/2019 do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás, conforme comparativo de antes e depois das melhorias mostrado na Figura 42.

Figura 42 – Comparativo entre antes e depois das correções e melhoras no SPDA



Fonte: elaborado pelo autor

As mudanças e adequações vão garantir que os impactos decorrentes de descargas atmosféricas na estrutura sejam minimizados, preservando vidas e o patrimônio da indústria bem como o estoque que fica armazenado no mesmo espaço.

11 CONCLUSÃO

A realização deste estudo permitiu uma análise detalhada do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas de uma indústria, fundamentada nos princípios e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5419:2015.

A partir da caracterização do fenômeno das descargas atmosféricas, da avaliação da densidade de raios na região de Itumbiara – GO e da aplicação da metodologia de gerenciamento de riscos, foi possível compreender de forma objetiva os perigos associados à incidência de raios sobre a estrutura analisada.

Os resultados obtidos por meio do cálculo dos componentes de risco evidenciaram a importância de um SPDA corretamente dimensionado e adequado às características físicas da edificação, às condições do entorno e aos sistemas internos existentes.

A análise do sistema instalado permitiu identificar conformidades e pontos passíveis de melhoria, demonstrando que a simples presença de um SPDA não garante, por si só, níveis aceitáveis de segurança, sendo indispensável sua correta aplicação conforme os requisitos normativos vigentes.

A proposta de adequação do SPDA, aliada à reavaliação dos riscos após a implementação das medidas de proteção recomendadas, mostrou-se eficaz na redução dos valores de risco para níveis inferiores aos limites toleráveis estabelecidos pela norma, reforçando a relevância da abordagem preventiva e técnica adotada pela NBR 5419:2015.

A aplicação criteriosa das normas técnicas, aliada a uma análise de risco bem fundamentada, é essencial para garantir a segurança de estruturas industriais frente às descargas atmosféricas.

Trabalhos futuros podem contemplar a integração do SPDA com sistemas de proteção contra surtos elétricos (DPS), avaliando de forma conjunta a proteção externa e interna da edificação, especialmente em ambientes industriais com elevada sensibilidade de equipamentos eletrônicos. A análise comparativa entre diferentes métodos de captação, como o método do ângulo de proteção, da esfera rolante e da malha de captadores, também pode contribuir para a escolha de soluções mais eficientes e economicamente viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5419-1: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 1:** Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 5419-2: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 2:** Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 5419-3: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 3:** Danos físicos a estrutura e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015.

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

CABRAL, MATHEUS MONTEIRO. **Análise do SPDA do Refeitório do IFG – Campus Itumbiara à luz da NBR 5419/2015 – Estudo de Caso.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia Elétrica – Instituto Federal de Goiás. 2021.

DEHN und SÖHNE. **Lightning Protection Guide.** 3. ed. Neumarkt, Alemanha, 2014.

ELAT/CCST/INPE. **Dados da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas Totais.** São José dos Campos – SP, 2020

ELAT, G. de E. A. **Estágio das tempestades.** 2016. Acessado em 05 de maio de 2025. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/evolucao.php>>.

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas.** 4. ed. Florianópolis: Labplan, 2009.

LEITE, Duilio Moreira; LEITE, Carlos Moreira. **Proteção contra descargas atmosféricas: Edificações, baixas tensões e linhas de dados.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Mydia editora, 1997. 293 p.

NACCARATO, K. P. **Análise das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil.** São José dos Campos: INPE, 2005.

SIMOMURA, C. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=80>>. Acesso em: 13 dez. 2025.

SIMOMURA, C. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/eletricidade.atmosferica/estrutura.eletrica.da.atmosfera.php>>. Acesso em: 21 out 2025.

SOUZA et al. SPDA - sistema de proteção contra descargas atmosféricas: **Teoria, prática e legislação.** 2º edição. São Paulo: Editora Érica, 2020.

TOPOGRAPHIC MAPS, **Mapa topográfico Itumbiara**, altitude, relevo. Disponível em: <<https://ptbr.topographic-map.com/maps/gieg/Itumbiara/>>. Acesso em: 16 nov.2025.

UMAN, M. A. **The lightning discharge**. Nova York: Academic Press, 1987.

VISACRO, S. **Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia**. [S.l.]: Artliber, 2005.