

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

JÁREDE AGUIAR SOUSA SILVA

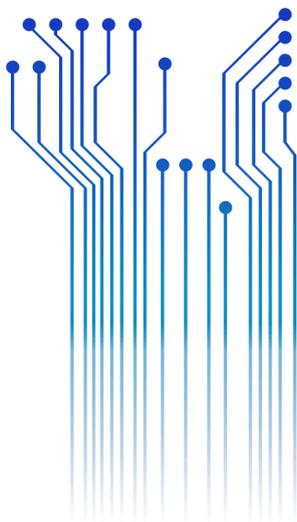


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE DE CONFORMIDADE DE SPDA SEGUNDO A NBR 5419/2015:
UM ESTUDO DE CASO



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2024

JÁREDE AGUIAR SOUSA SILVA

ANÁLISE DE CONFORMIDADE DE SPDA SEGUNDO A NBR 5419/2015:
UM ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Orientador:

Professor Ronimack Trajano de Souza, D. Sc.

Campina Grande - PB 2024

JÁREDE AGUIAR SOUSA SILVA

ANÁLISE DE CONFORMIDADE DE SPDA SEGUNDO A NBR 5419/2015:
UM ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Aprovado em 10 / 10 / 2024

Jalberth Fernandes de Araujo, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Ronimack Trajano de Souza, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, que me guia, e à minha família, especialmente aos meus pais e à minha esposa, companheira fiel, dedicada, corajosa e exemplar.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, agradeço por Sua presença constante e amorosa em minha vida. Nos momentos de solidão e dificuldade, Sua luz me guiou, me deu força e trouxe a paz que tanto precisei para seguir adiante. Sem Ele, nada disso teria sido possível.

Aos meus pais, Ivaneide Ermina de Aguiar Sousa Silva e Francisco Sousa Silva, minha eterna gratidão por todo o amor, apoio e sacrifícios feitos ao longo da minha trajetória. Vocês abriram mão de tanto para garantir que eu tivesse acesso a uma educação de qualidade e oportunidades que ampliaram meus horizontes. Este sonho não seria realidade sem o suporte de vocês.

À minha esposa, Andreza Santos Vera, sou imensamente grato pelo amor, paciência e dedicação que demonstrou a cada passo desta jornada. Sua compreensão e apoio incondicional foram minha âncora em meio às dificuldades, e suas palavras de encorajamento sempre me impulsionaram a continuar.

A minha irmã, Andresa Aguiar, e às minhas tias, Ivanilde Aguiar e Ivanete Aguiar, agradeço por todo o carinho, apoio e pelos momentos em que estiveram ao meu lado, me incentivando a seguir em frente.

Aos meus primos, Ariella Aguiar e Kelsilândia Aguiar, que sempre torceram por mim e me ofereceram suporte nos momentos em que precisei, meu muito obrigado.

Aos meus avós, Osvaldo José Aguiar, Anicéia Ermina e Maria Felipe, agradeço pela sabedoria, amor e exemplo de vida. Ao meu avô, Maurício José da Silva, em memória, deixo meu agradecimento especial por tudo o que ele representou e pelo legado de valores que ele nos deixou.

Ao professor Ronimack Trajano, minha mais sincera gratidão por sua orientação, paciência e valiosas contribuições ao longo deste trabalho. Sua expertise foi fundamental para meu desenvolvimento acadêmico, e sua confiança em mim foi uma fonte de motivação constante.

Aos meus colegas Gustavo Rodrigues, Felipe Alexandre, João Venâncio, Márcio Mariel, Yasmin Eustáquio, Larissa Teixeira e Adeilson Leal, agradeço por cada momento de amizade, aprendizado e parceria. Juntos, enfrentamos desafios e compartilhamos conquistas, e isso tornou essa jornada muito mais leve e especial.

Não posso deixar de agradecer também a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este projeto se tornasse realidade. Aos amigos, familiares, professores e colaboradores que, de alguma forma, ofereceram conselhos, palavras de encorajamento ou simplesmente acreditaram em mim, meu muito obrigado. Cada gesto, por menor que fosse, teve um impacto significativo no meu percurso e me ajudou a chegar até aqui.

*“Porque dele, e por ele,
E para ele são todas as coisas;
Glória, pois, a ele
Eternamente. Amém!”*

Bíblia Sagrada (Romanos 11.36).

RESUMO

O estudo sobre descargas atmosféricas destaca que, embora não seja possível impedir sua ocorrência, é fundamental adotar medidas de proteção para minimizar seus impactos. O Brasil lidera o ranking mundial de incidência de raios, com cerca de 78 milhões de descargas anuais, resultando em 2.194 mortes entre os anos 2000 e 2019, conforme dados do INPE (2024). As descargas representam riscos significativos para estruturas, pessoas e equipamentos, o que torna essencial a implementação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), conforme orienta a NBR 5419/2015. O SPDA é composto por um sistema externo (captadores, condutores de descida e aterramento) e um sistema interno, que inclui Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) para mitigar os efeitos elétricos das descargas. Além disso, o correto dimensionamento do aterramento é crucial para a segurança das instalações elétricas. No entanto, muitas instalações de SPDA não seguem as normas técnicas devido a falhas de planejamento, uso de materiais inadequados, falta de manutenção e profissionais não qualificados, o que aumenta os riscos à vida humana e ao patrimônio. Este trabalho visa analisar a conformidade e a eficiência de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) instalados em edificações no município de Campina Grande, PB, e sugerir melhorias para corrigir falhas e aprimorar a segurança das instalações.

Palavras-chave: SPDA, Proteção, TCC, Descarga Atmosférica, ABNT NBR 5419/2015.

ABSTRACT

The study on lightning discharges highlights that, although it is impossible to prevent their occurrence, it is essential to adopt protective measures to minimize their impacts. Brazil leads the global ranking in lightning incidence, with approximately 78 million discharges annually, resulting in 2,194 deaths between 2000 and 2019, according to data from INPE (2024). Lightning poses significant risks to structures, people, and equipment, making it crucial to implement Lightning Protection Systems (LPS) as guided by NBR 5419/2015. The LPS is composed of an external system (air terminals, down conductors, and grounding) and an internal system, which includes Surge Protection Devices (SPD) to mitigate the electrical effects of lightning strikes. Furthermore, proper grounding design is essential for the safety of electrical installations. However, many LPS installations do not comply with technical standards due to poor planning, the use of inadequate materials, lack of maintenance, and unqualified professionals, increasing risks to human life and property. This study aims to analyze the compliance and efficiency of Lightning Protection Systems (LPS) installed in buildings in the municipality of Campina Grande, PB, and suggest improvements to correct faults and enhance the safety of installations.

Keywords: Lightning Protection System (LPS), Protection, Thesis, Atmospheric Discharge, ABNT NBR 5419/2015.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação de uma descarga atmosférica	18
Figura 2 – Formato característico de uma onda de descarga atmosférica	19
Figura 3 – Conexão entre as partes da ABNT NBR 5419	28
Figura 4 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.	29
Figura 5 – Laço em condutor de descida	35
Figura 6 – Comprimento mínimo I_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA	37
Figura 7 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor	41
Figura 8 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor	41
Figura 9 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor	42
Figura 10 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.	42
Figura 11 – Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes. .	43
Figura 12 – Elementos de um SPDA que utilizam materiais combustíveis na parede...	44
Figura 13 – Volume de proteção para $H_C < R_e$	45
Figura 14 – Volume de proteção para $H_C > R_e$	45
Figura 15 – Proteção em formato de gaiola.	46
Figura 16 – Condução da corrente de descarga atmosféricas para o subsistema de descida e aterramento.	46
Figura 17 – Modelo de DPS classe II.	50
Figura 18 – Esquema de instalação dos DPS nos quadros elétricos – Sistema TN-S	52
Figura 19 – Edifício do Centro de Humanidades - CH (UFCG)	58
Figura 20 – Edifício Centro de Humanidades -CH (UFCG).	59
Figura 21 – Departamento de Arte e Mídia - DART (UFCG).	59
Figura 22 – Auditório Rosa Tânia (UFCG).	60
Figura 23 – Detalhe da instalação de conexão de ensaio para condutores de descida na parede de alvenaria.	60
Figura 24 – Edifício Centro de Humanidades - CH (UFCG)	61
Figura 25 – Detalhe do anel de aterramento.	62
Figura 26 – Edifício do Centro de Humanidades - CH (UFCG)	62
Figura 27 – Auditório Rosa Tânia (UFCG).	63
Figura 28 – Prédio do Ministério Público Federal em Campina Grande - PB.	63
Figura 29 – Posto de Gasolina São Marcos.	63
Figura 30 – Posto de Gasolina São Luiz.	64
Figura 31 – Posto de Gasolina Ipiranga.	64
Figura 32 – Fixadores para condutores de malha e descida.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das descargas atmosféricas	20
Tabela 2– Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica	27
Tabela 3– Valores típicos de risco tolerável RT.....	28
Tabela 4– Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP).....	32
Tabela 5– Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondentes aos níveis de proteção (NP).....	33
Tabela 6– Relação entre nível de proteção para descargas atmosféricas e a classe de SPDA.....	33
Tabela 7– Valores típicos de distância dos condutores de descida, de acordo com a classe do SPDA	34
Tabela 8 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captadoras e condutores de descida	38
Tabela 9 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento...	39
Tabela 10 – Valores do espaçamento	47
Tabela 11 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.....	48
Tabela 12 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)	49
Tabela 13 – Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de Ferro e Aço)
BEL	Barramento de Equipotencialização Local ou Suplementar
BEP	Barramento de Equipotencialização
CH	Centro de Humanidades
DART	Departamento de Arte e Mídia
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
ELAT	Laboratório de Eletricidade Atmosférica
IACS	International Annealed Copper Standard (Padrão Internacional de Cobre Recozido)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse (Pulso Eletromagnético de Relâmpago)
NBR	Norma Brasileira Reguladora
NFPA	National Fire Protection Association (Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios)
NP	Nível de Proteção
NR	Norma Regulamentadora
PDA	Proteção contra Descarga Atmosférica
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
C	Coulomb
Cu	Cobre
D1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
D2	Danos físicos
D3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos
D _{CD}	Distância entre os condutores de descida
Fe	Ferro
H	Altura
H _C	Altura de extremidade do captor em relação à base
KA	Quilo Ampere
L1	Perda de vida humana
L2	Perda de serviço ao público
L3	Perda de patrimônio cultural
L4	Perda de valor econômico
m	Metro
N _{CD}	Número de condutores de descida
P	Ponto de interseção
P _{ED}	Perímetro da edificação em metros
R1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura
R2	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura
R3	Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura
R4	Risco de perda de valor econômico em uma 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)

Re	Raio da Esfera Rolante
re	Raio médio
RM	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)
R _P	Raio da base do cone de proteção
RS	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo
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)
s	Segundo
α	Ângulo de proteção com a vertical
μ	Micro

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivo específicos	15
1.2	Justificativa	16
2	Fundamentação Teórica.....	17
2.1	Descargas Atmosféricas.....	17
2.2	Forma de Onda do Raio	19
2.3	Histórico e Evolução do SPDA	21
2.4	Consequência das Descargas Atmosféricas	24
2.4.1	Fontes e Tipos de Danos a uma Estrutura (ABNT NBR 5419-1: 2015).....	25
2.4.1.1	Descargas Atmosféricas na Estrutura – S1	25
2.4.1.2	Descargas Atmosféricas Próximas a Estrutura – S2	25
2.4.1.3	Descargas Atmosféricas Sobre Linhas Elétricas e Tubulações Metálicas que Adentram a Estrutura – S3.....	25
2.4.1.4	Descargas Atmosféricas Próximas a Linhas Elétricas e Tubulações Metálicas que Entram na Estrutura – S4	26
2.4.2	Tipos de Perdas	26
2.4.3	Risco e Componentes de Risco	27
2.4.4	Risco Tolerável RT	27
2.4.5	Gerenciamento de Risco.....	29
3	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas - SPDA.....	31
3.1	Nível de Proteção.....	31
3.2	Classe de Proteção	33
3.3	Subsistemas.....	33
3.3.1	Subsistema de Captação	34
3.3.2	Subsistema de Descida	34
3.3.3	Subsistema de Aterramento.....	36
3.3.4	Material	38
3.4	Métodos de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	40
3.4.1	Método do Ângulo de Proteção (Método de Franklin)	40
3.4.2	Método da Esfera Rolante (Método Eletrogrométrico).....	44
3.4.3	Método das Malhas (Método da Gaiola de Faraday)	46
3.5	Sistema de Proteção Interno.....	47

3.5.1	Equipotencialização	48
3.5.1.1	Materiais e Dimensões dos Componentes de Equipotencialização	49
3.5.2	Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS).....	49
3.5.3.1	Localização do DPS	51
3.6	Erros em Instalações de SPDA	52
3.6.1	Erro por Desconformidade com Norma Técnicas.....	52
3.6.2	Erro na Malha de Aterramento.....	55
3.6.3	Erro na Interligação Equipotenciais	56
4	Metodologia.....	57
5	Estudo de Caso.....	58
5.1	Análise das Edificações	58
5.1.1	Erros na Quantidade de Condutores de Descida	58
5.1.2	Erro na Instalação do Conector de Medição	59
5.1.3	Erro na Instalação do Aterramento.....	61
5.1.4	Erro na Fixação dos Condutores da Malha de Captação e Condutores de Descida.....	62
5.2	Análise dos Resultados	65
6	Considerações Finais	66
	Referências	67

1 INTRODUÇÃO

Ao estudarmos os fenômenos da natureza, observamos que não há métodos capazes e nem dispositivos que possam alterar a natureza de forma a impedir a ocorrência de descargas atmosféricas. A ação do raio, ocorre em um curto espaço de tempo, dificultando a sua observação, além de ocorrer aleatoriamente na superfície da terra de forma fulminante.

De acordo com o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (2024), o Brasil encontra-se no topo do ranking mundial como o país com a maior incidência de descargas atmosféricas por ano, sendo estas cerca de 78 milhões, ocasionando no período entre anos 2000 e 2019, cerca de 2194 mortes, devido algumas características geográficas e físicas do país.

As descargas atmosféricas que atingem as estruturas, sendo estas linhas elétricas, tubulações metálicas que pertencem à estrutura, ou que atingem o solo que estão próximo a elas, representam perigos tanto para as pessoas, quanto para as estruturas, seus conteúdos e instalações, fazendo- se assim necessário, e essencial, medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

Assim o SPDA entra como um dos principais sistemas na proteção contra descargas atmosféricas hoje desenvolvidas. De acordo com a NBR 5419/2015 o SPDA é composto de um sistema externo e interno de proteção, sendo o SPDA externo compreendido por subsistema de captação, subsistema de descida e subsistema de aterramento. No sistema interno, temos um conjunto de dispositivos que atuam na redução dos efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descargas atmosférica como proteção para o sistema, sendo conhecido como DPS (Dispositivo de proteção contra surtos).

Toda instalação elétrica de média e baixa tensão para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto. (MAMEDE, 2012).

Neste contexto, observa-se que muitas instalações de SPDA encontram-se em desacordo com o as normas técnicas, pois o planejamento inadequado, o uso de materiais

de baixa qualidade, aterramento ineficiente, falta de manutenção e inspeção, além da instalação ser realizada por profissionais não qualificados, podem aumentar os riscos contra a vida humana e de animais, além de causar danos materiais, em estruturas e equipamentos, fazendo-se necessário a intervenção a partir de manutenção para corrigir os erros ocorridos na implantação dos sistemas de SPDA. O gerenciamento de projetos é uma atividade que envolve a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades de um projeto, a fim de cumprir seus requisitos (PMI, 2017).

O projeto e execução do sistema de SPDA, deverão seguir normas e diretrizes estabelecidas de acordo com a ABNT NBR 5419/2015 , pois com a imperícia tanto no projeto quanto na execução, os responsáveis poderão responder conforme estabelece no Art. 951 do código civil que diz: “O disposto nos artigos.: 948, 949 e 950 aplica-se ainda no caso de indenização devida por aquele que, no exercício da atividade profissional, por negligência, imprudência ou imperícia, causar a morte do paciente, agravar-lhe o mal, causar-lhe lesão, ou inabilitá-lo para o trabalho.” Aplicando-se o Art. 18, inciso 2 do código penal, que diz: Crime culposo, quando o agente deu causa ao resultado por imprudência, negligência ou imperícia. (Incluído pela Lei nº 7.209, de 11.7.1984).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo estudar e avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas instalados em edificações no município de Campina Grande da Paraíba – PB. Com este estudo pretende-se sugerir melhorias no Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas implantadas e reduzir erros na instalação de SPDA.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O Avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas em algumas edificações no município de Campina Grande da Paraíba – PB.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Levantamento de edificações com SPDA instalado;
- Verificar se o SPDA está em conformidade com a NBR 5419/2015;
- Demonstrar a importância da existência de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, ou SPDA, em edificações;
- Apresentar alguns erros cometidos em projetos de SPDA com a finalidade de mitigar os erros cometidos nesses tipos de sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA

Mediante a esse cenário de proteção contra descargas atmosféricas, surgem preocupações cada vez mais pertinentes: as descargas atmosféricas podem causar lesões graves ou até mesmo fatais para pessoas ou animais que estejam próximos ao local de impacto do raio. Dessa forma, o estudo sobre SPDA visa mitigar os riscos de perdas humanas e materiais, aumentando a segurança das pessoas e dos animais.

A implantação do SPDA de forma eficaz protege significativamente contra perdas materiais, além de preservar a integridade de infraestruturas críticas. Observa-se que, do ponto de vista das empresas e indústrias, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser crucial para aumentar a confiabilidade e a continuidade das operações, tendo em vista que os danos causados por raios aos sistemas, podem interromper processos produtivos, assim gerando prejuízos financeiros e logísticos em toda a produção.

Além disso, o desacordo com o as normas técnicas de muitas instalações de SPDA, sendo algumas delas, o uso de materiais de baixa qualidade, aterramento ineficiente, falta de manutenção e inspeção, além da instalação ser realizada por profissionais não qualificados, podem ocasionar perigos contra a vida humana e de animais, além de causar danos materiais, em estruturas e equipamentos, fazendo-se necessário a intervenção, tanto na forma estrutural, corrigindo irregularidades, quanto de forma jurídica, tendo em vista a imperícia praticada no projeto e/ou na instalação do sistema.

Nesse cenário, o estudo e a conscientização sobre os danos causados pelas descargas atmosféricas estão se tornando cada vez mais importantes. A medida que a tecnologia de para-raios e a proteção contra surtos atmosféricos continuam a desempenhar um papel fundamental na proteção da vida e dos bens materiais, é imprescindível entender e mitigar os impactos das descargas atmosféricas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados os fenômenos relacionados às descargas atmosféricas, começando com uma análise dos raios e de sua forma de onda característica. Em seguida, será apresentada a evolução histórica dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Além disso, serão discutidas as principais consequências das descargas atmosféricas, ressaltando a importância de uma proteção eficaz para minimizar danos e riscos.

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Ao estudarmos sobre o sistema de SPDA, faz-se necessário o entendimento sobre o que seria descargas atmosféricas e como se dá o comportamento desse fenômeno natural.

Analisando as descargas atmosféricas, observamos a sua origem entre a junção das nuvens de chuva ou entre uma destas nuvens com a terra. De acordo com Kindermann, a nuvem carregada induz no solo cargas positivas que ocupam uma área correspondente ao tamanho da nuvem. Como a nuvem é arrastada pelo vento à região de cargas positivas no solo acompanha o deslocamento da mesma, formando praticamente uma sombra de cargas positivas que segue a nuvem. (KINDERMANN, 1997, pg.10)

Percebe-se que a nuvem e a superfície da terra se comportam como um capacitor. Como a camada de ar que as separa é quase um isolante perfeito, isso é, tem uma elevada rigidez dielétrica, pode não ocorrer uma descarga entre ambas. Mas, quando a carga total, sob tensão elevada, é muito grande, o excesso de carga na nuvem provoca a emissão de um raio preliminar, denominado como descarga – piloto, dessa forma dirigindo-se para um polo de carga oposta, como o solo ou outra nuvem. Após a ionização do ar, devido a descarga-preliminar, o gás se torna um bom condutor de eletricidade, acontecendo em sequência a descarga guia, seguindo o percurso com maior condutibilidade. (NISKIER, Julio; A. J MACINTYRE, 2013, pg. 295)

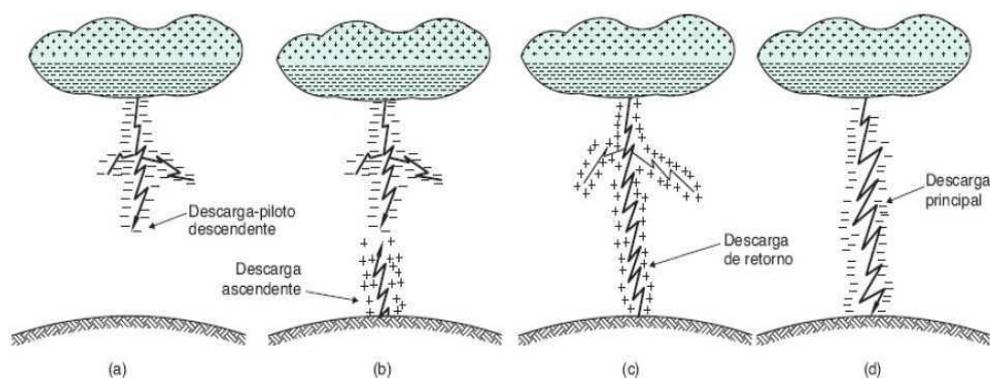
Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande

extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade (picos de intensidade de corrente acima de um quilo ampere), que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro de tempestades. A descarga inicia quando o campo elétrico produzido por estas cargas excede a capacidade isolante, também conhecida como rigidez dielétrica, do ar em um dado local na atmosfera, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Quebrada a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas. Existem diversos tipos de descargas, classificadas em função do local onde se originam e do local onde terminam. (INPE, 2024).

As descargas atmosféricas possuem valores de corrente que variam de milhares a centenas de milhares de ampères. Os valores específicos de comprimento, também variam de alguns quilômetros a centenas de quilômetros. Durante o momento que um raio tenha contato com solo, são trocados cerca de 25 C de carga, dependendo do tipo de descarga que tenha ocorrido (PINTO JUNIOR, O.; PINTO, I. D. A., 2008).

Com o caminho previamente ionizado como descrito anteriormente, a descarga principal, ocorrerá, após os potenciais de nuvem e solo estiverem conectados, pois desta maneira, será criada uma descarga de retorno do solo até a nuvem. A Figura 1 ilustra as etapas de formação da descarga atmosférica.

Figura 1 – Formação de uma descarga atmosférica



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

As probabilidades de ocorrência de valores de pico das descargas atmosféricas, segundo a NBR 5419:2015, são:

- 95 % \leq 5 KA;
- 80 % \leq 20 KA;

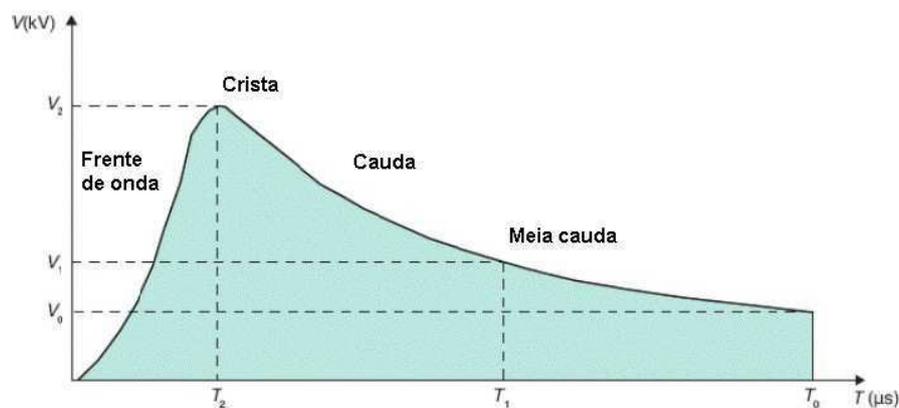
- 60 % \leq 30 KA;
- 20 % \leq 60 KA;
- 10 % \leq 80 KA.

2.2 FORMA DE ONDA DO RAIO

Ao analisarmos a forma de onda do raio, verificamos que vários estudos foram realizados com o intuito de saber qual seria a forma do impulso da corrente de descarga atmosférica ocasionada entre nuvem e terra ou entre nuvens. Após incansáveis análises através de fotografias e registros dos oscilógrafos, observou-se a forma da onda média do impulso da descarga, bem como sua duração.

De acordo com Mamede Filho, 2017, na Figura 2, é mostrada a forma de onda do impulso de corrente da descarga atmosférica em função do tempo. A onda atinge seu valor máximo de tensão V_2 em um tempo T_2 , compreendido entre 1 e 10 μs . Já o valor médio V_1 , correspondente ao valor médio da cauda da onda, é atingido em um intervalo de tempo T_1 de 20 a 50 μs caindo para $V \cong 0$, ao final de T_0 , no intervalo de 100 a 200 μs . A onda de tensão característica foi normalizada para valores de $T_1 = 50 \mu\text{s}$ e $T_2 = 1,5 \mu\text{s}$, normalmente conhecida como onda de $1,2 \times 50 \mu\text{s}$. Já a onda característica da corrente de descarga foi normalizada para $T_1 = 20 \mu\text{s}$ e $T_2 = 8 \mu\text{s}$ também conhecida como onda de $8 \times 20 \mu\text{s}$. (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 2 – Formato característico de uma onda de descarga atmosférica



Fonte: Adaptado (MAMEDE FILHO, 2017).

Pela Figura 2, pode se definir alguns termos importantes da descarga do Raio:

- **Frente de Onda** – Corresponde ao período da subida da tensão do raio. Esta duração é ínfima, esta frente de onda corresponde à ação fulminante do raio, é responsável pelos danos diretos e indiretos nos circuitos elétricos;
- **Valor da Crista** – É valor máximo alcançado pela corrente ou tensão do raio;
- **Cauda do Raio** – Corresponde à forma descendente do raio, vai desde o valor de crista até o final do raio, esse período é longo e suave comparado com a frente de onda;
- **Período de Meia Cauda** – É o tempo em que a cauda atinge o valor de meia crista.

Em termo de efeito e danos, caso o equipamento a ser protegido sobreviva ao raio até o período de meia cauda (T1), o restante do período até o final da cauda é suave e mais tranquilo.

A gama de variação dos valores dos raios é uma questão preocupante, exigindo maiores estudos. Valores medidos e registrados estão indicados na Tabela 1:

Tabela 1 – Valores das descargas atmosféricas

Corrente	2.000 a 200.000 A
Tensão	100 a 100 KV
Duração	70 a 200 μ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência liberada	1 a 8 bilhões de KW
Energia	4 a 10 KWh
Tempo de crista	1,2 μ s
Tempo de meia cauda	50 μ s
$\frac{di}{dt}$	5,5 KA μ s

Fonte: (STEFANI, 2011, p.15).

2.3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DO SPDA

Sabe-se que o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), popularmente conhecido como para-raios, é um conjunto de dispositivos e técnicas utilizados para proteger estruturas e pessoas dos efeitos das descargas atmosféricas, ou raios que são fenômenos atmosféricos qualificados pela criação de correntes elétricas com milhões de volts de capacidade e que atingem a superfície provocando prejuízos materiais e mortes.

Segundo dados do INPE, o Brasil lidera o ranking mundial de ocorrências de raios por ano, com cerca de 70 milhões de ocorrências registradas em todo o território nacional (INPE, 2024). Nesse sentido, o autor Isaacson (2015) afirma que as descargas atmosféricas são um fenômeno impressionante, que por muito tempo foi considerado uma manifestação da fúria dos deuses. Em 1706, nasceu Benjamin Franklin, que anos mais tarde desmistificou a origem dos raios. Franklin, nascido em Boston, nos Estados Unidos, teve uma trajetória multifacetada, trabalhando desde cedo como jornalista, editor, autor, abolicionista, filantropo, funcionário público, diplomata, cientista e inventor (ISAACSON, 2015).

O Brasil surge na posição 191, e o local com mais raios está localizado ao noroeste de Manaus, próximo do Rio Negro. Apesar disso, quando se somam todos os raios sobre o território nacional, o Brasil é o país com mais raios no mundo, conveniente a sua dimensão continental e por estar nos trópicos. "Só no Brasil temos, em média, aproximadamente 110 milhões de raios totais por ano" (ALBRECHT, GOODMAN, et al., 2016).

No entanto, O SPDA foi criado com o intuito de proteger a estrutura para o qual foi projetado de uma incidência direta de raio, servindo assim de ponto de escoamento para a descarga que por ventura venha a entrar em contato com este sistema, direcionando todo o fluxo de corrente oriunda deste fenômeno, para o solo, servindo como um caminho de baixa impedância através de percursos definidos neste sistema de proteção (VISACRO, 2005).

Neste sentido, o autor, Romero, 2007 considera como fenômenos elétricos de grande extensão e ampla amplitude, originados na presença de diversas partículas eletrificadas presentes na atmosfera. Este acontecimento também conhecido como raio, já era conhecido pelos povos mais antigos, que, além disso, as reverenciavam, atribuindo

sua ocorrência a desejos próprios de figuras divinas, reverenciadas durante a antiguidade (ROMERO, 2007).

Nos meados de 1748, Franklin já desenvolvia estudos relacionados a eletricidade, o que o ocuparia juntamente com a vida política e de negócios, até sua morte em 1790. Ele desenvolveu a descoberta das cargas positivas e negativas da eletricidade que lhe renderia uma reputação internacional. Já em 1752, descobriu brincando com seu filho durante uma tempestade com uma pipa em formato de papagaio, sentiu pequenas descargas elétricas, o que contribuiu para a invenção do para-raios tipo Franklin para proteger as casas, e estruturas e instalações. (ISAACSON, 2015).

No entanto, a evolução do SPDA é marcada por avanços na ciência e tecnologia para melhorar a segurança e eficiência na proteção contra raios. Com o passar do tempo, após a descoberta de Franklin, hastes metálicas começaram a ser instaladas em edifícios e igrejas, especialmente na Europa e América do Norte, para protegê-los de raios. Este foi o início do uso de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Desenvolveu-se teorias que explicassem o fenômeno do raio. Atualmente pode-se dizer que a formação dessas descargas elétricas tem origem no interior das nuvens pela fricção das partículas de água. Em estudos experimentais foi verificado que as cargas positivas ficam na parte superior e as cargas negativas na parte inferior das nuvens, adquirindo característica bipolar. (ISAACSON, 2015).

Sobre esse assunto, desde os tempos mais antigos a descarga atmosférica (DE SOUZA, RODRIGUES, et al., 2012) vem sendo parte fundamental dentro da vida humana, tanto que alguns historiadores atribuem a este fenômeno da natureza a maior descoberta feita pelos seres humanos (MUSITANO), o fogo (COSTA, 1995). Sendo que, a descoberta do fogo, possui elementos que podem demonstrar a grandiosidade e o poder de destruição que este fenômeno possui, implicando desde os tempos mais antigos um perigo iminente à sociedade.

Porém, com o aumento do uso de para-raios, e a evolução das tecnologias foram desenvolvidos normas e padrões para guiar a instalação e manutenção desses sistemas. Como a norma NFPA 780, publicada pela National Fire Protection Association nos Estados Unidos, que fornece diretrizes para a instalação de SPDA. Os sistemas de proteção evoluíram para incluir componentes adicionais, como condutores de descida, que levam a corrente do raio ao solo, e malhas de aterramento, que dispersam a energia no solo de forma segura.

Segundo Potier, 2010, os sistemas de captação evoluíram para incluir hastes múltiplas e redes de cabos que cobrem uma área maior, aumentando a probabilidade de interceptação de raios. Atualmente, em vigor no Brasil, possuímos a NBR 5419, uma norma brasileira que rege a regulamentação dos sistemas de proteções contra descargas atmosféricas. Esta norma possui como base a norma europeia IEC 61024. Segundo a norma brasileira, podemos utilizar os métodos de Franklin, Eletro geométrico e método de Faraday. No ano de 2006, a norma europeia IEC 61024, foi totalmente reformulada, recebendo nova nomenclatura, tornando-se a partir de então a IEC 62305. Esta norma pode ser dividida em quatro volumes, sendo eles: princípios gerais, gerenciamento de riscos e danos físicos, proteção de sistemas elétricos e eletrônicos no interior de estruturas protegidas (POTIER,2010).

Neste sentido, conforme foi relatado pelos cientistas (MUSITANO), uma das principais vertentes da história que coloca como principal agente na descoberta do fogo as descargas atmosféricas (VISACRO, 2005).

Onde o homem descobriu e passou a ter contato com o fogo através da observação da incidência destas descargas em árvores e a destruição que a mesma causava, deixando um rastro de incêndios (SEITO, 2008) nos pontos de contato que essas descargas mantinham com a superfície do nosso planeta, aterrorizando e criando curiosidade nos nossos ancestrais.

É fato que as tecnologias modernas possibilitam o desenvolvimento de sistemas de proteção ativos, como o para-raios com dispositivo de ionização, que utilizam tecnologia para aumentar a probabilidade de captura de raios. Estes sistemas emitem uma corrente de íons que cria um caminho condutor para o raio, atraindo-o para a estrutura de proteção.

Técnicas de modelagem e simulação são utilizadas para otimizar o design de SPDA e prever o comportamento dos raios, permitindo um projeto mais preciso e eficiente permitindo que sistemas de proteção contra raios sejam supervisionados em tempo real, ajudando na detecção precoce de falhas e na manutenção preventiva.

Portanto, com foco crescente na proteção de infraestruturas críticas, como plantas de energia, aeroportos e centros de dados, levou ao desenvolvimento de sistemas de SPDA mais robustos e complexos, capazes de suportar condições extremas.

O SPDA moderno frequentemente se integra com outros sistemas de segurança, como sistemas de proteção contra surtos, para oferecer uma defesa completa contra as ameaças elétricas e com a crescente preocupação com o meio ambiente, há um foco maior

em designs sustentáveis e ecológicos para SPDA, incluindo o uso de materiais recicláveis e métodos de instalação que minimizam o impacto ambiental. O SPDA desempenha um papel crucial na proteção de vidas e propriedades contra os efeitos devastadores dos raios.

Eles são essenciais em regiões propensas a tempestades e têm evoluído continuamente para se adaptar às necessidades de segurança moderna. A evolução do SPDA reflete avanços na compreensão científica dos raios e na capacidade tecnológica de mitigar seus riscos.

Portanto, foi impactante o que as novas tecnologias foram capazes de promover na melhoria do desenvolvimento do SPDA demonstrando que a interação entre ciência, engenharia e inovação foi capaz de resolver um problema natural significativo, desde as primeiras hastes de Franklin até os sistemas de proteção modernos e avançados, a proteção contra raios continua a ser uma área de desenvolvimento ativo, com foco em aumentar a segurança e a eficiência na proteção contra descargas atmosféricas.

2.4 CONSEQUÊNCIA DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Ao se estudar os fenômenos da natureza, observamos que não há métodos capazes e nem dispositivos que possam alterar a natureza de forma a impedir a ocorrência de descargas atmosféricas. A ação do raio, ocorre em um curto espaço de tempo, dificultando a sua observação, além de ocorrer aleatoriamente na superfície da terra de forma fulminante.

No entanto, existem dispositivos e métodos que podem minimizar os impactos das descargas atmosféricas quando estas atingem edificações, estruturas ou linhas elétricas próximas. Reduzir os efeitos dessas descargas ajuda a diminuir os riscos para as pessoas, para as próprias estruturas, seus conteúdos e instalações.

Para mitigar os efeitos das descargas atmosféricas, é essencial adotar um sistema de proteção adequado às características da estrutura e de seus componentes internos. Embora uma proteção compatível não garanta a proteção absoluta das pessoas, da edificação e dos bens nela contidos, ela reduz consideravelmente os riscos de danos causados por descargas atmosféricas.

2.4.1 FONTES E TIPOS DE DANOS A UMA ESTRUTURA (ABNT NBR 5419-1: 2015)

O De acordo com a NBR 5419-1 de 2015, a corrente da descarga atmosférica é a fonte de danos. As seguintes situações devem ser levadas em consideração em função da posição do ponto de impacto relativo à estrutura considerada:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

2.4.1.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NA ESTRUTURA – S1

Podem causar:

- a) Danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica, ou devido a corrente resultando em aquecimento resistivo de condutores (condutores sobreaquecidos), ou devido à carga elétrica resultando em erosão pelo arco (metal fundido);
- b) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido às sobretensões resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos e a passagem de parte da corrente da descarga atmosférica; Danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos;
- c) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.

2.4.1.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PRÓXIMAS A ESTRUTURA – S2

Podem causar falhas ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.

2.4.1.3 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE LINHAS ELÉTRICAS E TUBULAÇÕES METÁLICAS QUE ADENTRAM A ESTRUTURA – S3

Podem causar:

- a) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido à sobre tensões e correntes das descargas atmosféricas transmitidas por meio das linhas elétricas e tubulações metálicas;

- b) Danos a pessoas por choque elétrico devido a tensões de toque dentro da estrutura causadas por correntes das descargas atmosféricas transmitidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas;
- c) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobre tensões que aparecem nas linhas que entram na estrutura.

2.4.1.4 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PRÓXIMAS A LINHAS ELÉTRICAS E TUBULAÇÕES METÁLICAS QUE ENTRAM NA ESTRUTURA – S4

Podem causar falhas ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobre tensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

Em consequência, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

- a) D1: danos às pessoas a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP.

2.4.2 TIPOS DE PERDAS

Cada tipo de dano relevante para a estrutura a ser protegida pode, individualmente ou em combinação com outros, resultar em diferentes tipos de perdas. A natureza dessas perdas varia conforme as características específicas do objeto.

Para fins da ABNT NBR 5419/2015, são considerados os seguintes tipos de perdas, que podem ocorrer como consequência de danos significativos à estrutura:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

Tabela 2– Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

Ponto de impacto	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura	S1	D1	L1, L4 ^a
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S3	D1	L1, L4 ^a
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ^b , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulações metálicas	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais. ^b Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.			

Fonte: (ABNT NBR 5419-1, 2015, p 12).

2.4.3 RISCO E COMPONENTES DE RISCO

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

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

- a) R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R2: risco de perda de serviço ao público;
- c) R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

2.4.4 RISCO TOLERÁVEL RT

O Em relação ao SPDA, cabe à autoridade competente (como a prefeitura ou o corpo de bombeiros) determinar o valor do risco tolerável. A obrigatoriedade da instalação de um SPDA geralmente é definida por leis municipais. Quando essas leis fazem referência à ABNT NBR 5419/2015, o SPDA pode ser dispensado, desde que uma avaliação de risco seja realizada e indique que o risco é inferior ou igual aos limites estabelecidos.

Na ausência de valores de risco tolerável estabelecidos pela autoridade competente, podem ser utilizados os valores representativos de risco tolerável (RT) apresentados pela ABNT NBR 5419/2015. Esses valores se aplicam a descargas atmosféricas que envolvam perdas de vidas humanas ou de bens com valor social ou cultural. Os valores de risco tolerável, conforme a ABNT NBR 5419-2/2015, encontram-se disponíveis na Tabela 3.

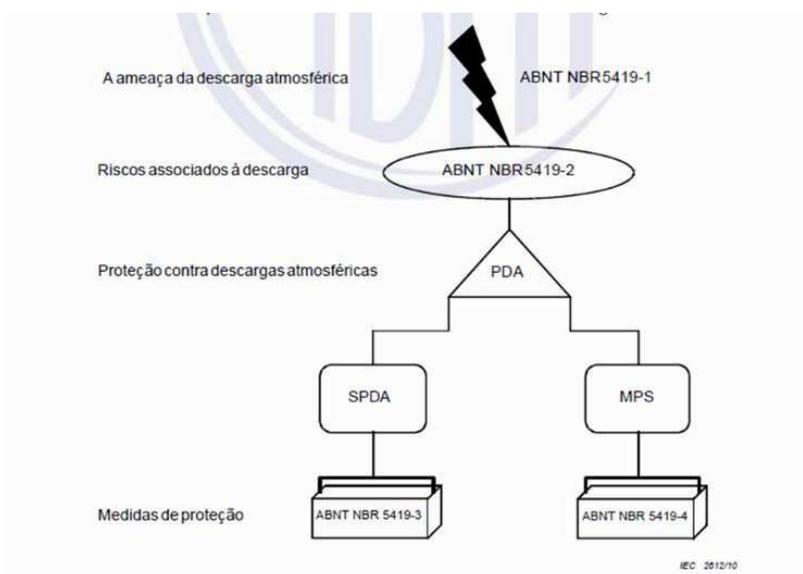
Tabela 3– Valores típicos de risco tolerável RT

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

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

Cada item a ser considerado na adoção de medidas de proteção contra descargas atmosféricas estão presentes na norma ABNT NBR 5419/2015. Cada uma das partes que compõem a ABNT NBR 5419/2015 tem uma finalidade específica, estando elas associadas entre si, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Conexão entre as partes da ABNT NBR 5419



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

Antes de iniciar um projeto de SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), é essencial realizar uma avaliação dos riscos presentes na estrutura. Essa

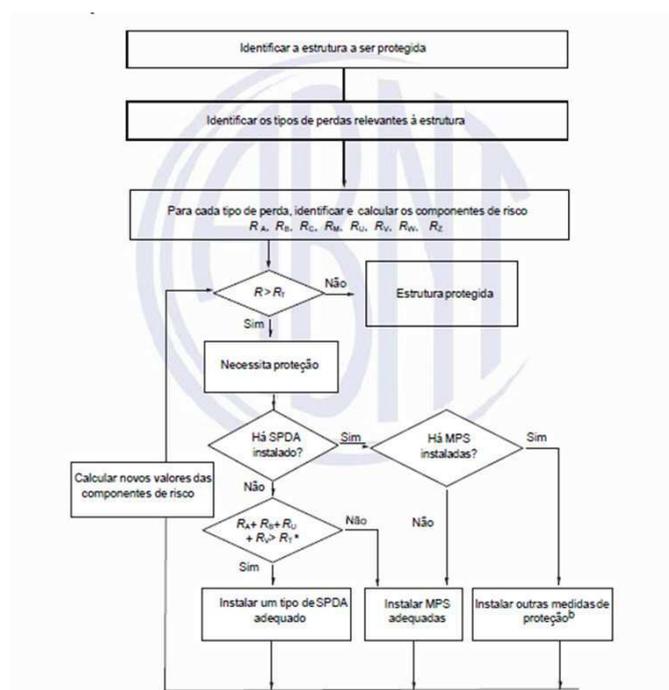
avaliação inclui a definição das medidas a serem implementadas para garantir que o sistema seja adequado às necessidades específicas da edificação. Também é necessário considerar o impacto técnico e financeiro dessas medidas de proteção, visando reduzir ou eliminar as possíveis perdas. A metodologia de avaliação de riscos, que abrange todas as medidas aplicáveis, está detalhada na ABNT NBR 5419-2/2015, norma que trata da Proteção contra Descargas Atmosféricas no contexto do Gerenciamento de Risco. O Gerenciamento de Risco orienta a escolha das medidas de proteção mais apropriadas, de modo a reduzir os riscos a um nível tolerável ou abaixo desse limite.

2.4.5 GERENCIAMENTO DE RISCO

O processo de decisão sobre a necessidade de proteção e a seleção das medidas mais adequadas para o SPDA pode ser realizado conforme a ilustração apresentada na Figura 4.

Na análise do Gerenciamento de Risco para subestações, é essencial considerar, no mínimo, os riscos relacionados à perda de vida humana (L1) e à perda de serviço ao público (L2), que são particularmente relevantes para esse tipo de estrutura e fundamentais para avaliar a necessidade de proteção.

Figura 4 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.



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

Em função dos tipos de perdas considerados, implica a determinação de somente os riscos R1 e R2, sendo:

- R1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco RA, RB, RU e RV (de acordo com a Tabela 2 – NBR 5419-2) e para compará-los com o risco tolerável $RT = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4 – NBR 5419-2) e
- R2 para perda de serviço ao público (L2) com os componentes de risco RB, RC, RM, RV, RW, RZ (de acordo com a Tabela 2 – NBR 5419-2) e para compará-los com o risco tolerável $RT = 10^{-3}$ (de acordo com a Tabela 4 – NBR 5419-2).

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

- i. Identificação dos componentes RX que compõe o risco;
- ii. Cálculo dos componentes de risco identificados RX;
- iii. Cálculo de risco total R;
- iv. Identificação dos riscos toleráveis RT;
- v. Comparação do risco total R com o valor de risco tolerável RT;

Segundo a ABNT NBR 5419-2, a necessidade ou não de proteção contra descargas atmosféricas deve seguir a análise quantitativa dos riscos, assim, tem-se:

- Se $R \leq RT$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária;
- Se $R > RT$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq RT$, para nível, de risco tolerável, avaliando todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA

O projeto de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) é desenvolvido com base no gerenciamento de riscos, visando reduzir os riscos. Ele pode incluir o SPDA, o MPS ou ambos, dependendo das necessidades específicas da estrutura e da rede elétrica a ser protegida.

O SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) é um método abrangente projetado para proteger uma construção ou estrutura das consequências das descargas atmosféricas, popularmente conhecidas como para-raios.

A ABNT NBR 5419/2015, estabelece quatro classes de SPDA (I a IV) com finalidade de reduzir os riscos pela a instalação do SPDA, ao qual correspondem aos níveis de proteção para descargas atmosféricas definida na ABNT NBR 5419-1:2015.

3.1 NÍVEL DE PROTEÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 5419, são considerados quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas (I a IV). Para cada NP, é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas. A proteção contra descargas atmosféricas cujos parâmetros máximos e mínimos de corrente excedam aqueles correspondentes ao NP I requer medidas de proteção mais eficientes, as quais recomenda-se que sejam escolhidas e implementadas para cada caso específico.

Os valores máximos dos parâmetros das correntes de descargas atmosféricas para os diferentes níveis de proteção estão listados na Tabela 4. Esses valores são utilizados no projeto dos componentes de proteção contra descargas atmosféricas, como a seção transversal dos condutores, espessura das chapas metálicas, capacidade de condução de corrente dos DPS, distâncias de segurança contra centelhamentos perigosos, além de definir os parâmetros para ensaios que simulam os efeitos das descargas sobre esses componentes.

Tabela 4– Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP)

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	I	KA	200	150	100	
Carga do impulso	Q_{curta}	C	100	75	50	
Energia específica	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Parâmetros de tempo	$T1 / T2$	$\mu s / \mu s$	10/350			
Primeiro impulso negativo ^a			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	KA	100	75	50	
Taxa média de variação	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Parâmetros de tempo	$T1 / T2$	$\mu s / \mu s$	1/200			
Impulso subsequente			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	KA	50	37,5	25	
Taxa média de variação	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Parâmetros de tempo	$T1 / T2$	$\mu s / \mu s$	0,25/100			
Componente longa da descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da componente longa	Q_{longa}	C	200	150	100	
Parâmetros de tempo	T_{longa}	s	0,5			
Descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da descarga atmosférica	Q_{flash}	C	300	225	150	

^a O uso desta forma de onda de corrente é de interesse para cálculos somente, não para ensaios.

Fonte: (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Tabela 5– Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondentes aos níveis de proteção (NP)

Critérios de interceptação			NP			
	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico mínima	I	KA	3	5	10	16
Raio da esfera rolante	r	m	20	30	45	60

Fonte: (ABNT NBR 5419-1, 2015).

3.2 CLASSE DE PROTEÇÃO

A classe do SPDA indica a classificação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas com base no nível de proteção para o qual foi projetado. Para cada classe, são estabelecidos parâmetros específicos, como intensidade da descarga atmosférica, volume de proteção dos captores, distâncias entre condutores, distância de segurança contra centelhamento perigoso e comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento.

De acordo com ABNT NBR 5419/2015, na Tabela 6 apresenta-se as quatro classes de um SPDA, referente aos níveis de proteção:

Tabela 6– Relação entre nível de proteção para descargas atmosféricas e a classe de SPDA

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015)

3.3 SUBSISTEMAS

A partir da definição das classes de proteção do SPDA define – se os subsistemas de proteção contra descargas atmosféricas, que é dividido em:

- Sistema de Captação

- Subsistema de Descida
- Subsistema de Aterramento

3.3.1 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

O subsistema de captação tem como função interceptar descargas atmosféricas que atinjam o topo da edificação, direcionando-as de maneira segura pelas estruturas adequadas. Ele é constituído por elementos metálicos, como mastros e condutores, devidamente dimensionados para suportar as correntes geradas pelas descargas. Esses componentes incluem mastro com captor, cabos de cobre nu e até mesmo chapas de alumínio.

3.3.2 SUBSISTEMA DE DESCIDA

As descidas conduzem as correntes captadas, distribuídas pelo sistema de captação, rapidamente para o solo. Em edificações com mais de 20 metros de altura, elas também têm a função de captar descargas laterais, sendo essencial que todo o sistema seja corretamente dimensionado. No nível do solo, as descidas devem ser conectadas por cabos de cobre nu com seção mínima de 50 mm², utilizando suportes adequados para os cabos.

Tabela 7– Valores típicos de distância dos condutores de descida, de acordo com a classe do SPDA

Classe de Proteção	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Para o número de condutores de decida de um SPDA externo temos a seguinte equação:

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}}, \quad (1)$$

Sendo:

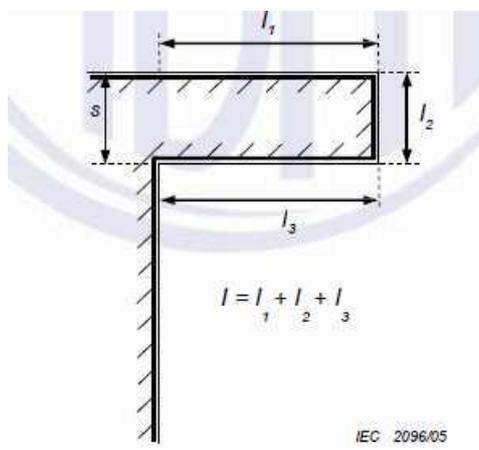
- N_{CD} – Número de condutores de descida;
- P_{ED} – Perímetro da edificação em metros;
- D_{CD} – Distância entre os condutores de descida, que depende da classe do SPDA na Tabela 6.

De acordo NBR 5419/2015, para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, mesmo se o valor do cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o nível correspondente resultar em um valor inferior.

Para a construção, os condutores de descida devem ser instalados de maneira prática e contínua, conectando diretamente o sistema de captação ao sistema de aterramento. Preferencialmente, esses condutores devem ser posicionados de forma reta e vertical, seguindo o caminho mais curto e direto até a terra.

Quanto a geometria da edificação não permitir essa linearidade da descida, a NBR 5419/2015 estabelece alguns critérios, conforme figura 5:

Figura 5 – Laço em condutor de descida



Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Os condutores de descida de um SPDA não isolado da estrutura a ser protegida podem ser instalados como a seguir:

- Se a parede é feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede;

- Se a parede for feita de material combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície da parede, desde que a elevação de temperatura devido à passagem da corrente da descarga atmosférica neste não seja perigosa para o material da parede;
- Se a parede for feita de material prontamente combustível e a elevação da temperatura dos condutores de descida for perigosa, os condutores de descida devem ser instalados de forma a ficarem distantes da parede, pelo menos 0,1 m. Os suportes de montagem podem estar em contato com a parede.

3.3.3 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

A malha de aterramento recebe as correntes elétricas das descidas e as dissipa no solo, além de equalizar os potenciais entre as descidas e o solo. É fundamental dar atenção especial às áreas frequentadas por pessoas para minimizar as tensões de passo nesses locais. O sistema é composto por hastes de aterramento, cabos de cobre nu e caixas para inspeção e manutenção.

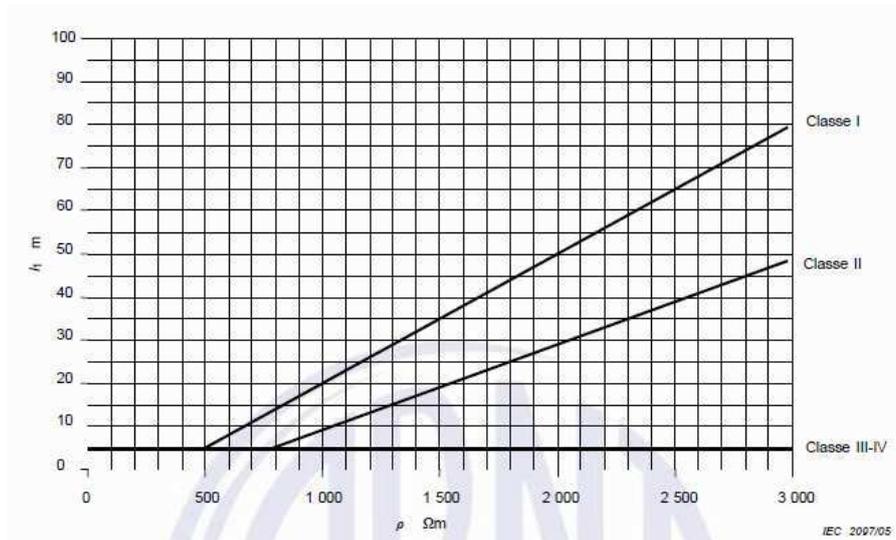
Item indispensável em todas as instalações elétricas, destinado a garantir a segurança das pessoas e o pleno funcionamento do sistema elétrico ao qual está conectado. Atualmente, existem várias normas que abordam este tema, como a NR-10 e as normas do Ministério do Trabalho e Emprego, que exigem a presença de sistemas de aterramento em todas as instalações elétricas. Em nosso caso, se deve certificar de ter um bom aterramento, tendo em vista que se trata de uma parte fundamental da estrutura do SPDA, já que toda a corrente da descarga será injetada no sistema de aterramento e dissipada pelo solo (DE SOUZA, RODRIGUES, et al., 2012).

De acordo com Mamede Filho, toda instalação elétrica de média e baixa tensão para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto. (MAMEDE, 2012).

De acordo com a ABNT NBR 5419-3/2015 quando as fundações não podem ser utilizadas como aterramento, deve-se recorrer ao arranjo em anel externo à estrutura a ser protegida, que deve ser interligado às sapatas da fundação ou ter 80% de seu comprimento em contato direto com o solo. Além disso, é essencial adotar medidas preventivas contra tensões superficiais perigosas, a fim de evitar danos causados por tensão de passo ou

toque. A Figura 6, ilustra o comprimento do eletrodo de aterramento conforme a classe do SPDA.

Figura 6 – Comprimento mínimo I_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA



Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Quando o eletrodo de aterramento em anel ou a interligação com a fundação for descontínuo, é necessário garantir que o raio médio (r_e) da área coberta não seja inferior ao valor mínimo estabelecido. O r_e deve ser maior ou igual a I_1 . As equações 2 e 3 apresentam a comparação necessária para esse cálculo.

Verifica-se que as classes III E IV não dependem da resistividade do solo e para solos com resistência maior que $3000\Omega\cdot\text{m}$ as curvas devem ser prolongadas.

$$I_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (classe I)}, \quad (2)$$

$$I_1 = 0,02\rho - 10 \text{ (classe II)} \quad (3)$$

De acordo com a NBR 5419 – 3/2015, elementos captadores e condutores de descidas devem ser firmemente fixados de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais (por exemplo, vibrações, expansão térmica etc.) não causem afrouxamento ou quebra de condutores.

A fixação dos condutores do SPDA deve ser realizada em distância máxima assim compreendida:

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

Deve-se evitar conexões (emendas) ao longo dos condutores. Conexões devem ser feitas de forma segura e por meio de solda elétrica ou exotérmica e conexões mecânicas de pressão (se embutidas em caixas de inspeção) ou compressão, explica a norma. Nos cabos de descidas não são permitidas emendas, exceto para ensaios.

3.3.4 MATERIAL

De acordo com a NBR 5419 – 3/2015, no seu item 5.6.1, materiais e suas dimensões devem ser escolhidos tendo em mente a possibilidade de corrosão tanto da estrutura a ser protegida quanto do SPDA.

A seguir, são mostradas as tabelas com a configuração e áreas de seção mínima dos condutores dos subsistemas de captação e de descida na Tabela 8, e na Tabela 9, as configurações e dimensões mínimas dos condutores do subsistema de aterramento.

Tabela 8 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captadoras e condutores de descida

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondamento maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondamento maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoamento	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm

Aço galvanizado a quente ^a	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Diâmetro 2 mm
	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1]. ^b Aplicável somente a minicaptadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m. ^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %. ^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela referem-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %. ^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).			
NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 5 sejam atendidas. NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.			

Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015, pg 21).

Tabela 9 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a, b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado maciço ^d Encordoado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	Diâmetro 10 mm 100 mm ²	Espessura mínima 2 mm
^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1]. ^b Aplicável somente a mini captadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m. ^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %. ^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela referem-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %. ^e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.				

^f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).

^g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015, Pg 22).

3.4 MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS

ATMOSFÉRICAS

As técnicas de proteção utilizadas para a dissipação das descargas atmosféricas seguem a mesma filosofia: criar uma blindagem na estrutura protegida para evitar que o raio cause danos diretos. A principal diferença entre os métodos de proteção contra descargas atmosféricas reside na definição da área protegida.

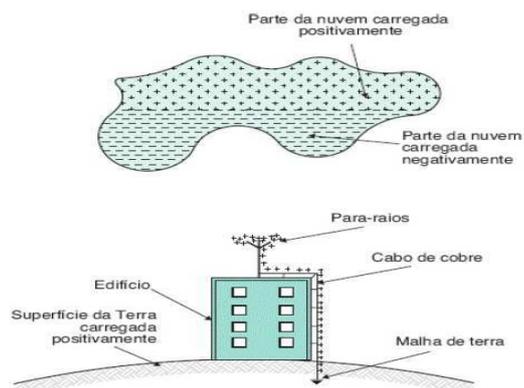
A Para os projetos de SPDA, os métodos padronizados pela ABNT NBR 5419 para determinar o posicionamento do subsistema de captação incluem:

- Método do ângulo de proteção (Método de Franklin);
- Método da esfera rolante (Método Eletrogeométrico);
- Método das malhas (Método da Gaiola de Faraday).

3.4.1 MÉTODO DO ÂNGULO DE PROTEÇÃO (MÉTODO DE FRANKLIN)

O método proposto por Franklin baseia-se em uma haste elevada. Esta haste, em forma de ponta, gera uma alta concentração de cargas elétricas sob a nuvem carregada, juntamente com um campo elétrico intenso. Assim ioniza o ar, diminuindo a altura efetiva da nuvem carregada, o que facilita o escoamento dos elétrons através do rompimento da rigidez dielétrica da camada de ar.

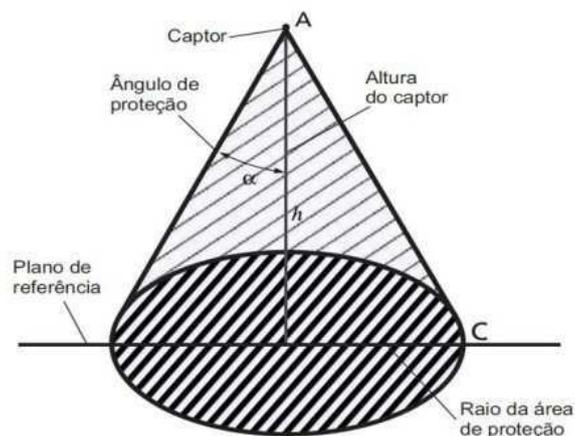
Figura 7 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

De acordo com a norma da Energisa, fundamentada na norma NBR 5419, no método dos ângulos, o volume de proteção é calculado em função da altura do captor e do ângulo de proteção desse captor (α), conforme ilustrado na Figura 8. O volume de proteção é definido pela geratriz de um mastro, que forma um cone circular, cujo vértice está posicionado no eixo do mastro. A estrutura estará protegida somente se ela estiver totalmente inserida dentro do volume de proteção delimitado pelo cone fictício, representado pela área hachurada da Figura 8. (ENERGISA, NTU 014, 2017)

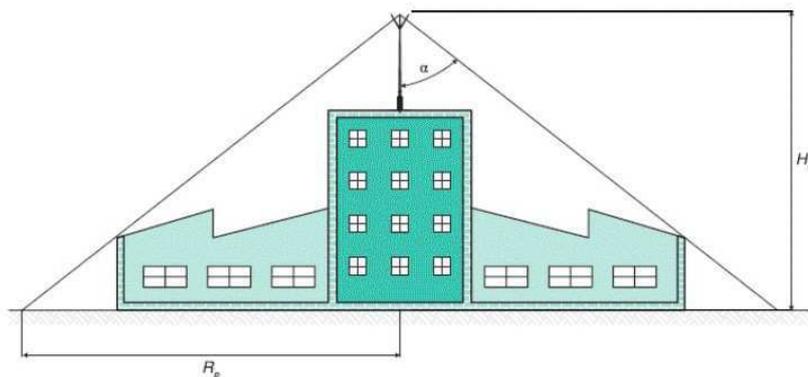
Figura 8 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor.



Fonte: (ENERGISA, NTU 014, 2017).

Como exemplo, é mostrada uma edificação inserida dentro do volume de proteção delimitado pelo cone fictício:

Figura 9 – Ilustração da concentração de cargas elétricas no captor.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

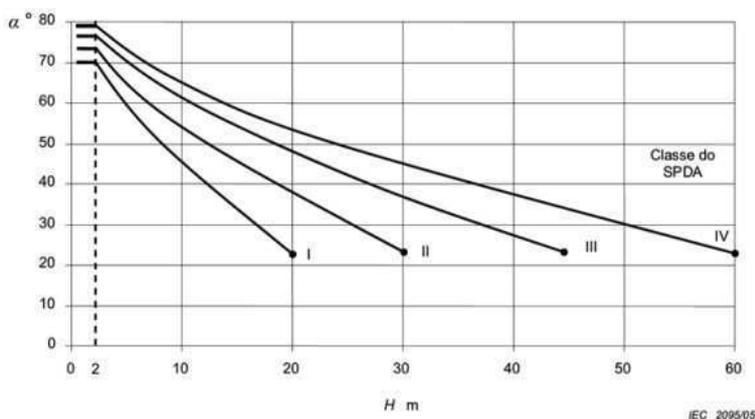
Para:

$$R_p = H_c \times tg\alpha, \quad (4)$$

temos que, R_p é o raio da base do cone de proteção [m]; H_c é a altura de extremidade do captor em relação à base [m]; α é o ângulo de proteção com a vertical [°].

O ângulo (α) é definido em função da altura e da classe de proteção do SPDA. Na Figura 10 é apresentado o gráfico para determinação do ângulo (α):

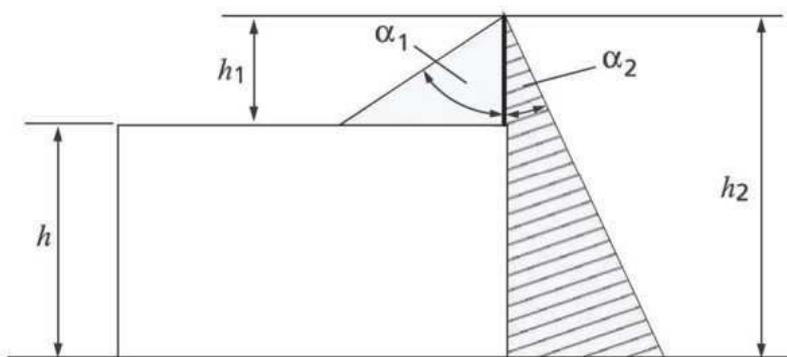
Figura 10 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.



Fonte: (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Dependendo da localização do captor, como é o caso de captores verticais instalados na periferia da estrutura, pode haver dois ou mais planos de referência para definição da altura H , conforme ilustrado na Figura 11. (ENERGISA, NTU 014, 2017).

Figura 11 – Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes.



Fonte: (ENERGISA, NTU 014, 2017).

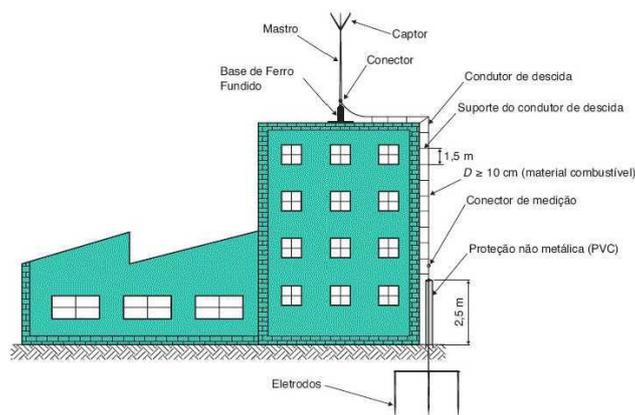
No caso da Figura 11, o ângulo α_1 é definido em função da altura h_1 , que tem como referência a ponta do captor e o topo da edificação, enquanto o ângulo α_2 é definido em função da altura h_2 , que tem como referência a ponta do captor e a base da edificação.

O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captores indicados na Figura 8.

Os principais elementos utilizados na proteção pelo Método Franklin estão listados a seguir:

- Captor – que pode ser de uma só ponta ou em forma de *bouquet*;
- Conector – para prender o cabo de descida ao captor;
- Mastro – para elevar o captor na altura desejada;
- Condutor de Descida – para interligar o captor ao sistema de aterramento;
- Espaçador – para manter o cabo de descida afastado da estrutura ou da haste de sustentação;
- Isolador – pode ser de dois tipos: modelo industrial com classe de tensão de 10 kV ou do tipo roldana usado na estrutura do espaçador;
- Conector de Medição – conexão desmontável destinada à medição da resistência de aterramento;
- Tubo Protetor – de material não condutor, para evitar atos de vandalismo e evitar tensão de toque direto com cabo de descida;
- Aterramento – para produzir conexão com a terra.

Figura 12 – Elementos de um SPDA que utilizam materiais combustíveis na parede.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

3.4.2 MÉTODO DA ESFERA ROLANTE (MÉTODO ELETROGROMÉTRICO)

O método eletrogeométrico, também conhecido como método da esfera rolante, baseia-se na definição do volume de proteção dos captores em um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Esse método pode utilizar hastes, cabos ou uma combinação desses elementos. Ele é especialmente eficaz em estruturas com formas arquitetônicas complexas. Devido a essa característica, o método da esfera rolante é amplamente aplicado em subestações de potência instaladas ao ar livre.

Segundo Mamede Filho, 2017, o método da esfera rolante se fundamenta na premissa de uma esfera de raio R_e , com o centro localizado na extremidade do líder antes de seu último salto. Os pontos da superfície da referida esfera são o lugar geométrico que deve ser atingido por uma descarga atmosférica. (MAMEDE FILHO, 2017).

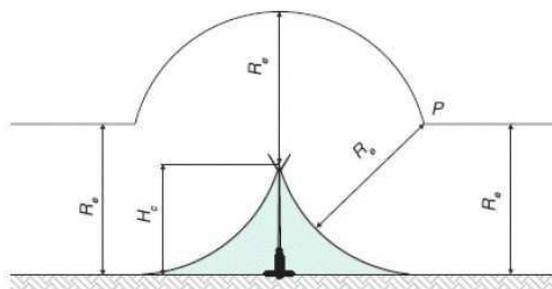
Ao rolar a esfera fictícia sobre o solo e sobre o sistema de proteção, delimita-se a região em que ela não toca, formando, assim, a zona protegida. Ou melhor, a zona protegida pode ser definida como a região em que a esfera rolante não consegue tocar, exceto nos captores.

A aplicação do método da esfera rolante envolve dois diferentes casos:

- Volume de proteção de um captor vertical quando a altura do captor H_c é inferior a R_e ;
- Volume de proteção de um captor vertical quando a altura H_c é superior a R_e .

Quando a altura do captor H_C é inferior a R_e , toma-se o raio da esfera rolante R_e , traçam-se uma reta horizontal paralela ao plano do solo e um segmento de círculo com o centro no topo do captor. Com o centro no ponto de interseção P e o raio R_e , traça-se um segmento de círculo que tangencie o topo do captor e o plano do solo. O volume formado pela rotação da área hachurada em torno do captor representa o volume de proteção oferecido pelo SPDA. (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 13 – Volume de proteção para $H_C < R_e$.

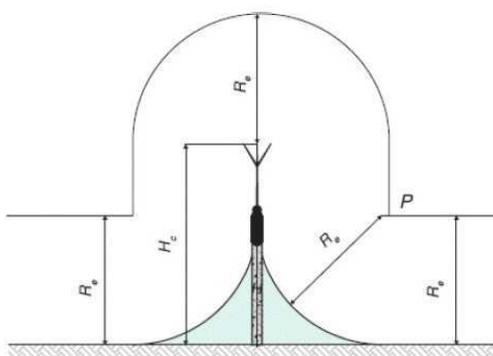


Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

Quando a altura do captor H_C é superior a R_e , deve-se observar que a estrutura excedente ao volume de proteção pode ser atingida por descargas atmosféricas laterais.

Dessa forma à medida que a altura da haste captora aumenta a partir do valor $H_C \geq R_e$, verifica-se que o SPDA perde eficiência, isto é, o volume de proteção não cresce com o aumento do comprimento da haste captora. O modelo da esfera rolante é aplicado com sucesso em edificações de geometria muito irregular, tanto na parte superior como na parte periférica. (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 14 – Volume de proteção para $H_C > R_e$.

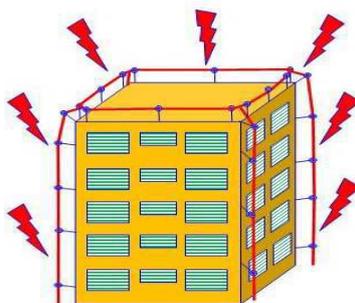


Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

3.4.3 MÉTODO DAS MALHAS (MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY)

O método da Gaiola de Faraday envolve a distribuição de uma malha de condutores horizontais feitos de cobre nu, cobrindo todo o perímetro da estrutura a ser protegida, formando uma espécie de gaiola.

Figura 15 – Proteção em formato de gaiola.

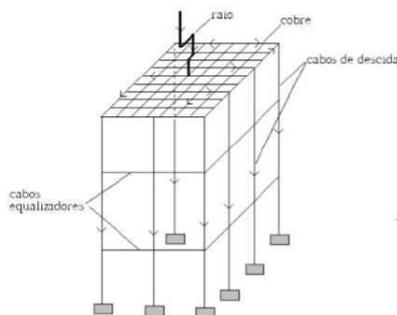


Fonte: (EBANATAW).

O princípio fundamental da proteção por gaiola de Faraday é a blindagem eletrostática, que se baseia na premissa de que cargas de mesma natureza se repelem. Em materiais com boa condutividade elétrica, o excesso de cargas se distribui nas superfícies externas. Quando o equilíbrio eletrostático é alcançado, o campo elétrico no interior da estrutura torna-se nulo.

Para Kindermann, 1997, longe de um modelo ideal, as descargas atmosféricas ao atingir a estrutura produzem dissipação não uniforme, com indução interna devido a mudanças no campo magnético presente no interior da gaiola. Essencialmente, o funcionamento da proteção da gaiola de Faraday é bem-sucedida porque a corrente induzida na rede cria um campo magnético oposto que empurra o raio para a borda da rede e o força a fluir pelo cabo. (KINDERMANN, 1997).

Figura 16 – Condução da corrente de descarga atmosféricas para o subsistema de descida e aterramento.



Fonte: (KINDERMANN, 1997).

De acordo com a norma NBR 5419-3 de 2015, a instalação é recomendada para grandes áreas horizontais sem curvaturas que exigem um número elevado de captores. A norma também estabelece uma tabela de distâncias entre as malhas dos condutores, em conformidade com a classe do SPDA a ser adotada.

A tabela a seguir apresenta os valores de espaçamento dos condutores da malha e a distância entre as descidas, especificados para cada classe de proteção.

Tabela 10 – Valores do espaçamento

Classe do SPDA	Distancias(m) (descidas e anéis de equipotencialização)	Máx. afastamento dos condutores de malha (m)
I	10	5x5
II	10	10x10
III	15	15x15
IV	20	20x20

Nota 1- É aceitável, para descidas, um acréscimo máximo de 20% sobre os espaçamentos definidos acima.

Fonte: (Adaptado ABNT NBR 5419-3, 2015).

3.5 SISTEMA DE PROTEÇÃO INTERNO

Os sistemas internos de proteção têm a função de resguardar os equipamentos e sistemas contra centelhamentos causados por descargas induzidas dentro do volume de proteção da estrutura. As descargas podem ser diretas, quando o raio atinge diretamente as edificações e/ou instalações elétricas, ou indiretas, quando o raio cai em outro ponto e as sobretensões induzidas alcançam as instalações elétricas.

De acordo com a NBR 5419 - 2, o centelhamento pode ocorrer entre o SPDA externo e instalações metálicas, sistemas internos, partes condutivas externas e linhas que conectadas a estrutura. Ela estabelece que o centelhamento pode ser evitado por meio de ligações equipotenciais que podem ser:

- Direto - condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- Indireto - dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada e

centelhadores, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não seja permitida.

3.5.1 EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

O objetivo da equipotencialização contra descargas atmosféricas é evitar centelhamentos perigosos causados por raios. Para isso, as partes metálicas da estrutura devem ser conectadas entre si por meio de condutores elétricos, garantindo a menor impedância possível entre elas.

A norma ABNT NBR 5419 estabelece que a equipotencialização de instalações metálicas deve ser realizada, preferencialmente, na base da estrutura ou próximo ao nível do solo. Os condutores de ligação devem ser conectados a uma barra de ligação (BEP) projetada para proporcionar fácil acesso para inspeções regulares e ligada ao sistema de aterramento. Em estruturas extensas, é permitido instalar quantas barras de equipotencialização local (BEL) forem necessárias, desde que todos os barramentos estejam devidamente interligados para garantir a segurança.

A seguir são apresentadas as tabelas apresentam os valores mínimos da seção reta dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e dos condutores que ligam essas barras ao sistema de aterramento na tabela 11, e os valores mínimos da seção reta dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização na tabela 12:

Tabela 11 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

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

Tabela 12 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta mm ²
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

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

3.5.1.1 MATERIAIS E DIMENSÕES DOS COMPONENTES DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

De acordo com ABNT NBR 5419-3, a seção transversal mínima para componentes da equipotencialização deve atender à Tabela 13:

Tabela 13 – Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização

Componentes da equipotencialização		Material ²	Seção transversal mm ²
Barra de equipotencialização (cobre, aço, cobreado ou galvanizado)		Cu	50
		Fe	50
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento		Cu	50
		Fe	80
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras de equipotencialização (conduzindo uma parcela da corrente de raio)		Cu	16
		Al	25
		Fe	50
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras		Cu	6
		Al	10
		Fe	16
Condutores de aterramento para os DPS (conduzindo a totalidade ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica) ^b	Classe I	Cu	16
	Classe II		6
	Classe III		1
	Outros DPS ^c		1
a - Outros materiais utilizados devem ter seção transversal assegurando resistência mecânica e condutância equivalentes.			
b - Para DPS usados em aplicações de energia, informações adicionais de condutores para conexão são fornecidas na ABNT NBR 5410:2004, 6.3.5.			
c - Incluindo DPS usados em sistemas de sinal.			

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

3.5.2 DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

O DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) é projetado para limitar sobretensões e desviar correntes de surto. Sua função principal é dissipar a sobretensão gerada por descargas atmosféricas, protegendo os equipamentos contra danos. Há diversos modelos e fabricantes disponíveis no mercado, como ilustrado na figura abaixo. Os DPS utilizam duas tecnologias distintas, cada uma adaptada para lidar com os diferentes efeitos das descargas atmosféricas.

Figura 17 – Modelo de DPS classe II.



Fonte: (CLAMPER).

- Tipo chaveamento de tensão: dispositivo spark gap (centelhador) é principalmente usado contra efeito de descarga direta;
- Tipo limite de tensão: varistor ou diodo ceifador (semicondutor) principalmente usado contra efeito de descarga indireta.

De acordo com o fabricante de DPS, GUIMARÃES, 2023, quando há descargas atmosféricas, o dispositivo regula a tensão fornecida e a absorve, escoando-a para o sistema de aterramento. Quando essa energia está além da sua capacidade, o aparelho é queimado, acionando o dispositivo térmico que desliga toda a rede elétrica, evitando danos aos equipamentos. Para verificar se houve essa queima, todos os dispositivos de proteção possuem um indicador de estado. Se ele ficar vermelho, é porque o circuito está danificado, precisando ser trocado. (GUIMARÃES, 2023).

Segundo Maria Lima, 2014, existem três classes de DPS:

- Classe I – destinado à proteção contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas diretas, com uma grande capacidade de escoamento, recomendados para instalações em locais de alta exposição a descargas atmosféricas, na entrada da distribuição elétrica das edificações com SPDA. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente 10/350 μ s;
- Classe II – com uma capacidade de escoamento menor que o do Classe I, recomendados para proteção das instalações elétricas e equipamentos eletrônicos em edificações sem SPDA, mas que podem sofrer os

efeitos indiretos das descargas atmosféricas. O DPS Classe II é caracterizado por uma onda de corrente 8/20 μ s;

- Classe III – eles são destinados a proteção fina dos receptores sensíveis (computadores), possuem uma capacidade baixa de escoamento, devem ser instalados a jusante de um DPS Classe II. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente combinada 1,2/50 μ s e 8/20 μ s. Os DPS devem suportar a corrente da descarga atmosférica esperada nos pontos onde estão instalados, conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E. A utilização de DPS depende de suas capacidades classificadas na IEC 61643-1 para redes elétricas de energia e na IEC 61643-21 para sistemas de telecomunicações.

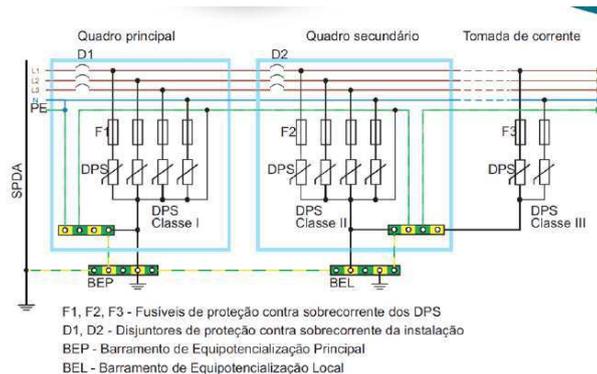
3.5.3.1 LOCALIZAÇÃO DO DPS

De acordo com ABNT NBR 5419:2015, o primeiro critério a ser considerado é: quanto mais próximo estiver o DPS da entrada da linha entrante, maior será a quantidade de equipamentos protegidos por este DPS (vantagem econômica). O segundo critério a ser verificado é: quanto mais próximo estiver um DPS do equipamento a ser protegido, mais efetiva será a proteção (vantagem técnica).

Segundo a ABNT NBR 5410, quando o objetivo for a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, os DPS devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, localizado o mais próximo possível do ponto de entrada; ou quando o objetivo for a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPS devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação.

Quando a edificação não possui SPDA, devem ser instalados DPS Classe II nos quadros de distribuição. Na Figura 18, pode-se ver o esquema de instalação dos DPS nos quadros elétricos para o sistema TN-S.

Figura 18 – Esquema de instalação dos DPS nos quadros elétricos – Sistema TN-S



Fonte: (ENERGISA, NTU 014, 2017).

3.6 ERROS EM INSTALAÇÕES DE SPDA

Regularmente, encontra-se erros recorrentes nas instalações e projetos de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Esses comprometem o resultado da proteção e podem ser facilmente evitados. A instalação e projeto de um SPDA devem seguir normas técnicas rigorosas, como a NBR 5419 no Brasil.

Neste sentido, a norma que regulamentadora do sistema de SPDA é a NBR 5419:2015, a qual sofreu alterações após reformulação, entrando em vigor em 22 de julho de 2015, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a segurança dos sistemas de proteção, aumentando os níveis de proteção, gerenciamentos de risco, além de novos materiais não registrado na versão anterior. A NBR 5419:2015 afirma que na prática é impossível obter uma proteção de 100% contra as descargas atmosféricas, mas obedecendo os parâmetros norma é possível se obter uma eficiência de até 98% na proteção da estrutura.

3.6.1 ERRO POR DESCONFORMIDADE COM NORMA TÉCNICAS

Para maior segurança, deve-se contratar profissionais qualificados. Visto, que o CONFEA (2001), o Conselho Federal de Engenharia, e agronomia-CONFEA, estabeleceu uma decisão normativa nº070, de 26 de outubro de 2001, em seu parágrafo único, os profissionais responsáveis pela elaboração de um projeto de SPDA são engenheiros, Engenheiro Eletricista, engenheiro de computação, engenheiro mecânico-eletricista; engenheiro de produção (modalidade eletricista), engenheiros de operação

(modalidade eletricitista), tecnólogo na área de 26 engenharia elétrica e técnico industrial (modalidade eletrotécnica). (CONFEA, 2001).

Ainda segundo o CONFEA, o profissional estabelece a segurança e a qualidade da obra, é de extrema importância que a sociedade compreenda que o profissional que estudou por vários anos está apto para desenvolver suas atividades profissionais, executando o serviço com qualidade, economia e prevendo possíveis problemas que podem surgir durante a execução da obra. Para Beltani (2007), a elaboração de um projeto elétrico fundamentado no dimensionamento adequado dos aterramentos é de extrema importância, sendo que este proporciona vantagens técnicas e econômicas ao projeto, limitando as sobre tensões na rede e fenômenos transitórios através do escoamento das correntes para o solo.

Sobre esse assunto, o autor Portier, (2010) relata que é de extrema importância conhecer os três tipos de métodos na hora da elaboração de um projeto de SPDA para determinar qual se encaixa na proteção adequada da edificação. Para Vargas (2018), “Projeto é um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, [...] dentro de parâmetros predefinidos de tempo, custo, recursos envolvidos e qualidade”. Para corroborar com Vargas, o Instituto de Gerenciamento de Projetos ou Project Management Institute — PMI, define projeto, como um conjunto de atividades temporárias, realizadas em grupo, destinadas a produzir um produto, serviço ou resultado únicos (PMBOK, 2017).

Sendo assim, projeto é todo o planejamento exclusivo e complexo para desenvolver algo que não existia anteriormente. O gerenciamento de projetos é uma atividade que envolve a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades de um projeto, a fim de cumprir seus requisitos (PMI, 2017). É um conjunto de práticas coordenadas e sequenciais e sua falta pode acarretar perdas, atrasos de cronogramas e, até mesmo, o não alcance do objeto final. Contrária ao que se caracteriza por rotina, a gestão de projetos é indispensável para situações que fogem do que é fixo e familiar.

Neste sentido, o manual do BIM, destaca os grandes problemas apresentados da falta de integração de alguns sistemas que compõem um projeto baseado em papel. Podemos elencar os erros e omissões gerados pela fragmentação das informações, quando expostas em papel, a dificuldade e o tempo gasto para gerar informações críticas e decisivas na fase de projeto, seja estimar o custo, a análise de uso da energia ou os detalhes estruturais (EASTMAN et al., 2014). Então, observa-se a importância do gerenciamento

de projetos. Ele é fundamental para que se alcance o resultado final da melhor maneira, com o mínimo possível de retrabalho, desperdícios, prejuízos financeiros, mudanças posteriores no projeto que poderiam ser evitadas com devido planejamento.

Erros encontrados em instalações e projetos de SPDA, comprometem a qualidade dos serviços conseqüentemente uma diminuição de proteção para os usuários. A falta de um projeto detalhado, ou seja, a ausência de um projeto técnico que considere as características específicas da edificação, pode ser problemática. Somente um engenheiro ou técnico especializado é capaz de desenvolver um projeto que atenda às normas vigentes.

O projeto e execução do sistema de SPDA, deverão seguir normas e diretrizes estabelecidas de acordo com a ABNT NBR 5419/2015, pois com a imperícia tanto no projeto quanto na execução, os responsáveis poderão responder conforme estabelece no Art. 951 do código civil que diz: “O disposto nos artigos.: 948, 949 e 950 aplica-se ainda no caso de indenização devida por aquele que, no exercício da atividade profissional, por negligência, imprudência ou imperícia, causar a morte do paciente, agravar-lhe o mal, causar-lhe lesão, ou inabilitá-lo para o trabalho.” Aplicando-se o Artigo 18, inciso 2 do código penal, que diz: Crime culposo, quando o agente deu causa ao resultado por imprudência, negligência ou imperícia. (Incluído pela Lei nº 7.209, de 11.7.1984).

Observa-se que há necessidade do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), já que o Brasil é uma região com grande incidência de descargas atmosféricas, em um total de 78 milhões de descargas atmosféricas por ano, reduzindo-se consideravelmente com a implantação do SPDA, os perigos e riscos de danos ao patrimônio e as pessoas, pois o sistema capta os raios que atingem diretamente o local.

Segundo os autores como Kindermann (2009) e Visacro (2005) sugerem que se o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas for implementado adequadamente, os proprietários vão usufruir de muitos benefícios, tais como redução dos danos às pessoas e aos patrimônios, além da segurança que se obterão com este sistema, onde constatou-se que dos 45 profissionais habilitados da engenharia entrevistados, aproximadamente 67%, não utilizam o SPDA em seus projetos iniciais.

Outro erro observado é Instalação Incorreta dos Captadores. O posicionamento inadequado dos captadores de raio, comprometendo a eficácia do sistema. Deve Garantir que os captadores estejam instalados nos pontos mais altos da estrutura e de acordo com o projeto. De acordo com Machado (2008), o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) classificam -se de acordo com o Sistema Externo de Proteção em:

subsistema de captadores, subsistema de condutores de descida e subsistema de aterramento.

Sendo assim, quando acontece o choque elétrico é porque está havendo um defeito na instalação. O choque por contato direto é caracterizado por um contato acidental ou então pelo contato chamado de imprudente ou negligente de uma pessoa em uma parte da instalação elétrica energizada, que esteja com o isolamento elétrico danificado (FIGUEIREDO, 2014).

3.6.2 ERRO NA MALHA DE ATERRAMENTO

Erros na malha de aterramento podem ser causados por vários fatores e resultar em problemas de segurança e desempenho, como um aterramento insuficiente ou mal dimensionado. Deve-se calcular adequadamente o sistema de aterramento e realizar medições para garantir que a resistência esteja dentro dos padrões aceitáveis. Os autores, Santos e Lima (2011) ressaltam que para um bom dimensionamento da malha de aterramento, é imprescindível a execução prévia de uma prospecção da resistividade de solo. O sistema de aterramento tem a função de dispersar a energia elétrica da descarga no solo, oriundos dos condutores de descida. Sua baixa impedância destina-se a reduzir as tensões de passo e de toque.

Deve suportar os efeitos térmicos e resistir ao processo de corrosão imposto pelos diferentes tipos de solos (VISACRO FILHO, 2005). Para o projeto de um sistema de aterramento é de primordial importância o conhecimento prévio das características do solo, principalmente no que diz respeito à homogeneidade de sua constituição (MAMEDE FILHO, 2012).

Para Mamede Filho (2012), toda instalação elétrica de média e baixa tensão para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto. Os equipamentos ou componentes elétricos utilizados em uma instalação elétrica, não devem produzir choques elétricos, por isso é fundamental a utilização do aterramento elétrico residencial para a segurança das instalações elétricas residenciais.

Sendo assim, quando acontece o choque elétrico é porque está havendo um defeito na instalação. O choque por contato direto é caracterizado por um contato acidental ou então pelo contato chamado de imprudente ou negligente de uma pessoa em uma parte da

instalação elétrica energizada, que esteja com o isolamento elétrico danificado (FIGUEIREDO, 2014).

Neste sentido, Santos e Lima (2011), o aterramento é aquele que recebe as correntes elétricas das descidas e as dissipam no solo. Ainda segundo Visacro Filho (2010), toda instalação elétrica de média e baixa tensão para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto. Segundo Figueiredo (2014), o primeiro objetivo do aterramento dos sistemas elétricos é resguardar as pessoas e o patrimônio contra uma falha ou um surto nas instalações elétricas, proporcionando assim um escoamento diretamente para a terra, captando as descargas atmosféricas e as dissipando diretamente na terra.

O aterramento deve proporcionar uma sólida ligação às partes metálicas dos equipamentos. Em uma residência, os seguintes equipamentos devem ser aterrados: Condicionador de ar, chuveiro elétrico, fogão, quadro de medição e distribuição, lavadora e secadora de roupas, torneira elétrica, lava-louça, refrigerador e freezer, forno elétrico, tubulação metálica, tubulação de cobre dos aquecedores, cercas metálicas longas, postes metálicos e projetores luminosos (CEMIG, 2005).

3.6.3 ERRO NA INTERLIGAÇÃO EQUIPOTENCIAIS

Outro fator de risco é a falta de Interligações Equipotenciais, quando não se realiza a interligação equipotencial adequada entre as partes metálicas da estrutura e o SPDA. Deve-se seguir o projeto e interligar todas as partes metálicas para evitar diferenças de potencial. A manutenção inadequada, como a falta de inspeções e manutenção periódica do SPDA, representa um erro que pode ser evitado ao estabelecer um plano de manutenção regular, conforme as recomendações do fabricante e as normas vigentes.

Assim sendo, a NBR 5410:2004, item 3.3.1 define equipotencialização como procedimento que consiste na interligação de elementos especificados (todos os barramentos e infraestrutura), visando obter a equipotencialização necessária para os fins desejados. Tem a função de proteção contra choques elétricos e contra sobre tensões e perturbações satisfatória para proteção contra choques elétricos, mas insuficiente para proteção contra perturbações eletromagnéticas (CAVALIN,2006).

4 METODOLOGIA

Este estudo adotará uma abordagem investigativa e explicativa para aprofundar o tema "Análise de Conformidades de SPDA Segundo a NBR 5419/2015: Um Estudo de Caso". Será realizado um levantamento de edificações com SPDA instalado, descrevendo uma situação real por meio de um estudo de caso. A revisão bibliográfica fornecerá a base conceitual e teórica, utilizando fontes como livros, artigos científicos, dissertações, teses, normas técnicas e instruções técnicas.

Como referência principal, serão considerados os métodos de proteção contra descargas atmosféricas regulamentados pela NBR 5419/2015. Os resultados serão apresentados qualitativamente, por meio do estudo de caso.

Inicialmente, será discutido os conceitos fundamentais sobre a formação dos raios, suas características, a história e a evolução do SPDA. Também serão abordadas as inconformidades nas instalações de SPDA, os tipos de para-raios e os equipamentos relacionados. Em seguida, será feita uma revisão abrangente da literatura existente sobre as normas e os efeitos dos raios nas estruturas.

Posteriormente, será feita uma comparação entre o projeto existente de SPDA nas edificações analisadas e a NBR 5419/2015, destacando as diferenças e inconformidades. O objetivo é mitigar os erros na instalação do SPDA e propor possíveis soluções para os problemas identificados.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 ANÁLISE DAS EDIFICAÇÕES

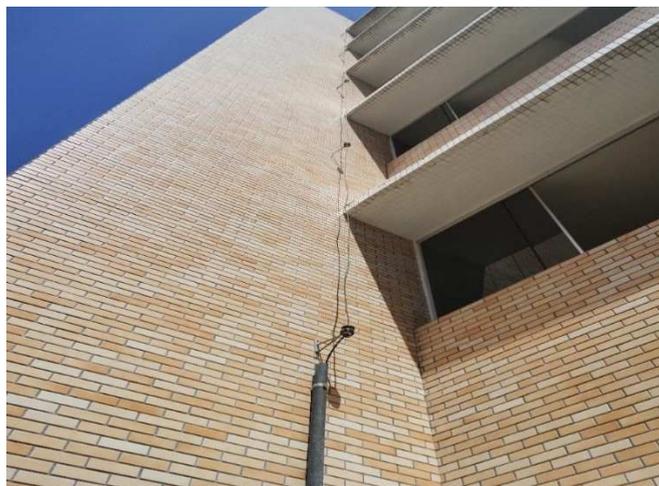
Foram avaliados os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas, em algumas edificações, localizadas na cidade de Campina Grande – PB, de acordo com a norma NBR 5419 de 2015, sendo observado as condições das instalações dos projetos, no seu aspecto físico.

A seguir serão apresentadas por unidade ou edificações, as irregularidades diagnosticadas nas inspeções.

5.1.1 ERROS NA QUANTIDADE DE CONDUTORES DE DESCIDA

Analisando a edificação do Centro de Humanidades – CH na UFCG, foi observado que a unidade possui apenas 1 (um) condutor de descida, conforme a ilustração na Figura 19.

Figura 19 – Edifício do Centro de Humanidades - CH (UFCG)



Fonte: o próprio autor.

Conforme a NBR 5419/2015, para um SPDA não isolado, como é o caso da edificação do Centro de Humanidades - CH na UFCG, o número mínimo de condutores de descida deve ser de dois, mesmo que o valor obtido ao dividir o perímetro pelo

espaçamento correspondente ao nível de proteção seja inferior. É necessário solicitar ao projetista os parâmetros utilizados no cálculo, considerando a importância de proteger o edifício e reduzir os riscos. Para um SPDA de classe IV, em função do perímetro da edificação, que é de aproximadamente 152 metros, seriam necessários ao menos oito condutores de descida.

5.1.2 ERRO NA INSTALAÇÃO DO CONECTOR DE MEDIÇÃO

As edificações, Centro de Humanidades – CH, Departamento de Arte e Mídia – DART e o auditório Rosa Tânia, todos na UFCG, não possuem conector de medição, para realizar ensaios do sistema de aterramento, conforme as ilustrações mostradas a seguir.

Figura 20 – Edifício Centro de Humanidades -CH (UFCG).



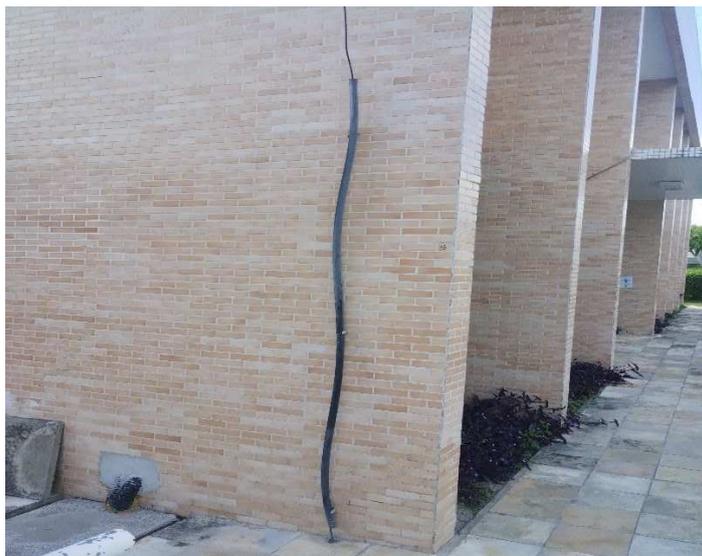
Fonte: o próprio autor.

Figura 21 – Departamento de Arte e Mídia - DART (UFCG).



Fonte: o próprio autor.

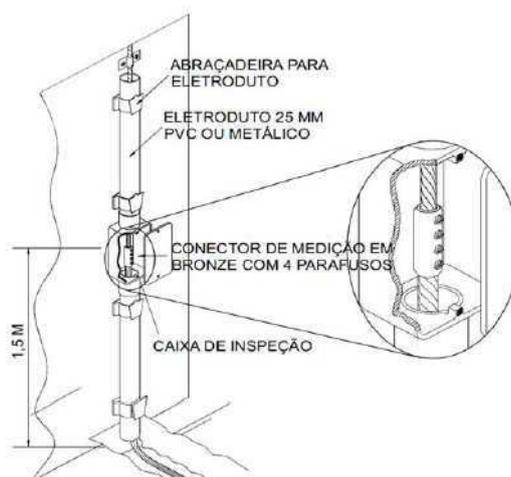
Figura 22 – Auditório Rosa Tânia (UFCG).



Fonte: o próprio autor.

Conforme NBR 5419-3, não são permitidas emendas em cabos de descida, exceto o conector para ensaios, o qual é obrigatório, a ser instalado próximo do solo (a altura sugerida é 1,5 m a partir do piso) de modo a proporcionar fácil acesso para realização de ensaios como é mostrado na figura abaixo:

Figura 23 – Detalhe da instalação de conexão de ensaio para condutores de descida na parede de alvenaria.



Fonte: (ENEGISA, NTU 014, 2017, p. 67).

5.1.3 ERRO NA INSTALAÇÃO DO ATERRAMENTO

Na edificação do Centro de Humanidades – CH na UFCG, foram inspecionadas as conexões do sistema de aterramento, onde pode ser observado que, o eletrodo de aterramento está exposto sobre a superfície.

Figura 24 – Edifício Centro de Humanidades - CH (UFCG)

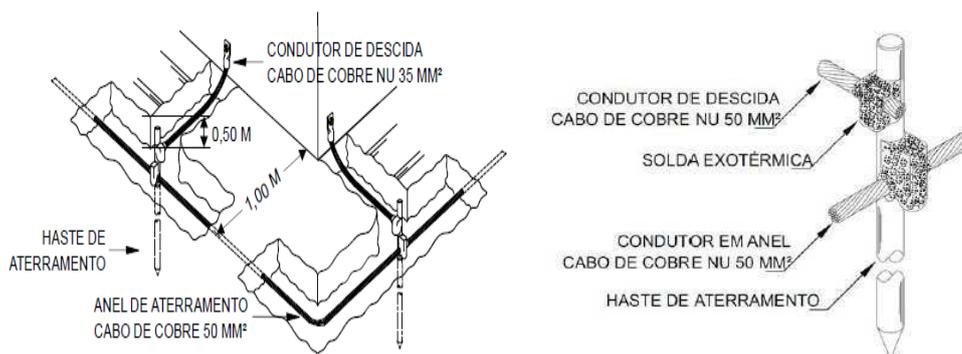


Fonte: o próprio autor.

Conforme determina o item 5.4.3 na NBR 5419-3/2015, “o eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado à distância aproximada de 1 m ao redor das paredes externas. Eletrodos de aterramento devem ser instalados de tal maneira a permitir sua inspeção durante a construção. A profundidade de enterramento e o tipo de eletrodos de aterramento devem ser constituídos de forma a minimizar os efeitos da corrosão e dos efeitos causados pelo ressecamento do solo e assim estabilizar a qualidade e a efetividade do conjunto.”.

Nesse sentido, com as hastes instaladas, a conexão do condutor de aterramento deve ser fixada a haste por meio de solda exotérmica. Caso optem por fixar os condutores as hastes por meio de conector, a haste de aterramento deve ser instalada dentro da caixa de inspeção, e o conector deve ser revestido por massa de calafetear, para prevenir ou retardar a oxidação. O local de conexão do cabo de aterramento deve ser lixado para remover a tinta e/ou oxidação. Recomenda-se evitar a utilização de materiais diferentes em um mesmo subsistema de aterramento. Quando isso não for possível, convém adotar medidas para evitar a corrosão.

Figura 25 – Detalhe do anel de aterramento.

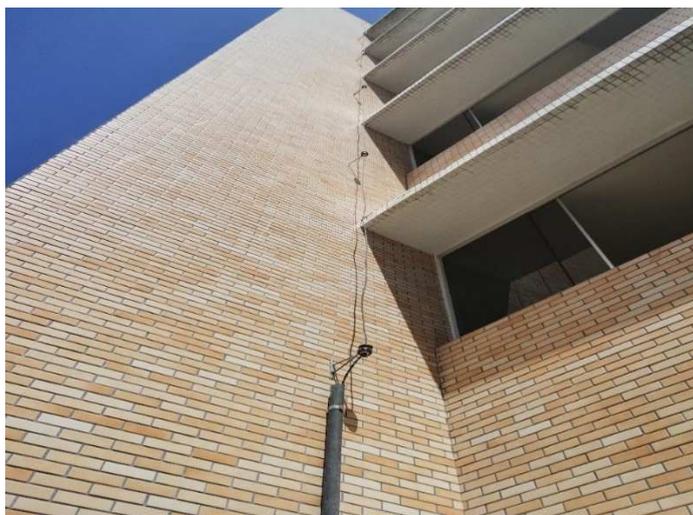


Fonte: (ENEGISA, NTU 014, 2017, p. 70).

5.1.4 ERRO NA FIXAÇÃO DOS CONDUTORES DA MALHA DE CAPTAÇÃO E CONDUTORES DE DESCIDA

As edificações, Centro de Humanidades – CH, auditório Rosa Tânia, na UFCG, Ministério Público Federal de Campina Grande - PB, além dos postos de combustível São Marcos (Avenida Jorn. Assis Chateaubriand), São Luiz (Rua Cônsul Joseph Noujaim Habib Nacad) e Ipiranga (Avenida Aprígio Veloso), apresentam falha com relação a fixação dos condutores da malha de captação e condutores de descida como mostra as figuras a seguir:

Figura 26 – Edifício do Centro de Humanidades - CH (UFCG)



Fonte: o próprio autor.

Figura 27 – Auditório Rosa Tânia (UFCG).



Fonte: o próprio autor.

Figura 28 – Prédio do Ministério Público Federal em Campina Grande - PB.



Fonte: o próprio autor.

Figura 29 – Posto de Gasolina São Marcos.



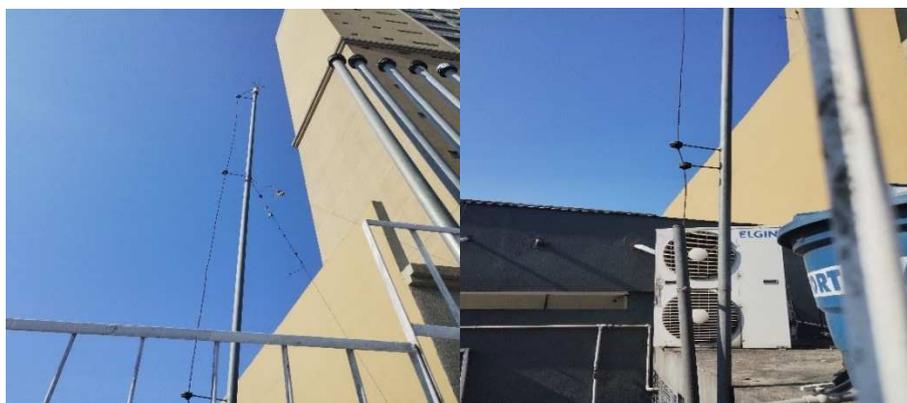
Fonte: o próprio autor.

Figura 30 – Posto de Gasolina São Luiz.



Fonte: o próprio autor.

Figura 31 – Posto de Gasolina Ipiranga.



Fonte: o próprio autor.

Na malha captora das unidades ilustradas nas figuras, diversos pontos de fixação dos condutores da malha e de descida apresentam problemas, pois o isolador não garante a fixação adequada do cabo. Dessa forma, caso o cabo se rompa, ele cairá por falta de fixação adequada. De acordo com a NBR 5419 – 3/2015, no seu item 5.5.2, “Elementos captadores e condutores de descidas devem ser firmemente fixados de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais (por exemplo, vibrações, expansão térmica etc.) não causem afrouxamento ou quebra de condutores.”.

Faz-se necessária a utilização de fixadores em todos os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas anteriormente citados, com conector bimetálico livre de corrosão. Deve ser realizada uma limpeza adequada do conector para remover crosta ou outros elementos que promovam a oxidação da conexão. A seguir é mostrado exemplos de conectores para fixação a serem utilizados:

Figura 32 – Fixadores para condutores de malha e descida.



Fonte: (PARATEC).

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este estudo realizou um levantamento de edificações com SPDA instalado e verificou a conformidade dessas instalações com a NBR 5419/2015. Foi demonstrada a importância do SPDA na proteção contra descargas atmosféricas, ressaltando como sua implementação correta é crucial para a segurança das construções e das pessoas.

Além disso, foram identificadas e apresentadas as inconformidades comuns em projetos de SPDA, sendo as inconformidades mais frequentes a presença de apenas um condutor de descida, a ausência de conector de medição, eletrodo de aterramento exposto e problemas na fixação dos condutores.

Também foram apresentadas soluções com base na NBR 5419/2015 para a realização de manutenção corretivas dos sistemas instalados, com a finalidade de preservar a vida humana e de animais e a integridade das edificações.

O estudo de caso foi conduzido de forma didática, com o intuito de reduzir os erros frequentemente encontrados na instalação de SPDA, que podem resultar em danos à estrutura e riscos à vida humana devido a choques elétricos. Para a aplicação prática, é fundamental definir os riscos, danos e particularidades de acordo com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5419 de 2015.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou que, embora o SPDA seja um componente fundamental na proteção contra raios, muitas instalações ainda estão em desacordo com as normas técnicas, principalmente devido a planejamento inadequado, uso de materiais de baixa qualidade e falta de manutenção e inspeção. Tais deficiências podem resultar em danos significativos e riscos à vida humana, evidenciando a necessidade urgente de intervenções corretivas.

Entre as principais inconformidades identificadas estão a presença de apenas um condutor de descida, a ausência de conector de medição, eletrodos de aterramento expostos e problemas na fixação dos condutores. Essas falhas são, em grande parte, resultado de tentativas de redução de custos, falta de conhecimento técnico adequado e negligência em seguir as normas estabelecidas.

Com o objetivo de mitigar esses problemas, este trabalho realizou um levantamento de edificações com SPDA instalado, verificando sua conformidade com a NBR 5419/2015. Também foram apresentados os erros comuns nos projetos de SPDA, com a finalidade de oferecer soluções para garantir a segurança e a eficácia do sistema. Entre as soluções propostas, destacam-se a adequação dos projetos às normas vigentes, a capacitação técnica dos profissionais envolvidos e a realização de inspeções periódicas.

Em conclusão, para garantir a eficácia do SPDA, é imprescindível seguir rigorosamente as diretrizes da ABNT NBR 5419/2015 e realizar manutenções regulares. Isso não apenas reduzirá os riscos associados às descargas atmosféricas, mas também elevará os padrões de segurança das edificações, protegendo vidas e patrimônios.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALBRECHT, R. I. et al. **Where are the lightning hotspots on Earth?** *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 97, p. 2051-2068, 2016. ISSN 11.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: **Princípios Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-3: **Danos físicos a estrutura e perigos a vida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-4: **Danos físicos a estrutura e perigos a vida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BELTANI, Juliano M. **Medição de Malha de Terra em Subestações Energizadas**. 2007. 82p. Dissertação - Mestrado Engenharia Elétrica - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87268/beltani_jm_me_ilha.pdf?sequence=1> Acesso em: 28 julho. 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Brasília: Presidência da República, [2002]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406compilada.htm?ref=blog.suitebras.com#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2010.406%2C%20DE%2010%20DE%20JANEIRO%20DE%2002&text=Institui%20o%20C%C3%B3digo%20Civil.&text=Art.,e%20deveres%20na%20ordem%20civil. Acesso em 17 de julho de 2024.

BRASIL. **Lei nº 7.209, de 11 de julho de 1984**. Altera dispositivos do Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 - Código Penal, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [1984]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/17209.htm. Acesso em 17 de julho de 2024.

CAVALIN, Geraldo. **Instalações Elétricas Prediais**. 16ª edição, Ed. Érica Ltda. São Paulo, 2016

CEMIG - **Manual de Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão**. Disponível em: <www.cemig.com.br> 2005. Acesso em: 25 jul. 2024

CLAMPER. **Site institucional**. Disponível em: <<https://clamper.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2024.

CONFEA. Disponível em: <<http://www.confex.org.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

COSTA, I. **Fogo Versus Microondas**. São Paulo: [s.n.], 1995.

- DE SOUZA, A. N. et al. **SPDA - Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**. São Paulo: Érica, 2012.
- DE STÉFANI, R. V. **Metodologia de projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas contra edifício residencial**. São Carlos: [s.n.], 2011.
- EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- EBANATAW. **Gaiola de Faraday: proteção contra raios**. Site institucional, 2024. Disponível em: <<https://www.ebanataw.com.br/raios/faraday.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- ENERGISA. NTU 014 – ABNT NBR 5419/2015. **Projetos de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Subestações de Distribuição**. Versão: 1.0. 2017. Local: João Pessoa - PB, 02/10/2017.
- FIGUEIREDO, Luiz Antônio. **International Copper Association Brazil – Manual de Aterramento Elétrico**, 2014. Disponível em: <www.procobre.org/pt/> Acesso em: 29 de jul. 2024.
- GUIMARÃES, Pablo. **O que é um DPS? Blog**, 2023. Disponível em: <<https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/o-que-%C3%A9-um-dps>>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Infográfico: Mortes por raios (2000-2019)**. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/imagesNovoLayout/arte/Infografico_Mortes_Raios_2000-2019_alta.jpg>. Acesso em: agosto de 2024.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ocorrência de raios na Terra**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ocorrencia.na.terra.php>>. Acesso em: 15 ago. de 2024.
- ISAACSON, Walter. **Benjamin Franklin: uma vida americana, tradução Pedro Maia Soares**. 1ª ed. — São Paulo, Companhia das Letras, 2015.
- KINDERMAN, Geraldo. **Proteção contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas**. 4ª Edição. Florianópolis/SC: Edição do autor, 2009.
- KINDERMANN, Geraldo. **Descargas Atmosféricas**. 2. Ed. Porto Alegre: Sagra - DC Luzzatt Editores, 1997. 127 p.
- LIMA, Andrea Maria. **Proteção contra descargas atmosféricas (raios)**. 14 ago. 2014. Disponível em: <<https://blog.se.com.br/eletrica/2014/08/14/protecao-contra-descargas-atmosfericas-raios/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.
- MACHADO, C. **Manual de projetos elétricos**. 1.ed. São Paulo: Biblioteca 24x7,2008, p.127-129.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2017.

- MORTE POR RAIOS NO BRASIL. **Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) – INPE**. [2024]. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mortes.por.raios.-infografico.php>. Acesso em 16 de julho de 2024.
- NISKIER, Julio; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013. p. 295.
- NISKIER, Julio; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014.
- PARATEC. **Suporte para telha cerâmica**. Disponível em: <https://www.paratec.com.br/produtos/suporte-para-telha-ceramica/>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- PINTO JUNIOR, O.; PINTO, I. D. A. **Relâmpagos**. 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 2008.
- PORTIER, G.C. et al. **Física dos raios e Engenharia de proteção**. 2.ed. Porto alegre: EDPUCRS,2010, cap. 03, p. 47-60. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: guia PMBOK. 6. ed. Newtown Square, PA: PMI, 2017.
- POTIER, G. D. C. **Física dos raios & Engenharia de segurança**. 2. ed. Porto Alegre: EdPUCRS, 2010.
- SANTOS, L. D.; LIMA, R. S; **SPDA: Sistema de Proteção contra descargas atmosféricas**. Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2011. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAe9sYAK/trabalho-spda#>> Acesso em 28 jul. 2024.
- SEITO, A. I. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- STEFANI, Rodrigo Verardino. **Metodologia de Projeto de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Para Edifício Residencial**. Universidade de engenharia de São Carlos, 2011.
- TERMOTECNICA. **Elaboração do projeto de SPDA**. Disponível em: <https://tel.com.br/engenharia/elaboracao-do-projeto-de-spda/> (Acessado dia 26/07/2024, as 10:25).
- VANDERSON, Flávio. **ENE065 - Instalações Elétricas I - Introdução às Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 2011. Disponível em: http://www.ufjf.br/flavio_gomes/files/2011/03/Material_Curso_Instalacoes_I.pdf>. Acesso em: 27 de jul 2024.
- VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de Projetos**. 9. ed. São Paulo: Brasport, 2018.
- VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia**.1. ed. São Paulo: Artiber, 2005, 272p.
- VISACRO, S. F. **Descargas Atmosféricas: Uma abordagem de engenharia**. [S.l.]: Artliber, 2005.

