



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIAMÉRICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

NBR 5419/2015: ESTUDO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DE UM EDIFÍCIO
COMERCIAL

HARTSON SAMYR JACÓ

Foz do Iguaçu – PR.

Novembro, 2020.

HARTSON SAMYR JACÓ

NBR 5419/2015: ESTUDO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DE UM EDIFÍCIO
COMERCIAL

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Uniamérica.

Orientação: Prof. Dra. Luciana P. Scarin Freitas.

Foz do Iguaçu – PR.

Novembro, 2020.

RESUMO

O Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo dada sua magnitude e localização geográfica. As descargas elétricas podem causar danos à vida e a bens materiais. Com o intuito de minimizar esses danos, a ABNT formulou a NBR 5419, que foi atualizada no ano de 2015 e possui quatro partes. A norma descreve como uma edificação deve ter um sistema de proteção de descargas atmosféricas adequadamente instalado e como coordenar sua manutenção. Para tanto a norma possui uma metodologia de gerenciamento de riscos que precisa ser aplicada de forma correta. O problema abordado é a aplicação do Gerenciamento de Risco na estrutura comercial em estudo. O objetivo geral é mostrar a aplicação prática desta seção da norma, para tanto, o método utilizado na pesquisa tem base descritiva e exploratória com técnicas quantitativas de obtenção de dados para os cálculos de análise de risco.

Palavras chave: Gerenciamento de risco, SPDA, Descargas atmosféricas.

ABSTRACT

Brazil is the country with the highest incidence of lightning in the world given its magnitude and geographical location. Electrical discharges can cause damage to life and property. In order to minimize these damages, ABNT formulated NBR 5419, which was updated in 2015 and has four parts. The norm describes how a building should have a lightning protection system properly installed and how to coordinate its maintenance. Therefore, the norm has a risk management methodology that needs to be applied correctly. The problem addressed is the application of Risk Management in commercial structure under study. The general objective of this is to show the practical application of this section of the norm, therefore, the method used in the research has a descriptive and exploratory basis with quantitative techniques for obtaining data for risk analysis calculations.

Key word: Risk management, SPDA, Lightning discharges.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa isoceráunico	16
Figura 2 - Método de Franklin	17
Figura 3 - Gaiola de Faraday	18
Figura 4 - Esfera Rolante.....	19
Figura 5 - Impulso atmosférico curto período.....	21
Figura 6 - Impulso atmosférico de longo período	22
Figura 7 - Relação dos danos e perdas com ponto de impacto.....	25
Figura 8 - Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.	32
Figura 9 - Ângulo de proteção de acordo com a classe do SPDA e altura.....	33
Figura 10 - Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.....	36
Figura 11 - Zonas de proteção contra descargas atmosféricas	39
Figura 12 - Mapa Topográfico	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de risco tolerável RT	31
Tabela 2 - Distância entre condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe do SPDA.	34
Tabela 3 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento	37
Tabela 4 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Risco de perda de vida humana (L1)	28
Quadro 2 - Risco de perda de serviço público (L2)	28
Quadro 3 - Risco de perda de patrimônio cultural (L3)	29
Quadro 4 - Risco de perda de valor econômico (L4)	29
Quadro 5 - Fatores que influenciam os componentes de risco.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS

- AD - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
- ADJ - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
- AI - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
- AL - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
- AM - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
- BEL - barras de equipotencialização local
- BEP - barramento de equipotencialização principal
- CD - Fator de localização
- CDJ - Fator de localização de uma estrutura adjacente
- CE - Fator ambiental
- CI - Fator de instalação de uma linha
- CLD - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
- DPS - dispositivo de proteção contra surtos
- ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica
- hz - Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
- IEC - *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- LEMP - impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas
- LL - Comprimento de uma seção da linha
- MPS - medidas de proteção contra surtos
- NBR – Norma Brasileira
- ND - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura
- NDJ - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente
- NG - Densidade de descargas atmosféricas para a terra
- NI - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha
- NL - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha
- NM - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura
- nt - Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado
- NX - Número de eventos perigosos por ano
- nz - Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)

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

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

PDA – Proteção Contra Descarga Atmosférica

PEB - Probabilidade de reduzir PU e PV dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada

PLD - Probabilidade de reduzir PU, PV e PW dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)

PTA - Probabilidade de reduzir PA dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo

PU - Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

PV - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

PW - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)

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

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

rf - Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio

rp - Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio

rt - Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo

RT - Risco tolerável

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

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

S1 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura

S2 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura

S3 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha

S4 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha

SPDA – Sistema de Proteção contra Descarga Atmosférica

te - Tempo, em horas por ano, da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura

tz - Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso

ZRP - zonas de proteção contra raios

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. PROBLEMA	12
1.2. ANÁLISE DE ALGUMAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS SOBRE SPDA.....	13
1.3. FORMAÇÃO E INCIDÊNCIA DOS RAIOS.....	15
2. NBR 5419/2015.....	19
2.1. PRINCÍPIOS GERAIS	20
2.2. GERENCIAMENTO DE RISCO.....	23
2.2.1. Componentes do risco	26
2.2.2. Composição dos componentes de risco	27
2.2.3. Risco Tolerável.....	30
2.2.4. Procedimento Para Averiguar a Necessidade de Proteção e Medidas adicionais .	31
2.3. DANOS FÍSICOS A ESTRUTURA E PERIGOS À VIDA	33
2.4. SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS NA ESTRUTURA	38
3. METODOLOGIA.....	40
4. ESTUDO DE CASO	40
4.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	41
4.2. CÁLCULO DE RA – RISCO DE FERIMENTOS A SERES VIVOS CAUSADO POR DESCARGAS NA ESTRUTURA	42
4.3. CÁLCULO DE RB – RISCO DE DANOS FÍSICOS NA ESTRUTURA CAUSADO POR DESCARGAS NA ESTRUTURA	43
4.4. CÁLCULO DE RU – RISCO DE FERIMENTOS A SERES VIVOS CAUSADOS POR DESCARGAS NA LINHA CONECTADA (LINHA DE ENERGIA)	44
4.5. CÁLCULO DE RV – RISCO DE DANOS FÍSICOS NA ESTRUTURA CAUSADO POR DESCARGAS NA LINHA CONECTADA.....	47
4.6. R1 – RISCO DE PERDAS OU DANOS PERMANENTES EM VIDAS HUMANAS ..	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
8. ANEXO A.....	55
9. ANEXO B.....	61

1. INTRODUÇÃO

Descargas elétricas atmosféricas são ocorrências típicas da natureza e suas características são totalmente imprevisíveis em especial quanto ao local a serem atingidos, intensidade da descarga elétrica e o período de duração do evento.

Descarga atmosférica é um tipo de descarga elétrica que pode ocorrer entre nuvens ou entre nuvem e terra e, consiste em impulsos elétricos denominados raios, segundo Cruz e Aniceto (2012), os raios são impulsos elétricos de alta tensão, podendo chegar até 100 kV, com duração muito pequena, em torno de 200 milissegundos.

As consequências de ficar exposto de maneira direta ou indireta a uma descarga atmosférica pode acarretar sérios danos desde queimaduras até causar o óbito de uma pessoa ou animal. Os efeitos segundo FILHO (2018) também são sentidos no que diz respeito a interferências e avarias em redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica e sistemas de telecomunicações. Os problemas também podem se estender para incêndios em edificações e florestas.

Em vista da necessidade de neutralizar ou minimizar tais problemas, foi elaborada a norma Brasileira NBR 5419 que trata sobre SPDA (sistema de proteção contra descarga atmosférica) e por sua vez teve diversas atualizações ao longo dos anos com o intuito de trazer novas metodologias e segurança para pessoas, animais e também as edificações. A versão mais recente é a NBR 5419/2015, composta por 04 partes, a primeira discorre sobre princípios gerais, a segunda fala de gerenciamento de risco, a terceira comenta a respeito de danos físicos a estruturas e perigos à vida e a quarta parte com relação a sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

O projeto tem por finalidade identificar através do gerenciamento de risco da NBR 5419/2015 a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas de um edifício comercial que possui 5 pavimentos totalizando aproximadamente 1350 metros quadrados de área construída, localizado na região central da cidade de Foz do Iguaçu. É importante frisar que a estrutura possui um SPDA antigo, em desacordo com a versão estudada que é a de 2015. De acordo com a norma no item 7 diz que a “eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação, manutenção e métodos de ensaio utilizados. Todos estes fatores não podem ser realizados durante a ameaça de tempestade.” (NBR 5419/2015 - 3). Visto tamanha importância do tema, é fundamental o estudo no SPDA para identificar sinais de desgaste ao longo do seu sistema, ocasionado por intempéries, e demais problemas que pode torná-lo

ineficaz numa eventual descarga elétrica, assim não cumprindo integralmente sua função. Vale ressaltar que para o bom funcionamento, cada parte do conjunto deve estar em boas condições e suas manutenções que atendam a normativa mais atual, pois segundo o item 7.4.1 da norma “a regularidade das inspeções é condição fundamental para a confiabilidade de um SPDA” (NBR 5419/2015 - 3).

O cronograma do estudo é realizado primeiro com a coleta de informações bibliográficas relevantes que aborda o tema de forma criteriosa e detalhada, junto da norma mais atual NBR 5419/2015 que fixa condições mínimas de eficiência e eficácia de funcionamento de um para-raio. De posse dessas informações elaborar o gerenciamento de risco para verificar a exigência ou não de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Já na terceira e última etapa, após levantar todas as informações necessárias, recomendar pontos de melhorias com o foco na segurança de pessoas e animais que estão dentro ou próximos a edificação.

Espera-se que o estudo produza bons resultados no quesito aperfeiçoar os aspectos técnicos e segurança à vidas que o SPDA pode oferecer no local, além do enriquecimento didático sobre o tema proposto que é a aplicação do gerenciamento de risco no sistema de proteção de descargas atmosféricas existente no edifício em estudo e descrever pontos de melhorias ao longo do sistema.

1.1. PROBLEMA

Segundo Cruz e Aniceto (2012), o Brasil é o país com a maior incidência de raios do mundo, em torno de 100 milhões por ano. Devido às altas incidências de descargas atmosféricas, é adequado um estudo preciso sobre a necessidade ou não de um SPDA e suas medidas de proteção contra surtos na edificação.

A NBR 5419-2 (2015) estabelece que a decisão de prover uma proteção contra descargas atmosféricas pode ser tomadas independentemente do resultado da análise de risco, ou seja, medidas adicionais das exigidas podem serem realizadas como forma de atenuar ainda mais possíveis danos ou perdas.

Desta forma é fundamental estudar e saber se a estrutura atende aos requisitos mínimos de segurança da NBR 5419/2015 parte 2, no qual a pesquisa aborda exclusivamente o tema que diz respeito ao gerenciamento de risco, que delimita características para verificar a necessidade de um SPDA, posteriormente identificado a exigência ou não da instalação do sistema, é

averiguado a condição do ambiente para pontuar possíveis melhorias, com o intuito de manter os níveis de segurança dentro dos padrões toleráveis de acordo com a norma, maximizando os recursos existentes da instalação.

1.2. ANÁLISE DE ALGUMAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS SOBRE SPDA

O livro instalações elétricas - fundamentos, prática e projetos em instalações elétricas escrito por Cruz e Aniceto (2012) aborda conceitos de descargas elétricas, causas e efeitos, também destaca alguns pontos importantes a serem considerados na hora de realizar o projeto de um SPDA, partindo da seleção do nível de proteção e avaliação de risco, os tipos de sistema de proteção que podem ser utilizados de acordo com as características do local e os dispositivos de proteção contra surtos de tensão causados tanto por descargas atmosféricas quanto pelo próprio sistema elétrico

A NBR 5419 passou por uma atualização que foi emitida em 2015, esta versão, se alinha muito mais aos parâmetros internacionais, cuja raiz nasce na Norma IEC 62305. Com a atualização, ela foi subdividida em 4 partes, compostas de “Princípios Gerais do PDA – Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA é uma parte dele)”, “Gerenciamento de Risco”, “Danos físicos a estruturas e perigos à vida” e “Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura”.

A primeira parte da NBR 5419/2015 - Princípios Gerais do PDA, apresenta os princípios da proteção contra descargas atmosféricas. Um ponto importante que passa a fazer parte além do SPDA (sistema de proteção contra descargas atmosféricas) são as MPS (medidas de proteção contra surtos), nas quais a norma passa a abranger aspectos externos e internos de proteção à estrutura, além disso, ela comenta sobre parâmetros da corrente da descarga atmosférica, também define tipos e fontes de danos a uma estrutura, as perdas em relação dos tipos e fontes de danos, relacionando-os com os riscos.

Já na parte dois da NBR 5419/2015 - Gerenciamento de Risco, é possível perceber uma mudança mais significativa visto que na versão de 2005 da norma o risco era classificado de maneira simples, e a maioria já estava pré-estipulado, agora precisa ser mais detalhado, através de uma análise mais precisa é que será definido o risco. Esta parte apresenta a metodologia para a quantificação do risco, a fim de analisar se ele é aceitável ou não aceitável, levando em consideração perdas ou danos de valor social como: patrimônio cultural, vidas humanas e serviços ao público.

A parte três da NBR 5419/2015 - Danos físicos a estruturas e perigos à vida, fornece critérios de projeto, instalação, manutenção do conjunto de SPDA. uma relação entre o impacto causado pela descarga atmosférica diretamente na edificação e à vida. vale ressaltar que alguns requisitos para uma inspeção de um SPDA, sendo eles:

a) O SPDA esteja de acordo com o projeto baseado nesta norma.

b) Todos os componentes do SPDA estão em boas condições e são capazes de cumprir suas funções; que não apresentem corrosão, e atendam às suas respectivas normas.

c) qualquer nova construção ou reforma que altere as condições iniciais previstas em projeto além de novas tubulações metálicas, linhas de energia e sinal que adentrem a estrutura e que estejam incorporados ao SPDA externo e interno se enquadrem nesta Norma.

Conforme descrito na NBR 5419 (2015), as inspeções devem ser realizadas periodicamente, por um profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente, em intervalos determinados, assim relacionados.

Quanto à periodicidade a norma 5419/2015-3 especifica um ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais, entre outros) ou ainda estruturas pertencentes a fornecedores de serviços considerados essenciais (energia, água, hospitais, telefonia) e cada 3 anos para demais edificações.

Durante as inspeções, existem alguns itens de maior importância, são eles: deterioração e corrosão dos captores, condutores de descida e conexões, condição das equipotencializações, corrosão dos eletrodos de aterramento, e, verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Por fim, a quarta parte da NBR 5419/2015 - Sistemas elétricos e eletrônicos internos a estrutura, apresenta uma correlação entre as normas 5419/2015 e 5410/2004 - Instalações elétricas de baixa tensão, sobre os efeitos da descarga atmosférica nas instalações e equipamentos dentro da edificação e as condições adequadas para o correto funcionamento e principalmente seguro da instalação elétrica de baixa tensão, desta forma estabelece diretrizes para as medidas contra surtos em toda a estrutura.

Escrito por Gebran e Rizzato (2017) o livro Instalações Elétricas Prediais conta com as principais funções, conceitos e esquemas de aterramento, utiliza da versão da NBR 5419 do ano de 2005 para abordar os principais pontos para a proteção de um sistema, conta também com uma parte destinada especificamente para descargas atmosféricas e como são formadas.

Em seu livro instalações elétricas industriais, Filho (2018) dedica um capítulo para comentar sobre proteção contra descargas atmosféricas, no qual o autor parte do princípio da origem dos raios, percorrendo até a parte técnica em que aborda de forma sucinta a norma 5419/2015 que auxilia no entendimento e aplicação dos mais diversos projetos de SPDA.

Nesse cenário, é fundamental a atualização do sistema de proteção contra descargas atmosféricas de acordo com a norma mais recente, visto que pode trazer resultados significativos de segurança à vidas e também aos aparelhos internos da estrutura, como consequência eliminar ou reduzir ao máximo custos não programados devido a queima e avaria de equipamentos.

1.3. FORMAÇÃO E INCIDÊNCIA DOS RAIOS

A criação dos raios se inicia pela formação de uma nuvem chamada cúmulo-nimbo, que tem como característica grande crescimento vertical, com isso, existem a formação de água e gelo dentro da nuvem por correntes de ar úmido, que, com a ajuda do vento, se colidem gerando eletricidade. Segundo Cruz e Aniceto (2012), o granizo alojado na base da nuvem, com carga negativa, repele os cristais de gelo carregados positivamente para o topo, de modo que a nuvem fica polarizada.

A rigidez dielétrica do ar normalmente é elevada, contudo, com a presença de umidade e íons misturados com o ar, essa resistência encontra-se drasticamente diminuída. Com a rigidez reduzida, a concentração de cargas positivas e negativas resultam em uma diferença de potencial entre a nuvem e a terra, com o aumento dessa diferença de potencial, é possível que ocorra um rompimento da rigidez dielétrica do ar, fazendo cargas negativas migrarem para o solo com a chamada descarga piloto.

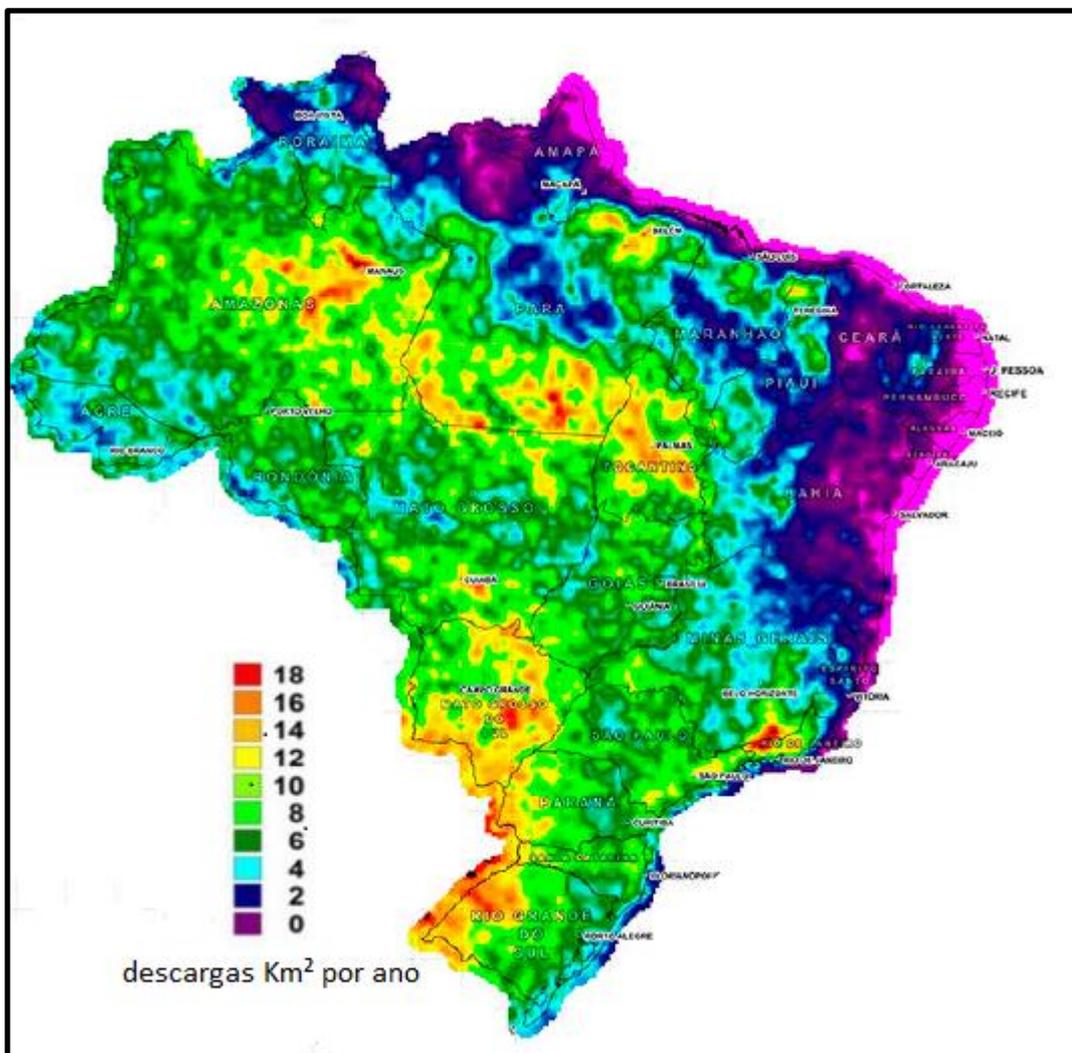
Segundo Filho (2018), A descarga piloto forma um canal contínuo de ar ionizado entre a nuvem e a terra, curto-circuitando as duas superfícies. Surge assim das ramificações da descarga piloto, a descarga de retorno ou principal, juntamente com uma descarga de intensidade inferior, assim formando a descarga completa.

Dentre esses acontecimentos, podemos destacar alguns fenômenos que ocorrem nesse meio e que podemos definir. Segundo Filho (2018), relâmpago é um efeito luminoso causado pelas colisões de íons e átomos e a constante liberação de energia, e trovão, movimento do ar que envolve o raio em todo seu percurso, por efeito da grande temperatura.

Os raios tendem a cair nos pontos mais elevados, como por exemplo em regiões montanhosas, árvores, antenas, etc. Com relação aos terrenos, segundo Cruz e Aniceto (2012), houve uma comprovação estatística de que os solos menos condutores são mais propícios a descargas atmosféricas, e a explicação para tal fenômeno ocorrer é que esses solos possuem maior concentração de carga elétrica na superfície.

O estudo da formação geológica do solo e subsolo das regiões permite analisar o comportamento das regiões em relação à incidência das descargas atmosféricas. O resultado desse estudo está descrito no mapa isoceráunico da Figura 1 que estima o número de raios por quilômetro quadrado por ano. (CRUZ, ANICETO, 2012)

Figura 1 - Mapa isoceráunico



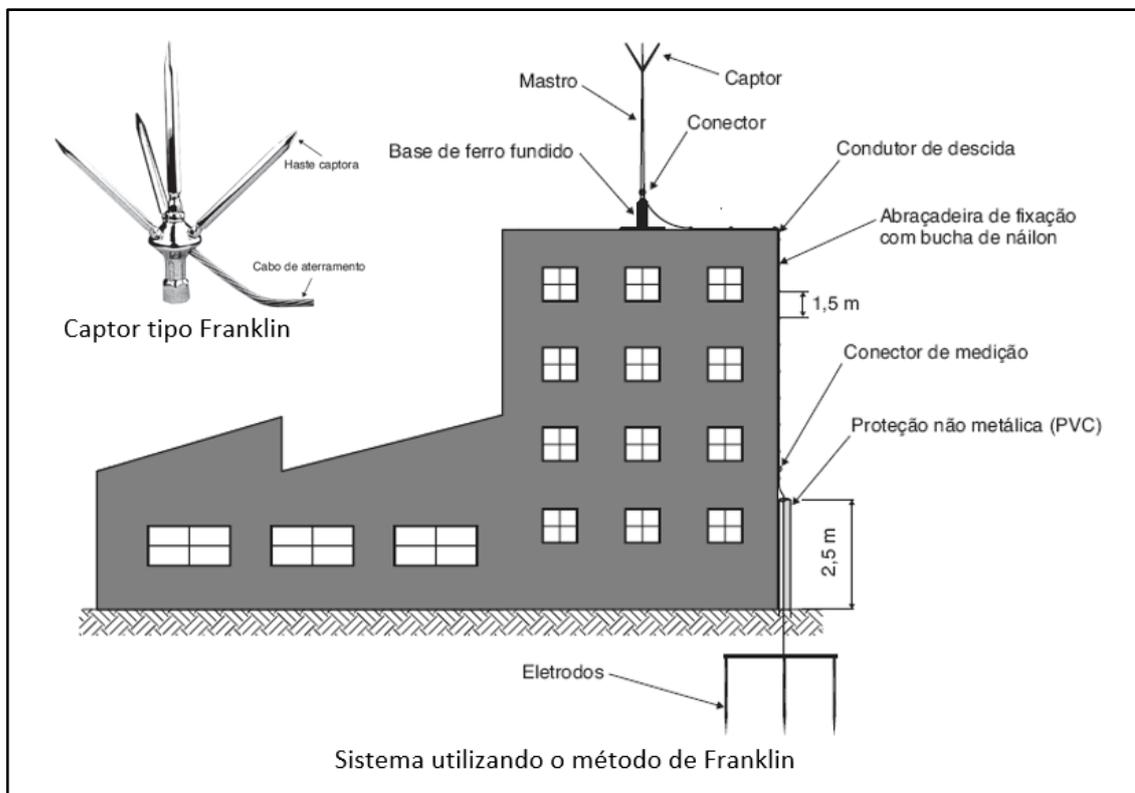
Fonte: ABNT NBR 5419-2015.

Com essa possibilidade de descargas atmosféricas atingirem vários locais de grande importância e risco, e como não é possível impedir essas descargas, foram desenvolvidos os para-raios para tentar controlá-las e descarregá-las de forma segura. Existem três métodos de sistemas protetores, são eles, Para-raios de Franklin, Gaiola de Faraday, e o Método Eletromagnético.

O método de Franklin é formado por um captor no ponto mais alto do local a ser protegido, o raio de proteção tem um formato de cone que depende da altura e do nível de proteção necessário, juntamente com um cabo de descida que é ligado a uma haste de aterramento no solo. Segundo Filho (2018) esse é o método universalmente aceito, usual em proteção de edifícios.

No método de Franklin, demonstrado na Figura 2, consta todos os componentes de um sistema de Franklin, desde o captor, o que o caracteriza como método de Franklin, até os eletrodos, que são utilizados para o aterramento.

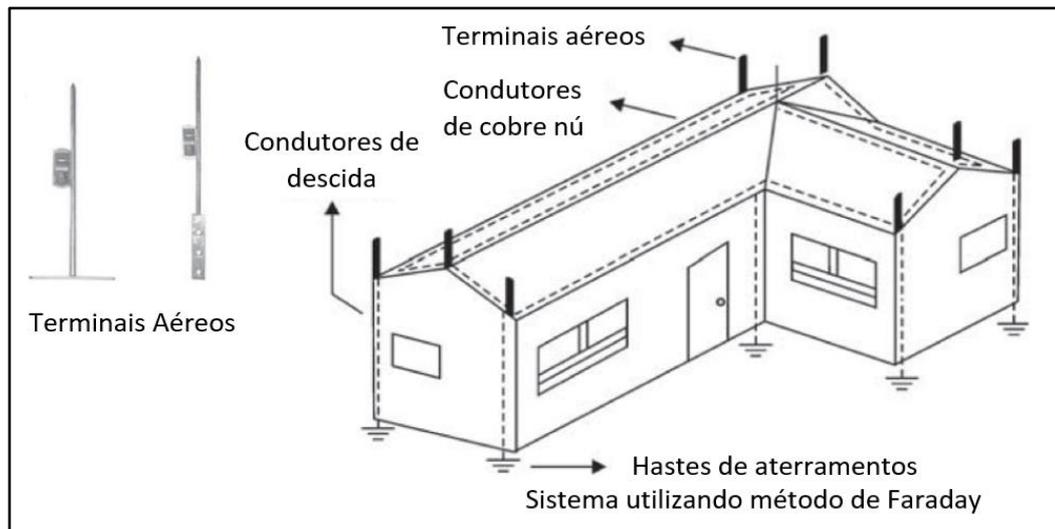
Figura 2 - Método de Franklin



Fonte: Mamade (2017).

O método de Faraday também conhecido como Gaiola de Faraday, é composto por vários captadores em formato retangular contornando todo o local que deseja proteger, conforme mostrado na figura 3. Esse sistema, segundo Cruz e Aniceto (2012), parte do princípio de que um corpo encerrado em uma estrutura metálica interligada (gaiola) fica protegido contra as descargas externas, apresentando campo elétrico nulo em seu interior, funcionando como blindagem.

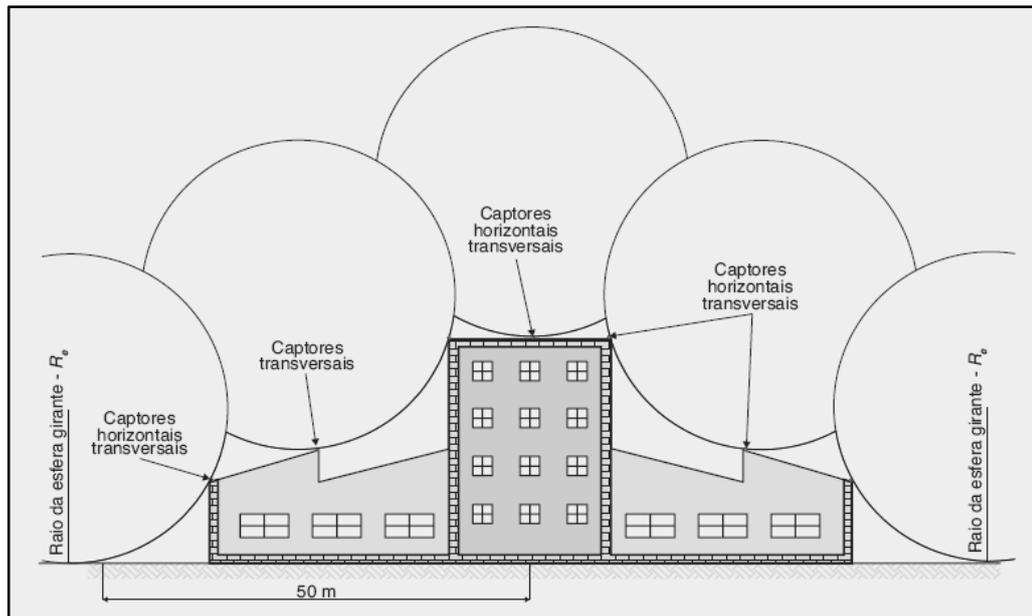
Figura 3 - Gaiola de Faraday



Fonte: Cruz e Aniceto (2018).

O método Eletrogeométrico, também conhecido como esfera rolante ou fictícia, é um tipo de proteção onde, de acordo com Nery (2017), consiste em imaginar uma esfera fictícia cujo raio, R , corresponde à distância de atração da descarga atmosférica deslocando-se ao lado e sobre a estrutura, as partes da estrutura não tocadas pela superfície da esfera estão protegidas, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Esfera Rolante



Fonte: Mamede(2018).

Além desses, havia outro chamado Para-raios Radioativo, com o objetivo de, segundo Filho (2017), criar uma elevada ionização do ar sobre ele por meio do bombardeio do ar por partículas alfa emitidas pelo material radioativo. Contudo, por ser um material radioativo, seu uso foi proibido em inúmeros países, inclusive no Brasil.

2. NBR 5419/2015

SANTINI (2016) corrobora pontuando que a NBR 5419 de 2015 após 10 anos da sua até então última atualização (2005), foi projetada com base na norma internacional IEC 62305. Com uma visão mais técnica, o intuito da atualização é que haja um impacto positivo na área elétrica, de forma a causar mudanças também no mercado de equipamentos, na conduta dos profissionais e principalmente na segurança das edificações e às pessoas que nela circulam. De acordo com COELHO (2011), a norma internacional IEC 62305 criada em 2006 contém quatro volumes referente a SPDA:

Parte 01: Princípios Gerais

Parte 02: Gerência de Risco

Parte 03: Danos físicos a Estrutura e perigo de vida

Parte 04: Sistemas Eletroeletrônicos embarcados

A norma internacional IEC 62305 de 2010 (*International Electrotechnical Commission*) é a Comissão Eletrotécnica Internacional que contextualiza de forma abrangente dentro de suas partes o projeto de um SPDA, trata aspectos na parte 01 a respeito das características gerais e técnicas sobre descargas atmosféricas, riscos inerentes, já na parte 02, é mostrada a ferramenta para análise probabilística de riscos referente a descargas atmosféricas, o qual envolve estruturas simples e complexas. Com relação à parte 03, são expostas técnicas para a proteção de estrutura contra os raios, a qual aborda meios de controle dos danos indiretos das descargas, como também diretivas para projeto, instalação e manutenção de um SPDA. Por fim a parte 04 específica conceitos e técnicas voltados para a proteção de aparelhos eletrônicos embarcados na edificação.

De acordo com Santos (2016, p.22) o texto referência da IEC foi adaptado para a NBR 5419 de 2015, pois o Brasil difere de muitos países quanto ao ambiente e clima. Um fato importante do qual o trabalho trata, que é a análise de risco, é que foram incluídos na norma o mapa do Brasil e de suas regiões com seus respectivos números de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado e ao ano.

Com uma visão panorâmica da norma internacional, a seguir são apresentados aspectos específicos na norma brasileira NBR 5419 de 2015, a qual segue a mesma estrutura e disposição dos documentos.

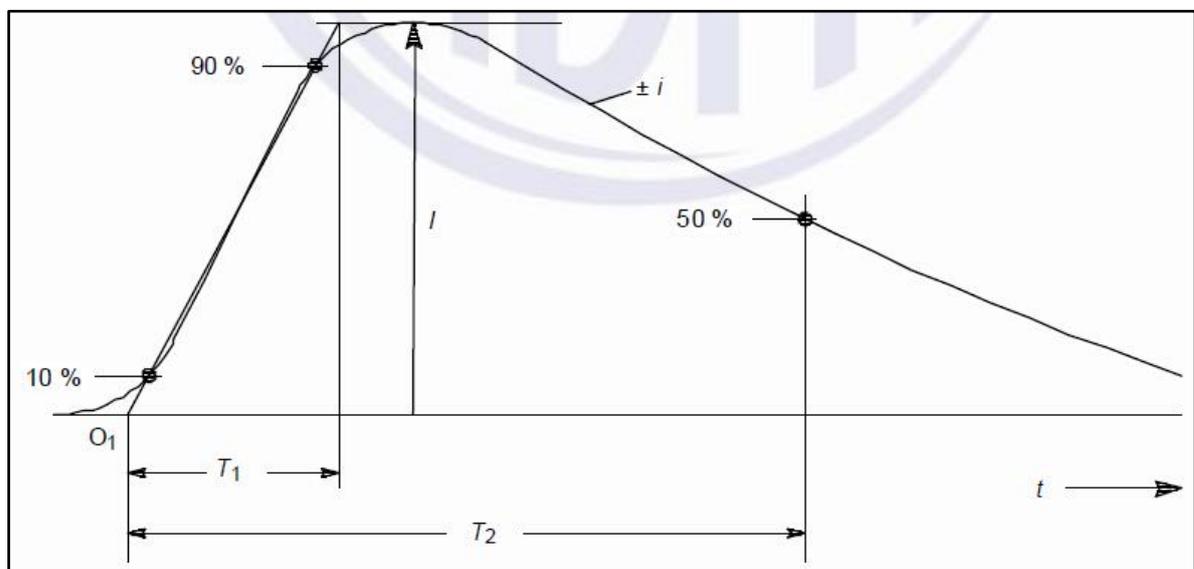
2.1. PRINCÍPIOS GERAIS

A primeira parte da norma tem o intuito de expor informações pertinentes às descargas atmosféricas, no que diz respeito a parâmetros e consequências, medidas de proteção e critérios básicos para proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas. Tais informações são fundamentais para a compreensão e posteriormente aplicação com ações efetivas que visam minimizar os danos permanentes causados pela descarga atmosféricas.

De acordo com a NBR 5419/2015 os dois tipos básicos de descargas atmosféricas são as iniciadas por um líder descendente, da nuvem para a terra, e as iniciadas por um líder ascendente, de uma estrutura aterrada para a nuvem. A norma ainda afirma que uma particularidade da descarga atmosférica descendente, é que na maior parte das vezes, ela ocorre em locais planos e estruturas mais baixas, em contrapartida as ascendentes costumam acontecer em estruturas mais altas.

Com relação a corrente elétrica da descarga atmosférica a norma NBR 5419/2015 nos apresenta duas componentes diferentes, uma com impulsos com duração inferior a 2 milissegundos e componentes longos com duração superior a 2 milissegundos. É de extrema importância conhecer como se comportam tal fenômeno neste espaço de tempo e de que forma estes impulsos de corrente são modelados para estudos. A seguir a figura 5 mostra correntes em um período menor que 2 milissegundos e a figura 2 parâmetros da componente longa, acima de 2 milissegundos.

Figura 5 - Impulso atmosférico curto período



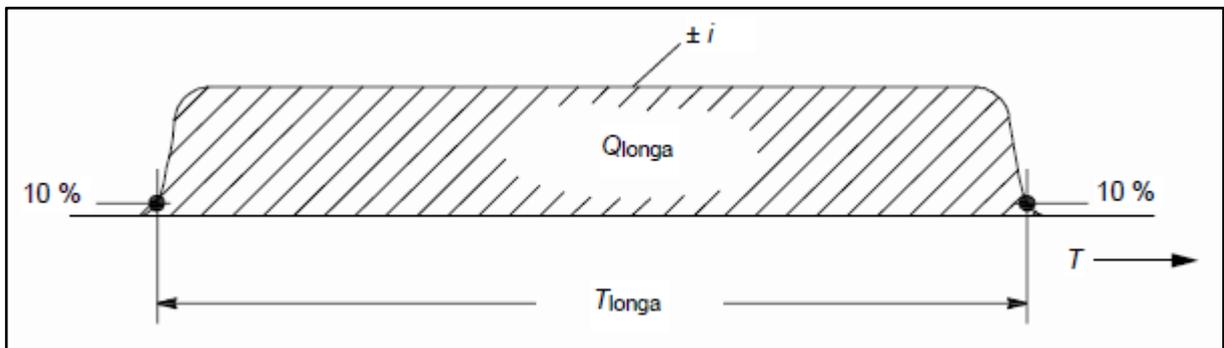
Fonte: NBR 5419/2015 Parte 1.

Santini (2016) expõe as variáveis como T_1 que é o tempo de frente em microssegundos, colocado como um parâmetro de análise com valor 1,25 vezes o intervalo entre o período em que a corrente alcança 10% e 50% do seu valor de pico. T_2 refere-se ao tempo de decaimento da curva em microssegundos, estabelecido como um parâmetro de análise que possui o valor de tempo referente a curva da corrente em declínio de módulo até 50% de seu valor máximo. O_1 é o ponto inicial de análise da corrente de impulso em microssegundos, determinado como o ponto de cruzamento da curva de corrente com o eixo tempo. O i é a descarga atmosférica com sua respectiva corrente elétrica em quiloampères (kA) podendo ser positiva ou negativa conforme mostrado na figura 4. t é o tempo definido em microssegundos e I é a corrente elétrica máxima da descarga atmosférica em quiloampères (kA).

Como mencionado, todas estas variáveis expressam a modelagem matemática da curva da corrente de descarga atmosférica com um impulso inferior a 2 milissegundos.

Já a figura 6 a seguir retrata a curva dos componentes de longa duração, acima de 2 milissegundos.

Figura 6 - Impulso atmosférico de longo período



Fonte: NBR 5419/2015 Parte 1.

Da mesma forma Santini (2016) exemplifica as variáveis **T** como tempo em segundos, **T_{longa}** é o período de tempo em segundos que a corrente da descarga atmosférica perdura entre 10% do valor de pico na expansão e contração da corrente elétrica, aproximadamente entre o tempo de 2 milissegundos e 1 segundo. O **i** é a corrente positiva ou negativa da descarga atmosférica, medida em quiloamper (kA). **Q_{longa}** proveniente da integral da corrente elétrica no tempo em coulombs (C).

É importante ressaltar que os intervalos de tempo no qual a norma se refere como um período de descarga menor que 2 milissegundos ou até por 1 segundo possui grande capacidade de danos a estrutura e a vida. Yamanishi e Bonfim (2017) destacam seis principais efeitos provocados pelas descargas atmosféricas. São elas:

1- Efeito térmico: é gerado devido a passagem de corrente elétrica do raio e proporcional a sua intensidade, no qual o calor é dissipado pelo efeito joule.

2- Efeito acústico: O som é produzido pelo deslocamento instantâneo do ar ou onda de choque, devido a intensidade de corrente causada pela descarga, expande-se rapidamente o ar, originando o um ruído conhecido como “trovão”.

3- Efeito luminoso: Gerado após a ionização das moléculas do ar e que podem gerar lesões oculares para as pessoas que estejam expostas próximas do raio.

4- Efeito elétrico: Ocorrem sobretensões instantâneas devido altas intensidades de corrente durante o raio, que gera transientes altos de tensão e corrente, em virtude da alta frequência da descarga atmosférica.

5- Efeito elétrico indutivo: resultante do campo eletromagnético formado pela circulação de corrente elétrica do raio.

6- Efeito mecânico: Devido aos danos gerados nos elementos afetados, decorrentes de uma descarga atmosférica.

As consequências das descargas atmosféricas atingem de forma geral tanto a parte externa como a interna da edificação sejam pelo meio acústico, luminoso, elétrico ou mecânico os equipamentos e vidas existentes no local.

A NBR 5419 (2015) esclarece também as funções efetivas de um sistema externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas instalados em uma edificação. As funções externas do SPDA são:

- a) Reter uma descarga atmosférica para a estrutura, devidamente com um subsistema de captação;
- b) Guiar de forma segura a corrente da descarga atmosférica para a terra, com um subsistema adequado de descida; e
- c) Dissipar a corrente elétrica na terra, com um subsistema de aterramento.

Já a atribuição do SPDA interno é impossibilitar o centelhamento perigoso na estrutura, por meio da ligação equipotencial ou isolando eletricamente os componentes do SPDA e demais elementos condutores dentro da edificação.

É importante lembrar também que conforme a norma 5419 (2015) existem quatro classes de SPDA (I, II, III e IV), as quais são interpretadas como um conjunto de diretrizes de construção, respaldados nos correspondentes níveis de proteção (NP). Cada conjunto possui regras pertencentes do nível de proteção específico e regras individuais do nível de proteção.

2.2. GERENCIAMENTO DE RISCO

Para Sueta (2015) a segunda parte da norma tem por meta a avaliação do risco em razão das descargas atmosféricas tanto para as edificações quanto para as pessoas, essa avaliação tende a fornecer dados para especificar as proteções contra os efeitos prejudiciais das descargas atmosféricas. O mesmo também define o que é risco, descrevendo que “entende-se como o valor de uma provável perda média anual (vida e bens) devido às descargas atmosféricas em relação ao valor (vida e bens) do objeto a ser protegido” (SUETA, 2015).

O gerenciamento de risco é o ponto fundamental de um projeto, pois define e classifica o padrão de segurança que deve ser adotado. A norma está mais rígida em relação à sua

penúltima versão (de 2005) e conta com aproximadamente 70 parâmetros a serem observados e trata de maneira particular cada caso com suas peculiaridades, no qual o responsável técnico realiza cálculos e considerações da estrutura. A análise de risco aborda algumas características da edificação (NBR 5419-2/2015, p.19):

- a) A própria estrutura;
- b) As instalações da estrutura;
- c) O conteúdo da estrutura;
- d) As pessoas na estrutura ou nas zonas até 3 metros para fora da estrutura;
- e) O meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Santos (2017) comenta que a norma não somente avalia sob o ponto de vista do número de descargas atmosféricas de uma referida instalação, como também os danos provocados por essas descargas atmosféricas e as perdas decorrentes desses danos.

O processo de análise de risco traz clareza e objetividade na definição de quais medidas e qual nível de proteção empregar na edificação. Pois através dos riscos alcançados por meio dos cálculos, é comparado a um valor de risco aceitável e pré-determinado pela norma NBR 5419/2015. Se tais medidas apresentarem valores menores do que o máximo tolerável, não serão necessárias ações adicionais. Para medidas em que os cálculos fiquem acima do permitido, será imprescindível novas ações no intuito de maximizar a segurança (NBR 5419-2 2015, p.20).

Com relação a corrente elétrica das descargas atmosféricas dissipadas para o solo, elas podem atingir uma estrutura por quatro vias diferentes por meio de uma edificação (NBR 5419-2), são elas:

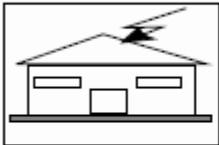
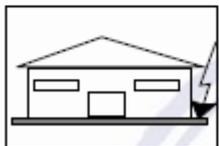
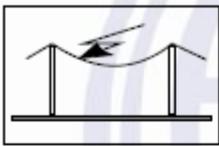
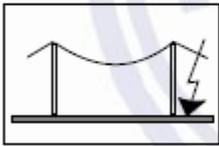
- a) S_1 - descarga atmosférica atinge diretamente uma edificação;
- b) S_2 - descarga atmosférica atinge região próxima a edificação;
- c) S_3 - descarga atmosférica atinge diretamente a linha que adentra à edificação;
- d) S_4 - descarga atmosférica atinge proximamente a linha que adentra à edificação.

A norma adota algumas variáveis para os cálculos, são elas (Sueta, 2015):

- a) Danos - Os ferimentos aos seres vivos (D1), os danos físicos às estruturas (D2) e as falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos (D3);
- b) Perdas - Perdas de vidas humanas (L1), perda de instalação de serviço ao público (L2), perda de memória cultural (L3) e perda de valor econômico (L4) (estrutura e seu conteúdo, instalação de serviço e perda de atividade).

Para melhor compreensão da aplicação dessas variáveis, a norma nos fornece através da figura 7 uma visão panorâmica da relação danos e perdas com o ponto de impacto dos raios que conseqüentemente geram os riscos (NBR 5419-2, p.16).

Figura 7 - Relação dos danos e perdas com ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.
^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Fonte: NBR 5419/2015 Parte 2.

A figura acima ilustra alguns possíveis pontos de descarga atmosférica na estrutura e suas eventuais avarias, associando as demais variáveis para estruturar os riscos. pois apresentam níveis distintos de gravidade e são utilizados como fator de prudência nos cálculos (SANTINI, 2017).

Vale ressaltar que a norma possibilita tratar de forma individual zonas semelhantes, através da divisão da estrutura em alguns casos, visto que nem sempre são uniformes ao longo de toda instalação (NBR 5419-2, p. 28). Essa possibilidade auxilia na redução de custos em relação ao projeto e execução, pois um único gerenciamento de risco para toda estrutura poderá

ocorrer sem necessidade de um superdimensionamento. Essas medidas não acarretam prejuízos quanto a segurança oferecida pelo sistema.

Dessa forma o risco deve ser estimado para cada tipo de perda que possa ocorrer na edificação (NBR 5419-2, p.15) e são classificados como:

- R1 - Risco de perda de vida humana;
- R2 - Risco de perda de instalação de serviço ao público;
- R3 - Risco de perda de memória cultural;
- R4 - Risco de perda de valor econômico.

Conforme observadas as definições e significados das variáveis (danos e perdas), de acordo com o ponto de impacto na estrutura, a norma passa a correlacionar as informações para o projetista averiguar o risco e tomar medidas de proteção cabíveis para a situação analisada, visto que a segurança e proteção de vidas e patrimônio é uma necessidade (TERMOTÉCNICA, 2017).

2.2.1. Componentes do risco

A NBR 5419/2015 comenta que cada risco é composto pela soma de seus componentes e ao estimar um risco, os componentes que o compõem podem ser agrupados em conformidade com as fontes de danos e tipos de danos.

As componentes de risco para uma estrutura são classificadas em R_A , R_B e R_C sendo:

- a) R_A - Componente referente a ferimentos aos seres vivos provocados por choque elétrico ocasionados por tensões de toque e passo interna na edificação e externa nas zonas até três metros ao redor dos condutores de descida.
- b) R_B - Componente pertencente a danos físicos originados por centelhamento perigoso dentro da edificação, pelo qual pode iniciar incêndio ou explosão.
- c) R_C - Componente relacionado a falhas de sistemas internos originados por pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

Da mesma forma a norma conceitua o componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura como R_m :

- a) R_m - Componente tem relação com falhas de sistemas dentro da edificação causados por pulso eletromagnético de descargas atmosféricas.

No que diz respeito às componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura são definidos os parâmetros (NBR 5419-2, p.16):

- a) R_U - Componente corresponde a ferimentos aos seres vivos originados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo do lado interno da edificação.
- b) R_V - Componente que corresponde a danos físicos (incêndio ou explosão originados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas normalmente localizadas na entrada da linha na estrutura). Ocasionalmente à corrente elétrica dos raios que são conduzidos ou ao longo das linhas.
- c) R_W - Componente relacionado a falhas de sistemas internos gerado por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e conduzidas a esta.

Por fim a componente R_Z , risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha interligada à estrutura. Possui relação a falhas de sistemas internos provocados por sobretensões induzidas nas linhas que adentram na edificação e transmitidas a esta.

2.2.2. Composição dos componentes de risco

O risco é calculado de maneira individual para cada tipo de perda, em um total de até quatro riscos diferentes. Vale ressaltar que existe a obrigatoriedade de realizar os cálculos referentes a perda de vida humana, perda de serviço ao público e perda de patrimônio cultural. Já com relação ao risco de perda de valores econômicos, fica a critério dos responsáveis pelo projeto incluí-lo se julgar benéfico na aplicação de medidas de proteção para redução desse risco (SANTOS, 2017).

As estruturas de cálculo são apresentadas de maneira simples, a soma dos produtos e as relações das componentes entre risco, perda, dano e a fonte do dano são apresentados nos quadros 01, 02, 03 e 04.

Em relação a perdas de vida humana, são considerados os componentes de risco para cada tipo de perda na edificação e listados da seguinte forma:

$$a) R1: RA1+RB1+RC1+RM1+RU1+RV1+RW1+RZ1$$

As componentes $RC1$, $RM1$, $RW1$ e $RZ1$ se aplicam a risco com explosão e para hospitais que possuam equipamentos elétricos destinados a salvar vidas e também se aplica a

outras estruturas que coloque em risco a vida de pessoas por meio de falhas dos sistemas internos.

Quadro 1 - Risco de perda de vida humana (L1)

L1 - Perdas de Vida Humana (incluindo ferimentos permanentes)		
Composição do Risco	Tipologia de Dano	Fontes dos Danos
R _A R _U R _B	A Seres Vivos por Choque Elétrico- D1	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
R _V	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
R _C , R _W , R _M e R _Z	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2
		Descargas atmosféricas na linha - S3
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Já em relação aos riscos de perda dos serviços ao público são considerados os seguintes fatores:

b) $R_2: R_{B2}+R_{C2}+R_{M2}+R_{V2}+R_{W2}+R_{Z2}$

Quadro 2 - Risco de perda de serviço público (L2)

L2 - Perda de Serviço ao Público		
Composição do Risco	Tipologia de Dano	Fontes dos Danos
R _B R _V R _C	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
R _W R _Z R _M	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2
	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descargas atmosféricas na linha - S3
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Os riscos de perda de patrimônio cultural consideram dois componentes:

c) $R_3: R_{B3}+R_{V3}$

Quadro 3 - Risco de perda de patrimônio cultural (L3)

L3 - Perda de Patrimônio Cultural		
Composição do Risco	Tipologia de Dano	Fontes dos Danos
R _B e R _V	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Em referência a perda de valores econômicos, são as seguintes componentes:

d) $R_4: RA_4+RB_4+RC_4+RM_4+RU_4+RV_4+RW_4+RZ_4$

Com ressalva para as componentes RA₄ e RU₄ que se destinam a locais onde animais possam ser perdidos.

Quadro 4 - Risco de perda de valor econômico (L4)

L4 - Perda de Valores Econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)		
Composição do Risco	Tipologia de Dano	Fontes dos Danos
R _A e R _U	A Seres Vivos por Choque Elétrico- D1	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
R _B	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
R _M R _W R _V R _C		Descargas atmosféricas na linha - S3
	R _Z	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3
Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2		
Descargas atmosféricas na linha - S3		
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

É importante mencionar as características da edificação e medidas de proteção que exercem influência nos componentes de risco para a elaboração do projeto conforme quadro 05 (NBR 5419-2, 2015).

Quadro 5 - Fatores que influenciam os componentes de risco

Características da estrutura ou medidas de proteção	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	Xa	Xb	Xb		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			Xc	Xc	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistemas de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X

Fonte: NBR 5419-2 (2015)

No quadro 05 a variável Xa é aplicável somente para SPDA tipo malha externa; Xb devido a ligações equipotenciais e Xc é aplicável somente se eles pertencem ao equipamento.

As características descritas no quadro anterior são importantes, pois através delas pode-se melhorar o nível de proteção exigido, utilizando recursos mais acessíveis de acordo com a necessidade e problemática.

2.2.3. Risco Tolerável

A norma NBR 5419/2015 fornece valores de referência no que diz respeito a níveis toleráveis dos riscos de perda de vida humana ou ferimentos permanentes, perda de serviço ao público e perda de patrimônio cultural. Diante de valores que ultrapassem os níveis aceitáveis devem ser adotadas medidas que reduzam e atendam aos níveis toleráveis conforme tabela 01 a seguir:

Tabela 1 - 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

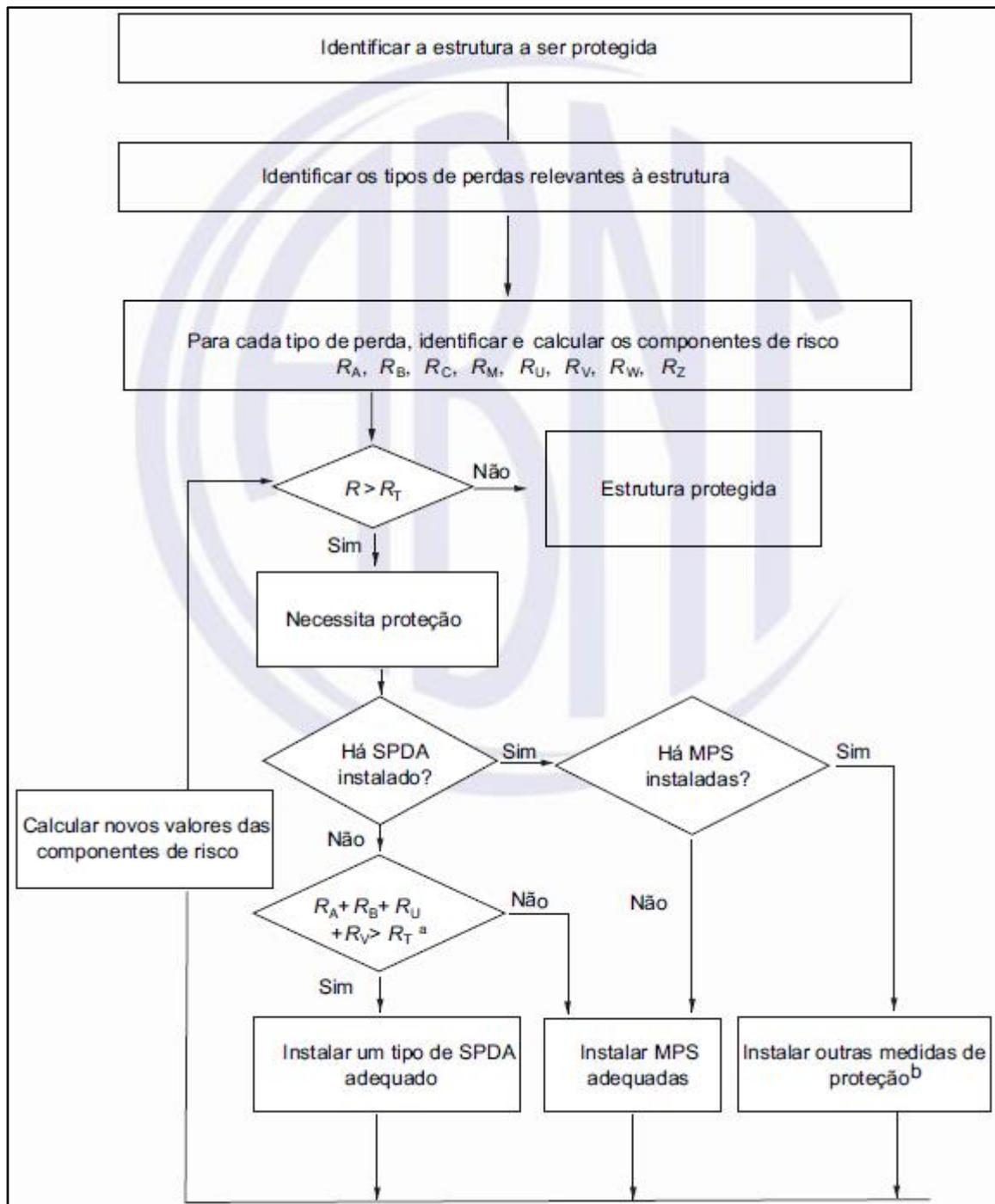
Fonte: NBR 5419-2 (2015)

2.2.4. Procedimento Para Averiguar a Necessidade de Proteção e Medidas adicionais

Para tornar mais acessível o entendimento sobre verificar a necessidade da instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, a NBR 5419/2015 disponibiliza um fluxograma conforme mostra a figura 08. O processo exemplifica de forma ordenada os passos corretos para se obter informações seguras.

A norma esclarece quanto ao risco que não possa ser minimizado a um nível tolerável, o proprietário da edificação deve ser informado e todas as medidas de alto nível de proteção devem ser providenciadas para o local. Assim também para locais onde for exigida a proteção contra descargas atmosféricas pela autoridade que possua jurisdição para estruturas com risco de explosão, deve ser adotado no mínimo um SPDA de nível II, exceções podem ser permitidas, salvo quando tecnicamente justificadas e validada pela autoridade que tenha jurisdição.

Figura 8 - Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

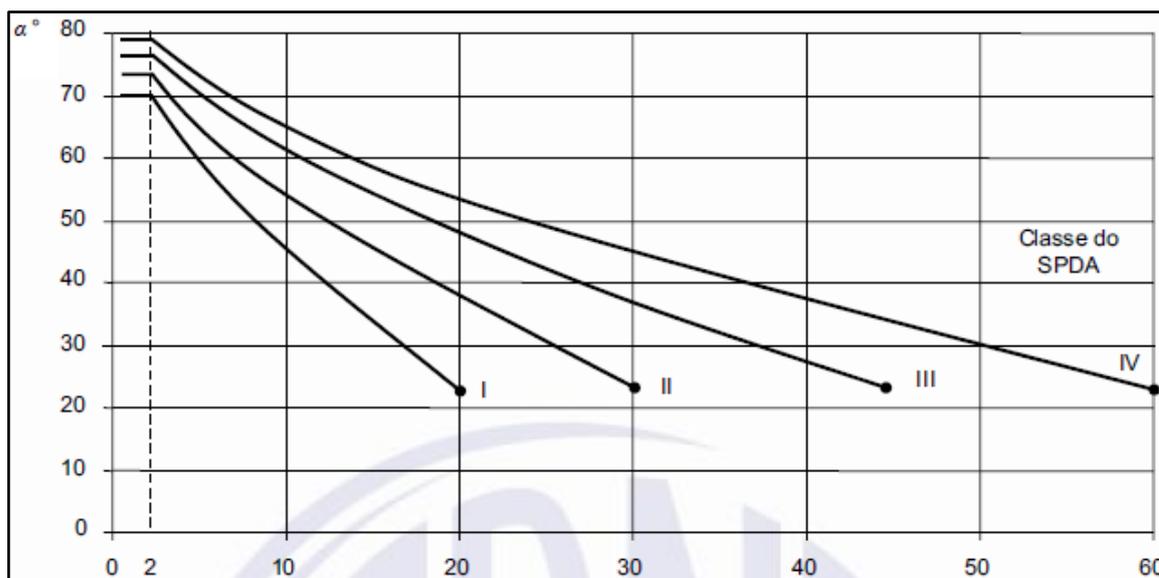
2.3. DANOS FÍSICOS A ESTRUTURA E PERIGOS À VIDA

Nesta etapa a norma visa apresentar princípios para a proteção de uma edificação contra os danos físicos através de um SPDA com o intuito de proteger os seres vivos de acidentes e lesões originados por tensão de toque e passo (NBR 5419-3, 2015).

O sistema é constituído do lado externo e interno da estrutura, no qual o SPDA externo possui a função de interceptar um raio para a estrutura, através do subsistema de captação, e com isso direcionar a corrente elétrica da descarga atmosférica de maneira segura para a terra por meio do subsistema de descida e assim também dissipar toda carga elétrica produzida pela descarga atmosférica na terra através do subsistema de aterramento.

A respeito dos subsistemas externos que compõe o SPDA, o subsistema de captação é constituído por condutores suspensos, condutores em malhas e hastes (incluindo mastros), que por sua vez recebe de forma direta toda carga dos raios, no qual é de extrema importância o correto posicionamento do mesmo para garantir a condução da corrente elétrica de maneira segura para a terra, em que são respeitadas ao menos um dos três métodos disponibilizados pela norma: método esfera rolante, método das malhas e método ângulo de proteção (NBR 5419-3, 2015). a norma também disponibiliza um gráfico do ângulo do captor em relação a classe do SPDA, conforme figura 09.

Figura 9 - Ângulo de proteção de acordo com a classe do SPDA e altura



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Santini (2016) comenta que a norma define o ângulo de proteção para cada nível de classe, por uma curva conforme a altura do captor acima do plano de referência. Já a variação do ângulo de proteção é inversamente proporcional à altura da estrutura a ser preservada, quando esta encontra-se superior a 02 metros.

O subsistema de descida tem o principal objetivo de reduzir a probabilidade de danos ocasionados pela corrente elétrica conduzidos pelo SPDA, tais condutores são projetados a fim de promoverem diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica, percorrer a menor distância possível até a terra e promover a equipotencialização de todas as partes condutoras de uma estrutura. Também é disponibilizado a tabela 02 de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA. É recomendado que um condutor de descida seja instalado, de preferência, em cada ponto saliente da edificação, além dos outros condutores impostos pela distância de segurança calculada (NBR 5419-3, 2015).

Tabela 2 - Distância entre condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe do SPDA.

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Se tratando de SPDA isolado, ou seja, não fixado na estrutura a ser protegida, a posição das descidas deve acolher as determinações dos captores, já se forem hastes em mastros separados com características não metálicas e não interconectados às armaduras da estrutura, é essencial a instalação de pelo menos um condutor de descida para cada mastro, o qual não precisa do arranjo de condutores de descidas para mastros metálicos ou interconectados dentro das armaduras da edificação. Caso os captores formem uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação de condutores.

Para SPDA não isolado, ou seja, fixado na estrutura a ser protegida, a quantidade de condutores de descidas deve ser instalada de maneira uniforme ao longo do perímetro da estrutura de acordo com a tabela 01 mencionada anteriormente e respeitar o número mínimo de 02 descidas mesmo se os cálculos resultarem em valor inferior. Os condutores de descidas devem ser instalados de preferência em cada canto saliente da edificação.

O subsistema de aterramento deve ser estudado e aprimorado em um projeto para se obter a menor resistência de aterramento possível, ao levar em consideração a compatibilidade com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do local. Assim é preferível uma única infraestrutura de aterramento, comum a toda instalação da edificação através da equipotencialização para atender à proteção contra raios, sistemas de energia elétrica e sinal (NBR 5419-3, 2015).

Sempre que possível é ideal o aproveitamento das armaduras das fundações para o arranjo de aterramento. Na impossibilidade desta, a disposição dos eletrodos de aterramento deve ser do tipo em anel, externo a edificação protegida, em contato com o solo ao menos 80% do seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação. Os eletrodos também podem ser do tipo malha de aterramento. Assim também para questões que envolvem tensões superficiais perigosas, devem ser consideradas medidas preventivas (SANTINI, 2016).

Vale ressaltar que para eletrodos em formato anel ou interligado a fundação descontínua, o raio médio da área de abrangência pelos eletrodos não pode ser menor ao valor do comprimento do eletrodo determinado na figura 10 de acordo com cada classe de SPDA.