



ESTUDO PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE SPDA EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM PATOS DE MINAS

Matheus Pereira Dias ¹

Thiago Vieira da Silva ²

Fábio de Brito Gontijo ³

RESUMO

Em razão do crescente número de edifícios residenciais surgindo a cada dia, tem-se como uma necessidade protegê-los contra os efeitos danosos de um raio. Neste trabalho será retratado o comportamento de uma descarga atmosférica, bem como uma maneira eficiente de proteção contra todos os efeitos danosos causados pela mesma em um edifício em Patos de Minas. Um projeto de SPDA será executado seguindo a risca a norma NBR 5419-2015, cuja qual oferece a regulamentação obrigatória e necessária para a confecção de todo o sistema, a fim de torná-lo o mais seguro e eficiente possível.

PALAVRAS CHAVE: SPDA, PDA, Descarga Atmosférica.

SUMARIO: 1. Introdução 2. Referencial Teórico 2.1 Descarga Atmosférica 2.2 Estrutura do Projeto 2.3 Gerenciamento de Risco 2.4 SPDA 2.4.1 Subsistema de captação 2.4.2 Subsistema de descidas 2.4.3 Subsistema de aterramento 2.5 MPS - Referências.

1. INTRODUÇÃO

Descarga elétrica atmosférica (DEA), mais popularmente conhecida como raio, é um acontecimento no qual uma corrente elétrica de grande intensidade, geralmente na ordem de milhares de amperes (kA), ocorre em um caminho que pode ser fechado dentro de uma única nuvem, entre nuvens ou entre uma nuvem e a superfície da Terra. Para que uma descarga atmosférica aconteça é necessário que ocorra um fenômeno chamado de rompimento dielétrico do ar, o qual é possível quando uma nuvem que se encontra em um estado no qual está carregada eletricamente, tem suas cargas atraídas por um potencial oposto ao da mesma, ionizando o ar e tornando-o um condutor de eletricidade, criando assim um caminho de passagem para a corrente elétrica.

Para Souza (2020),

[...] as descargas atmosféricas são um fenômeno complexo, aleatório e probabilístico de difícil interpretação, o que motiva pesquisadores e engenheiros a buscarem formas de melhorar os níveis de proteção dos circuitos e de instalações elétricas, considerando as normas técnicas em vigência (SOUZA et al, 2020, p. 30).

“[...] o Brasil está em primeiro lugar na lista de países com maior incidência de raios no mundo: são 77,8 milhões de descargas no solo a cada ano” (REVISTA GALILEU, 2020). A preocupação com as descargas atmosféricas aumenta a cada dia, e um dos principais lugares que necessitam proteção são prédios residenciais, também chamados de edifícios habitacionais. A empresa THORUS ENGENHARIA (2018) ressalta que, caso haja a queda de um raio em um edifício, além de comprometer o estabelecimento e ameaçar o bem-estar dos moradores, os aparelhos eletroeletrônicos e instalações elétricas também estariam sujeitos a sofrerem danos. Esse problema acontece devido aos surtos elétricos causados pelo fenômeno chamado pulso eletromagnético (EMP), cujos quais são descritos na norma NBR 5419-1 (2015, p. 5) como “efeitos transitórios [...] que aparecem na forma de sobretensão e/ou sobrecorrente”.

¹Estudante de Engenharia Elétrica 10º Período – Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil – matheuspd12345@gmail.com

²Formado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Brasil – thiagovs@unipam.edu.br

³Formado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Brasil – fabiobg@unipam.edu.br

Conforme Souza (2020), no ano de 1752, um cientista chamado Benjamin Franklin, um estudante do fenômeno dos raios, desenvolveu uma metodologia experimental para determinar um modo de controlá-los. Método esse que, após um tempo e algumas melhorias, viria a ser a principal maneira para prevenir acidentes elétricos ou físicos provenientes de raios, intitulado Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Tal método, como muitos leigos acreditam, não impede a ocorrência da descarga elétrica no local, muito pelo contrário, um arco elétrico que viria a atingir a área ao qual o sistema está instalado certamente ocorrerá, porém, Souza (2020) reforça que a função do SPDA é a redução dos danos físicos aplicados à estrutura e dos efeitos causados por surto magnético, além da proteção de tudo que estaria em seu interior, como pessoas, equipamentos e instalações.

Para a execução do projeto de SPDA deve-se seguir os procedimentos delimitados pela norma NBR 5419 (2015). A mesma já sofreu algumas alterações ao longo dos anos, e sua última versão é a do ano de 2015, a qual serve de base para todo o processo, desde a fundamentação do que é uma descarga atmosférica até a elaboração do próprio sistema de proteção contra as mesmas.

Como é retratado na própria ABNT NBR 5419-1 (2015, p. vii), a norma:

[...] sob o título geral “Proteção contra descargas atmosféricas”, tem previsão de conter as seguintes partes:

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

A justificativa para este trabalho pode ser vista analisando o mercado de engenharia elétrica atualmente. Em sua grande maioria, as empresas nesse ramo atuam em diversas áreas de serviço, porém, comparado a elas, ainda é pequeno o número delas que trabalham com sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. No contexto geral, isso se dá pela vasta quantidade de tempo necessário para se especializar no tema, pois o mesmo demanda uma grande quantidade de conhecimento de normas e leis. Diante desse fato, encontra-se então uma demanda crescente nos últimos anos quando esse assunto é trazido à tona, pois com o decorrer do tempo e do avanço da civilização, serão construídos mais prédios e os mesmos serão cada vez mais altos, demandando então um certo nível de proteção.

Neste sentido, destaca-se como objetivo geral desse trabalho a produção de um projeto completo de SPDA, determinando qual é a classe de sistema mais adequada para o edifício. Destacam-se ainda como objetivos específicos o cálculo do gerenciamento de risco da edificação, a caracterização da classe de PDA, a adoção do método de PDA a ser utilizado, a quantificação da quantidade de captadores necessários, quantidade de descidas, determinação e cálculo da malha de aterramento, além da elaboração de um roteiro para elaboração da equipotencialização da edificação e de coordenação de DPSs. Desta forma, o presente trabalho irá se apresentar com um projeto executivo em CAD, com suas respectivas plotagens para melhor entendimento de como deverá ser executado o SPDA na edificação. Dessa maneira, o trabalho proposto é de natureza básica, e busca utilizar os conhecimentos que serão adquiridos no decorrer de seu desenvolvimento em prol de um meio para impedir os efeitos negativos causados pelas descargas atmosféricas na edificação residencial visada. Nesse roteiro, é imprescindível que haja um estudo qualitativo que se proponha a descrever o

comportamento dos raios e seus efeitos quando em encontro de uma edificação habitacional. Uma pesquisa bibliográfica também se faz necessária, tendo como fundamento um amontoado de documentos relacionados ao tema, com a finalidade de adquirir uma base teórica rica e diversificada que possa ser usada para a confecção do trabalho. O foco serão obras com temas voltados para as descargas atmosféricas e formas de proteção contra as mesmas, como o livro “SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação” de André Nunes Souza, dentre outros, além da própria norma regulamentadora de SPDAs, a NBR 5419-2015. Somando-se a isto, a presente pesquisa é pautada em um estudo de caso de uma edificação, com o objetivo de levantar dados e examinar parâmetros que possam tornar a mesma suscetível a ser alvo de raios. A própria estrutura de fundação do edifício, as instalações elétricas e o terreno ao qual foi construído o prédio também devem ser alvo de verificação, pois deve ser conhecida a situação a qual o mesmo se encontra, além de levar em consideração a possibilidade, ou não, da implantação do sistema e os meios que podem ser tomados para tal.

À luz do exposto, o capítulo 2 deste artigo destina-se a oferecer uma sumarização a respeito dos conhecimentos técnicos necessários para entendimento sobre esta proposta de pesquisa, fomentando e fortificando a base para justificativa da escolha do tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

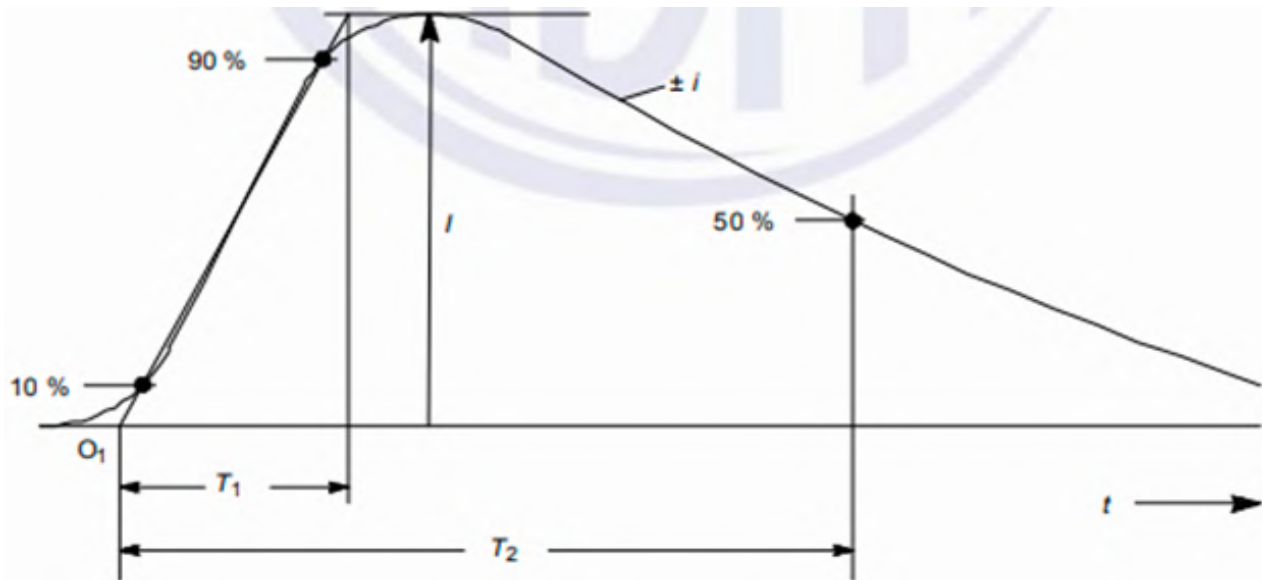
Este capítulo apresenta o embasamento teórico necessário em prol da realização do projeto de SPDA, visando tanto o estudo relacionado ao comportamento das descargas atmosféricas quanto o de toda a fundamentação proposta pela NBR 5419 em todas as suas quatro partes.

2.1. Descarga Atmosférica

As descargas atmosféricas são nada mais que o surgimento de uma descarga atmosférica que possa percorrer meios gasosos, no caso, o ar. Essa corrente surge quando há a ocorrência de um fenômeno chamado de Mecanismo de Townsend que, conforme Visacro Filho (2005), acontece quando uma faísca se origina da liberação de elétrons das camadas mais externas dos átomos que compõem o ar, uma vez que o mesmo está envolvido por campos elétricos muito grandes. Ainda pelas palavras de Visacro Filho (2005), o ar, sendo um meio dielétrico gasoso, tem uma propriedade chamada rigidez dielétrica, de valor 3 MV/m, que é a capacidade máxima de resistência a rupturas por campos elétricos que, quando ultrapassada, libera o “arrancamento” dos elétrons dos átomos, surgindo assim, as correntes de descarga.

Como explica Clamper (2015), uma descarga atmosférica pode ter origem na nuvem e seguir em direção ao solo (descendente positiva ou negativa), pode ter origem no solo e seguir em direção à nuvem (ascendente positiva ou negativa), pode ocorrer dentro de uma única nuvem (intra-nuvem), ou pode acontecer entre nuvens (nuvem-nuvem), sendo os descendentes negativos responsáveis por aproximadamente 90% de todos os que ocorrem na natureza. Com relação à intensidade das correntes elétricas providas numa descarga atmosférica, Souza (2020) afirma que: De acordo com as medições e os estudos realizados por pesquisadores internacionais, ao analisar a curva de probabilidade da magnitude da corrente do raio, é possível considerar que: a) 70% das descargas atmosféricas excedem 10 kA; b) 50% das descargas atmosféricas excedem 20 kA; c) 20% das descargas atmosféricas excedem 40 kA; d) 5% das descargas atmosféricas excedem 80 kA.

Figura 1: Parâmetros de um impulso de corrente ($T_2 < 2\text{ms}$)



Fonte: Adaptado da NBR 5419-1, 2015.

A norma NBR 5419-1 (2015) informa que o tempo de frente (T_1) é bem menor do que o tempo até o meio valor (T_2). O tempo de frente é onde a corrente elétrica mais cresce, chegando a 90% de seu valor. Após isso, a corrente atinge seu pico (I) em um determinado tempo e começa a perder intensidade, chegando a 50% do seu valor em T_2 . Ao final, a corrente continua diminuindo seu valor até aproximadamente 2ms, que é onde ela se extingue.

Para os valores de T_1 e T_2 , a NBR 5419-1 (2015) indica os seguintes valores:

- a) Primeiro impulso positivo: $T_1/T_2 - 10/350\mu\text{s}$,
- b) Primeiro impulso negativo: $T_1/T_2 - 1/200\mu\text{s}$,
- c) Impulsos subsequentes: $T_1/T_2 - 0,25/100\mu\text{s}$.

O fenômeno da descarga atmosférica pode ser acontecer de duas maneiras diferentes, cada qual com suas particularidades, sendo elas: uma incidência direta, podendo ser em um ser vivo ou não, ou uma incidência indireta.

Uma incidência direta é aquela onde a descarga atmosférica tem o ponto de contato diretamente com o meio analisado. Pelas palavras de Visacro Filho (2005, p. 138), “nesse caso, ao atingir seres vivos, prédios, estruturas e sistemas elétricos, os raios podem gerar destruição, incêndio e, eventualmente, morte”.

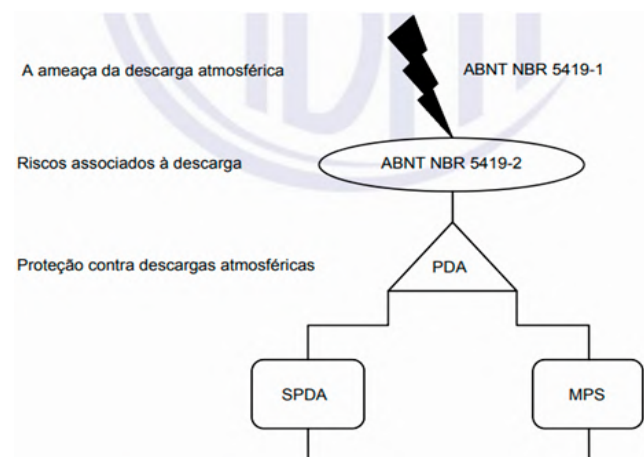
Já relacionado aos danos causados por incidências indiretas, estes não oferecem um risco à vida por si só, mas sim problemas às construções metálicas que estão perto do local onde houve a incidência do raio. A razão para tal é um efeito chamado Lightning Electromagnetic Pulse (LEMP), que é descrito por Souza (2020, p. 15) como “[...] todos os efeitos eletromagnéticos causados pela corrente das descargas atmosféricas por meio de acoplamento resistivo, indutivo e capacitivo, que criam surtos e campos eletromagnéticos radiados”. Os surtos gerados pelo LEMP podem acarretar danos que vão de uma simples falha na operação dos aparelhos eletroeletrônicos atingidos, até a completa perda dos mesmos, além de infligir danos em redes elétricas e de telecomunicações.

Após a apresentação da descarga atmosférica e todos os seus efeitos que podem causar danos, os próximos capítulos se dedicam estritamente na metodologia de execução do projeto, esta que será a maneira utilizada para dimensionar a melhor forma de proteção contra tais fenômenos.

2.2 Estrutura do Projeto

A NBR 5419 (2015) separa o conjunto de medidas a serem tomadas para prevenir os danos contra descargas atmosféricas em duas partes. Em suma, a metodologia utilizada para o sistema completo, que vai desde a ameaça da descarga atmosférica até suas medidas de proteção, é apresentada pela ABNT NBR 5419-1 (2015, p. ix) como:

Figura 2: Estrutura do projeto de proteção contra descargas atmosféricas conectadas entre as partes da



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-1, 2015.

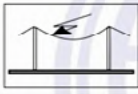
Para executar a proteção contra as descargas atmosféricas (PDA) é necessário entender o comportamento de uma descarga atmosférica e suas ameaças e, com isso, desenvolver os dois métodos principais de prevenção: um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e um sistema de medidas de proteção contra surtos (MPS) que estejam operando em conjunto. Para determinar quais medidas serão adotadas em cada um desses métodos será utilizado um cálculo denominado gerenciamento de risco.

2.3. Gerenciamento de risco

Ao começo de um projeto de SPDA, o pontapé inicial é verificar o risco ao qual o local estudado está de sofrer uma descarga atmosférica, levando em consideração os danos que o evento pode causar e as perdas que podem ocorrer na ocasião. Para isso, então, utiliza-se a análise de gerenciamento de risco, uma metodologia que visa responder todas essas perguntas, além de encontrar o melhor tipo de SPDA para executar a proteção do local almejado. Para a normatização e regulamentação deste tópico é utilizada a parte II da NBR 5419 (2015), que é focada essencialmente na estruturação do gerenciamento de risco.

No geral, a análise foca-se em analisar as formas de ocorrência das descargas atmosféricas, determinar quais os danos as mesmas podem causar, e quais perdas que virão com esse acontecimento. De acordo com tal pensamento, a NBR 5419-2 (2015, p. 15) apresenta o seguinte:

Figura 3: Tipos de fontes de danos, danos e perdas

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: Adaptado da NBR 5419-1, 2015.

Como apresentado na Figura 3, as fontes de danos S1 e S3 são as mais perigosas por se tratarem de descargas diretas, seja no local estudado ou em linhas de transmissão elétrica, podendo prover todos os tipos de danos. As fontes do tipo S2 e S4 não apresentam tanto perigo quanto as outras pois se tratam de descargas indiretas, ou seja, sua maior fonte de dano são os surtos causados por LEMP.

Determinados os tipos perdas, a seguir é feito o cálculo do risco (R) ao qual o estabelecimento está sujeito. Para isso, são

calculados quatro tipos de risco diferentes aos quais a edificação pode estar exposta para que, ao fim, sejam somados e o risco total seja obtido. Com relação ao que é dito por Souza (2020, p. 48-49), os riscos são:

- a) R1: risco de perda ou ferimentos temporários e permanentes em vidas humanas,
- b) R2: risco de perdas de serviços ao público,
- c) R3: risco de perdas do patrimônio cultural,
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

Após todo o processo de obtenção do risco imposto à edificação, o valor obtido é comparado com o risco aceitável para a mesma. Para isso, a NBR 5419-2 (2015) oferece um valor de risco tolerável (RT) para cada tipo de perda, sendo 10-5 para L1, 10-3 para L2, 10-4 para L3 e 10-3 para L4.

No caso de R ser menor ou igual RT ($R \leq RT$), não será necessária a instalação de nenhuma medida de proteção para o local, porém, na situação em que R ultrapasse o valor de RT, serão verificadas quais medidas deverão ser adotadas para a redução de seu valor, seja na parte do SPDA ou na parte das MPS, que serão apresentados nos próximos tópicos.

2.4. SPDA

A técnica conhecida como SPDA consiste na implantação de um caminho ao qual o raio, depois de ser atraído por um para-raios, possa passar pelo prédio com certa facilidade, sem causar dano à edificação que o mesmo viria a atingir, sendo conduzido diretamente até a malha de aterramento (LIMA FILHO, 2011). O SPDA é separado em classes de I a IV, sendo I a que oferece maior proteção e a IV a que oferece a menor, e é utilizado para efetuar a proteção de quatro níveis de proteção que também vão de I a IV, sendo que “o nível de proteção expressa a eficiência, isto é, a probabilidade com a qual um SPDA protege um volume contra os efeitos das descargas atmosféricas” (LIMA FILHO, 2011, p. 232).

O SPDA pode ser aplicado de duas formas diferentes: isoladas da edificação, sendo construídas em uma determinada distância do local por meio de mastros ou utilizando estruturas metálicas naturais, ou não isoladas, se localizando junto à estrutura do lugar. Para o sistema não isolado, o SPDA pode ser feito de maneira externa à edificação, utilizando captações e condutores de descida colocados na parte de fora do lugar, ou de maneira natural, usando a estrutura de aço de concreto armado já existente na fundação do edifício caso a mesma cumpra os requisitos apresentados na NBR 5419-3 (SOUZA, 2020).

A maneira cuja qual o SPDA será construído é apresentada na forma de três metodologias distintas que, quando aplicadas em conjunto, conseguem executar a proteção da estrutura, sendo elas:

- A. Subsistema de captação.
- B. Subsistema de descida.
- C. Subsistema de aterramento.

2.4.1. Subsistema de captação

O subsistema de captação é o responsável por reduzir a quantidade de pontos da estrutura em que o raio pode atingir. Isso ocorre porque os captadores são materiais metálicos, de

condutibilidade elétrica boa, e serão alocados em lugares estratégicos, facilitando o caminho de um relâmpago caso o mesmo fosse atingir a estrutura.

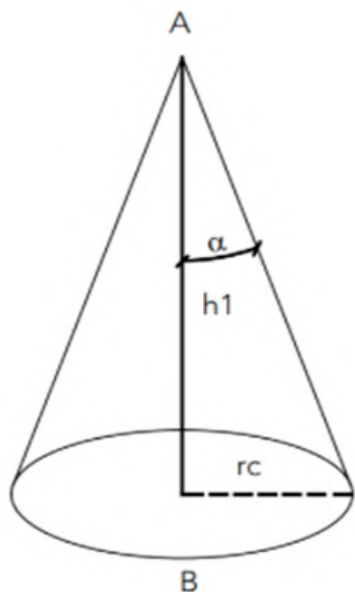
Geralmente, os captosres utilizados no subsistema de captação são de dois tipos: captosres do tipo Franklin ou minicaptosres. O captor do tipo Franklin apresenta uma estrutura maior e resistência superiores ao de um minicaptor, além de proteger um raio maior, o que o torna mais caro também (MONTAL PARA-RAIOS, [s/d]).

Para o projeto do subsistema de captação, a NBR 5419-3 (2015) indica três metodologias:

- A. Método do ângulo de proteção;
- B. Método da esfera rolante;
- C. Método das malhas.

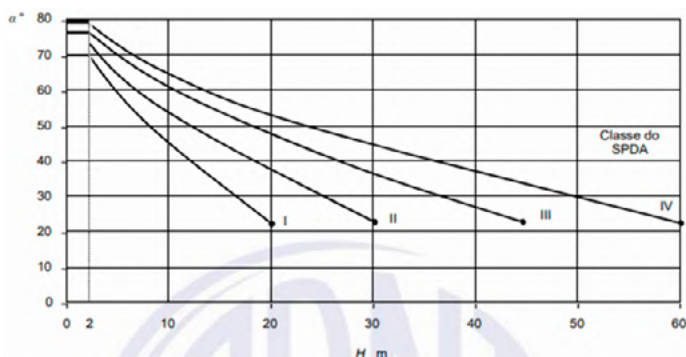
O método do ângulo de proteção se baseia na ideia de que os captosres devem ser alocados em locais estratégico a fim de utilizar o menor número possível dos mesmos e prover a proteção para toda a estrutura. O volume de proteção é dado através do formato de um cone que tem seu vértice no ponto superior do captor e seu ângulo é delimitado de acordo com a altura em que o mesmo se encontra (SOUZA, 2020). Souza (2020, p. 86) apresenta o cone da seguinte forma:

Figura 4 – Cone representativo do método do ângulo de proteção



Fonte: Adaptado de Souza, 2020.

O cone gerado pelo ângulo de proteção é visto na Figura 4. O ponto A representa o ponto máximo onde o captor está alocado, enquanto o ponto B representa o plano de referência do cone. O ângulo alfa (α) representa o ângulo formado pelo método, a altura ($h1$) apresenta a distanciada do topo do cone em relação ao plano de referência e o raio (rc) mostra o raio de base do cone. Para obtenção do ângulo, a norma NBR 5419-3 (2015, p. 11) apresenta um gráfico que relaciona o mesmo a altura cuja qual o captor está localizado e a classe de SPDA que será instalada:

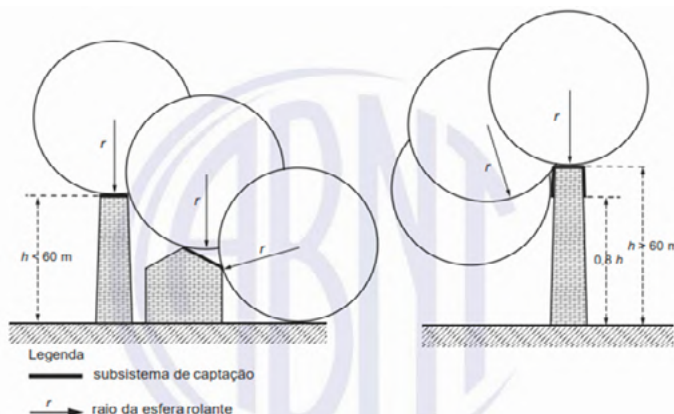


Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

Cada curva na figura é usada para uma classe de SPDA. Alturas menores que 2 metros não influenciam no ângulo de proteção, enquanto alturas maiores que 60m não entram na análise. Após a aplicação desse método, deve-se verificar a opção de aplicabilidade do método das malhas juntamente com este.

Seguindo para o método da esfera rolante, Souza (2020) descreve que essa metodologia tem como fundamento a “rolagem” de uma esfera fictícia sobre uma estrutura, identificando todos os pontos em que a projeção toque o edifício. Abaixo está uma exemplificação de como funcionaria o método da esfera rolante de acordo com a NBR 5419-3 (2015, p. 33):

Figura 6: Método da esfera rolante



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

Com relação às características da esfera, a NBR 5419-3 (2015) especifica as seguintes dimensões:

- a) SPDA Classe I: Raio da esfera – 20 metros
- b) SPDA Classe II: Raio da esfera – 30 metros
- c) SPDA Classe III: Raio da esfera – 45 metros
- d) SPDA Classe IV: Raio da esfera – 60 metros

Após esse processo, deverão ser alocados captosres em locais estratégicos para que, quando a esfera rolar novamente, não haja contato com a estrutura mais, validando o subsistema de captação. Como no método do ângulo de proteção, também deve ser verificada a opção de aplicar o método das malhas em conjunto com este.

Por fim, tem-se o denominado método das malhas, também chamado de Gaiola de Faraday, tendo esse nome devido ao seu criador, um inglês chamado Michael Faraday. Visacro Filho (2005) explica que Faraday, através de estudos e experimentos envolvendo campos eletromagnéticos, chegou em uma resultante onde uma gaiola metálica envolvia um determinado volume de matéria, cujo qual não seria mais afetado por efeitos de campo eletromagnético, ou seja, estaria blindado. Na prática, o mesmo observou que quando uma corrente era induzida na gaiola aterrada, ela se dividia entre os condutores e seguia em direção ao aterramento, não afetando o que estaria em seu interior.

O método das malhas é usado na maioria dos casos, sendo englobado juntamente com algum dos outros dois métodos. Esse preceito visa projetar uma malha captora que será composta de condutores espaçados de uma certa distância (determinada pela classe do SPDA), e é utilizado principalmente em estruturas com alturas muito exorbitantes, além de prover medidas preventivas contra descargas laterais (SOUZA, 2020).

Visando a aplicação deste método, a NBR 5419-3 (2015) implica uma série de requisitos a serem seguidos, sendo eles:

A. Os captosres devem ser instalados na periferia e nas saliências da estrutura. Se o declive dos telhados excederem 1/10, devem ser colocados captosres nas cumeeiras dos telhados.

B. O afastamento dos condutores deve ser de, no máximo, 5 metros para SPDA classe I, 10 metros para SPDA classe II, 15 metros para SPDA classe III e 20 metros para SPDA classe IV.

C. O sistema deve ser construído de forma que sempre haja dois caminhos de corrente diferentes seguindo para o aterramento.

D. Não devem sair do volume de proteção da malha elementos metálicos que possam ser considerados captosres naturais e não estejam previstos em projeto.

E. As descidas devem seguir o caminho mais retilíneo e menor possível até a malha de aterramento.

Após o cálculo e dimensionamento dos métodos de captação, dá-se entrada à parte de condução de descida da descarga atmosférica, que tem todo o seu fundamento na metodologia do subsistema de descidas.

2.4.2. Subsistema de descidas

O subsistema de descida é feito com a intenção de não causar danos à estrutura enquanto o circuito esteja conduzindo uma descarga atmosférica. Ao final, se possível a 1,5m do solo, deve sempre haver uma conexão de ensaio que tem por finalidade facilitar a desconexão do subsistema de descida com o subsistema de aterramento para que possam ser realizados ensaios em cada um separadamente (NBR 5419-3, 2015).

As descidas devem ser aplicadas logo após os subsistemas de captação, ou seja, seguirão da maneira a qual os mesmos foram dimensionados, podendo ser, então, de três tipos, cada qual com sua particularidade:

- A. Descidas em SPDA isolado;
- B. Descidas em SPDA não-isolado;
- C. Descidas em SPDA natural.

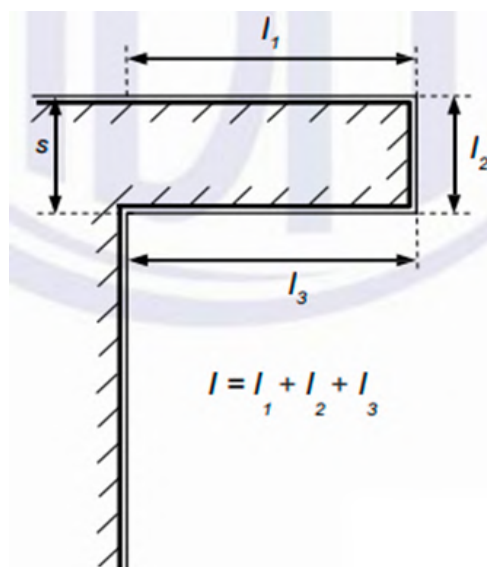
As descidas mais simples de serem dimensionadas em um SPDA são as que deverão ser implementadas em um sistema isolado. Nesta situação, os captosres serão alocados no topo de mastros ou estruturas metálicas as quais estarão sendo usadas como suporte. Nesse caso, se o suporte for de um material condutor, não serão necessários condutores de descidas, entretanto, em qualquer outro cenário, no mínimo um condutor é necessário (NBR 5419-3, 2015). Caso a conexão de ensaio não possa ser feita a 1,5m do solo, será necessário realizar um estudo para determinar qual o melhor posicionamento para a mesma.

Em sistemas onde o SPDA for não-isolado, o subsistema de descida na maioria dos casos descerá de um captor e seguirá a parede até a caixa de inspeção, sendo preferencial um condutor em cada canto da estrutura, respeitando a distância imposta pela norma e o método das malhas, caso tenha sido utilizado.

A NBR 5419-3 (2015) determina que os condutores podem ser alocados no interior da parede se a mesma não for feita de material combustível ou na superfície da parede se a elevação de temperatura não implicar perigo para seu material. Caso esses requisitos não sejam atendidos, devem ser usados suportes para que os condutores fiquem distantes de no mínimo 0,1m da parede.

Em determinadas estruturas serão necessários anéis posicionados horizontalmente entre os condutores de descida, mantendo sempre “[...] uma distância mínima de 0,50 metro de portas, janelas e outras aberturas” (LIMA FILHO, 2011, p. 237). A distância entre os anéis e entre os condutores de descida são de 10m para SPDAs classe I e II, 15m para SPDA classe III e 20m para SPDA classe IV, podendo ter 20% desses valores extrapolados, caso necessário (NBR 5419-3, 2015). A instalação dos condutores deve seguir o caminho mais retilíneo possível até a caixa de inspeção e, da mesma forma, até a conexão com o subsistema de aterramento. Isso é necessário para evitar a formação de laços em locais onde os condutores estão menos verticalmente alocados, o que geraria centelhamento e problemas para o sistema.

Figura 7: Laço em condutor de descida



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

O último meio de descida a ser apresentado é a considerada natural. Nesse caso, a descida utiliza a própria estrutura do estabelecimento para conduzir a corrente da descarga atmosférica até o aterramento. “Para estruturas novas, medidas complementares visando garantir essa continuidade elétrica, desde o início da obra, podem ser especificadas pelo projetista do SPDA em trabalho conjunto com o construtor e o engenheiro civil” (NBR 5419-3, 2015, p. 8), tendo em vista que o melhor tipo de SPDA (levando em conta a continuidade, resistência, durabilidade e outros fatores) é o que usa a estrutura do próprio edifício.

A descida natural, conforme Souza (2020, p. 98) pode ser feita em:

- A. instalações metálicas eletricamente contínuas;
- B. armaduras de estruturas de concreto armado eletricamente contínuas;
- C. elementos de fachada eletricamente contínuos [...];
- D. vigamento de aço interconectado da estrutura, desde que as dimensões atendam aos requisitos dos condutores para descidas [...].

Caso for detectada uma maneira de alocar as caixas de inspeção a 1,5m do solo, isso deve ser feito, porém a chance é ridiculamente pequena em um SPDA natural. Para esse caso, será necessário um estudo apropriado do local para verificar qual o melhor local para alocação da caixa de ensaio.

Após o subsistema de descidas vem a parte final do SPDA, o subsistema de aterramento, sendo aplicado logo após as caixas de inspeção, no caso das descidas isoladas e não isoladas, ou ligado diretamente ao final das descidas naturais (com algumas exceções).

2.4.3. Subsistema de aterramento

O aterramento é composto por elementos interconectados e, literalmente, submersos na terra, podendo ser composto tanto por cabos, hastes e anéis de condutores, como pela própria estrutura de fundação do local (no caso de um SPDA natural), formando assim a chamada malha de aterramento (STÉFANI, 2011).

A resistência do solo não tem um valor predefinido, porém deve-se focar em obter o menor valor de resistência possível (NBR 5410, 2004), além de não ser recomendável a utilização de dois tipos de materiais diferentes na malha de aterramento.

A malha de aterramento deve se encontrar a aproximadamente 1m da estrutura do local e enterrada a no mínimo 0,5m, com obrigatoriamente 80% de seu comprimento enterrado, enquanto os outros 20% não precisam estar conectados diretamente à terra. Uma haste é necessária em cada descida, com exceção das descidas naturais (NBR 5419-3, 2015).

Com o subsistema de aterramento aplicado e operando juntamente aos outros dois subsistemas, o SPDA para o local estaria pronto e executando a proteção de toda a estrutura contra descargas atmosféricas diretas na área de proteção prevista no projeto. Com isso, a próxima etapa prevista para realizar a proteção completa contra descargas atmosféricas seria o projeto e dimensionamento das MPS.

2.5. MPS

Quando o sistema de SPDA estiver operando, ou quando ocorrer uma descarga atmosférica indireta a uma distância relativamente próxima da estrutura, centelhamentos podem ser gerados dentro do volume de proteção previsto pelo sistema de captação, os quais atingirão grande parte das instalações metálicas (condutoras) internas e externas da edificação, o que exige uma forma de proteção (NBR 5419-3, 2015).

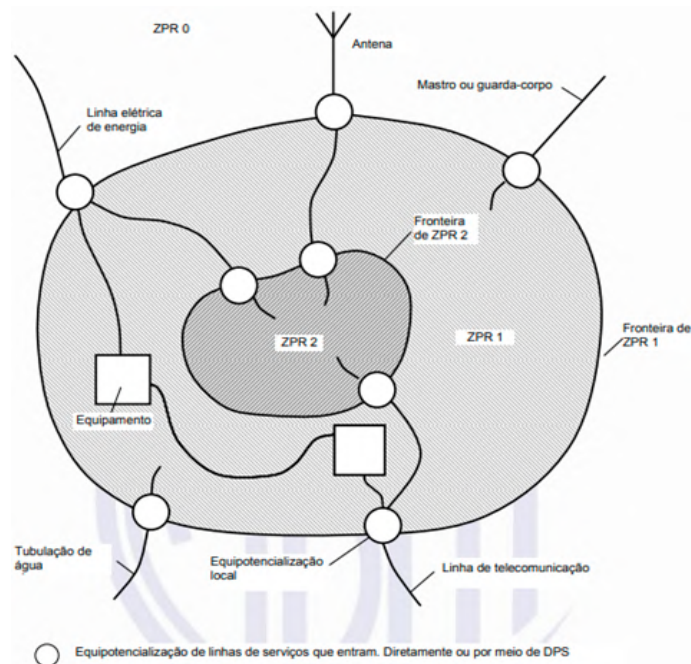
As medidas de proteção contra surtos (MPS) são a principal maneira de prevenir danos causados por efeitos de LEMP. Para isso, a metodologia considerada no projeto de MPS é a divisão do local estudado em diversas zonas de proteção contra raio (ZPR). Uma ZPR é separada de acordo com as medidas tomadas para a proteção de cada uma. A NBR 5419-4 (2015) as separa em zonas externas e zonas internas, sendo elas:

A. ZPR 0: a única externa e que não é protegida pelo sistema de MPS, cuja qual é subdividida em ZPR 0A E ZPR 0B. Somente a zona 0A fica de fora do volume de proteção do SPDA, sendo a única ameaçada por descargas diretas e pelos efeitos totais de LEMP, enquanto a zona 0B é protegida contra descargas diretas, mas ainda pode ser afetada por todos os efeitos de LEMP.

B. ZPR 1: zona interna que é protegida pelo sistema de MPS, tendo a corrente de surto limitada e suas instalações e equipamentos elétricos protegidos de acordo com as medidas implementadas.

C. ZPR 2 e demais: zonas de proteção ainda mais internas que a ZPR 1. A ZPR 2 e demais ZPRs necessárias no estabelecimento tem a corrente de surto ainda mais atenuada que na ZPR 1.

Figura 8: Divisão das ZPRs em uma estrutura



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-4, 2015.

De acordo com Souza (2020), a MPS pode ser feita através da instalação dos seguintes sistemas:

- a) Sistema de equipotencialização;
- b) Sistema de blindagens magnéticas e roteamento de linhas;
- c) Sistema coordenado de DPS;
- d) Sistema de interfaces isolantes.

A equipotencialização, segundo a norma NBR 5410 (2004), é um conjunto de ligações em prol de obter a equipotencialidade (o mesmo potencial) em elementos específicos da edificação, que tem como propósito a proteção contra efeitos eletromagnéticos, sobretensões e choques elétricos. As ligações equipotenciais (LEP) devem seguir para o barramento de equipotencialização principal (BEP) que deve estar situado próximo ao nível do solo, tendo saída direta para o aterramento (NBR 5410, 2004). Barramentos de equipotencialização locais (BEL) podem ser usados para auxiliar o BEP, sendo instalados em estruturas com mais de 20m horizontais e/ou verticais, e que devem ter saída direto para o BEP (NBR 5419-3, 2015).

Com relação à blindagem magnética e a técnica de roteamento de linhas, estas visam minimizar os efeitos de campo magnético em uma determinada área. A blindagem pode ser do tipo espacial, que visa a proteção do volume de uma ZPR e também pode ser usada nas linhas de energia internas ou externas da edificação, sempre respeitando as características dos materiais apresentados na NBR 5419. Já a técnica de rotear linhas é usada somente na parte interna da edificação e é vista mais como uma reorganização da distribuição de condutores a fim de evitar laços que possam produzir surtos (NBR 5419-4, 2015).

O sistema coordenado de DPS é tido como um dos melhores meios de proteção contra surtos não só em sistemas de SPDA, mas em todas as instalações elétricas no geral. Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS), de acordo com o a NBR 5410 (2004, p. 130) são componentes “[...] destinados a prover proteção contra sobretensões transitórias nas instalações das edificações [...]”. Sua função é detectar os surtos que estão agindo na rede e redirecioná-los ao sistema de aterramento sem que causem qualquer dano material.

Como explica FINDER (2012), os DPSs são divididos em três classes diferentes, sendo elas:

● **Classe I:** Instalado onde a edificação está em contato com a rede elétrica. Essa classe é focada na proteção de descargas diretas com curvas de impulso da forma 10/350 μ s.

● **Classe II:** Principalmente instalado nos QGBTs da edificação. Esse tipo de DPS é focado na proteção contra os efeitos de LEMP, tendo atuação de acordo com sua corrente máxima e nominal com curvas de 8/20 μ s.

● **Classe III:** Instalados nas proximidades de aparelhos elétricos e eletrônicos que exijam uma proteção maior. Sua função é eliminar surtos de tensão residuais com forma de onda 1,2/50 μ s.

Quanto ao DPS que deverá ser instalado em qual ZPR e em qual posição, SOUZA (2020) indica que:

- Na entrada para a ZPR 1, podem ser alocados DPSs de classe I e II.
- Na entrada para as demais ZPRs, podem ser alocados DPSs classe I (sendo um DPS de potência, classe II ou classe III que atue em curvas 8/20.
- Entre uma ZPR e o equipamento, DPSs classe III atuantes em curva 1,2/50 μ s podem ser necessários.

A coordenação dos DPSs é feita nas ZPRs através de uma “sequência” de ativação dos mesmos de acordo com sua tensão de proteção específica e sua classe. Para que os DPSs estejam coordenados para acionamento corretamente em cada uma das ZPRs, em seu dimensionamento é necessário verificar sua tensão de proteção (U_p) para que o dispositivo seja escolhido corretamente, sendo que a U_p para a ZPR mais interna deve ser a menor, aumentando conforme as ZPRs ficam mais externas.

Por fim, no caso de uma estrutura existente que não possa seguir à risca o que é indicado pela NBR 5419, interfaces isolantes e um conjunto de DPSs podem ser viáveis para a proteção contra LEMP, focando a MPS principalmente no aterramento, nas zonas de proteção, na blindagem e no roteamento de linhas (SOUZA, 2020). Todos esses pontos devem ser levados em conta na análise de risco, para que todas as medidas necessárias sejam tomadas e a estrutura esteja completamente protegida contra descargas atmosféricas e seus efeitos de campo magnético ao fim da implantação do sistema.

Ao final, após analisar e dimensionar todas as MPS, a parte de projeto estaria completamente pronta, o que implica que, neste ponto, a PDA estaria completamente em execução contra todas as formas de danos.



REFERENCIAS



- ALVES DE SOUZA, José Rubens; MORENO, Hilton. Guia EM da NBR 5410. 1. ed. São Paulo: Revista Eletricidade Moderna, 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de Risco. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos a vida. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-4: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015.
- CLAMPER. Conheça os tipos de descargas elétricas. CLAMPER, 2015. Disponível em: <<https://www.clamper.com.br/pt/2015/12/28/conheca-os-tipos-de-descargas-eletricas/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- FINDER. Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos – DPS. [S.I.], 2012. INPE. Corrente elétrica do raio. INPE, [s/d]. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php#:~:text=J%C3%A1%20os%20rel%C3%A2mpagos%20solo%20nuvem,que%20ocorra%20descargas%20de%20retorno.>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- INPE. Tipos de relâmpagos. INPE, [s/d]. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/tipos.php>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- LIMA FILHO, Domingos Leite. Projetos de Instalações Elétricas Prediais. 12. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- LOURENÇO, Sérgio Ricardo; SILVA, Thadeu Alfredo Farias; SILVA FILHO, Silvério Catureba da. Um estudo sobre os efeitos da eletricidade no corpo humano sob a égide da saúde e segurança do trabalho. Exacta, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 135-143, jan./jun. 2007.
- MONTAL Para-Raios. Produtos de captação. Montal Para-Raios, [s/d]. Disponível em: <<https://www.montal.com.br/produtos/capta%C3%A7%C3%A3o.html>>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- RODRIGUES, Letícia. Brasil é um dos países onde mais se morre por raios, aponta Inpe. Revista Galileu, 2020. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2020/05/brasil-e-um-dos-paises-onde-mais-se-morre-por-raios-aponta-inpe.html>>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- SANTOS, Diego. O que acontece em um edifício ao ser atingido por um raio? Thorus Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/o-que-acontece-em-um-edificio-quando-cai-um-raio-spda/>>. Acesso em: 29 mar. 2021.
- SOUZA, André Nunes de; et al. SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.
- STÉFANI, Rodrigo Verardino de. Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial. São Carlos, 2011.
- VISACRO FILHO, Silvério. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. 1. ed. São Paulo: Artlber, 2005.



STUDY FOR THE ELABORATION OF A SPDA PROJECT IN RESIDENTIAL BUILDING IN PATOS DE MINAS

Matheus Pereira Dias ¹
Thiago Vieira da Silva ²
Fábio de Brito Gontijo ³

ABSTRACT

Due to the growing number of residential buildings appearing every day, it is necessary to protect them against the harmful effects of lightning. In this work the behavior of an atmospheric discharge will be portrayed, as well as an efficient way of protection against all the harmful effects caused by it in a building in Patos de Minas. A LPS project will be executed in strict accordance with the NBR 5419-2015 standard, which provides the mandatory and necessary regulation for the production of the entire system, in order to make it as safe and efficient as possible.

KEYWORDS: LPS, PDA, Atmospheric Discharge

SUMMARY: 1. Introduction 2. Theoretical Framework 2.1 Atmospheric Discharge 2.2 Project Structure 2.3 Risk Management 2.4 LPS 2.4.1 Capturing subsystem 2.4.2 Downslope subsystem 2.4.3 Grounding subsystem 2.5 MPS - References.

1. INTRODUCTION

Atmospheric electrical discharge (AED), more popularly known as lightning, is an event in which an electrical current of great intensity, usually in the order of thousands of amps (kA), it occurs in a path that can be closed within a single cloud, between clouds, or between a cloud and the Earth's surface. For an atmospheric discharge to occur, a phenomenon called dielectric breakdown of the air must occur, which is possible when a cloud that is in a state in which it is electrically charged has its charges attracted by a potential opposite to that of the cloud, ionizing the air and making it a conductor of electricity, thus creating a passageway for electrical current.

For Souza (2020),

[...] atmospheric discharges are a complex, random and probabilistic phenomenon of difficult interpretation, which motivates researchers and engineers to seek ways to improve the levels of protection of circuits and electrical installations, considering the technical standards in force (SOUZA et al, 2020, p. 30).

“[...] Brazil is first in the list of countries with the highest incidence of lightning in the world: there are 77.8 million discharges to the ground every year” (GALILEU REVIEW, 2020). The concern with lightning strikes increases every day, and one of the main places that need protection are residential buildings, also called residential buildings. The company THORUS ENGENHARIA (2018) emphasizes that, in the event of a lightning strike in a building, in addition to compromising the establishment and threatening the well-being of residents, electronic devices and electrical installations would also be subject to damage. This problem occurs due to electrical surges caused by the phenomenon called electromagnetic pulse (EMP), which are described in the NBR 5419-1 (2015, p. 5) standard as “transient effects [...] that appear in the form of overvoltage and /or overcurrent”.

¹Estudante de Engenharia Elétrica 10º Período – Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil – matheuspd12345@gmail.com

²Formado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Brasil – thiagovs@unipam.edu.br

³Formado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Brasil – fabiobg@unipam.edu.br

According to Souza (2020), in the year 1752, a scientist named Benjamin Franklin, a student of the phenomenon of rays, developed an experimental methodology to determine a way to control them. This method, after some time and some improvements, would become the main way to prevent electrical or physical accidents from lightning, entitled Protection System Against Atmospheric Discharges (SPDA). Such method, as many lay people believe, does not prevent the occurrence of electrical discharge at the site, quite the contrary, an electrical arc that would reach the area in which the system is installed will certainly occur; however, Souza (2020) reinforces that the function LPS is the reduction of physical damage applied to the structure and the effects caused by a magnetic surge, in addition to protecting everything that would be inside it, such as people, equipment and installations.

For the execution of the LPS project, the procedures defined by the NBR 5419 (2015) standard must be followed. It has already undergone some changes over the years, and its latest version is from 2015, which serves as the basis for the entire process, from the foundation of what is a lightning strike to the development of the protection system itself against the same.

As portrayed in ABNT NBR 5419-1 (2015, p. vii), the standard:

[...] under the general title "Protection against lightning", is expected to contain the following parts:

- Part 1: Principles general;
- Part 2: Risk Management;
- Part 3: Physical damage to structures and hazards to life;
- Part 4: Internal electrical and electronic systems in the structure.

The justification for this work can be seen by analyzing the electrical engineering market today. The vast majority of companies in this field operate in various service areas, however, compared to them, the number of them working with lightning protection systems is still small. In the general context, this is due to the vast amount of time needed to specialize in the subject, as it requires a large amount of knowledge of norms and laws. Given this fact, there is then a growing demand in recent years when this subject is brought up, because over time and the advancement of civilization, more buildings will be built and they will be increasingly taller, thus demanding a certain level of protection.

In this sense, the general objective of this work is the production of a complete LPS project, determining which is the most suitable class of system for the building. Specific objectives include the calculation of building risk management, the characterization of the PDA class, the adoption of the PDA method to be used, the quantification of the amount of sensors needed, the amount of descents, determination and calculation of the mesh grounding, in addition to the preparation of a roadmap for preparing the equipotential of the building and coordination of SPDs. Thus, the present work will be presented with an executive project in CAD, with their respective plots for a better understanding of how the LPS should be performed in the building.

Thus, the proposed work is of a basic nature, and seeks to use the knowledge that will be acquired during its development in favor of a means to prevent the negative effects caused by lightning in the targeted residential building. In this script, it is essential that there is a qualitative study that proposes to describe the behavior of lightning and its effects when encountering a housing building. A bibliographic research is also necessary, based on a bunch of documents related to the theme, in order to acquire a rich and diversified theoretical basis that can be used to prepare the work. The focus will be works with themes focused on atmospheric discharges and ways of protection against them, such as the book "SPDA – Protection System Against Atmospheric Discharges: Theory, Practice and Legislation" by André Nunes Souza, among others, in addition to the standard itself regulator of SPDAs, NBR 5419-2015.

In addition to this, this research is based on a case study of a building, with the aim of collecting data and examining parameters that can make it susceptible to being targeted by lightning. The foundation structure of the building itself, the electrical installations and the land on which the building was built must also be checked, as the situation in which it is found must be known, in addition to taking into account the possibility or not, the implementation of the system and the means that can be taken to do so.

In light of the above, chapter 2 of this article is intended to provide a summary of the technical knowledge needed to understand this research proposal, fostering and strengthening the basis for justifying the choice of the topic.

- Framework

This chapter presents the theoretical basis necessary for the realization of the LPS project, aiming both at the study related to the behavior of atmospheric discharges and the entire foundation proposed by NBR 5419 in all its four parts.

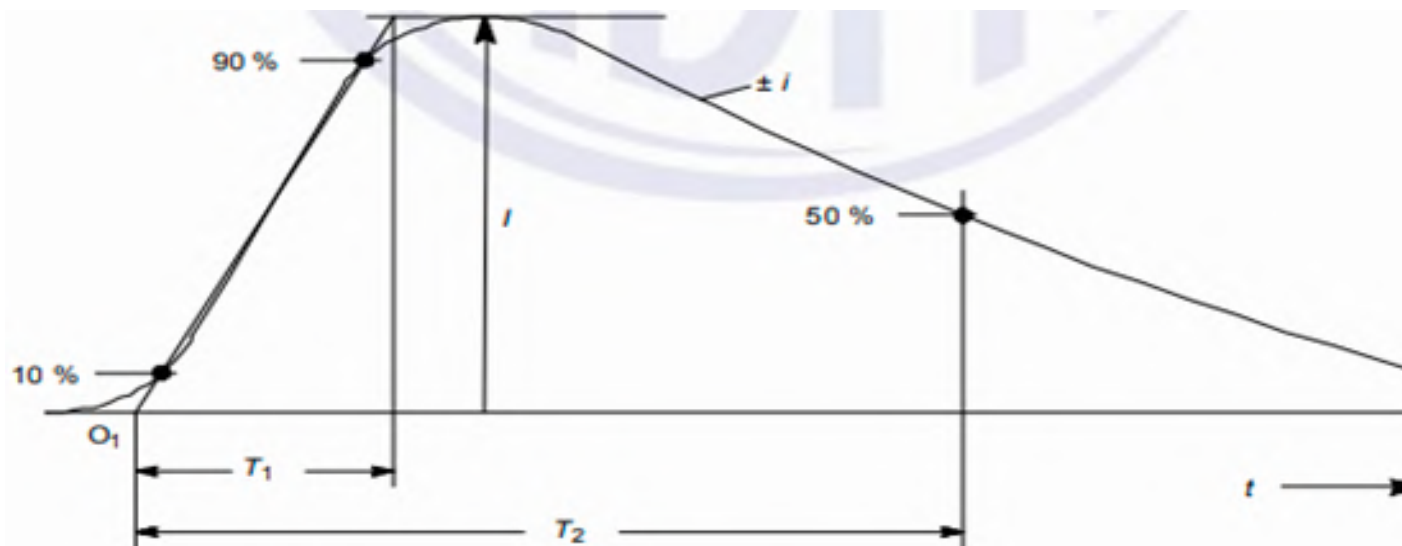
-Atmospheric Discharge

Discharges are nothing more than the appearance of an atmospheric discharge that can travel through gaseous media, in this case, the air. This current arises when there is the occurrence of a phenomenon called the Mechanism Townsend which, according to Visacro Filho (2005), occurs when a spark originates from the release of electrons from the outermost layers of the atoms that make up the air, since the same it is surrounded by very large electric fields. Also in the words of Visacro Filho (2005), air, being a gaseous dielectric medium, has a property called dielectric strength, with a value of 3 MV/m, which is the maximum capacity to resist ruptures by electric fields which, when exceeded, it releases the "kick-off" of the electrons from the atoms, thus giving rise to discharge currents.

As Clamper (2015) explains, an atmospheric discharge can originate in the cloud and proceed towards the ground (positive or negative descending), it can originate in the ground and proceed towards the cloud (positive or negative ascending), it can occur within a single cloud (intra-cloud), or it can happen between clouds (cloud-cloud), with negative descendants accounting for approximately 90% of all that occur in nature.

Regarding the intensity of the electrical currents provided in an atmospheric discharge, Souza (2020) states that: According to the measurements and studies carried out by international researchers, when analyzing the probability curve of the magnitude of the lightning current, it is possible to consider that: a) 70% of lightning discharges exceed 10 kA. b) 50% of lightning discharges exceed 20 kA. c) 20% of lightning discharges exceed 40 kA. d) 5% of lightning discharges exceed 80 kA.

Figura 8: Divisão das ZPRs em uma estrutura



Source: Adapted from NBR 5419-1, 2015.

The NBR 5419-1 (2015) standard informs that the front time (T_1) is much smaller than the time to half value (T_2). The front time is where the electric current grows the most, reaching 90% of its value. After that, the current reaches its peak (I) at a certain time and starts to lose intensity, reaching 50% of its value at T_2 . At the end, the current continues to decrease in value until approximately 2ms, which is where it is extinguished.

For the values of T_1 and T_2 , the NBR 5419-1 (2015) indicates the following values:

- a) First positive pulse: $T_1/T_2 - 10/350\mu s$,
- b) First negative pulse: $T_1/T_2 - 1/200\mu s$,
- c) Subsequent pulses: $T_1/T_2 - 0.25/100\mu s$.

The phenomenon of lightning can happen in two different ways, each with its particularities, which are: a direct incidence, which can be on a living being or not, or an indirect incidence.

A direct incidence is one where the atmospheric discharge has the point of contact directly with the analyzed medium. In the words of Visacro Filho (2005, p. 138), "in this case, when it hits living beings, buildings, structures and electrical systems, the rays can generate destruction, fire and, eventually, death".

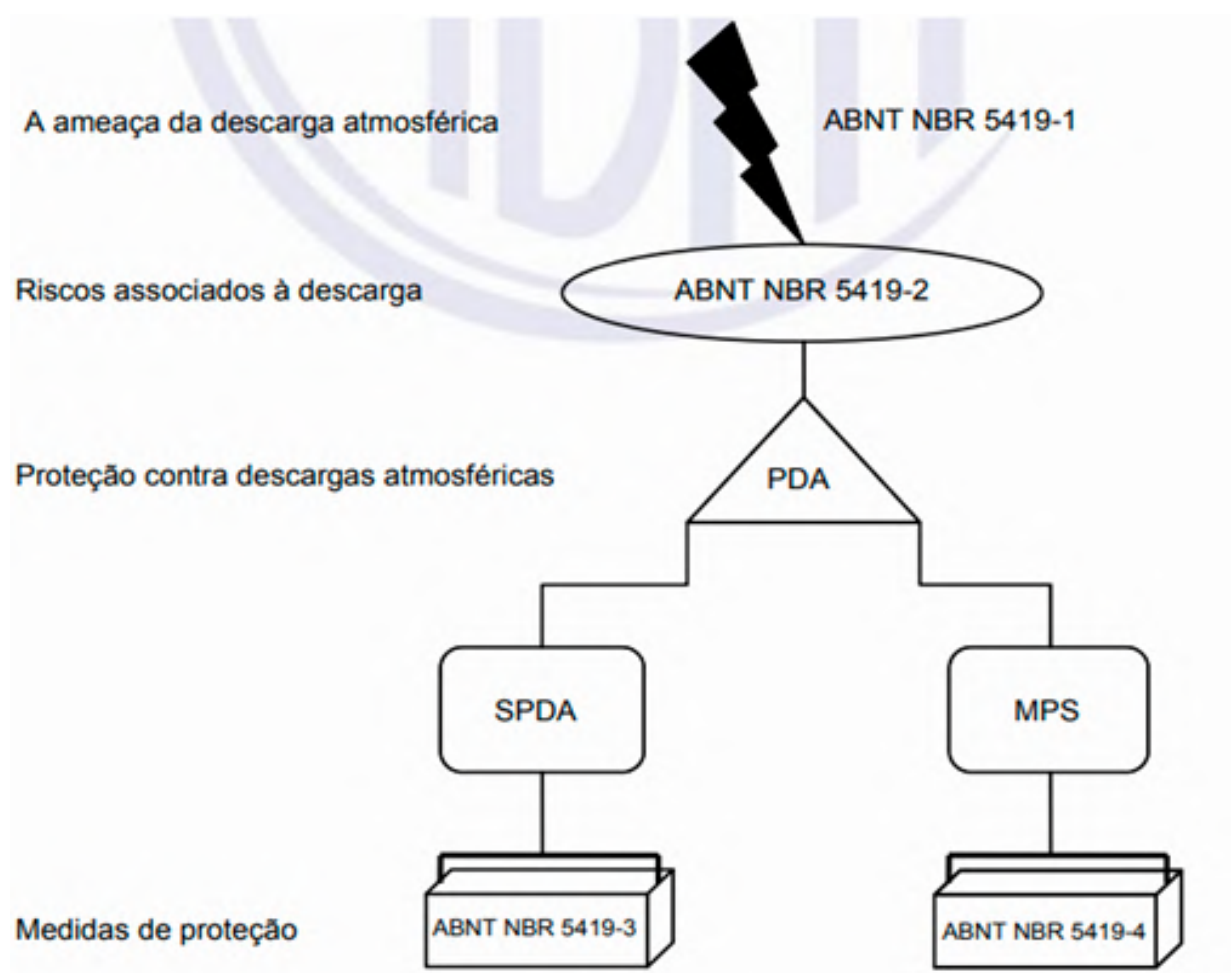
Already related to damage caused by indirect incidences, these do not pose a risk to life per se, but rather problems to metal constructions that are close to the place where the lightning occurred. The reason for this is an effect called Lightning Electromagnetic Pulse (LEMP), which is described by Souza (2020, p. 15) as "[...] all electromagnetic effects caused by lightning current through resistive coupling, inductive and capacitive, which create surges and radiated electromagnetic fields". The surges generated by the LEMP can cause damage ranging from a simple failure in the operation of the affected electronic devices, to their complete loss, in addition to inflicting damage on electrical and telecommunications networks.

After the presentation of lightning and all its effects that can cause damage, the next chapters are strictly dedicated to the project execution methodology, which will be the way used to dimension the best form of protection against such phenomena.

- Project Structure

NBR 5419 (2015) separates the set of measures to be taken to prevent damage from lightning into two parts. In short, the methodology used for the complete system, ranging from the threat of lightning to its protection measures, is presented by ABNT NBR 5419-1 (2015, p. ix) as:

Figure 2: Structure of the protection project against lightning connected between parts of ABNT NBR



Source: Adapted from ABNT NBR 5419-1, 2015.

To perform protection against lightning strikes (PDA) it is necessary to understand the behavior of a lightning strike and its threats and, with that, develop the two main methods of prevention: a lightning protection system (SPDA) and a system of surge protection measures (MPS) that are operating together. To determine which measures will be adopted in each of these methods, a calculation called risk management will be used.

- Risk management

At the beginning of a LPS project, the starting point is to verify the risk to which the studied site is suffering an atmospheric discharge, taking into account the damage that the event can cause and the losses that can occur at the time. Therefore, risk management analysis is used, a methodology that aims to answer all these questions, in addition to finding the best type of LPS to perform the protection of the desired location. For the standardization and regulation of this topic, part II of NBR 5419 (2015) is used, which is essentially focused on structuring risk management.

In general, the analysis focuses on analyzing the ways in which lightning strikes occur, determining what damage they can cause, and what losses will come with this event. According to this thought, NBR 5419-2 (2015, p. 15) presents the following:

Figure 3: Types of sources of damage, damage and loss

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.			

Source: Adapted from ABNT NBR 5419-1, 2015.

As shown in Figure 3, the sources of damage S1 and S3 are the most dangerous because they are direct discharges, either in the studied location or in electrical transmission lines, which can provide all types of damage. The sources of type S2 and S4 do not present as much danger as the others because they are indirect discharges, that is, their main source of damage is the surges caused by LEMP.

Once the types of losses are determined, the risk (R) to which the merchant is subject is then calculated. For this, four different types of risk to which the building may be exposed are calculated so that, in the end, they are added and the total risk is obtained. Regarding what is said by Souza (2020, p. 48-49), the risks are:

- a) R1: risk of loss or temporary and permanent injuries to human lives.
- b) R2: risk of loss of services to the public.
- c) R3: risk of loss of cultural heritage.
- d) R4: risk of loss of economic values.

After the entire process of obtaining the risk imposed on the building, the value obtained is compared with the acceptable risk for it. For this, NBR 5419-2 (2015) offers a tolerable risk value (RT) for each type of loss, being 10-5 for L1, 10-3 for L2, 10-4 for L3 and 10-3 for L4.

In case R is less than or equal to RT ($R \leq RT$), it will not be necessary to install any protection measure for the location, however, in the situation where R exceeds the value of RT, which measures should be checked. be adopted to reduce its value, either in the SPDA part or in the MPS part, which will be presented in the next topics.

- SPDA

The technique known as SPDA consists of the implementation of a path to which the lightning, after being attracted by a lightning rod, can pass through the building with some ease, without causing damage to the building that it would reach, being conducted directly up to the grounding mesh (LIMA FILHO, 2011). The LPS is separated into classes from I to IV, with I being the one that offers the greatest protection and the IV the one that offers the least, and is used to protect four levels of protection that also range from I to IV, where "the level of protection expresses the efficiency, that is, the probability with which an LPS protects a volume against the effects of atmospheric discharges" (LIMA FILHO, 2011, p. 232).

The LPS can be applied in two different ways: isolated from the building, being built at a certain distance from the site by means of masts or using natural metallic structures, or non-insulated, located close to the structure of the place. For the non-insulated system, the LPS can be done externally to the building, using catchments and down conductors placed outside the place, or in a natural way, using the reinforced concrete steel structure already existing in the building foundation if it meets the requirements presented in NBR 5419-3 (SOUZA, 2020).

The way in which the LPS will be built is presented in the form of three distinct methodologies that, when applied together, manage to protect the structure, namely:

- a) Capture subsystem;
- b) Descent subsystem;
- c) Grounding subsystem.

- Captation Subsystem

The subsystem is responsible for reducing the number of points in the structure that the beam can reach. This is because the sensors are metallic materials, with good electrical conductivity, and will be placed in strategic places, facilitating the path of lightning if it were to hit the structure.

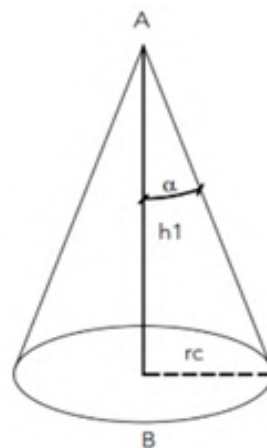
Generally, the sensors used in the capturing subsystem are of two types: Franklin type sensors or mini sensors. The Franklin type sensor has a larger structure and greater resistance than a mini captor, in addition to protecting a larger radius, which makes it more expensive as well (MONTAL LIGHTNING PROTECTION, [s/d]).

For the design of the capture subsystem, NBR 5419-3 (2015) indicates three methodologies:

- a) Protection angle method;
- b) Rolling ball method;
- c) Mesh method.

The protection angle method is based on the idea that the sensors must be placed in strategic locations in order to use the fewest possible number of them and provide protection for the entire structure. The protection volume is given through the shape of a cone that has its apex at the upper point of the sensor and its angle is delimited according to its height (SOUZA, 2020). Souza (2020, p. 86) presents the cone as follows:

Figure 4: Representative cone of the protection angle method

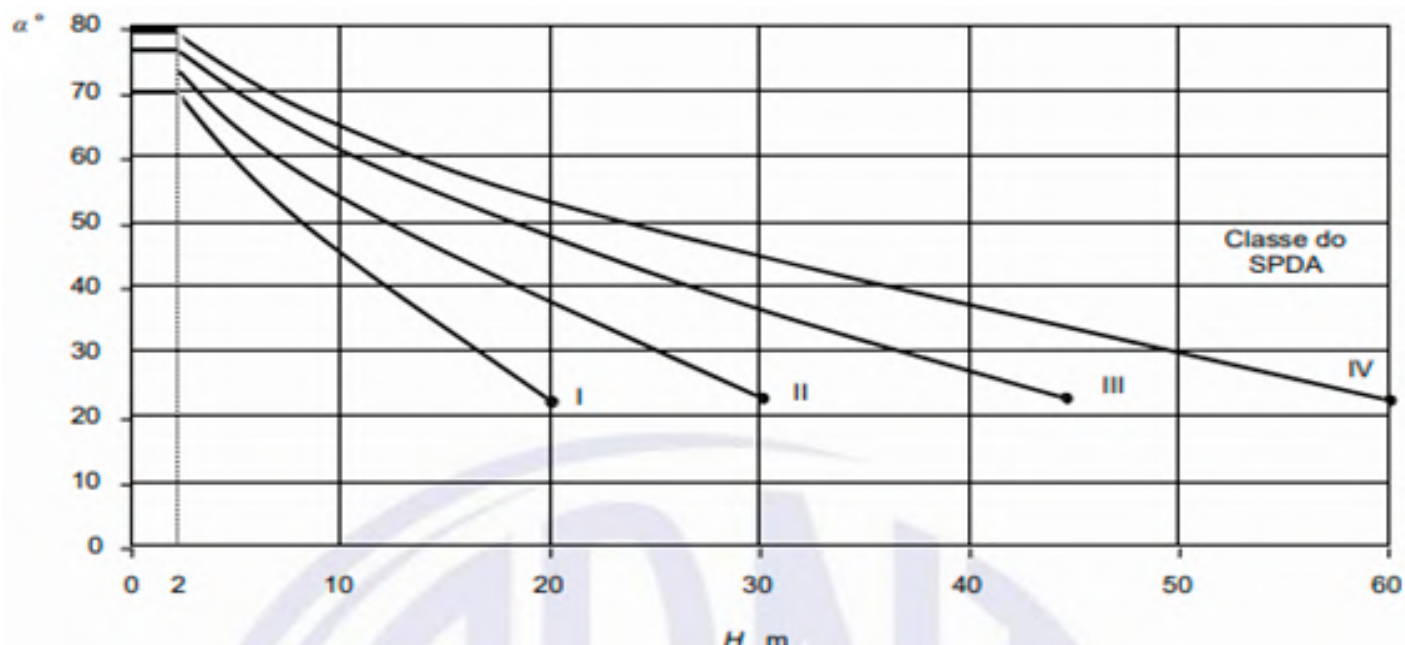


Source: Adapted from Souza, 2020.

The cone generated by the protection angle is seen in Figure 4. Point A represents the maximum point where the sensor is located, while point B represents the reference plane of the cone. The alpha angle (α) represents the angle formed by the method, the height (h_1) shows the distance from the top of the cone in relation to the reference plane and the radius (r_c) shows the base radius of the cone.

To obtain the angle, the NBR 5419-3 standard (2015, p. 11) presents a graph that relates the height at which the sensor is located and the LPS class that will be installed:

Figure 5: Angle of protection according to with LPS height and class

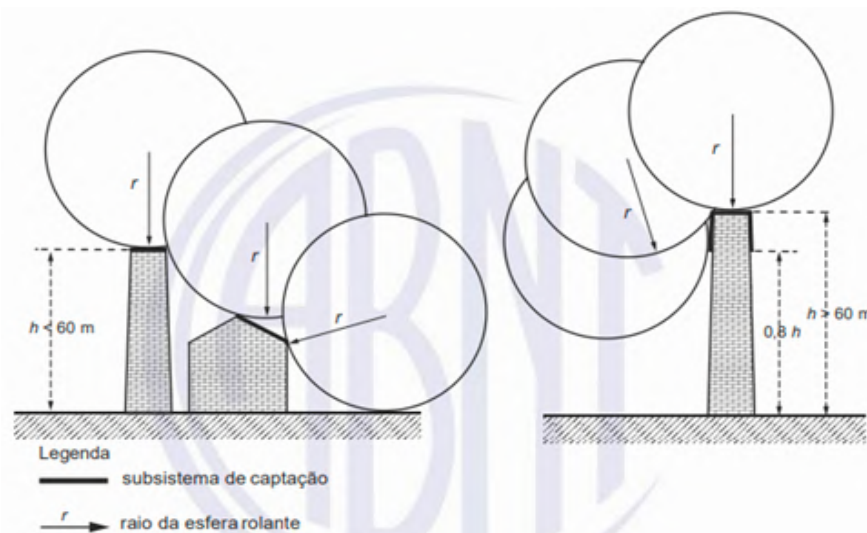


Source: Adapted from ABNT NBR 5419-3, 2015.

Each curve in the figure is used for a LPS class. Heights less than 2 meters do not influence the protection angle, while heights greater than 60m do not enter into the analysis. After applying this method, the option of applicability of the mesh method together with this one must be verified.

Moving on to the rolling sphere method, Souza (2020) describes that this methodology is based on the “rolling” of a fictitious sphere over a structure, identifying all the points where the projection touches the building. Below is an example of how the rolling sphere method would work according to NBR 5419-3 (2015, p. 33):

Figure 6: Rolling sphere method



Source: Adapted from ABNT NBR 5419-3, 2015.

Regarding characteristics of the sphere, NBR 5419-3 (2015) specifies the following dimensions:

- a) SPDA Class I: Sphere radius – 20 meters
- b) SPDA Class II: Sphere radius – 30 meters
- c) SPDA Class III: Sphere radius – 45 meters
- d) SPDA Class IV : Sphere radius – 60 meters

After this process, sensors must be allocated in strategic locations so that, when the sphere rolls again, there is no more contact with the structure, validating the capture subsystem. As in the protection angle method, the option of applying the mesh method together with it must also be checked.

Finally, there is the so-called mesh method, also called Faraday's Cage, named for its creator, an Englishman named Michael Faraday. Visacro Filho (2005) explains that Faraday, through studies and experiments involving electromagnetic fields, arrived at a result where a metallic cage involved a certain volume of matter, which would no longer be affected by electromagnetic field effects, that is, it would be shielded. In practice, he observed that when a current was induced in the grounded cage, it was divided between the conductors and went towards grounding, not affecting what would be inside.

The mesh method is used in most cases and is bundled together with one of the other two methods. This precept aims to design a captive mesh that will be composed of conductors spaced a certain distance apart (determined by the LPS class), and is used mainly in structures with very exorbitant heights, in addition to providing preventive measures against lateral discharges (SOUZA, 2020).

Aiming at the application of this method, NBR 5419-3 (2015) implies a series of requirements to be followed, namely:

- a) The sensors must be installed on the periphery and on the projections of the structure. If the slope of the roofs exceeds 1/10, sensors must be placed on the roof ridges.
- b) The distance of the conductors must be, at most, 5 meters for LPS class I, 10 meters for LPS class II, 15 meters for LPS class III and 20 meters for LPS class IV.
- c) The system must be constructed so that there are always two different current paths going to ground.
- d) Metal elements that can be considered natural captors and are not foreseen in the project must not leave the mesh protection volume.
- e) The descents must follow the straightest and shortest possible path to the ground loop.

After the calculation and dimensioning of the capture methods, the descent conduction part of the lightning is entered, which has its entire foundation in the methodology of the descent subsystem.

-Descent Subsystem

The descent subsystem is made with the intention of not causing damage to the structure when the circuit

is conducting a lightning. At the end, if possible at 1.5m from the ground, there must always be a test connection that aims to facilitate the disconnection of the descent subsystem with the grounding subsystem so that tests can be carried out on each one separately (NBR 5419-3, 2015).

The descents must be applied right after the capture subsystems, that is, they will follow the way in which they were dimensioned, and can then be of three types, each with its own particularity:

- a) Descends in isolated LPS;
- b) Descends in non-isolated LPS;
- c) Descends in natural SPDA.

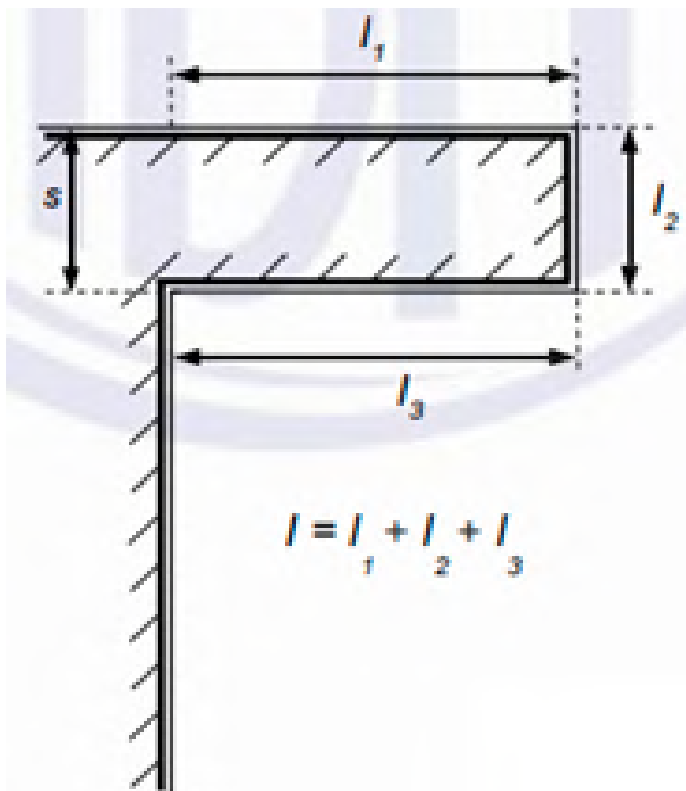
The simplest descents to be dimensioned in an LPS are those that must be implemented in an isolated system. In this situation, the sensors will be placed on top of masts or metallic structures which will be used as support. In this case, if the support is of a conductive material, down conductors will not be necessary, however, in any other scenario, at least one conductor is required (NBR 5419-3, 2015). If the test connection cannot be made 1.5m from the ground, a study will need to be carried out to determine the best position for it.

In systems where the LPS is non-insulated, the descent subsystem in most cases will descend from a sensor and follow the wall to the inspection box, with a conductor in each corner of the structure being preferred, respecting the distance imposed by the standard and the mesh method, if used.

NBR 5419-3 (2015) determines that conductors can be placed inside the wall if it is not made of combustible material or on the wall surface if the temperature rise does not pose a danger to its material. If these requirements are not met, supports must be used so that the conductors are at least 0.1m away from the wall.

In certain structures, rings positioned horizontally between the down conductors will be necessary, always maintaining “[...] a minimum distance of 0.50 meters from doors, windows and other openings” (LIMA FILHO, 2011, p. 237). The distance between the rings and between the down conductors is 10m for LPS class I and II, 15m for LPS class III and 20m for LPS class IV, and 20% of these values may be extrapolated, if necessary (NBR 5419-3, 2015). The installation of conductors must follow the straightest possible path to the inspection box and, similarly, to the connection with the grounding subsystem. This is necessary to avoid the formation of loops in places where the conductors are less vertically placed, which would generate sparking and problems for the system.

Figure 7: conductor loop



DownSource: Adapted from ABNT NBR 5419-3, 2015.

The last means of descent to be presented is the one considered natural. In this case, the descent uses the establishment's own structure to conduct the lightning current to ground. "For new structures, complementary measures to ensure this electrical continuity, from the beginning of the work, can be specified by the SPDA designer in a joint work with the builder and the civil engineer" (NBR 5419-3, 2015, p. 8), considering that the best type of LPS (taking into account continuity, strength, durability and other factors) is the one that uses the structure of the building itself.

The natural descent, according to Souza (2020, p. 98) can be done in:

- a) electrically continuous metallic installations;
- b) reinforcement of electrically continuous reinforced concrete structures;
- c) electrically continuous façade elements [...];
- d) interconnected steel framework of the structure, provided the dimensions meet the requirements of the conductors for descents [...].

If a way to place the inspection boxes 1.5m above the ground is detected, this should be done, but the chance is ridiculously small in a natural LPS. For this case, an appropriate study of the place will be necessary to verify the best place to allocate the test box.

After the descent subsystem comes the final part of the LPS, the grounding subsystem, being applied right after the inspection boxes, in the case of isolated and non-isolated descents, or directly connected to the end of natural descents (with some exceptions).

- Grounding subsystem

Grounding is composed of interconnected elements and literally submerged in the ground, and can be composed of cables, rods and conductor rings, as well as the site's own foundation structure (in the case of a natural LPS), thus forming the so-called grounding mesh (STÉFANI, 2011).

The soil resistance does not have a predefined value, however, the lowest possible resistance value should be focused on (NBR 5410, 2004), and the use of two different types of materials in the grounding mesh is not recommended.

The grounding mesh must be located approximately 1m from the structure of the site and buried at least 0.5m, with 80% of its length obligatorily buried, while the other 20% do not need to be connected directly to earth. A rod is required on each descent, with the exception of natural descents (NBR 5419-3, 2015).

With the grounding subsystem applied and operating together with the other two subsystems, the LPS for the site would be ready and executing the protection of the entire structure against direct lightning strikes in the protection area provided for in the project. Thus, the next step planned to perform complete protection against atmospheric discharges would be the design and dimensioning of MPS.

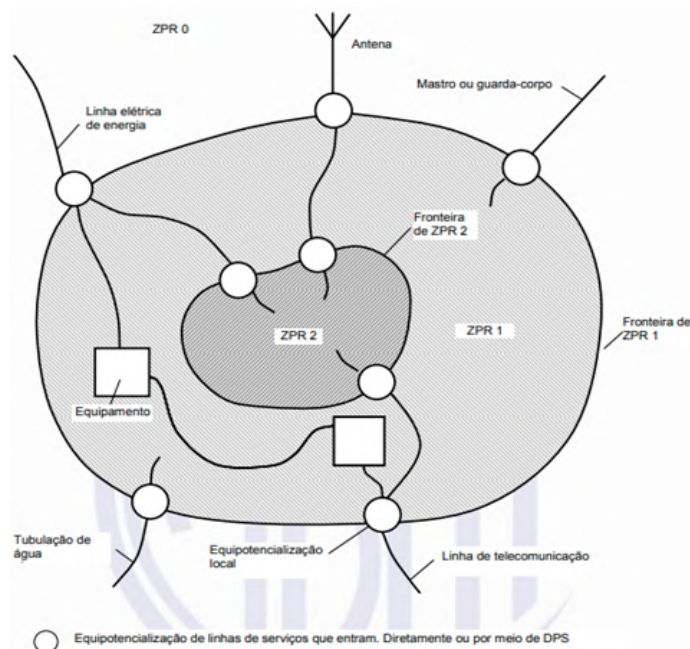
- MPS

When the LPS system is operating, or when an indirect lightning strike occurs at a relatively close distance from the structure, sparks may be generated within the protection volume provided by the capture system, which will reach a large part of the metallic installations (conductors) internal and external of the building, which requires a form of protection (NBR 5419-3, 2015).

Surge Protection Measures (MPS) are the primary way to prevent damage from LEMP effects. For this, the methodology considered in the MPS project is the division of the studied site into several lightning protection zones (LPZ). A LPZ is separated according to the measures taken to protect each one. The NBR 5419-4 (2015) separates them into external and internal zones, as:

- a) Follows LPZ 0: the only external one that is not protected by the MPS system, which is subdivided into LPZ 0A and LPZ 0B. Only zone 0A is outside the LEMP protection volume, being the only one threatened by direct discharges and the full effects of LEMP, while zone 0B is protected against direct discharges but can still be affected by all the effects of EMPLOYMENT
- b) LPZ 1: internal zone that is protected by the MPS system, with limited surge current and its electrical installations and equipment protected according to the implemented measures.
- c) LPZ 2 and others: even more internal protection zones than LPZ 1. LPZ 2 and other LPZs necessary for the establishment have the surge current even more attenuated than in LPZ 1.

Figure 8: Division of LPZs into a structure



Source: Adapted of ABNT NBR 5419-4, 2015.

According to Souza (2020), MPS can be done through the installation of the following systems:

- Equipotential system;
- Magnetic shielding and line routing system;
- DPS coordinated system;
- Isolating interfaces system.

Equipotentialization, according to standard NBR 5410 (2004), is a set of connections in order to obtain equipotentiality (the same potential) in specific elements of the building, whose purpose is to protect against electromagnetic effects, overvoltages and electric shocks. Equipotential connections (LEP) must go to the main equipotential busbar (BEP), which must be located close to ground level, with a direct output to grounding (NBR 5410, 2004). Local equipotential bars (BEL) can be used to assist the BEP, being installed in structures with more than 20m horizontal and/or vertical, and which must have a direct exit to the BEP (NBR 5419-3, 2015).

With respect to magnetic shielding and the line routing technique, these aim to minimize the effects of the magnetic field in a given area. The shielding can be of the spatial type, which aims to protect the volume of a LPZ and can also be used in the building's internal or external power lines, always respecting the characteristics of the materials presented in NBR 5419. It is used only inside the building and is seen more as a reorganization of the distribution of conductors in order to avoid ties that could produce surges (NBR 5419-4, 2015).

The coordinated SPD system is regarded as one of the best means of protection against surges not only in LPS systems, but in all electrical installations in general. Surge protection devices (DPS), according to NBR 5410 (2004,

p. 130) are components "[...] intended to provide protection against transient overvoltages in building installations [...]". Its function is to detect the surges that are acting on the network and redirect them to the earthing system without causing any material damage. As FINDER (2012) explains, SPDs are divided into three different classes, namely:

Class I: Installed where the building is in contact with the electrical network. This class is focused on protection from direct discharges with impulse curves in the form 10/350 μ s.

Class II: Mainly installed in the building's QGBTs. This type of SPD is focused on protecting against LEMP effects, acting according to its maximum and nominal current with 8/20 curves μ s.

Class III: Installed in the vicinity of electrical and electronic devices that require greater protection. Its function is to eliminate residual voltage surges with 1.2/50 μ s waveform. As for the SPD to be installed in which LPZ and in which position, SOUZA (2020) indicates that:

- At the entrance to LPZ 1, class I and II SPDs can be allocated.
- At the entrance to the other LPZs, class I SPDs can be allocated (being a power SPD, class II or class III acting on 8/20 curves.
- Between a LPZ and the equipment, class III SPDs acting on curve 1, 2/50 μ s may be needed.

Coordination of DPS is made in ZPRs through a "sequence" of activation of the same according to their specific protection voltage and its class. For DPS are properly coordinated to drive in each the ZPRs in your design you needcheck your protection voltage (U_p) so that the device is properly chosen, and the U_p to the innermost ZPR should be the least, increasing as the ZPRs are more external.

Finally, In the case of an existing structure that cannot follow exactly what is indicated by NBR 5419, insulating interfaces and a set of SPDs may be viable for protection against LEMP, focusing the MPS mainly on grounding, protection zones, shielding and in rot line development (SOUZA, 2020). All these points must be taken into account in the risk analysis, so that all necessary measures are taken and the structure is completely protected against atmospheric discharges and their magnetic field effects at the end of the system implementation.

In the end, after analyzing and sizing all the MPS, the design part would be completely ready, which implies that, at this point, the PDA would be completely running against all forms of damage.



REFERENCIAS



- ALVES DE SOUZA, José Rubens; MORENO, Hilton. Guia EM da NBR 5410. 1. ed. São Paulo: Revista Eletricidade Moderna, 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de Risco. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos a vida. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-4: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015.
- CLAMPER. Conheça os tipos de descargas elétricas. CLAMPER, 2015. Disponível em: <<https://www.clamper.com.br/pt/2015/12/28/conheca-os-tipos-de-descargas-eletricas/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- FINDER. Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos – DPS. [S.l.], 2012. INPE. Corrente elétrica do raio. INPE, [s/d]. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php#:~:text=J%C3%A1%20os%20rel%C3%A2mpagos%20solo%20nuvem,que%20ocorra%20descargas%20de%20retorno.>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- INPE. Tipos de relâmpagos. INPE, [s/d]. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/tipos.php>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- LIMA FILHO, Domingos Leite. Projetos de Instalações Elétricas Prediais. 12. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- LOURENÇO, Sérgio Ricardo; SILVA, Thadeu Alfredo Farias; SILVA FILHO, Silvério Catureba da. Um estudo sobre os efeitos da eletricidade no corpo humano sob a égide da saúde e segurança do trabalho. Exacta, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 135-143, jan./jun. 2007.
- MONTAL Para-Raios. Produtos de captação. Montal Para-Raios, [s/d]. Disponível em: <<https://www.montal.com.br/produtos/capta%C3%A7%C3%A3o.html>>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- RODRIGUES, Letícia. Brasil é um dos países onde mais se morre por raios, aponta Inpe. Revista Galileu, 2020. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2020/05/brasil-e-um-dos-paises-onde-mais-se-morre-por-raios-aponta-inpe.html>>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- SANTOS, Diego. O que acontece em um edifício ao ser atingido por um raio? Thorus Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/o-que-acontece-em-um-edificio-quando-cai-um-raio-spda/>>. Acesso em: 29 mar. 2021.
- SOUZA, André Nunes de; et al. SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.
- STÉFANI, Rodrigo Verardino de. Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial. São Carlos, 2011.
- VISACRO FILHO, Silvério. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2005.