

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MATHEUS GARCIA ARAÚJO MOREIRA DA SILVA**

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:  
COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS 5419/2005 E 5419/2015**

**Varginha**

**2017**

**MATHEUS GARCIA ARAÚJO MOREIRA DA SILVA**

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:  
COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS 5419/2005 E 5419/2015**

Trabalho em conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Eduardo Henrique Ferroni.

**Varginha**

**2017**

**MATHEUS GARCIA ARAÚJO MOREIRA DA SILVA**

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:  
COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS 5419/2005 E 5419/2015**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em        /        /

---

Nome do orientador

---

Nome do professor

---

Nome do professor

OBS:

## RESUMO

O presente trabalho aborda os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas no Brasil, realizando um estudo comparativo entre a norma do ano de 2005 e a nova norma de 2015. Foi discutido acerca do conceito de descargas atmosféricas, a formação dos raios e outros assuntos correlatos ao proposto. Tal pesquisa teve como objeto o sistema de proteção contra descargas atmosféricas realizando um estudo comparativo entre as normas, revelando três tipos de sistema de proteção que foram analisados em sua estrutura para análise e a comparação entre as normas. Foram analisadas ainda a norma brasileira que regula a matéria, bem como as principais mudanças observadas. Assim, foi realizado estudo comparativo para comprovação empírica entre as diferenças de custos entre as normas.

**Palavras-chave:** Sistema. Proteção Descargas. Normas. Comparação.

## **ABSTRACT**

The present work deals with the systems of protection against atmospheric discharges in Brazil, conducting a comparative study between the standard of the year of 2005 and the new norm of 2015. It was discussed about the concept of atmospheric discharges, the formation of rays and other subjects related to the proposed. This research had as object the system of protection against atmospheric discharges conducting a comparative study between the norms, revealing three types of protection system that were analyzed in its structure for analysis and the comparison between the norms. We also analyzed the Brazilian norm that regulates the matter, as well as the main changes observed. Thus, a comparative study was conducted to empirically prove the differences in costs between standards.

***Keywords:*** *System. Protection. Discharge. Standards. Comparison*

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Densidade de descargas para a terra .....	24
Equação 2 - Cálculos referentes aos riscos.....	37
Equação 3 - A área de exposição equivalente.....	41
Equação 4 - Frequência média anual .....	42
Equação 5 – Verificação da instalação do SPDA.....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formação de raios.....	18
Figura 2 – Formação e concretização de uma descarga elétrica.....	19
Figura 3 – Formação de descarga atmosférica entre nuvem e terra.....	20
Figura 4 – Países com a maior incidência de descargas .....	21
Figura 5 – Características das descargas atmosféricas.....	22
Figura 6 – Mapa isoceraúnico do Brasil .....	26
Figura 7 – Mapa isoceraúnico da Região Sudeste .....	27
Figura 8 – Método de Franklin.....	28
Figura 9 – Método eletrogeométrico.....	30
Figura 10 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.....	34
Figura 11 – Fonte de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto .....	37
Figura 12 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA NBR 5419/15.....	39
Figura 13 - Valores típicos de risco tolerável $R_T$ .....	46
Figura 14 - Tipos de Perdas.....	48
Figura 15- Fontes de Danos.....	49
Figura 16- Risco para o tipo de perda da vida humana.....	50
Figura 17- Risco para o tipo de perda para o serviço ao público.....	50
Figura 18- Risco para o tipo de perdas de patrimônio cultural.....	50

Figura 19- Risco para o tipo de perda de valor econômico.....	51
Figura 20- Componente de risco $R_A$ .....	52
Figura 21- Componente de risco $R_U$ .....	52
Figura 22- Componente de risco $R_B$ .....	52
Figura 23- Componente de risco $R_V$ .....	53
Figura 24- Componente de risco $R_C$ .....	53
Figura 25- Componente de risco $R_N$ .....	53
Figura 26- Componente de risco $R_W$ .....	54
Figura 27- Componente de risco $R_Z$ .....	54
Figura 28- Números de eventos $N_D$ .....	55
Figura 29- Números de eventos $N_N$ .....	55
Figura 30- Números de eventos $N_L$ .....	55
Figura 31- Números de eventos $N_I$ .....	56
Figura 32- Números de eventos $N_{DJ}$ .....	56
Figura 33- Probabilidade $P_A$ .....	57
Figura 34- Probabilidade $P_U$ .....	57



Figura 35- Probabilidade $P_B$ .....	57
Figura 36- Probabilidade $P_V$ .....	58
Figura 37- Probabilidade $P_C$ .....	58
Figura 38- Probabilidade $P_M$ .....	58
Figura 39- Probabilidade $P_W$ .....	58
Figura 40- Probabilidade $P_Z$ .....	59
Figura 41- Significados dos valores de cada tipo de perda.....	59
Figura 42- Perdas conseqüentes $L_A$ e $L_U$ .....	60
Figura 43 - Perdas conseqüentes $L_B$ e $L_V$ .....	60
Figura 44 - Perdas conseqüentes $L_C$ , $L_M$ , $L_W$ e $L_Z$ .....	61
Figura 45 - Valores de risco toleráveis por cada tipo de risco.....	61
Figura 46 - Fatores que influencia os componentes de risco.....	62
Figura 47 - Angulo de proteção correspondente a classe de SPDA NBR 5419/15.....	63
Figura 48 - Gerenciamento de risco NBR 5419/15.....	66
Figura 49 - Projeto do restaurante.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nível de proteção através da edificação.....	45
Quadro 2- Comparativo da largura máxima da malha de proteção e raio da esfera rolante de acordo com a classe do SPDA.....	<b>64</b>
Quadro 3- Espaçamento médio entre as descidas NBR 5419/05.....	64
Quadro 4- Espaçamento médio entre as descidas NBR 5419/15.....	64
Quadro 5- Materiais usados para a implantação do SPDA NBR 5419/05.....	69
Quadro 6- Materiais usados para a implantação do SPDA NBR 5419/15.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Necessidade de instalação de sistema de proteção.....	42
Tabela 2 – Material de construção e cobertura.....	42
Tabela 3 – Função do conteúdo.....	<b>43</b>
Tabela 4 – Função da localização.....	43
Tabela 5 – Topografia do local.....	43
Tabela 6 – Nível de proteção do captor de Franklin NBR 5419/05 .....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nível de proteção através da edificação.....	45
Quadro 2- Comparativo da largura máxima da malha de proteção e raio da esfera rolante de acordo com a classe do SPDA.....	64
Quadro 3- Espaçamento médio entre as descidas NBR 5419/05.....	64
Quadro 4- Espaçamento médio entre as descidas NBR 5419/15.....	64
Quadro 5- Materiais usados para a implantação do SPDA NBR 5419/05.....	69
Quadro 6- Materiais usados para a implantação do SPDA NBR 5419/15.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas .....	31
Tabela 2 – Necessidade de instalação de sistema de proteção.....	36
Tabela 3 – Material de construção e cobertura.....	37
Tabela 4 –Função do conteúdo.....	<b>38</b>
Tabela 5 – Função da localização.....	38
Tabela 6 – Topografia do local.....	38
Tabela 7 – Nível de proteção do captor de Franklin NBR 5419/05 .....	42

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CB – Comitês Brasileiros

CE – Comissões de Estudo

Co – Custo mínimo

Cm- Centímetros

Cm – Custo máximo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Km – Quilômetro

m – metro

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MPS – Medidas de Proteção contra surtos

NB – Norma brasileira

NBR – Norma Brasileira

NOS – Organismos de Normalização Setorial

PDA – Proteção contra descargas atmosféricas

SPDA – Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 O RAIO NO BRASIL.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Conceito de descargas atmosféricas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 A formação dos raios .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 As conseqüências ocasionadas pelas descargas atmosféricas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Mapa isoceraunico.....</b>	<b>24</b>
<b>3 TIPOS DE PARA RAIOS E A COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 5419/05 E A NBR 5419/15.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Tipos de para raios e suas principais características.....</b>	<b>28</b>
3.1.1 Método de Franklin.....	28
3.1.2 Método eletrogeométrico.....	29
3.1.3 Método da Gaiola de Faraday.....	31
<b>3.2 NBR 5419/05 e NBR 5419/15.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Aspectos gerais.....	32
3.2.2 Mudanças introduzidas pela NBR 5419/15.....	33
<b>3.3 Principais mudanças em relação a NBR 5419/05 e NBR 5419/15.....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Parte 1- princípios gerais.....	35
3.3.2 Parte 2- Gerenciamento de risco.....	35
3.3.3 Parte 3- danos físicos a estrutura e perigo a vida.....	38
3.3.4 Parte 4- Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.....	40
<b>3.4 Como elaborar o nível de proteção na NBR 5419/05 e NBR 5419/15.....</b>	<b>41</b>
3.4.1 Nível de proteção na NBR 5419/2005.....	41
3.4.2 Nível de proteção na NBR 5419/2015.....	45
3.4.2.1 Determinante e análise de risco de acordo com a NBR 5419/15.....	46
3.4.2.2 Classificação das perdas e danos .....	47
3.4.2.3 Calculo do risco .....	49
3.4.2.4 Componentes do risco .....	51
3.4.2.5 Número médio anual de eventos perigosos( $N_x$ ).....	54
3.4.2.6 Probabilidade de um evento causar dano .....	57
3.4.2.7 Perda conseqüente ao dano.....	59
3.4.2.8 Análise do risco.....	61
<b>3.5 Comparativo na forma de Tabelas entre a norma antiga e nova.....</b>	<b>62</b>
<b>3.6 Determinante do nível de proteção para o restaurante NBR 5419/05.....</b>	<b>64</b>
<b>3.7 Determinante do nível de proteção para o restaurante NBR 5419/15.....</b>	<b>65</b>
<b>4 PROJETO DO RESTAURENTE.....</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Projeto conforme NBR 5419/05.....</b>	<b>67</b>
4.1.1 Descrição construtiva do projeto .....	67
<b>4.2 Projeto conforme NBR 5419/15.....</b>	<b>70</b>
4.2.1 Análise de risco do restaurante.....	70
4.2.2 Descrição construtiva do projeto .....	70
<b>5 RESULTADOS E DISCURSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>
--------------------------	-----------



## 1 INTRODUÇÃO

A descarga atmosférica é um fenômeno natural que não pode ser evitado pela força humana, e com o passar do tempo, tornou-se necessário de se proteger de tal fenômeno.

O Brasil possui elevados índices de descargas atmosféricas. Desta forma, faz-se necessária a proteção de edificações contra tais fenômenos, para reduzir de forma significativa os riscos de danos nas estruturas, pessoas e bens. No ano de 2015, entra em vigor uma nova norma que também será analisada no presente trabalho.

O vigente trabalho é composto por 6 capítulos, incluindo este o introdutório. O capítulo 2 trata acerca das descargas atmosféricas no Brasil. Foi elaborado o conceito de raio, sua formação e as consequências ocasionadas pelas descargas atmosféricas, o mapa isoceraúnico brasileiro e também da Região Sudeste.

No capítulo 3 foram abordados os tipos de para-raios a comparação entre a NBR 5419/05 e a NBR 5419/15. Foram explicados os tipos de para-raios e suas principais características, e os principais métodos: Franklin, Eletrogeométrico e Gaiola de Faraday. Após o estudo dos métodos foi realizada uma pesquisa, para a elaboração de um paralelo, demonstrando as diferenças entre a norma em vigor e a revogada. O estudo incluiu os principais aspectos legais referentes a norma em vigor e a revogada, depois foram abordadas as mudanças introduzidas pela norma em vigor, as mudanças entre as normas, dividindo-se em partes e elaborado um tópico para constatar com se determina o nível de proteção, de acordo com as normas pesquisadas.

No capítulo 4 foi realizado o estudo de custo de um projeto de restaurante, em relação às recomendações propostas pelas versões da norma NBR 5419 dos anos 2005 e 2015.

O capítulo 5 tem-se uma discussão acerca dos resultados evidenciados.

O capítulo 6 apresenta a conclusão do estudo realizado ao longo desse trabalho.

O presente trabalho não visa esgotar o tema, mas despertar questionamentos e agregar conhecimento acerca do assunto tratado.

## 2 O RAIÃO NO BRASIL

### 2.1. Conceito de descargas atmosféricas

A NBR 5419 define as descargas atmosféricas: “Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloampères.” (BRASIL, 2001, p.02).

O raio é conceituado pela NBR como: “um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.” (BRASIL, 2001, p.02).

Os conceitos de raio, relâmpago e trovão devem ser também citadas as definições elaboradas por Visacro Filho em sua obra:

O fluxo da corrente de descarga do canal ionizado, correspondente ao percurso da descarga, gera aquecimento intenso e um efeito luminoso, o relâmpago. Este aquecimento resultam também na expansão do ar circunvizinho ao canal e ao conseqüente deslocamento de uma onda sonora no ar, o trovão. O efeito luminoso quase instantaneamente por um observador distante pois se propaga com a velocidade da luz ( $v_{luz} = 300 \cdot 10^6$  m/s). O efeito sonoro é percebido posteriormente após o tempo de propagação da onda sonora até o observador, que se processa a uma velocidade muito menor ( $v_{som} = 343$  m/s) e pode ser ouvido a distâncias usualmente limitadas à ordem de 10 km( VISACRO FILHO, 2005, p. 19)

Assim, de acordo com o entendimento do autor citado acima pode ser observado que o relâmpago é o aquecimento gerado pelo fluxo da corrente de descarga de um canal ionizado que produz um aquecimento intenso e gera em correspondência ao efeito uma luminosidade. Já o trovão é o mesmo aquecimento descrito que ocasiona uma expansão do ar circunvizinho ao canal e desloca uma onda sonora no ar.

### 2.2 A formação dos raios

Para que se possa entender o fenômeno que será estudado no presente trabalho, que visa a ser minimizado pelos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, faz-se necessário que se compreenda como o fenômeno é formado, considerando os componentes necessários para a ocorrência deste, bem como as conseqüências que possa gerar, que serão estudados no estudo que se segue.

Figura 1 – Formação de raios.



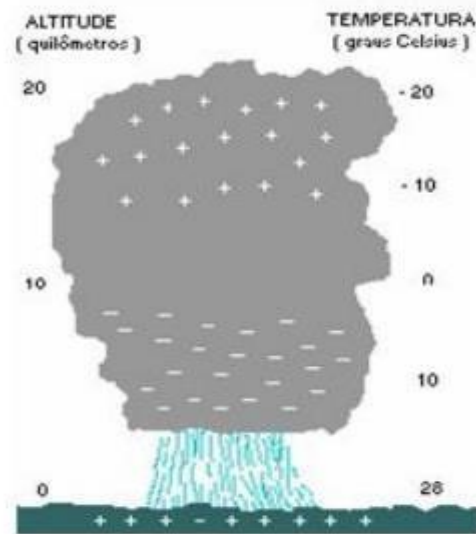
Fonte: Fujita (2009) p.01.

A maioria das descargas atmosféricas é originada nas nuvens de tempestades, que são denominadas de Cumulus Nimbus. No entanto pode haver sua ocorrência em outras condições, quais sejam: durante erupções vulcânicas e em tempestades de areias em desertos. (VISACRO FILHO, 2005).

De acordo com o exposto na obra de Souza *et al*, a maneira simplificada, de se explicar a formação das descargas é a apresentada abaixo: “(...) considerar a descarga como um rompimento da isolação do ar entre duas superfícies carregadas eletricamente e com polaridades opostas”. (SOUZA *et al*, 2012, p.30).

Araújo através da Figura 2 demonstra um tipo de formação dos raios:

Figura 2 – Formação e concretização de uma descarga elétrica.



Fonte: Araújo ( 2010 ) , p. 39.

Segundo Dias e Moura, que transcrevem as explicações de Marcarini, as descargas elétricas são formadas do seguinte modo:

Durante as tempestades, as nuvens adquirem campos elétricos devido aos atritos que ocorrem em seu interior. Tais atritos são provocados entre pequenas gotas de água de temperatura baixíssima, entre partículas de gelo e demais partículas presentes na atmosfera que se chocam gerando pequenas correntes elétricas. Esses atritos, ao se tornarem mais constantes, criam polos eletricamente carregados no interior das nuvens. Com a instabilidade elétrica no interior das nuvens ocorre uma diferença de potencial entre uma nuvem e outra e entre nuvem e terra. Existindo essa diferença de potenciais ou tensões, formam-se subitamente correntes elétricas, as descargas atmosféricas. Essas descargas ocorrem entre as nuvens, de uma nuvem para a terra e vice-versa. (MARCARINI, 2012 apud DIAS; MOURA, 2016, p.04).

Estas descargas descritas acima são os raios, que serão estudados no presente trabalho, como o fenômeno a ser minimizado pelos para-raios.

Para que ocorram os raios há a necessidade da presença de três componentes:

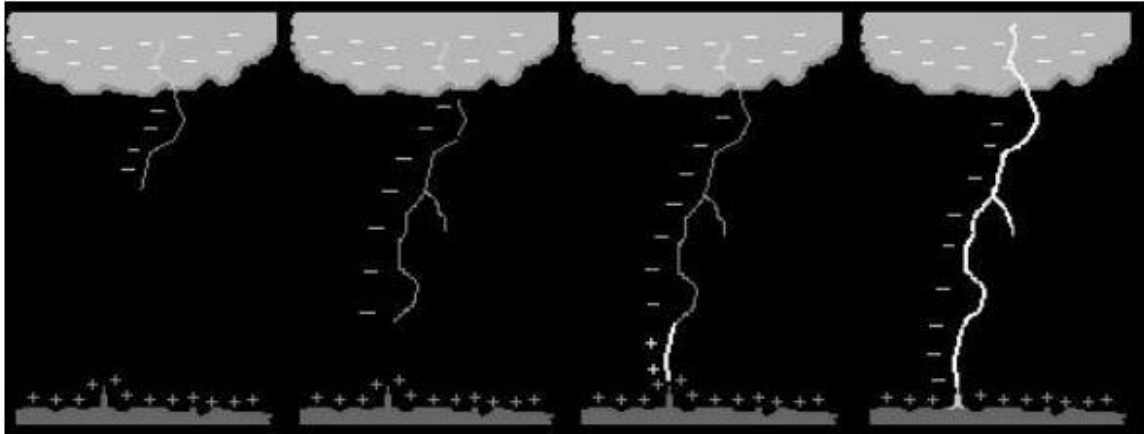
Para que surjam raios, é necessário que, além das gotas de chuva, as nuvens de tempestade tenham em seu interior três ingredientes: cristais de gelo, água quase congelada e granizo. Tais elementos se formam na faixa entre 2 e 10 quilômetros de altitude, onde a temperatura fica entre 0 °C e -50 °C. (FUJITA, 2009, p.01).

Santos complementa a explicação acima argumentando que para a formação dos raios é necessário que existam cargas com sinais opostos entre nuvens, ou entre nuvens e o solo, e quando isso acontece, a descarga é tão grande que provoca a descarga elétrica.

Assim, de acordo com o autor os raios podem ser classificados como: da nuvem para o solo, do solo para nuvem e até mesmo entre nuvens (SANTOS, 2016).

A Figura 3 demonstrando uma formação de descarga elétrica entre a nuvem e a terra:

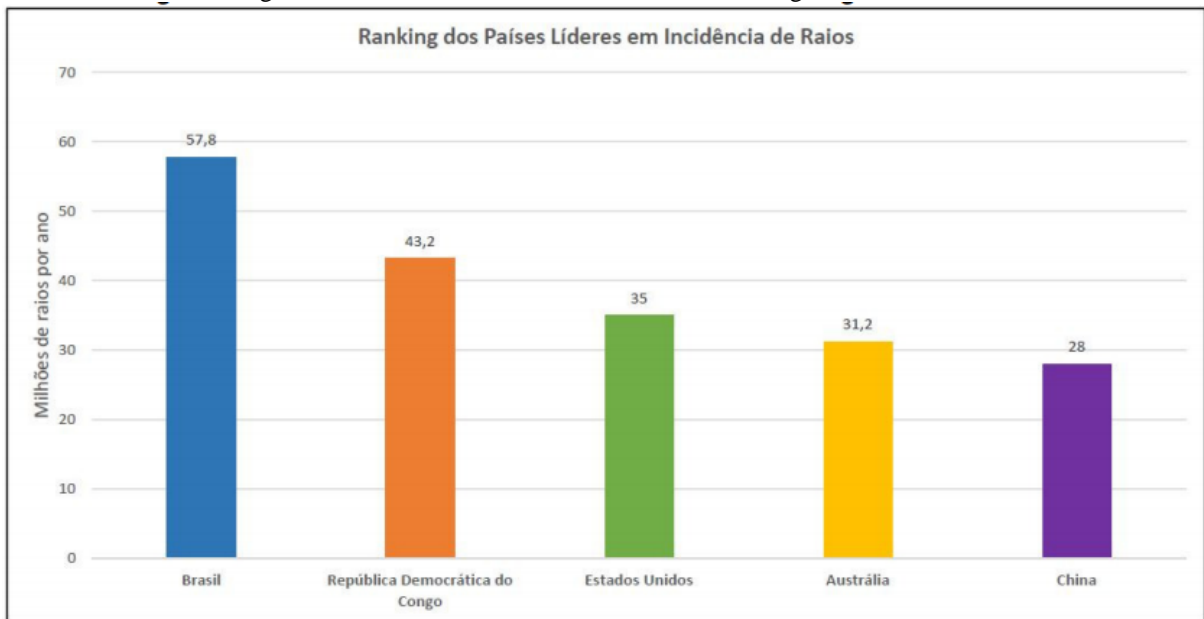
Figura 3 – Formação de descarga atmosférica entre nuvem e terra.



Fonte: Araújo (2010) p.41.

No Brasil, cerca de 50 milhões de descargas atingem anualmente seu território (Figura 4). De acordo com Silva (2014), entre os anos 2000 e 2012 foram registradas 1.601 mortes causadas por descargas atmosféricas. Como estas descargas possuem uma corrente elétrica de curta duração e sua intensidade varia de forma muito rápida, este fenômeno é importante causadores de distúrbio eletromagnéticos capazes de gerar danos e interferência em sistemas elétricos e eletrônicos e, ainda, induzir altas tensões em estruturas metálicas ocasionando danos estruturais e colocando em risco seres vivos. (BORTOLATO, 2016).

Figura 4: Países com a maior incidência de descargas atmosféricas.



Fonte: Bortolato, 2016, p.03.

O número de raios registrado no Brasil é elevado, como destaca Henriques:

Segundo o site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 57 milhões de raios são registrados por ano no Brasil a maior incidência ocorre no Norte e no Centro-Oeste, mas ao se considerar a densidade, ou seja, proporcionalmente ao território, os estados do Sul ficam à frente. (HENRIQUES, 2015, p.13).

Santos esclarece que os raios são os fenômenos mais violentos da natureza, que em fração de segundos podem produzir uma carga elétrica alta, cujos parâmetros podem chegar a: 125 milhões de volts, 200 mil amperes, 25 mil graus centígrados, sendo de uma duração média de meio segundo (SANTOS, 2016).

Faz-se importante citar os valores que podem ser obtidos em uma descarga atmosférica, através da Figura 5:

Figura 5: Características das descargas atmosféricas.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidade</b>
Corrente	2000 a 200000	A
Tensão	100 a 1000000	kV
Duração	70 a 200	µs
Carga elétrica da nuvem	20 a 50	C
Potência liberada	1000 a 8000 milhões	kW
Energia	4 a 10	kWh
Tempo de crista	1,2	µs
Tempo de meia cauda	50	µs

Fonte: Bortolato, 2016, p. 04.

A figura acima atesta como ocorre a formação de uma descarga atmosférica, que é gerada consoante os valores, tempos, duração, corrente, tensão, energia explanados acima. Assim, pela Figura 5 pode ser analisada a forma exata da formação das descargas atmosféricas.

### **2.3 As consequências ocasionados pelas descargas atmosféricas**

Há alguns tipos de acidentes que ocorrem tipicamente pelas descargas atmosféricas.

Conforme descreve Visacro Filho, pode ser verificado como são causadas as mortes ou ferimentos em decorrência de descargas atmosféricas:

As mortes ou ferimentos ocasionados pelas descargas decorrem do fluxo de corrente pelo corpo humano. É possível caracterizar as ocorrências típicas que determinam a circulação da corrente da descarga (ou de parcela da mesma) pelo corpo. Tais acidentes podem ser separados em dois tipos: aqueles associados à incidência direta de descargas e aqueles em que a corrente de uma descarga próxima é transmitida por um corpo condutor e submete seres posicionados a alguma distância do ponto de incidência. Muitas vezes, condutores de rede de energia e comunicação e corpos metálicos longos, como cercas de arame, são responsáveis por tal transferência de corrente.(VISACRO FILHO, 2005, p. 72/73).

As descargas diretas também denominadas de incidência direta podem ser entendidas como uma referência a um evento associado à incidência de uma descarga que atinge diretamente sobre uma vítima, que pode ser um ser, estrutura ou objetos dentre outros que possam ser atingidos pela incidência. Já as estruturas indiretas, laterais ou próximas

concernem ao evento associado a uma descarga ou incidência que ocorrem aproximadamente à vítima. Podem ser citados como exemplo: ser, estrutura ou sistema afetado, que podem ocasionar efeitos nestas em ocorrência dos campos eletrogeométricos afetados.(VISACRO FILHO, 2005).

Buratto explica que, nas descargas elétricas diretas, que atingem diretamente um ser humano, há valores elevados de corrente impulsiva que podem circular pelo corpo da vítima. A corrente se distribui parcialmente pelo corpo, que é denominada de corrente volumétrica e parcialmente pela superfície do mesmo. A descarga lateral, quando incide sobre objetos elevados, durante o percurso para o solo, a corrente de retorno pode buscar caminhos de menor impedância, em que é comum ocorrerem descargas elétricas no ar, fechando um circuito entre árvores atingidas e o corpo de pessoas e animais abrigados por estas. A descarga por contato acontece quando a vítima está em contato direto com um corpo que constitui caminho de eventual corrente de descarga no percurso da mesma para o solo. Uma parte da corrente é drenada para o solo através do corpo da vítima.(BURATTO, 2011).

A descarga para múltiplos pontos é a atribuída a um tipo de ocorrência, que atinge simultaneamente diversas vítimas, incluindo descarga direta para mais de uma vítima e usualmente descargas laterais para vítimas próximas daquelas que são atingidas diretamente.

A tensão de passo ocorre quando um ser vivo presente no local em que acontece pode ficar submetido a uma diferença de potencial elevado, se duas partes diferentes de seu corpo estiverem em contato com o solo em pontos diversos, pode ser transcrito como exemplo, os pés.( VISACRO FILHO, 2005).

Visacro Filho continua sua explanação:

Mesmo para correntes impulsivas de curta duração como aquelas das descargas atmosféricas, tal diferença de potencial pode promover a circulação pelo corpo da vítima de correntes com intensidade capaz de gerar fibrilação ventricular e, eventualmente, morte. São raros os registros de morte de seres humanos atribuídos a descarga próxima. No entanto, é muito comum o relato da morte de gado em pastos, por ocorrências dessa natureza. Em alguns casos, reporta-se a morte simultânea de vários animais, particularmente na situação em que os mesmos se encontram abrigados próximo à árvores, durante a tempestade.(VISACRO FILHO, 2005, p.70).

Os acidentes causados por raios que resultam em óbito são ocasionados por parada cardiorrespiratória. A circulação da corrente elétrica pelo corpo humano pode ocasionar queimaduras e danos a diversas partes do organismo. Além disso, vítimas



sobreviventes sofrem por longo tempo de sérias sequelas orgânicas e psicológicas. (SOUZA *et al*, 2012).

Também importante salientar, que, além da grande incidência de raios no Brasil, o que denota a importância do estudo, como ressaltam Moura e Dias com base nos estudos realizados pelo Instituto Nacional dos Estudos Espaciais da incidência e raios se ocasionam acidentes:

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe/MCTI, 2013), o Brasil é campeão mundial em incidência de raios e ocorre em seu território pelo menos uma a cada 50 mortes causadas por descargas elétricas no planeta. São cerca de 100 vítimas fatais, mais de 200 feridos por ano e prejuízos anuais da ordem de R\$ 1 bilhão[...] (MOURA ; DIAS, 2016, p.05).

Acerca dos dados elencados “Segundo boletim oficial do INPE, divulgado no dia 20/06/2011, foi registrado no ano de 2010, 89 mortes devido a descargas atmosféricas. Esse número foi inferior à média apurada no período entre 2000 e 2009, que é de 132 vítimas fatais por ano.” (STÉFANI, 2011, p.11).

## 2.4 Mapa isoceraúnico

A decisão de se implantar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, é verificada por meio de um cálculo probabilístico que leva em consideração os seguintes fatores: densidade das descargas atmosféricas para a Terra, número de dias que ocorre trovoada por ano, para a área a ser implantada, área de exposição equivalente da edificação, características do imóvel. (HENRIQUES, 2015).

Este cálculo pode ser expresso pela Equação 1:

$$N_g = 0,04 \times t_d^{1,25} \text{ [ m}^2\text{/ano]} \quad (1)$$

Na Equação 1, a densidade de descargas para a terra é expressa por  $N_g$ , que é o número de raios para a terra por quilômetros quadrado por ano. O coeficiente  $t_d$  é o número de dias com trovoada ao ano. (SOUZA *et al*, 2012).

Em geral, conforme elucidada Lima o raio cairá sempre no ponto mais elevado em relação aos demais tais como: montanhas, árvores, prédios e outros. O autor destaca que dentro de um veículo fechado, como carros, as pessoas estão totalmente seguras, por estarem isoladas em relação ao solo. (LIMA, 2011).

Na natureza foi observado o seguinte:

Na natureza foi observado que um raio prefere terrenos de menor condutividade, como graníticos ou xistoso. Isto acontece porque a nuvem e o solo acabam formando um grande capacitor. A enorme diferença de potencial entre a nuvem e o solo provoca a ionização do ar, diminuindo a isolação entre eles, havendo maior probabilidade do raio piloto furar esta camada de ar. Porém, no terreno mau condutor, não existe condições de escoamento para o raio, que se espalha, procurando um caminho de menor resistência. (LIMA, 2011, p. 18).

Como salientado acima na natureza os raios são atraídos pelos terrenos que possuem menor condutividade, ou seja, providos de granito e xisto. Esta atração ocorre, pois, a nuvem e o solo formam um elevado capacitor, sendo esta diferença que provoca a ionização do ar, o que diminui a isolação entre estes, aumentando a probabilidade de o raio furar tal camada de ar. Todavia, no terreno que é considerado mau condutor de energia não são propiciadas condições para que o raio se escoe, o mesmo vem a se espalhar, buscando um caminho de menor resistência. Esta é a explicação pela maior incidência em determinados pontos em detrimento de outros.

Após a análise elencados é que será verificada a necessidade de implantação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas e a verificação do sistema que mais atenda às necessidades da estrutura a ser protegida. Mas este assunto será abordado no capítulo 3.

Conforme citado, o índice isoceraúnico pode ser definido como: “[...] número de dias de trovoada, em determinado lugar por ano. Em um mapa, as linhas (curvas) que ligam os pontos (localidades) que tem o mesmo Índice Ceraúnico formam o Mapa Isoceraúnico”. (HENRIQUES, 2015, p.14).

Segundo Leite e Leite, este parâmetro tem sido utilizado há muitos anos pelos meteorologistas para caracterizar a atividade relativa às descargas atmosféricas em uma localidade, e quando unem-se as localidades de um mesmo índice ceraúnico obtêm-se o mapa isoceraúnico. (LEITE; LEITE, 2001).

Em Minas Gerais, o elevado índice de descargas atmosféricas aliado a alta resistividade do solo têm sido considerado a causa principal do mau desempenho das linhas de transmissão de energia elétrica, sendo responsável por setenta por cento dos desligamentos da rede elétrica, (ARAÚJO, 2010).

Figura 6 - Mapa isoceraúnico do Brasil.

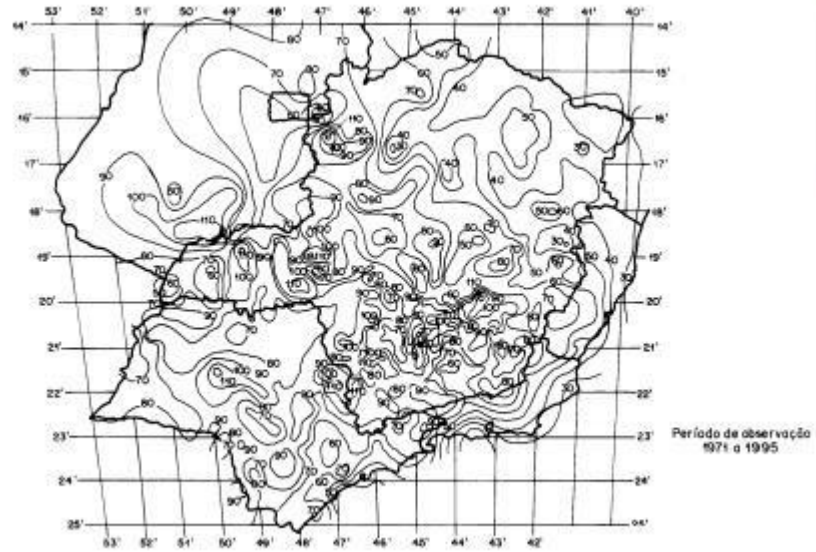


Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001 (p.22).

De acordo com a ilustração do mapa que se relaciona com a Figura 6, verifica-se que há regiões de índice cerâunico muito baixo e muito alto. Observa-se que nas proximidades do equador, localizam-se as regiões de índice mais alto, e que há maior incidência sobre os continentes do que sobre os oceanos. Para a técnica de proteção contra os raios, é necessário saber além do número de dias com trovoadas por ano, mas é importante conhecer a densidade dos raios por  $\text{km}^2$  ao ano. Após o conhecimento deste parâmetro, fica mais fácil a confecção do cálculo para verificar a probabilidade de caírem raios, por um ano, em determinada área. (LEITE; LEITE, 2001).

Foi também elaborado um mapa com o índice isocerênico da Região Sudeste, conforme a Figura 7:

Figura 7 - Mapa isoceraúnico da Região Sudeste.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001 ( p.23).

Assim, de acordo com a explicação acima e as figuras 6 e 7 que complementam o mapa isoceraúnico é o número de dias que ocorre trovoadas em um determinado local por ano.

### 3 TIPOS DE PARA-RAIOS E A COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 5419/05 E A NBR 5419/15

#### 3.1 Tipos de para-raio e suas principais características

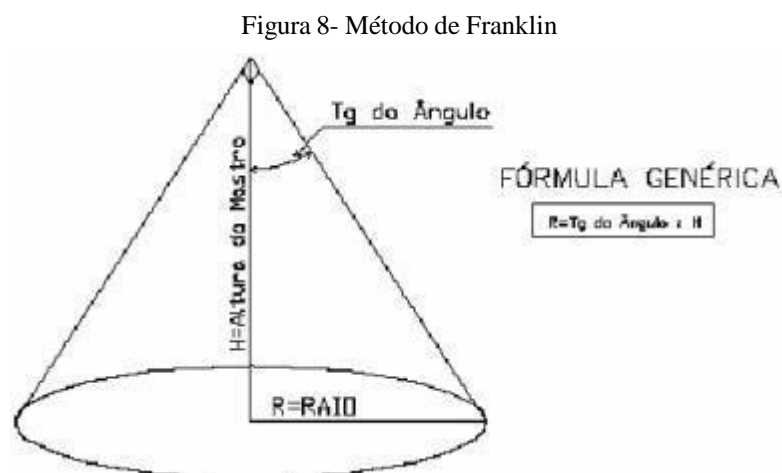
Existem três principais metodologias para calcular a área de proteção do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, que são a gaiola de Faraday, o eletrogeométrico e o método de Franklin. As metodologias descritas acima devem possuir em sua composição, materiais rígidos para suportar o ponto de descarga, bem como elevado ponto de fusão, para que não seja derretido com o calor que é gerado através da corrente da descarga elétrica e ainda o material que compõe a haste deve ser bom condutor. (SOUSA, 2002).

Segundo Stéfani para que seja selecionado um para-raios de uma estrutura devem ser consideradas as características do local a ser protegido, tais como: altura, materiais a serem utilizados, conteúdos. O autor explica que é decisivo no processo de escolha do modelo de sistema de proteção mais eficiente para proteção aliado ao que possui o menor custo no mercado. (STÉFANI, 2011).

O método utilizado por Franklin e Eletrogeométrico emprega hastes metálicas verticais, normalmente denominadas de captosres ou até mesmo cabos horizontais suspensos, que é uma solução análoga aos cabos guarda das linhas de transmissão. O segundo método utilizado pela gaiola de Faraday, há condutores horizontais não suspensos, que formam a malha que é apoiada sobre a estrutura. (LEITE e LEITE, 2001).

##### 3.1.1 Método de Franklin

O para-raio de Franklin pode ser demonstrado pela Figura 8:



Fonte: Knebel, 2007 ( p.01)

Também denominado de captador de Franklin, é constituído por uma haste metálica.(SOUSA, 2002). Outro nome utilizado para o para-raio de Franklin é de método de ângulo de proteção, pois consiste em determinar o volume de proteção que é proporcionado por um cone cujo ângulo de geratriz com a vertical varia de acordo com o nível de proteção desejado e também para uma determinada altura da construção. (BUTTARO, 2011 apud CREDER,2000).

O método do captor de Franklin em sua abrangência de proteção é determinado pelo cone formado em torno do eixo vertical, de acordo com a seguinte Equação:  $R = \text{tg} \text{ ângulo} \times H$ . Em que cada h: é a altura do mastro, R: raio da base do cone que deve envolver a edificação. (SOUZA *et al*, 2012).

Buratto explica a forma correta de se analisar se este método está sendo eficaz:

Para sabermos se uma dada estrutura está dentro do volume de proteção, no caso do método Franklin, deve-se verificar se toda estrutura está dentro do volume de proteção dos cones ou dos condutores horizontais suspensos. Para isso, verifica-se a posição dos captos tanto em plantas como em elevação e cortes laterais. (BURATTO, 2011, p.37).

Tal método funciona como proteção contra descargas atmosféricas quando a estrutura a ser protegida encontra-se no interior do volume de proteção. Por ser de eficácia limitada, este método tem sido cada vez menos utilizado em edifícios, sendo mais utilizado por edificações de pequeno porte. (KNEBEL, 2007).

Demonstrando o baixo rendimento do método acima que tem sido pouco utilizado Buratto ressalta que alguns países como Estados Unidos e Dinamarca não fazem mais uso de tal método. (BURATTO, 2011).

### 3.1.2 Método eletrogeométrico

O método eletrogeométrico pode ser sintetizado da seguinte forma:

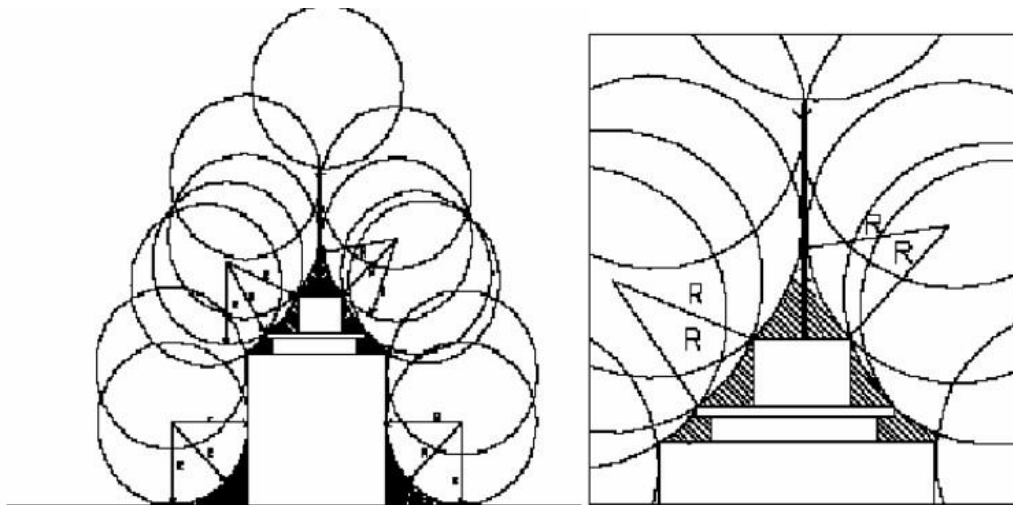
Também conhecido como método da esfera rolante ou fictícia é bastante indicado para estruturas com formas arquitetônicas complexas ou com grandes alturas, sendo baseados em estudos realizados a partir da medição dos parâmetros dos raios, de registros fotográficos, em técnicas de simulação, ensaios de laboratórios e modelagem matemática. Inicialmente, este método surgiu com a necessidade de um modelo para se aplicar às linhas de transmissão, sendo depois adaptado para atender as estruturas. (BURATTO, 2011, p.38).

É denominado também de método da esfera rolante ou fictícia, e é indicado para estruturas dotadas de formas arquitetônicas complexas, ou que sejam de grandes alturas. O

método é baseado em estudos que são realizados a partir das medições dos parâmetros dos raios, bem como de registros fotográficos, técnicas de simulação, ensaios laboratoriais e cálculos aritméticos. Como disposto acima, tal método surgiu perante a necessidade de um modelo que fosse aplicado às linhas de transmissão para depois ocorrer a adaptação às estruturas.

O método eletrogeométrico pode ser demonstrado pela Figura 9:

Figura 9 - Método eletrogeométrico.



Fonte: Buratto, 2011 (p.25).

O método eletrogeométrico é tido pelos autores Leite e Leite como o mais moderno, dentre os métodos de proteção contra descargas atmosféricas:

É a mais moderna ferramenta com que contam os projetistas de SPDA para a estruturas. É baseado em estudos feitos a partir de registros fotográficos, da medição dos parâmetros dos raios, dos ensaios em laboratórios de alta tensão, do emprego das técnicas de simulação e modelagem matemática. A necessidade de um modelo surgiu, inicialmente, para as linhas de transmissão e foi depois simplificado para aplicação às estruturas. (LEITE e LEITE, 2001, p.47).

O sistema funciona da seguinte forma:

Nas descargas nuvem-solo negativa, que são as mais perigosas, o raio é precedido por um canal ionizado descendente (líder), que se desloca no espaço em saltos sucessivos de algumas dezenas de metros. A esfera fictícia, pela qual também é conhecido o modelo Eletrogeométrico, representa uma esfera de centro na extremidade do líder descendente e raio igual ao comprimento de todos os saltos antes do último, onde sua superfície representa o lugar geométrico dos pontos a serem atingidos pela descarga atmosférica. A distância pode ser definida como o comprimento do último trecho a ser vencido pelo líder descendente, sendo que esse comprimento será igual ao raio da semiesfera fictícia que simulam os pontos a serem atingidos pela descarga. (BURATTO, 2011, p.38).

Como citado acima o método da esfera, como também é chamado, trata-se de esferas fictícias na proximidade que deve ser protegida.

### 3.1.3 Método da Gaiola de Faraday

O método de para-raios da gaiola de Faraday, segundo Stéfani foi desenvolvido pelo físico/químico inglês Michel Faraday:

Esta filosofia recebe o nome de seu idealizador, o físico e químico inglês Michel Faraday(1791-1867). Em seus experimentos Faraday descobriu que envolvendo um volume por uma gaiola metálica, este ficava blindado do efeito de campos eletromagnéticos. (STÉFANI, 2011, p.42).

O equipamento consiste em uma gaiola que envolve o conteúdo para proteção contra as descargas elétricas, por tal motivo é que se denominou o método de gaiola de Faraday, gaiola por ser composta por esta e Faraday por ser o sobrenome do cientista que a elaborou. Segundo expôs em seu trabalho Buratto, sintetizando tal método a gaiola de Faraday consiste:

Este método consiste em dispor por todos os lados do volume a ser protegido uma malha de condutores fixados na estrutura, sendo baseado na teoria de Faraday, na qual o campo no interior de uma gaiola formada por condutores que conduzem uma corrente qualquer é nulo, independente do valor da corrente. No entanto, para que o campo seja nulo é necessário que a corrente se distribua uniformemente por toda a gaiola – sabe-se que o campo é nulo exatamente no centro da gaiola. Nas proximidades dos condutores haverá um campo que poderá gerar tensões induzidas em outros condutores que estiverem em paralelo com os condutores da malha. (BURATTO, 2011, p.41).

A gaiola de Faraday consiste em um sistema de receptores provido por uma haste pontiaguda:

O segundo consiste em um sistema de vários receptores colocados de modo a envolver o topo da estrutura, como uma gaiola. Esse sistema proporciona maior proteção. A haste dos pára-raios deve ser pontiaguda pois desse modo têm maior poder de acúmulo de cargas. (SOUSA, 2002, p.01).

O segundo sistema proporciona uma maior proteção, pois é composto por vários captosres, e também por ser de preço mais elevado que o anterior. É este também o posicionamento de Stéfani, de acordo com a NBR 5419:

Sobre a utilização deste método de proteção, têm se que ele é preferencialmente adotado em estruturas que ocupam áreas extensas e é o único aceito pela NBR 5419 para proteger estruturas com altura superior a 60 metros de altura.(STÉFANI, 2011, p.43).



Assim, pela normalização técnica, verifica-se que este método é mais comumente utilizado para a proteção de edificações.

Para que o método da gaiola de Faraday possa alcançar resultados satisfatórios, garantindo-se a eficiência deste método de proteção, deve ser respeitado o limite do tamanho máximo das malhas tanto na parte superior como na lateral da edificação. Deve também ser assegurado que nenhuma parte da edificação esteja descoberta pela superfície formada pela Gaiola de Faraday. (STÉFANI, 2011).

O método da gaiola de Faraday, contém em sua estrutura captos verticais: “É válido mencionar que algumas vezes são utilizadas hastes verticais curtas (10 a 30 cm) na parte superior da gaiola. Esses captos são tidos como opcionais e não modificam o desempenho do sistema” (STÉFANI, 2011, p. 43). Este componente é opcional, ou seja, pode estar contido em sua estrutura ou não, mas deve ser salientado que independente de estar contido não altera o desempenho do para-raios.

A disposição das malhas pode ser de quatro formas: malha suspensa a uma certa altura da superfície, como uma espécie de captor horizontal, malha suspensa a uma pequena altura da superfície, malha encostada e fixada a superfície, malha embutida na própria laje de cobertura. Os três primeiros métodos facilitam quando o assunto é manutenção e inspeção. O último agrega a vantagem com relação a estética e conservação dos condutores, pois se um raio atingir a estrutura a descarga atingirá o concreto e os condutores ficam preservados. (LIMA, 2011).

## **3.2. A NBR 5419/05 e NBR 5419/15**

### **3.2.1. Definição da norma**

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) pode ser conceituada como:

[...]o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros) (BRASIL,2001, p.01).

Como dito acima, é considerada a Associação Brasileira de Normas Técnicas como um fórum de normalização de como serão adotadas as normas no país. Todas as pessoas que possuam relações ou interesses com o assunto a ser normalizado podem e

devem participar de sua elaboração. No que tange a norma brasileira 5419, que é a que interessa ao presente estudo, pode ser entendida como:

Esta Norma fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) de estruturas (definidas em 1.2), bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido. (BRASIL, 2001, p. 01).

Assim, entende-se que tal norma visa normalizar as condições que devem ser exigidas no projeto, instalação e manutenção de sistemas de descargas atmosféricas. Todos os projetos que visem instalar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas devem ser submetidos a tal norma.

A norma que ora estuda-se é aplicada às estruturas comuns, utilizadas para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos e residenciais, além das estruturas especiais. Em contrapartida, esta norma não é aplicada a: sistemas ferroviários, sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica externos às estruturas, sistemas de telecomunicações externos às estruturas, veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas. Importante salientar ainda que não se estende a aplicação de tais normas a: proteção de equipamentos eletrônicos e elétricos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas correntes elétricas. (BRASIL, 2001).

A Norma Brasileira 5419/01 esclarece em seu bojo vários conceitos importantes a proteção contra descargas atmosféricas inclusive a definição de sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Tal norma esclarece, como já elencado no presente trabalho, que não é possível evitar que a formação de raios, e que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas não impede a ocorrência das descargas atmosféricas (BRASIL, 2001). Todavia, pode assegurar uma redução dos riscos da estrutura protegida ser atingida pelas descargas: “Um SPDA projetado e instalado conforme esta Norma não pode assegurar a proteção absoluta de uma estrutura, de pessoas e bens. Entretanto, a aplicação desta Norma reduz de forma significativa os riscos de danos devidos às descargas atmosféricas” (BRASIL, 2001, p.04).

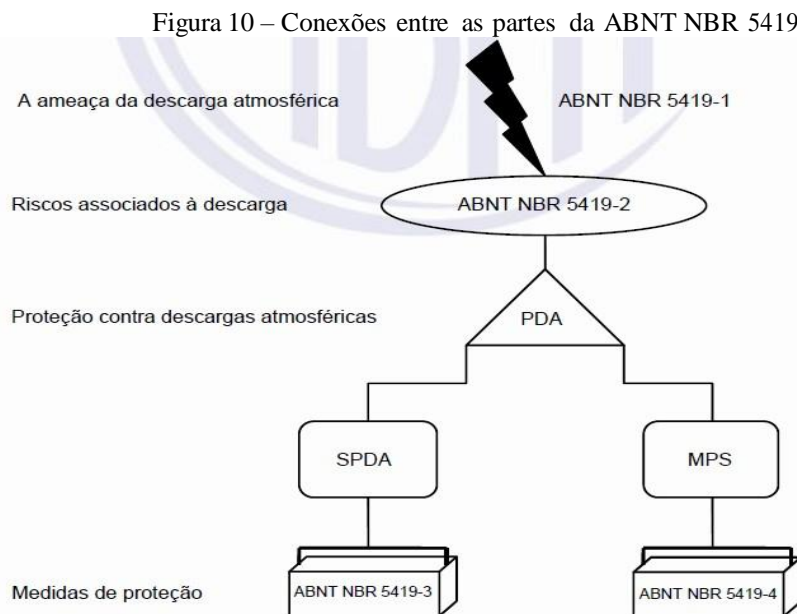
Assim, tal norma visa determinar como devem ser montados, revisados, materiais utilizados e outras questões com relação aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

### **3.2.2 Mudanças introduzidas pela NBR 5419/15**

Em 22 de junho de 2015, entrou em vigor a nova norma NBR 5419/15, que trouxe alterações para a anterior.

A expectativa com a entrada em vigor de tal norma é que haja um impacto positivo no setor elétrico, de maneira geral, culminando em mudanças no mercado de equipamentos de proteção contra descargas atmosféricas, no comportamento dos profissionais, na integridade das edificações e de seus usuários. (SANTINI, 2016).

A NBR 5419/2015, possui trezentos e trinta e nove páginas e é dividida em quatro partes, quais sejam: Parte 1- Princípios gerais, Parte 2- Gerenciamento de riscos, Parte 3- Danos Físicos a estruturas e perigos á vida, Parte 4-Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Tal norma, têm como principal objetivo a aumentar a eficiência de um projeto de proteção contra descargas atmosféricas com relação a versão de 2005. A necessidade de tal modificação têm a ver com o significativo aumento da densidade de descargas atmosféricas por ano em solo brasileiro. (SANTINI, 2016).



Fonte: Bortolato, 2017, p.12.

A Figura 10 demonstra a relação entre cada parte da nova norma. As medidas de proteção contra descargas atmosféricas que compõem a proteção contra descargas atmosféricas, que posiciona em segurança a vida dos ocupantes e a integridade dos equipamentos que se encontram no interior da estrutura. A principal mudança considerável, é a quantidade de páginas que é formada a atual norma, que era composta de quarenta e duas

(42) páginas antes da modificação e passa a ser constituída de para mais de trezentas.( BORTOLATO, 2017).

### **3.3 Principais mudanças em relação a NBR 5419/05 e 5419/15**

#### **3.3.1 Parte 1 - Princípios gerais**

A primeira parte da norma de 2015, refere-se aos princípios gerais nos quais apresenta informações acerca dos efeitos das descargas atmosféricas, valores das correntes das descargas, simulação da corrente da descarga, parâmetros de ensaio para simular os efeitos das descargas atmosféricas, e os surtos provenientes das descargas atmosféricas em diferentes pontos de instalação. Esta parte é essencial para um completo entendimento dos efeitos das descargas atmosféricas afim de um correto dimensionamento dos materiais necessários para suportar o impulso atmosférico. Tal parte contém vastas informações de como se comportam as descargas atmosféricas, que não estava expressa na norma anterior.(SANTINI, 2016).

Tais definições e requisitos não eram incluídos de forma expressa e foram explicados na norma ABNT NBR 5419:2005, no Anexo C (normativo), indicados parâmetros do valor de crista da corrente da descarga, empregados para o cálculo do raio da esfera rolante e estabelecimento do nível de proteção.(BORTOLATO, 2017).

#### **3.3.2 Parte 2 - Gerenciamento de riscos**

A segunda parte traz as maiores mudanças na proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas.

É demonstrada de forma minuciosa a conceituação de vários parâmetros da estrutura, dos danos às estruturas oriundos das descargas atmosféricas, sendo declarados quatro fontes de danos diversas pelo ponto de impacto da descarga.

A versão de 2015 da NBR 5419, exige que o projetista elabore cálculos considerando, além dos fatores de ponderação utilizados na versão de 2005, também outros fatores, tais como: características das estruturas vizinhas, linhas de energia e telecomunicações que adentram a estrutura, bem como diversos fatores de ponderação que

estejam vinculados ao meio em que se encontra a estrutura e seu tipo de ocupação e construção.( SANTINI, 2016).

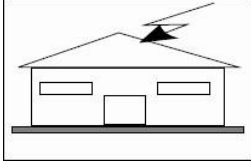
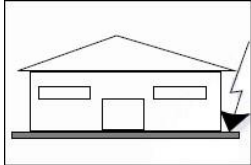
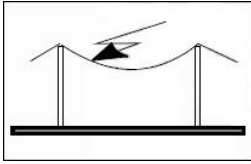
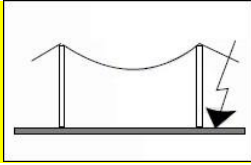
A análise consiste no risco de uma descarga atmosférica, que ocorra a edificação, próxima a ela, em linhas que adentram a edificação ou próxima a elas, causar danos às pessoas e edificações por centelhamento, tensão de toque ou passo, falha em equipamentos através de tensões induzidas ou transferidas. Os efeitos que provocam perdas devem ser considerados e atenuados com as devidas medidas de mitigação, sendo desta forma comparada ao risco tolerável normalizado. ( SANTINI, 2016).

A descarga atmosférica que incide sobre a terra pode provocar uma série de danos e em consequência de tal situação uma série de perdas. Com o objetivo de analisar os riscos de uma edificação é importante vincular as fontes de danos aos tipos de danos e perdas, pois estes apresentam níveis diversos de gravidade e são utilizados como fator de ponderação no cálculo de análise de risco. (SANTINI, 2016).

A corrente de descarga atmosférica pode atingir uma edificação por quatro diferentes pontos de impacto, quais sejam: S1-descarga atmosférica atinge diretamente uma edificação, S2- descarga atmosférica atinge região próxima à edificação, S3-descarga atmosférica atinge diretamente a linha que adentra á edificação, S4-descarga atmosférica atinge proximamente á linha que adentra a edificação. Com relação aos danos, podem ser configurados de três tipos: D1-ferimento a seres vivos por choque elétrico, D2-Danos físicos à estrutura, D3- falhas em sistemas eletroeletrônicos. No que concerne as perdas a norma classifica quatro tipos de perdas por apenas um tipo de dano ou tipos de danos combinados. Ademais, o tipo de dano depende das características da estrutura, bem como seus ocupantes e instalações internas, que são: L1-Perda da vida humana, L2- perda de serviço ao público, L3-perda de patrimônio cultural, L4-perda econômica. (SANTINI, 2016)

A Figura 11 ilustra cada uma destas situações de forma simplificar para melhor compreensão:

Figura 11 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

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

<sup>a</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.  
<sup>b</sup> 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: Bortolato, 2017, p.14.

Bortolato, em seu trabalho elucida a importância do cálculo de acordo com a nova norma:

Torna-se necessária a realização de cálculos referentes aos riscos em uma estrutura (associados aos tipos de perdas). Cada risco depende do número anual de descargas atmosféricas que incidem na estrutura ou próximo a ela, da probabilidade de dano por uma das descargas atmosféricas que influenciam esta estrutura e da quantidade média das perdas causadas.(BORTOLATO, 2017, p.14).

Assim, cada um dos integrantes do risco será analisado na constituição de cada risco pode ser equacionada por meio da seguinte Equação:

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (2)$$

onde:

$N_x$  : é o número de eventos perigosos por ano;

$P_X$  : é a probabilidade de danos à estrutura;

$L_X$  : é a perda consequente. (BORTOLATO, 2017, p.14/15).

De conformidade com ABNT NBR 5419-1, os riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  devem ser percorridos na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas e os parâmetros relevantes aos cálculos podem ser a partir dos anexos presentes nesta parte da Norma. (BORTOLATO, 2017).

Em sua versão de 2005 é apresentado um estudo simplificado com informações e procedimentos para o cálculo necessário para a determinação da área de exposição de uma estrutura e se esta exige ou não um SPDA. Realizava-se o cálculo da área de exposição equivalente ( $A_e$ ) (alterada na versão atualizada), verificava-se o índice cerâmico da região (número de dias de trovoadas de trovoadas ( $T_d$ )) necessário para determinar a densidade das descargas atmosféricas para a terra ( $N_g$ ), aplicava-se fatores ponderantes (como tipo de ocupação, de construção, o conteúdo e os efeitos indiretos das descargas, a localização da estrutura e a topografia da região) e fazia-se uma avaliação final da frequência média anual de descargas atmosféricas ( $N_{dc}$ ) ponderada prevista para a estrutura. Desta forma:

- Se  $N_{dc} > 10^{-3}$ , a estrutura requer um SPDA;
- Se  $10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$ , facultativo, sendo determinado por especialista a necessidade ou não de se instalar um SPDA;
- Se  $N_{dc} \leq 10^{-5}$ , dispensa-se o uso de um SPDA. (BORTOLATO, 2017).

Assim, era possível usar uma tabela fornecida pela norma em função da classificação das estruturas ou a curva de eficiência do SPDA para a definição do nível de proteção do SPDA.

### **3.3.3 Parte 3 - Danos Físicos a estruturas e perigos á vida**

A terceira parte do documento normativo, aliás, é a que mais tem correspondência com o texto compreendido pela versão em vigor. Neste sentido, é o trecho que mais conta com alterações. (MOREIRA, 2014).

Bortolato conceitua a finalidade de implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas interno e externo:

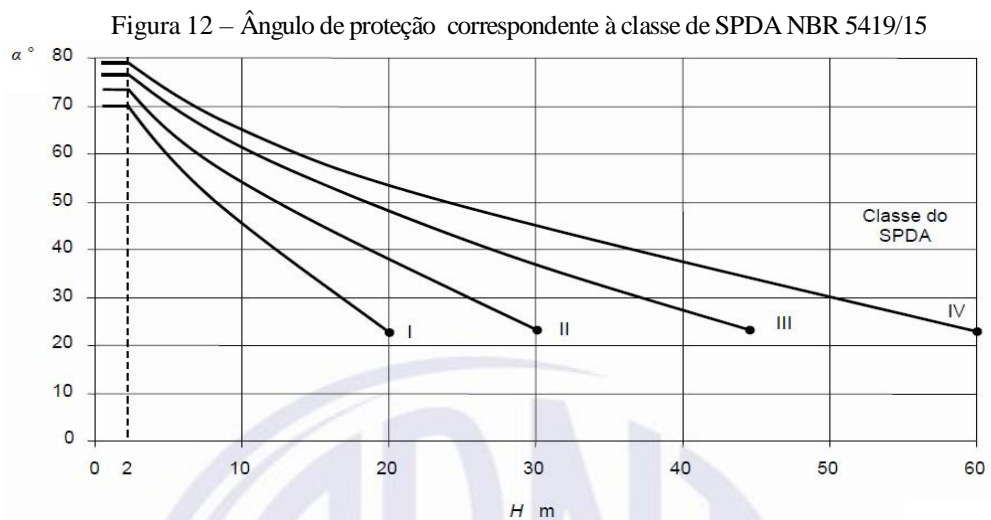
Define-se a finalidade de se utilizar um SPDA externo e interno, bem como ao que estará destinado a proteger em estruturas sem limitação de altura. Garantindo que a descarga seja captada pela estrutura, conduzida pelos condutores e dispersada na terra de forma eficaz e segura, reduzindo os riscos de centelhamento perigosos no interior da estrutura sem expor à riscos os ocupantes e outros elementos eletricamente condutores. (BORTOLATO, 2017, p.16).

São demonstradas modificações com relação a materiais de condutores de captação e descida, procedimentos nos testes de continuidade e arquitetura de interligação dos condutores de descida. (BORTOLATO, 2017).

Com relação ao captor de Franklin pode ser observado conforme abaixo se segue:

O método do ângulo de proteção (método Franklin) teve um aumento significativo em relação ao alcance dos captores. Os ângulos não são mais fixados em função do nível de proteção passando a serem obtidos em função da altura dos captores. A utilização do método das malhas (Faraday) teve suas dimensões de espaçamento entre as malhas diminuídas, tendo um formato mais "quadrado",[...] (BORTOLATO, 2017, p.16)

A Figura 12 demonstra a citação acima:



Fonte: BORTOLATO, 2017, p.17.

O que pode ser observado é que antes era entendido que o comprimento da malha, da rede de condutores posicionadas no plano horizontal ou inclinado da estrutura a ser protegida, poderia ter um espaçamento não maior que o dobro da largura máxima da malha. De agora em diante, essa malha deverá ter seu comprimento igual a medida da sua largura.

Assim, faz-se uma comparação de acordo com a elucidação de Bortolato:

Em ABNT NBR 5419:2005 determinava-se o espaçamento médio entre os condutores de descida[...] e a interligação por meio de condutores horizontais a cada 20 metros de altura. Esta exigência passa a ser alterada, agora consideradas as distâncias conforme mostrado nesta mesma tabela [...] e as interligações horizontais passam a ser admitidas em intervalos entre 10 a 20 metros no atual texto



normativo, sendo aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenham no máximo 20% além dos valores estipulados. (BORTOLATO, 2017, p.17).

Referente aos condutores utilizados para os sistemas de captação e de descida, matérias como o aço e o alumínio cobreado foram adicionados e houve um aumento nas dimensões mínimas, e das tolerâncias, dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida considerados para a composição do SPDA.

Como, por exemplo, o cobre que passa a ser considerado uma área de seção mínima de  $35 \text{ mm}^2$  para captação e descidas, contra o mínimo que antes era estipulado de  $35 \text{ mm}^2$  para captação e  $16 \text{ mm}^2$  para descidas.

A continuidade elétrica das armaduras de concreto armado existentes, apresentada no atual texto da norma, deverá apresentar uma resistência elétrica inferior a  $0,2 \Omega$  para que sejam considerados como condutores naturais da corrente da descarga atmosférica, contrapondo a ABNT NBR 5419:2005 que determinava que uma resistência medida poderia ser inferior a  $1\Omega$ .

Caso este valor não seja alcançado ou não possa ser medido, um sistema convencional de proteção deve ser adotado e instalado.

Houve a retirada da consideração da medição da resistência ôhmica do aterramento do SPDA, que antes era sugerido o valor de  $10 \Omega$ , e da configuração de aterramento conforme o arranjo "A" sendo considerado apenas o arranjo "B"

### **3.3.4 Parte 4 - Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**

A quarta parte da norma é destacada por uma particularidade:

A quarta parte da norma não tem referência com a norma ABNT NBR 5419:2005 e é voltada para a proteção de equipamentos eletroeletrônicos no interior da estrutura utilizando as chamadas Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS's) e trata basicamente de aspectos gerais ligados à compatibilidade eletromagnética e proteção para equipamentos elétricos e eletrônicos. (BORTOLATO, 2017, p.18).

A base destas medidas são o roteamento dos condutores, suas blindagens e a equipotencialização por meio dos DPS's daqueles condutores normalmente energizados. (SANTOS, 2015)

Sistemas eletroeletrônicos podem sofrer danos permanentes causados por impulsos eletromagnéticos da descarga atmosférica por meio de surtos conduzidos ou induzidos transmitidos pelos cabos conectados aos sistemas e/ou pelos efeitos dos campos

eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos havendo ou não um SPDA instalado externamente à estrutura.

### 3.4. Verificação do nível de proteção na NBR 5419/2005 e na NBR 5419/2015

Para que possa chegar ao nível de proteção é necessária a elaboração de vários cálculos. Contudo, houve uma modificação na forma de calcular o nível de proteção em relação as duas normas, sendo na NBR 5419/15 seus cálculos são muito mais complexos.

Neste tópico serão explanadas as formas de elaboração para se atingir o nível de proteção.

#### 3.4.1 Nível de proteção na NBR 5419/05

Para determinar o nível de proteção que esta descrito no Anexo B da norma NBR 5410/05, devem ser feitos vários cálculos, conforme pode ser demonstrado abaixo.

Primeiramente pra saber se há a necessidade do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas. Inicialmente deve-se calcular a densidade da descarga atmosférica para terra através da Equação abaixo:

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25} \quad (1)$$

Em tal Equação,  $T_d$  é o numero de trovoadas por ano, obtido através de mapas isoceraunico,  $N_g$  é a densidade das descargas atmosféricas.

Depois da elaboração de tal calculo, e obtenção do valor da densidade da descarga atmosférica, deve ser calculado a área de exposição equivalente ( $A_e$ ) que e a área em metros quadrados, que deve levar em conta também a sua altura, através da Equação 3:

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 [m^2] \quad (3)$$

L:comprimento (m).

H:altura(cm).

W:largura(m).

Após contendo os valores do  $N_g$  e do  $A_e$  deve ser calculado o  $N_d$  para verificar se nesta estrutura será necessária a instalação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, para calcular o  $N_d$  segue a Equação 4:

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} [\text{desc/ano}] \quad (4)$$

$N_d$  : frequência media anual prevista.

Depois de calcular valor do  $N_d$  o passo seguinte é a aplicação dos fatores de ponderação indicado nas Tabelas 1 a 5:

Tabela 1 - Necessidade de instalação de sistema de proteção.

<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Fator A</b>
<b>Casas</b>	0,3
<b>Casa com antena externa</b>	0,7
<b>Fábricas, laboratórios</b>	1
<b>Escritórios, hotéis, apartamentos</b>	1,2
<b>Museus, exposições, shoppings centers, estádios</b>	1,3
<b>Escolas, hospitais</b>	1,7

Fonte: Leite e Leite, 2001, p.33.

A Tabela 2 considera o fator B, em relação ao material da construção e da cobertura:

Tabela 2 - Material de construção e cobertura.

<b>Material de construção</b>	<b>Fator B</b>
<b>Metal revestido, cobertura não metálica</b>	0,2
<b>Concreto, cobertura não metálica</b>	0,4
<b>Metal ou concreto, cobertura metálica</b>	0,8
<b>Alvenaria</b>	1
<b>Madeira</b>	1,4
<b>Alvenaria ou madeira com cobertura metálica</b>	1,7
<b>Cobertura de palha</b>	2

Fonte:Leite e Leite, 2001, p.34.

Os autores acima desenvolveram a Tabela 3 que o fator de ponderação C é a função do conteúdo:

Tabela 3 - Função do conteúdo.

<b>Conteúdo</b>	<b>Fator C</b>
<b>Comum, sem valor</b>	0,3
<b>Sensível a danos</b>	0,8
<b>Subestações, gás, rádio/TV/telefônica</b>	1
<b>Museu, monumentos, valores especiais</b>	1,3
<b>Escolas, hospitais</b>	1,7

Fonte: Leite e Leite, 2001, p.34.

A Tabela 4 que foi confeccionada por Leite e Leite considera o fator D como a função da localização:

Tabela 4- Função da localização.

<b>Localização</b>	<b>Fator D</b>
<b>Rodeado por árvores ou estruturas</b>	0,4
<b>Semi-isolada</b>	1
<b>Isolada</b>	2

Fonte: Leite e Leite, 2001, p. 35.

E por último a Tabela 5 se segue, o fator E considera a topografia do local:

Tabela 5 - Topografia do local.

<b>Topografia</b>	<b>Fator E</b>
<b>Planície</b>	0,3
<b>Colina</b>	1
<b>Montanha, 300 a 900 m</b>	1,3
<b>Montanha, acima de 900 m</b>	1,7

Fonte: Leite e Leite, 2001, p. 35.

Após a transcrição integral das tabelas acima elaboradas por Leite e Leite, pode-se chegar a um entendimento mais amplo acerca dos cálculos realizados, para que se possa equacionar a necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Depois com os valores da ponderação obtidos é só acrescentar na Equação 5 para saber se há a necessidade do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas:

$$N_{dc} = N_g \times A_e \times F_a \times F_b \times F_c \times F_d \times F_e \text{ [desc/ano]} \quad (5)$$

- Se  $N_{dc} > 10^{-3}$ , a estrutura requer um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.
- Se  $10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$ , a decisão sobre a necessidade de implantação do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas será verificada de acordo com o entendimento entre projetista e proprietário.
- Se  $N_{dc} \leq 10^{-5}$ , a estrutura não necessita obrigatoriamente da instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Depois de acordo com a necessidade de instalação de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas vai ser obtido o nível de proteção através dos níveis abaixo, neste passo não é necessária a elaboração de qualquer outro cálculo. Para verificar o nível de proteção vai depender da funcionalidade da estrutura. Como exemplo se é uma escola, hospital, barracão de produtos perecíveis ou outros. Assim, a necessidade de implantação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas será verificada de acordo com a destinação e utilização do local.

Os níveis são os seguintes:

Nível I - Destinado às estruturas nas quais uma falha do sistema de proteção pode causar danos às estruturas vizinhas ou ao meio ambiente.

Nível II - Destinados às estruturas cujos danos em caso de falha serão elevados ou haverá destruição de bens insubstituíveis e/ou de valor histórico, mas em qualquer caso, se restringirão a estrutura ou seu conteúdo; incluem-se também aqueles casos de estruturas com grande aglomeração de público, havendo, portanto, risco de pânico.

Nível III - Destinados às estruturas de uso comum, como residências, escritórios, fábricas (excluindo aquelas com áreas classificadas) e outras.

Nível IV - Destinados às estruturas construídas de material não inflamável, com pouco acesso de pessoas, e com conteúdo não inflamável (BURATTO, 2011, p.29).

Os níveis acima estão classificados de acordo com a possibilidade de uma falha no sistema de proteção possa atingir estruturas circunvizinhas ou outros, sempre considerando que o menor nível é menos grave até se chegar ao nível máximo como o mais grave.

Quadro 1: Nível de proteção através da edificação.

Tipos de Edificação	Nível de proteção
Edificações de explosivos, inflamáveis, Indústrias Químicas, Nucleares, Laboratórios Bioquímicos, Fabricas de munição e Fogos de Artifício, Estações de Telecomunicação, Usinas Elétricas, Refinarias, Indústria com risco de incêndio.	I
Edificações comerciais, banco, teatros, museus, locais arqueológicos, hospitais, prisões, casa de repouso, escolas, igrejas, e áreas esportivas.	II
Edificações residências, indústrias, estabelecimento agropecuários e fazendas com estrutura em madeira.	III
Galpões com sucata ou conteúdo desprezível, fazenda e estabelecimento agropecuário com estrutura em madeira.	IV

Fonte: o autor

Através do Quadro 1 que se defini o nível de proteção que esta relacionado com o tipo de edificação que for instalar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

### 3.4.2 Nível de proteção na norma NBR 5419/15

A principal alteração da nova versão da ABNT NBR 5419 é a utilização do gerenciamento de risco como um parâmetro de entrada para a avaliação de risco. A avaliação do risco de uma estrutura passa a ser determinado a partir de um cálculo iterativo envolvendo todos os fatores que influenciam a probabilidade de danos em uma estrutura por descarga atmosférica.

O gerenciamento de risco serve para a determinação da necessidade ou não de se adotar a estrutura um SPDA ou de melhorar o sistema já implantado no caso de haver um SPDA, se da, primeiramente identificando a estrutura a ser protegida e as suas características, tais como: localização, dimensões, o conteúdo e as instalações da estrutura, a finalidade de sua utilização (habitacional em área urbana/rural, espaço público, dentre outros.), a frequência com que as pessoas a utilizam entre outros.

Identificam-se todos os possíveis Tipos de Perdas ( $L_1$  a  $L_4$ ), avalia os correspondentes Componentes de Risco relacionados aos Riscos de Perdas ( $L_1$  a  $L_4$ ), avalia os correspondentes Componentes de Riscos relacionados aos Riscos de Perdas ( $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$ , e  $R_Z$ ), calculando-os para obter o valor final de cada um dos riscos  $R_1$  a  $R_4$ .

A implantação de um SPDA será definida pela comparação dos riscos  $R_1$  a  $R_3$  com o Risco Tolerável  $R_T$ , cujos valores representativos são considerados caso as descargas atmosféricas causem perda de vida humana, perda de serviços ao público ou perdas de patrimônio cultural.

A avaliação da componente de risco  $R_4$ , é feita no sentido de avaliar o custo da implantação de proteção comparando com o custo total das perdas (perda de valor econômico  $L_1$ ) se houver proteções à estrutura ou não. Este processo leva em consideração o cálculo do custo anual das perdas na ausência de medidas de proteção e do custo anual das perdas no caso de haver medidas de proteção. Adotar o valor representativo do risco tolerável de  $R_T = 10^{-3}$ .

Figura 13 – Valores típicos de risco tolerável  $R_T$

Tipo de perda		$R_T(y^{-1})$
$L_1$	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
$L_2$	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
$L_3$	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$

Fonte : ABNT NBR 5419-2 2015 ,tabela 4

Um sistema de proteção contra descargas atmosférica devera ser adotado se o risco calculado for maior que o tolerável ( $R > R_T$ ) e medidas adicionais de proteção deve ser tomadas de modo que seja obtido um risco que seja inferior ao tolerável( $R < R_T$ ).

#### 3.4.2.1.Determinante e análise de risco de acordo com a NBR 5419:15

O método de cálculo e análise de risco é descrito por ABNT (2015a, 2015b). Perdas, danos e riscos são inicialmente categorizados. Em seguida, são determinados os cálculos de risco e seus componentes, com base nessa categorização. Por fim, é dado o procedimento para avaliação da necessidade de proteção da estrutura.

As perdas são divididas em quatro tipos – perda de vida humana, perda de serviço ao público, perda de patrimônio público e perda de valor econômico – e os

danos, em três tipos – dano a seres vivos, dano físico à estrutura e dano por falha de sistemas internos. As fontes desses danos são divididas conforme o ponto de impacto das descargas atmosféricas – diretamente na estrutura ou próximo a ela, e em linhas de energia e sinal que adentram a estrutura ou próximo a essas linhas. O risco total é dividido em componentes parciais de risco, os quais são definidos para cada relação entre tipo e fonte de dano (ABNT, 2015b).

Para cada tipo de perda, um valor de risco deve ser calculado levando em conta as características daquele tipo. Assim, ao fim dos cálculos, são obtidos até quatro valores de risco que devem ser analisados (ABNT, 2015b).

Como uma estrutura pode não ser homogênea em suas características, a norma permite dividi-la em zonas com características semelhantes (ABNT, 2015b). Isso permite que medidas de proteção de mais alto custo, por exemplo, possam ser aplicadas localmente apenas nas zonas que as necessitam, reduzindo o custo final do projeto sem reduzir sua eficácia.

Descreve Santos:

Importante observar que a abordagem utilizada na apresentação dos conceitos e definições deste capítulo é ligeiramente diferente da utilizada por ABNT (2015b). Nesta, os conceitos de fonte de dano, tipo de dano, tipo de perda e tipo de risco são primeiramente apresentados em separado para, só então, serem associados. Também, a ordem de associação dos conceitos, partindo das fontes de dano, pareceu tornar mais difícil a visualização da composição dos riscos. Assim, neste relatório, a apresentação é feita na ordem inversa da norma, partindo do conceito de tipos de perda, passando pelos tipos de dano e, então, chegando às fontes de dano, associando-os ao longo da apresentação. (SANTOS, 2017, p.21).

Assim, a seguir será estudado o gerenciamento de risco, considerando-se as partes e elaboração de cálculos.

#### 3.4.2.2. CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS E DANOS

As perdas causadas por descargas atmosféricas são divididas em quatro tipos, conforme a Figura 14 :



Figura 14 – Tipos de perda.

<b>Perda de vida humana (L1)</b>	Vítimas fatais e ferimentos permanentes.
<b>Perda de serviço ao público (L2)</b>	Usuários não atendidos por serviços cuja interrupção é inaceitável. A norma define como serviço ao público, exclusivamente, o suprimento de água, gás e energia e os serviços de fornecimento de sinais de TV e de telecomunicações.
<b>Perda de patrimônio cultural (L3)</b>	Perda de patrimônio considerado cultural e insubstituível. A norma sugere, mas não limita, que locais como museus, galerias, sítios
<b>Perda de valor econômico (L4)</b>	Perda econômica devida à perda de vida animal produtiva, a danos à estrutura e/ou aos seus conteúdos e interrupção de atividades.

Fonte: Santos, 2017, pag. 22.

Os tipos de perda de vida humana, de serviço ao público e de patrimônio cultural são consideradas perdas de valor social e sua análise é obrigatória. A análise do tipo de perda de valor econômico é opcional, ficando a critério do projetista (ABNT, 2015a, p. 12-13).

Esses tipos de perda são consequências de diferentes tipos de dano causados pelas descargas. Esses danos são classificados conforme a Figura 14:

Figura 14 – Tipos de dano

<b>Dano a seres vivos (D1)</b>	Danos devidos a choques por tensões de passo e toque. Pode causar perda de vida humana (L1) e de valor econômico (L4), este último caso haja animais produtivos na estrutura.
<b>Dano físico à estrutura (D2)</b>	Danos por incêndios, explosões, destruição mecânica e liberação de produtos químicos. Pode causar todos os tipos de perda.
<b>Dano por falha de sistemas internos (D3)</b>	Danos causados indiretamente por falha de sistemas internos devida a surtos de tensão nas linhas de energia ou sinal que adentram a estrutura. Pode causar perda de serviço ao público (L2) e de valor econômico (L4), bem como de vida humana (L1) quando há risco de explosão ou se essas falhas puderem causar imediato perigo à vida humana (ex. hospitais).

Fonte: Santos, 2017, pag. 23.

Por fim, as descargas atmosféricas que causam esses danos são classificadas pelo ponto de impacto e são chamadas fontes de dano. A Figura 15 descreve essa classificação.

Figura 15 – Fontes de dano.

<b>Descarga atmosférica na estrutura (S1)</b>	Descarga que atinge diretamente a estrutura. Pode gerar todos os tipos de dano.
<b>Descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)</b>	Descarga que atinge um local próximo suficiente à estrutura para causar surtos de tensão nas linhas de energia e sinal. Pode gerar danos por falha de sistemas internos (D3).
<b>Descarga atmosférica nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	Descarga que atinge diretamente uma das linhas de energia ou de sinal que adentram a estrutura. Pode gerar todos os tipos de dano.
<b>Descarga atmosférica próxima às linhas de energia e sinal (S4)</b>	Descarga que atinge um local próximo o suficiente a uma das linhas de energia ou de sinal para causar surtos de tensão nessas linhas. Pode gerar danos por falha de sistemas internos (D3).

Fonte: Santos, 2017, pag. 23.

### 3.4.2.3. CÁLCULO DO RISCO

O cálculo de risco é realizado separadamente para cada tipo de perda, ou seja, calculam-se até quatro tipos de risco diferentes. Os riscos para perdas de valor social – perda de vida humana, de serviço ao público e de patrimônio cultural – devem ser obrigatoriamente calculados, quando aplicáveis, para determinar a necessidade de proteção. Já o risco de perda de valor econômico pode ser desconsiderado quando o projetista ou o proprietário da estrutura não verificarem benefício econômico na aplicação de medidas de proteção para redução desse risco (ABNT, 2015a). Havendo interesse, entretanto, é fornecido um método para determinação do custo-benefício da aplicação de medidas de proteção por ABNT (2015b, p. 30).

O risco total é dividido em componentes parciais de risco, definidos para cada relação entre tipo e fonte de dano. Esses componentes são definidos em função do número médio de eventos perigosos, da probabilidade de um evento perigoso causar dano e da perda consequente a um dano causado por um evento perigoso. Por sua vez, esses valores dependem das características da estrutura, das linhas que a adentram e da região em que está localizada.

As definições dos quatro tipos de risco e a descrição dos seus componentes são apresentadas nas Figuras 16 a 19, onde também são demonstradas as relações entre tipo de risco, tipo de perda, tipo de dano e fonte de dano (ABNT, 2015b).

Figura 16– Risco para o tipo de perda de vida humana (L1).

Risco para o tipo de perda de vida humana (L1)		
$L1 \left\{ \begin{array}{l} \overbrace{S1 + S3}^{D1} + \overbrace{S1 + S3}^{D2} + \overbrace{S1 + S2 + S3 + S4}^{D3} \\ R1 = R_A + R_U + R_B + R_V + R_C + R_M + R_W + R_Z \end{array} \right.$		
Componente de risco	Tipo de dano	Fonte de dano
$R_A$	Dano a seres vivos (D1)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_U$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_B$	Dano físico à estrutura (D2)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_V$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_C$	Dano por falha de sistemas internos (D3)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_M$		Descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)
$R_W$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_Z$		Descarga atmosférica próxima a uma linha (S4)

Fonte: Santos, 2017, pag. 24.

Figura 17 – Risco para o tipo de perda de serviço ao público (L2).

Risco para o tipo de perda de serviço ao público (L2)		
$L2 \left\{ \begin{array}{l} \overbrace{S1 + S3}^{D2} + \overbrace{S1 + S2 + S3 + S4}^{D3} \\ R2 = R_B + R_V + R_C + R_M + R_W + R_Z \end{array} \right.$		
Componente de risco	Tipo de dano	Fonte de dano
$R_B$	Dano físico à estrutura (D2)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_V$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_C$	Dano por falha de sistemas internos (D3)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_M$		Descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)
$R_W$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_Z$	Dano por falha de sistemas internos (D3)	Descarga atmosférica próxima a uma linha (S4)

Fonte: Santos, 2017, pag. 24.

Figura 18– Risco para o tipo de perda de patrimônio cultural (L3).

Risco para o tipo de perda de patrimônio cultural (L3)		
$L3 \left\{ \overbrace{S1 + S3}^{D2} \right.$ $R3 = R_B + R_V$		
Componente de risco	Tipo de dano	Fonte de dano
$R_B$	Dano físico à estrutura (D2)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_V$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)

Fonte: Santos, 2017, pag. 24.

Figura 19 – Risco para o tipo de perda de valor econômico (L4).

Risco para o tipo de perda de valor econômico (L4)		
$L4 \left\{ \overset{D1}{S1 + S3} + \overset{D2}{S1 + S3} + \overset{D3}{S1 + S2 + S3 + S4} \right.$ $R4 = R_A + R_U + R_B + R_V + R_C + R_M + R_W + R_Z$		
Componente de risco	Tipo de dano	Fonte de dano
$R_A$ $R_U$	Dano a seres vivos (D1)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_B$ $R_V$	Dano físico à estrutura (D2)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_C$	Dano por falha de sistemas internos (D3)	Descarga atmosférica na estrutura (S1)
$R_M$		Descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)
$R_W$		Descarga atmosférica em uma linha (S3)
$R_Z$		Descarga atmosférica próxima a uma linha (S4)

Fonte: Santos, 2017, pag. 24.

A definição dos componentes de risco é idêntica para todos os tipos de risco.

#### 3.4.2.4 Componentes de risco

Cada componente de risco  $R_x$  pode ser descrito, de forma geral, como:

$$R = N.P.L$$

Onde N é o número médio anual de eventos perigosos, P é a probabilidade de um evento causar dano e L é a perda conseqüente ao dano (ABNT, 2015b).

Os componentes de risco são individualmente definidos da Figura a Figura. As definições dos respectivos valores N, P e L de todos os componentes são dadas nos subcapítulos seguintes.

É importante observar que, na existência de múltiplas linhas adentrando a estrutura, os componentes de risco referentes a essas linhas devem ser calculados para cada linha individualmente e somados ao risco total (ABNT, 2015b).

Figura 20– Componente de risco  $R_A$ 

<b><math>R_A</math>: risco de dano a seres vivos (D1) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>R_A = N_D * P_A * L_A</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_D$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
$P_A$	Probabilidade de dano a seres vivos (D1) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
$L_A$	Perda consequente ao dano a seres vivos (D1).

Fonte: Santos, 2017, p. 26.

Figura 21 – Componentes de risco  $R_U$ 

<b><math>R_U</math>: risco de dano a seres vivos (D1) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_L$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
$N_{DJ}$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente conectada à estrutura principal através de linhas de energia e sinal, quando houver.
$P_U$	Probabilidade de dano a seres vivos (D1) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
$L_U$	Perda consequente ao dano a seres vivos (D1).

Fonte: Santos, 2017, p. 26.

Figura 22 – Componente de risco  $R_B$ 

<b><math>R_B</math>: risco de dano físico à estrutura (D2) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>R_B = N_D * P_B * L_B</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_D$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
$P_B$	Probabilidade de dano físico à estrutura (D2) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
$L_B$	Perda consequente ao dano físico à estrutura (D2).

Fonte : Santos, 2017, p. 26.

Figura 23- Componentes de risco  $R_V$ .

<b><math>R_V</math>: risco de dano físico à estrutura (D2) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>N_L</math></b>	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
<b><math>N_{DJ}</math></b>	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente conectada à estrutura principal através de linhas de energia e sinal, quando houver.
<b><math>P_V</math></b>	Probabilidade de dano físico à estrutura (D2) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
<b><math>L_V</math></b>	Perda consequente ao dano físico à estrutura (D2).

Fonte: Santos, 2017, p. 27.

Figura 24 – Componente de risco  $R_C$ .

<b><math>R_C</math>: risco de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>R_C = N_D * P_C * L_C</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>N_D</math></b>	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
<b><math>P_C</math></b>	Probabilidade de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1).
<b><math>L_C</math></b>	Perda consequente ao dano por falha de sistemas internos (D3).

Fonte: Santos, 2017, p. 27.

Figura 25 – Componente de risco  $R_M$ .

<b><math>R_M</math>: risco de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas próximas à estrutura (S2)</b>	
<b>Definição: <math>R_M = N_M * P_M * L_M</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>N_M</math></b>	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas próximas à estrutura (S2).
<b><math>P_M</math></b>	Probabilidade de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas próximas à estrutura (S2).
<b><math>L_M</math></b>	Perda consequente ao dano por falha de sistemas internos (D3).

Fonte: Santos, 2017, p. 27.

Figura 26 – Componente de risco  $R_W$ .

<b><math>R_W</math>: risco de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>R_W = (N_L + N_{Df}) * P_W * L_W</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_L$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
$N_{Df}$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente conectada à estrutura principal através de linhas de energia e sinal, quando houver.
$P_W$	Probabilidade de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3).
$L_W$	Perda consequente ao dano por falha de sistemas internos (D3).

Fonte: Santos, 2017, p. 28.

Figura 27-Componentes de risco  $R_Z$ .

<b><math>R_Z</math>: risco de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas próximas às linhas de energia e sinal (S4)</b>	
<b>Definição: <math>R_Z = N_I * P_Z * L_Z</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_I$	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas próximas às linhas de energia e sinal (S4).
$P_Z$	Probabilidade de dano por falha de sistemas internos (D3) devido a descargas atmosféricas próximas às linhas de energia e sinal (S4).
$L_Z$	Perda consequente ao dano por falha de sistemas internos (D3).

Fonte: Santos, 2107, p. 28.

#### 3.4.2.5. Número médio anual de eventos perigosos (NX)

O número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas depende principalmente da característica atmosférica da região onde a estrutura está localizada e da área de exposição equivalente da estrutura, sobre a qual descargas podem causar dano à estrutura (ABNT, 2015b). A esses dois valores são aplicados diversos fatores que dependem das características da estrutura, conforme a fonte de dano analisada. As equações dos números de eventos são descritas nas Figuras 28 a Figura 31.



Figura 28- número de eventos  $N_D$ .

<b><math>N_D</math>: número de eventos devido a descargas atmosféricas na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, por ano.
$A_D$	Área de exposição equivalente, em metros quadrados, na qual descargas podem ocorrer na estrutura (S1).
$C_D$	Fator de localização da estrutura.

Fonte: Santos, 2017, p. 29.

Figura 29- Numero de eventos  $N_M$ .

<b><math>N_M</math>: número de eventos devido a descargas atmosféricas próximas à estrutura (S2)</b>	
<b>Definição: <math>N_M = N_G * A_M * 10^{-6}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, por ano.
$A_M$	Área de exposição equivalente, em metros quadrados, na qual descargas podem ocorrer próximas à estrutura (S2).

Fonte: Santos, 2107, p. 29.

Figura 30- Numero de eventos  $N_L$ .

<b><math>N_L</math>: número de eventos devido a descargas atmosféricas nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>N_L = N_G * A_L * C_I * C_T * C_E * 10^{-6}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, por ano.
$A_L$	Área de exposição equivalente, em metros quadrados, na qual descargas podem ocorrer nas linhas de energia e sinal (S3).
$C_I$	Fator de instalação da linha.
$C_T$	Fator de tipo de linha.
$C_E$	Fator ambiental.

Fonte: Santos, 2017, p. 29.



Figura 31 - Número de eventos  $N_I$ .

<b><math>N_I</math>: número de eventos devido a descargas atmosféricas próximas às linhas de energia e sinal (S4)</b>	
<b>Definição: <math>N_I = N_G * A_I * C_I * C_T * C_E * 10^{-6}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, por ano.
$A_I$	Área de exposição equivalente, em metros quadrados, na qual descargas podem ocorrer próximas às linhas de energia e sinal (S4).
$C_I$	Fator de instalação da linha.
$C_T$	Fator de tipo de linha.
$C_E$	Fator ambiental.

Fonte: Santos, 2017, p. 29.

Na existência de estruturas adjacentes interligadas à estrutura principal através de linhas de energia ou sinal, calcula-se, também, o número de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas para cada estrutura adjacente, conforme Figura 32.

Figura 32- número de evento  $N_{DJ}$ .

<b><math>N_{DJ}</math>: número de eventos devido a descargas atmosféricas ocorridas em uma estrutura adjacente conectada à estrutura principal através de linhas de energia ou sinal</b>	
<b>Definição: <math>N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, por ano.
$A_{DJ}$	Área de exposição equivalente, em metros quadrados, na qual descargas ocorrem na estrutura adjacente.
$C_{DJ}$	Fator de localização da estrutura adjacente.
$C_T$	Fator de tipo de linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 30.

Esse número de eventos perigosos nas estruturas adjacentes é considerado, para fins de cálculo de risco, como de eventos devidos a descargas nas linhas de energia ou sinal (S3), pois os efeitos das descargas nessas estruturas são propagados à estrutura principal através das linhas que as conectam entre si. Isso pode ser observado nas definições dos componentes de risco  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$ , apresentados anteriormente.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra,  $N_G$ , é dada em numero de descargas por quilômetro quadrado e por ano. Esse parâmetro é fornecido, para o

território brasileiro, pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ELAT/INPE).

#### 3.4.2.6. Probabilidade de um evento causar dano (PX)

As probabilidades de ocorrência de dano devido a um evento perigoso dependem do tipo e da fonte de dano e suas definições são dadas das Figuras 33 a 40.

Deve-se observar que as definições fornecidas são válidas apenas quando as medidas de proteção avaliadas estiverem de acordo com ABNT (2015c, 2015d).

Figura 33- Probabilidade  $P_A$ .

<b><math>P_A</math>: probabilidade de dano a seres vivos (D1) devido a descarga atmosférica na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>P_A = P_{TA} * P_B</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{TA}</math></b>	Probabilidade de dano a seres vivos devido a uma descarga na estrutura dependendo das medidas de proteção adicionais contra choques aplicadas.
<b><math>P_B</math></b>	Probabilidade de dano físico à estrutura (e, por conseguinte, a seres vivos) devido a uma descarga na estrutura.

Fonte: Santos, 2017, p. 31.

Figura 34 – Probabilidade  $P_U$ .

<b><math>P_U</math>: probabilidade de dano a seres vivos (D1) devido a descarga atmosférica nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{TU}</math></b>	Probabilidade de dano a seres vivos devido a uma descarga nas linhas de energia e sinal.
<b><math>P_{EB}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS (cf. ABNT, 2015c).
<b><math>P_{LD}</math></b>	Probabilidade de dano devido a descarga na linha conforme as características da linha e dos equipamentos a ela ligados.
<b><math>C_{LD}</math></b>	Fator de blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas na linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 31.

Figura 35 – probabilidade  $P_B$ .

<b><math>P_B</math>: probabilidade de dano físico à estrutura (D2) devido a descarga atmosférica na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>P_B = cte</math> (valor tabelado)</b>	

Fonte: Santos, 2017, p. 31.

Figura 36 – Probabilidade  $P_V$ .

<b><math>P_V</math>: probabilidade de dano físico à estrutura (D2) devido a descarga atmosférica nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{EB}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS (cf. ABNT, 2015c).
<b><math>P_{LD}</math></b>	Probabilidade de dano devido a descarga na linha conforme as características da linha e dos equipamentos a ela ligados.
<b><math>C_{LD}</math></b>	Fator de blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas na linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 32.

Figura 37 – Probabilidade  $P_C$ .

<b><math>P_C</math>: probabilidade de dano por falhas de sistemas internos (D3) devido a descarga atmosférica na estrutura (S1)</b>	
<b>Definição: <math>P_C = P_{SPD} * C_{LD}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{SPD}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS coordenados (cf. ABNT, 2015d).
<b><math>C_{LD}</math></b>	Fator de blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas na linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 32.

Figura 38 – Probabilidade  $P_M$ .

<b><math>P_M</math>: probabilidade de dano por falhas de sistemas internos (D3) devido a descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)</b>	
<b>Definição: <math>P_M = P_{SPD} * P_{MS}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{SPD}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS coordenados (cf. ABNT, 2015d).
<b><math>P_{MS}</math></b>	Probabilidade de dano conforme blindagens espaciais (externa e internas), blindagem de fiação, a existência de laços de indução (cf. ABNT, 2015d, p. 36) e da tensão suportável de impulso dos equipamentos.

Fonte: Santos, 2017, p. 32.

Figura 39 – Probabilidade  $P_W$ .

<b><math>P_W</math>: probabilidade de dano por falhas de sistemas internos (D3) devido a descarga atmosférica nas linhas de energia e sinal (S3)</b>	
<b>Definição: <math>P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{SPD}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS coordenados (cf. ABNT, 2015d).
<b><math>P_{LD}</math></b>	Probabilidade de dano devido a descarga na linha conforme as características da linha e dos equipamentos a ela ligados.
<b><math>C_{LD}</math></b>	Fator de blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas na linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 33.

Figura 40 – Probabilidade  $P_Z$ .

<b><math>P_Z</math>: probabilidade de dano por falhas de sistemas internos (D3) devido a descarga atmosférica próxima às linhas de energia e sinal (S4)</b>	
<b>Definição: <math>P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI}</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>P_{SPD}</math></b>	Probabilidade de dano, conforme o nível de proteção projetado, na existência de DPS coordenados (cf. ABNT, 2015d).
<b><math>P_{LI}</math></b>	Probabilidade de dano devido a descarga próxima à linha conforme as características da linha e dos equipamentos a ela ligados.
<b><math>C_{LI}</math></b>	Fator de blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas próximas à linha.

Fonte: Santos, 2017, p. 33.

As tabelas de valores das probabilidades  $P_{TA}$ ,  $P_B$ ,  $P_{TU}$ ,  $P_{LD}$ ,  $P_{EB}$ ,  $P_{SPD}$  e  $P_{LI}$  e dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  estão dispostos no Apêndice C. A determinação da probabilidade  $P_{MS}$  é descrita no Apêndice D. (ABNT, 2015b).

#### 3.4.2.7. Perda consequente ao dano (LX)

As perdas consequentes são quantidades relativas médias de perda por evento perigoso, considerando sua extensão e seus efeitos, divididas por tipo de dano. O significado desses valores, dado na Figura 41, depende do tipo de perda considerado.

Figura 41– Significado dos valores de cada tipo de perda

<b>Tipo de perda</b>	<b>Significado do valor das perdas</b>
<b>Perda de vida humana (L1)</b>	Número relativo de pessoas vitimadas (incluindo ferimentos permanentes) por evento perigoso.
<b>Perda de serviço ao público (L2)</b>	Número relativo de usuários não servidos por evento perigoso.
<b>Perda de patrimônio cultural (L3)</b>	Valor econômico relativo perdido da estrutura e de conteúdo, quando considerados como patrimônio cultural insubstituível, por evento perigoso
<b>Perda de valor econômico (L4)</b>	Valor econômico relativo perdido da estrutura, de suas atividades, de seu conteúdo, de seus sistemas internos e de animais produtivos por evento perigoso

Fonte: Santos, 2017, p. 34.

Os valores relativos típicos médios para as perdas são fornecidos de acordo com os tipos de perda e de dano, e sobre eles se aplicam fatores de redução ou de ampliação. Quando a estrutura é dividida em zonas, aplica-se, ainda, um fator relativo à zona em questão.

A norma recomenda que os valores típicos de perda sejam avaliados e fixados pelo projetista ou pelo proprietário da estrutura durante a realização dos cálculos, para que estejam adequados ao contexto daquela estrutura (ABNT, 2015b).

As equações de perdas consequentes são apresentadas, em ABNT (2015b), separadamente por tipo de perda. Neste relatório, porém, elas são apresentadas de forma genérica por serem semelhantes. Além do fator  $F_Z$  relativo da zona, que não existe nesse formato na norma, a única diferença entre as equações é a existência do fator  $h_Z$  no cálculo de  $L_B$  e  $L_V$  para o tipo de perda de vida humana (L1).

As diferentes perdas são definidas nas Figuras 42 a 44 .

Figura 42 – Perdas consequentes  $L_A$  e  $L_U$ .

<b><math>L_A, L_U</math>: perdas consequentes ao dano a seres vivos (D1)</b>	
<b>Definição: <math>L_A = L_U = L_T * r_t * F_Z</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$L_T$	Valor relativo médio típico de perdas por danos a seres vivos (D1).
$r_t$	Fator de redução da perda por dano a seres vivos (D1) conforme o tipo da superfície do solo ou piso.
$F_Z$	Fator relativo da zona.

Fonte: Santos, 2017, p. 34.

Figura 43– Perdas consequentes  $L_B$  e  $L_V$ .

<b><math>L_B, L_V</math>: perdas consequentes ao dano físico à estrutura (D2)</b>	
<b>Definição: <math>L_B = L_V = L_F * r_p * r_f * h_z * F_Z</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
$L_F$	Valor relativo médio típico de perdas por danos físicos à estrutura (D2).
$r_p$	Fator de redução da perda por danos físicos (D2) conforme as providências tomadas para redução das consequências de incêndios.
$r_f$	Fator de redução da perda por danos físicos (D2) conforme o risco de incêndio ou de explosão na estrutura.
$h_z$	Fator de aumento da perda por danos físicos (D2) conforme a existência de perigo especial. Este fator é aplicado apenas ao tipo de perda de vida humana (L1). Para os demais, considerar $h_z = 1$ .
$F_Z$	Fator relativo da zona.

Fonte: Santos, 2017, p. 35.

Figura 44 – Perdas conseqüentes  $L_C$ ,  $L_M$ ,  $L_W$  e  $L_Z$ .

<b><math>L_C, L_M, L_W, L_Z</math>: perda devida a dano por falhas de sistemas internos (D3)</b>	
<b>Definição: <math>L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * F_Z</math></b>	
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
<b><math>L_O</math></b>	Valor relativo médio típico de perdas por falha de sistemas internos (D3).
<b><math>F_Z</math></b>	Fator relativo da zona.

Fonte: Santos, 2017, p. 35.

### 3.4.2.8. ANÁLISE DO RISCO

Após o cálculo de todos os componentes de risco relevantes, deve-se fazer uma análise dos valores para determinar se medidas de proteção adicionais são necessárias e, quando forem, quais devem ser aplicadas para reduzir o risco total ao qual a estrutura está submetida.

Os valores de risco calculados são comparados aos valores de risco tolerável, conforme seu tipo e listados na Figura 45, para determinar a necessidade de medidas de proteção adicionais. Deve-se observar que o valor de risco tolerável para perdas de valor econômico é apenas uma sugestão da norma e deve ser usado nas situações em que a análise de custo-benefício não possa ser realizada por falta de dados (ABNT, 2015b).

Figura 45 – Valores de risco toleráveis por tipo de risco.

<b>Tipo de risco</b>	<b>Valor de risco tolerável</b>
<b>Risco de perda de vida humana (R1)</b>	$R_T \leq 10^{-5}$
<b>Risco de perda de serviço ao público (R2)</b>	$R_T \leq 10^{-3}$
<b>Risco de perda de patrimônio cultural (R3)</b>	$R_T \leq 10^{-4}$
<b>Risco de perda de valor econômico (R4)</b>	$R_T \leq 10^{-3}$

Fonte: Santos, 2017, p. 36.

Concluindo-se que medidas de proteção são necessárias, as medidas a serem aplicadas são determinadas de acordo com os componentes de risco com maior representatividade no risco total, isto é, são selecionadas aquelas medidas que causam redução dos componentes de risco de maior valor. Essa seleção pode ser feita a partir da lista de fatores que influenciam os componentes de risco, apresentada na Figura 46.



Figura 46 – Fatores que influenciam os componentes de risco.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	$R_A$	$R_U$	$R_B$	$R_V$	$R_C$	$R_M$	$R_W$	$R_Z$
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X	X						
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X	X						
SPDA	X	X <sup>b</sup>	X	X <sup>b</sup>	X	X <sup>a</sup>		
Ligação ao DPS	X	X	X	X				
Interfaces isolantes		X		X	X <sup>c</sup>	X <sup>c</sup>	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		
Sistema de equipotencialização					X			
Precauções contra incêndios			X	X				
Sensores de fogo			X	X				
Perigos especiais			X	X				
Tensão suportável de impulso		X		X	X	X	X	X

<sup>a</sup> Somente para SPDA tipo malha externa.

<sup>b</sup> Devido a ligações equipotenciais.

<sup>c</sup> Somente se o isolamento pertencer ao equipamento.

Fonte: Santos, 2017, p. 36.

Também pode-se analisar detalhadamente a composição dos componentes de risco para que sejam verificados quais fatores do componente estão contribuindo com maior peso para o risco. Desse modo, aplicam-se medidas de proteção que influenciem diretamente nesses fatores.

O projetista é orientado a selecionar, em primeiro lugar, a instalação de um SPDA para, então, fazer uso de outras medidas de proteção, tendo em vista que muitas das demais medidas dependem da existência de um SPDA (ABNT, 2015a).

Tendo o projetista determinado quais medidas aplicar, nova análise dos riscos deve ser feita. Alcançados valores de risco abaixo dos limites toleráveis, considera-se que as medidas de proteção aplicadas são suficientes e que a estrutura está protegida.

### 3.5 Comparativo em forma de Tabelas entre a norma antiga e nova

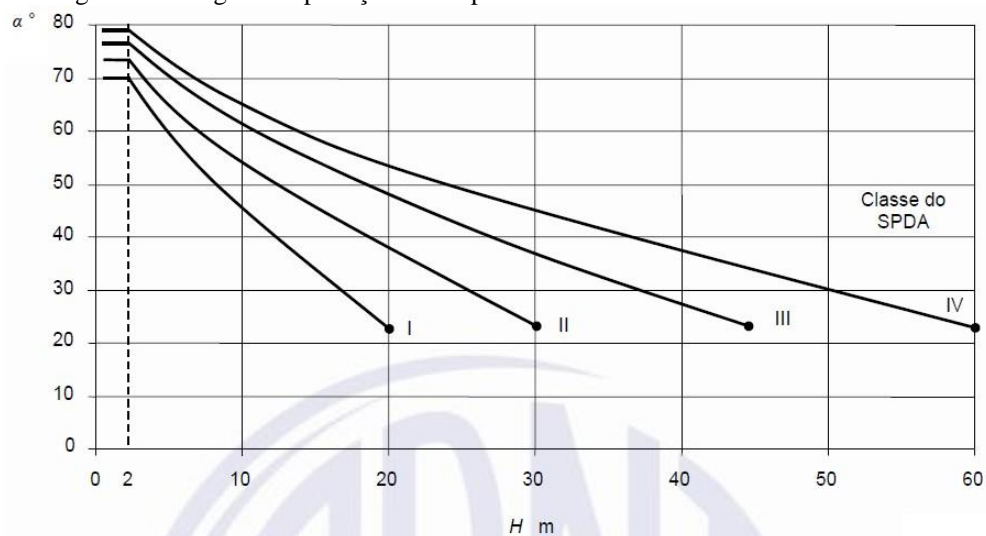
Na Tabela 6 com a Figura 47 estão sendo comparado o método de Franklin sendo entre as duas normas, NBR 5419/05 e NBR 5419/15.

Tabela 6- Nível de proteção do captor de Franklin NBR 5419/05

Nível de proteção	I	II	III	IV
0 a 20 m	25°	35°	45°	55°
21 a 30 m	Não se aplica	25°	35°	45°
31 a 45 m	Não se aplica	Não se aplica	25°	35°
46 a 60 m	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	25°

Fonte: Souza et al, 2012, p.48.

Figura 47 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA NBR 5419/15



Fonte: ABNT NBR 5419-3: 2015

No método Franklin na norma NBR 5419/05 seu ângulo de proteção era fixo com relação ao nível de proteção conforme a Tabela 7, na norma nova seu ângulo de proteção é expresso através de um gráfico, os ângulos de proteção podem variar segundo o nível de proteção.

Tiveram algumas alterações em relação a norma antiga para a atual no método gaiola de Faraday, já no método eletrogeométrico não deve alteração alguma, conforme o Quadro 2.



Quadro 2 – Comparativo da largura máxima da malha de proteção e raio da esfera rolante de acordo com a classe do SPDA

Classe do SPDA	Métodos de Proteção			
	Eletrgeométrico	Faraday		
	Raio da esfera rolante a - R (m)	Largura máxima da malha b (m)	Comprimento da malha b (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha c (m)
I	20	5	< 10	5x5
II	30	10	< 20	10x10
III	45	10	< 20	15x15
IV	60	20	< 40	20x20

<sup>a</sup> Não mudou após atualização  
<sup>b</sup> Conforme ABNT NBR 5419:2005 - Tabela 1  
<sup>c</sup> Conforme ABNT NBR 5419-3:2015 - Tabela 2

Fonte:Gonçalves Junior, 2015, p.10.

Os Quadros 3 e 4 representam o espaçamento médio dos condutores de descida conforme o nível de proteção.

Quadro 3: NBR 5419 2005

Nível de proteção	Espaçamento médio(m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Fonte : ABNT NBR 5419, 2005,pag. 11

Quadro 4: NBR 5419 2015

Classe de proteção	Espaçamento medio(m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte : ABNT NBR 5419, 2015.

### 3.6 Determinante do nível de proteção para o restaurante NBR 5419/05

Foi realizado o calculo abaixo para verificar qual o nível de proteção usado no restaurante.

$$1^{\circ}) \text{ passo: } N_g = 0,04 \times T_d^{1,25}$$

$$N_g = 0,04 \times 64^{1,25}$$

$$N_g = 7,24$$

$$2^{\circ}) \text{ passo: } A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2[m^2]$$

$$A_e = 5,4 \times 53 + 2 \times 5,4 \times 6 + 2 \times 53 \times 6 + 3.14 \times 6^2$$

$$A_e = 1100,4[m^2]$$

$$3^\circ) \text{ passo: } N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}[\text{desc/ano}]$$

$$N_d = 7,24 \times 1100,4^{-6}$$

$$N_d = 4.08 \times 10^{-18}[\text{desc/ano}]$$

$$4^\circ) \text{ passo: } N_{dc} = N_g \times A_e \times F_a \times F_b \times F_c \times F_d \times F_e [\text{desc/ano}]$$

$$N_{dc} = 7,24 \times 1100,4 \times 1.2 \times 0.8 \times 0.3 \times 0,4 \times 0,3$$

$$N_{dc} = 0,2 \times 10^{-3}[\text{desc/ano}]$$

Com o calculo realizado acima foi confirmado a necessidade da implantação do SDPA, como a estrutura se trata-se de um restaurante onde tem um grande fluxo de pessoas ,através do quadro 1 identificamos o nível de proteção II.

### **3.7 Determinante do nível de proteção para o restaurante NBR 5419/15**

Foi calculado o gerenciamento de risco através de um programa computacional para verificar se a estrutura estudada precisa da instalação do sistema de proteção contra descarga atmosférica. Os resultados obtidos se encontram na Figura 48:

Figura 48: Gerenciamento de risco NBR 5419/15

RISCOS / PERDAS / EQUAÇÕES / TOLERÂNCIAS (Tab. 04)										
RISCO	PERDA	Risco	Equações							RT (y-1)
L1	R1	perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)	R1 = RA1 + RB1 + RC1(1) + RM1(1) + RU1 + RV1 + RW1(1) + RZ1(1)							1,00E-05
L2	R2	perda de serviço ao público	R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2							1,00E-03
L3	R3	perda de patrimônio cultural	R3 = RB3 + RV3							1,00E-04
L4	R4	perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)	R4 = RA4(2) + RB4 + RC4 + RM4 + RU4(2) + RV4 + RW4 + RZ4							1,00E-03

Resultado Rx	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	RA+RB	
	R1=	3,00E-07	5,99E-08	0,00E+00	0,00E+00	2,35E-07	4,71E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,036 E-5
	R2=	1,50E-07	3,00E-05	7,42E-03	1,18E-07	2,35E-04	3,75E-03			
	R3=	0,00E+00	0,00E+00							
R4=	0,00E+00	7,49E-07	3,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	5,88E-07	2,35E-03	3,75E-02		

Condições do projeto									
Este projeto contém Risco de Explosão?									SIM
Existe atendimento ao público?									NÃO
Pode haver perda de patrimônio cultural?									NÃO
Este projeto contém Animais?									NÃO
Háverá avaliação econômica?									NÃO

Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)										Resultado			
	S1: Estrutura		S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha		Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?	
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ					
R1=	3,00E-07	5,99E-08	0,00E+00	0,00E+00	2,35E-07	4,71E-08	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,064 E-5</b>	0,00000064204322121337	1,00E-05	NÃO	
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO	
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO	
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO	

Medidas Protetivas		Estudo:	COM PROTEÇÃO
SPDA instalado		Estrutura protegida por SPDA III	▼
Blindagem especial externa		SEM blindagem especial	▼
Proteção contra choque (descarga sim. na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	▼
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	▼
Proteção contra incêndio		extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimen	▼
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	▼
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	▼
Sistema de DPS	DPS	DPS - I	▼
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	▼

R1 - Perda de Vida	Avaliação conforme 5.5	R1 - Perda de Vida
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	SIM
	Estrutura devidamente protegida.	

Fonte: O autor.

Conforme os cálculos realizados verificou que a estrutura necessita de SPDA, através do programa já se demonstra que deu nível de proteção classe III com o uso de DPS classe I.

## 4. PROJETO DO RESTAURANTE

A construção do restaurante é constituída por alvenaria, cuja dimensão é de 5,4 metros por 53 metros, totalizando uma área construída de aproximadamente 286 metros quadrados e 6 metros de altura. A construção é utilizada para as refeições, o que ocasiona um grande movimento de pessoas. Tal construção apresenta na parte acima do telhado refletores para iluminação, antena de comunicação e painéis fotovoltaicos. Nas proximidades existem 3 pequenas construções, como estoques, armazenamento de gás, sala elétrica do sistema fotovoltaico e quadro principal, que resultam em 42 metros quadrados de área construída.

Figura 49: Projeto do restaurante



Fonte: O autor.

### 4.1 PROJETO CONFORME NBR 5419:05

#### 4.1.1 DESCRIÇÃO CONSTRUTIVA DO PROJETO DO RESTAURANTE

Anteriormente, já foi realizado o cálculo chegando-se ao nível de proteção nível II, tal qual o projetado para essa edificação. A instalação do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas é composta pelo método da Gaiola de Faraday com captores de Franklin, sendo usado do último subsistema de captação por ter se configurado mais viável, pelas instalações que se apresentam acima do telhado e a

dimensão da construção. A conceituação da quantidade e os locais da instalação dos captadores de Franklin é verificada na utilização do método da esfera rolante, de acordo com o projeto de captação no qual é possível observar a integral proteção da construção.

O subsistema de captação é composto de 3 captadores de Franklin de 3,25 metros e 7 mini-captadores de 25 centímetros. Os cabos de alumínio são presos nas telhas através de presilhas e os captadores com conectores universais através de rebites. A empresa montadora pode efetuar a permuta dos rebites por parafusos, se entender cabível. É composto por alumínio o cabo utilizado no subsistema de captação tendo sua seção transversal de 70 mm<sup>2</sup>.

O Projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, ou seja, os condutores de descidas são todas protegidas por tubos de PVC. Os cabos denominados de descida devem ser presos e tubos devem protegê-los a partir de 2,5 metros de altura do solo. Assim, verifica-se que cada cabo de descida deve conter um tubo de PVC de 2,5 metros de altura em relação ao solo. O cabo usado para o subsistema de descida é de cobre, tendo como sua dimensão transversal de 16 mm<sup>2</sup>.

De acordo com o nível de proteção de nível II, os espaçamentos de descidas serão de 15 metros entre uma descida e outra.

O cabo de cobre de 50 mm<sup>2</sup> foi utilizado nas malhas de aterramento, sendo o mesmo enterrado com uma profundidade de 50 centímetros e foram ainda usadas 16 hastes de 14,3 mm x 2,4 mm para cada condutor de descida.

Importante salientar que todos os cabos utilizados devem ser presos sejam os que compõem o sistema de captação como de descida. Os condutores devem ser presos em uma distância máxima de 1 metro para condutores que estão na horizontal e de 1,5 metros para condutores posicionados na vertical ou inclinado. Assim, de acordo com tal entendimento depreende-se que os condutores posicionados na vertical ou inclinados devem ser fixados a cada 1,5 metros e os que estão posicionados na horizontal a cada 1 metro. Tal distância é estipulada pela Norma 5419 e é prevista tanto para condutores rígidos como flexíveis.

Assim, o explanado acima pode ser confirmado pelo Quadro 5:

Quadro 5 : Matérias usados para a implantação do SPDA NBR 5419/05

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	PARA-RAIOS 01 DESC.LAT.CROM250MM	3	R\$ 67,85	R\$ 203,55
2	MASTRO ELETR .ACO GF 3M X 1.1/2	3	R\$ 74,00	R\$ 222,00
3	APOIO PARA PORTA-BANDEIRA	3	R\$ 46,87	R\$ 140,61
4	ABRACAD.SIMPLES PORTA- BAND.1./2	9	R\$ 18,74	R\$ 168,66
5	CB ALUMINIO NU S/ALMA 2/0 ASTER	297	R\$ 5,35	R\$ 1.588,95
6	ELETRODUTO TIGRE PVC 1X3M	13	R\$ 13,44	R\$ 174,72
7	ABRACADEIRA PVC TIPO COLAR 1	52	R\$ 1,82	R\$ 94,64
8	CB COBRE NU 50MM2 7FX3MM NBR6524	231	R\$ 20,79	R\$ 4.802,49
9	HAST AC. 14,3MM(5/8)X2,4M-ABNT	16	R\$ 48,16	R\$ 770,56
10	CAIXA INSP.POLIP.S/TAMPA 300/400 MM	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00
11	TAMPA FF 300MM ABA LARGA MAX 200KG	16	R\$ 36,61	R\$ 585,76
12	MINICAPTOR DIAM. NOM. 10MM	7	R\$ 4,45	R\$ 31,15
13	CB COBRE NU 16 MM <sup>2</sup>	69	R\$ 5,30	R\$ 365,70
			Total	R\$ 9.468,79

Fonte: o autor

Diante o quadro 5, verifica-se que o total de valores gastos nos materiais e quantidades exigidos pela antiga norma totalizaram em R\$ 9.468,79. Importante salientar que foram incluídos apenas os materiais mais importantes, não sendo abarcados os menos relevantes. Este valor não foi calculado a execução da mão de obra utilizada para a instalação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

## **4.2 PROJETO CONFORME NBR 5419:15**

### **4.2.1 ANÁLISE DE RISCO DO RESTAURANTE**

De acordo com a determinação da nova norma NBR 5419 há obrigatoriedade de se fazer o cálculo da análise de risco, aonde se envolve várias incógnitas a ser calculadas, conforme capítulo anterior.

Foi elaborado um gerenciamento de riscos, que se inicia com a coleta de dados. Depois de coletados os dados, é imprescindível realizar cálculos variados com o objetivo de se determinar e avaliar os riscos. No ato de elaboração dos cálculos do refeitório conclui-se que o risco para a vida humana é igual a  $3,184 \times 10^{-5}$ . A NBR 5419 permite como risco máximo  $1 \times 10^{-5}$ . As medidas que foram projetadas para adaptar o refeitório foi através da confecção de um projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, nível III, com DPS, classe I. Foi feito o gerenciamento de risco com tais duas medidas projetadas e chegou-se a um resultado de risco de vida humana igual a  $0,064 \times 10^{-5}$ , valor este estando dentro dos parâmetros da NBR 5419.

### **4.2.2 DESCRIÇÃO CONSTRUTIVA DO PROJETO DO RESTAURANTE**

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas para a edificação estudada pertence ao nível III, com DPS classe I ( 25 kA ensaiado na curva 10/350 us, 175 V).

A implementação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é composto pelo método da Gaiola de Faraday com captores de Franklin. A utilização do subsistema de captação se configurou mais viável pelas instalações presentes acima do telhado e a dimensão da edificação observada.

A conceituação da quantidade e os locais em que estão instalados os captores de Franklin são verificados na implantação do método da esfera rolante, de acordo com o projeto de captação, no qual é admissível analisar a integral proteção da construção. O subsistema de captação é composto por 3 captores Franklin, com 3,25 metros e 7 mini-captadores de 25 centímetros. Os cabos de alumínio são presos nas telhas através de presilhas. Os captores são fixados com conectores universais com uso de rebites. A empresa responsável pela montagem pode efetuar a permuta de rebites por parafusos, se

entender como providência pertinente. O cabo disposto para o subsistema de captação é de alumínio, tendo a secção transversal de 70 mm<sup>2</sup>.

No Projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, a condução de suas descidas são protegidas por tubos de PVC. Os cabos de descida devem ser devidamente presos e tubos devem ser protegidos a partir de 3 metros de altura do solo, devendo assim, cada cabo conter um tubo de PVC de 3 metros de altura com relação ao solo. O cabo usado para o subsistema de descida é de cobre, sendo sua secção transversal de 35 mm<sup>2</sup>. De acordo com o nível de proteção a que se chegou verificou-se o nível III. As descidas são espaçadas de 15 metros uma da outra.

Nas malhas de aterramento foram utilizados cabos compostos de cobre de 50 mm<sup>2</sup>, enterrados com 50 centímetros de profundidade. Foram utilizadas 16 hastes de 14,3 mm x 2,4 m para cada perímetro conforme determinação da NBR 5419-15.

Todos os cabos devem ser presos, tanto os de captação como de descida. Os condutores devem ser presos com uma distância de no máximo 1 metro para condutores posicionados na horizontal e de 1,5 para condutores posicionados na vertical ou inclinado. Assim, verifica-se que condutores que estão posicionados na vertical ou inclinados, devem ser presos a cada 1,5 e os posicionados na horizontal a cada um metro. A distância é determinada pela NBR 5419 e é exigida tanto para condutores flexíveis como para os condutores rígidos. Nos lugares onde a malha de aterramento está localizada é importante que seja implantada uma placa que faça a advertência orientando pela não permanência de pessoas em dias de chuva.

Segue o Quadro 6 elaborada no tópico anterior com relação aos valores e quantidades de materiais obtida pela norma:



Quadro 6 : Materiais usados para a implantação do SPDA NBR 5419/15

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	PARA-RAIOS 01 DESC.LAT.CROM250MM	6	R\$ 67,85	R\$ 203,55
2	MASTRO ELETR .ACO GF 3M X 1.1/2	3	R\$ 74,00	R\$ 222,00
3	APOIO PARA PORTA-BANDEIRA	3	R\$ 46,87	R\$ 140,61
4	ABRACAD.SIMPLES PORTA- BAND.1./2	9	R\$ 18,74	R\$ 168,66
5	CB ALUMINIO NU S/ALMA 2/0 ASTER	227	R\$ 5,35	R\$ 1214,45
6	ELETRODUTO TIGRE PVC 1X3M	13	R\$ 13,44	R\$ 174,72
7	ABRACADEIRA PVC TIPO COLAR 1	52	R\$ 1,82	R\$ 94,64
8	CB COBRE NU 50MM <sup>2</sup> 7FX3MM NBR6524	231	R\$ 20,79	R\$ 4.802,49
9	HAST AC. 14,3MM(5/8)X2,4M- ABNT	16	R\$ 48,16	R\$ 770,56
10	CX.INSP.POLIP.S/TAMPA 300/400MM	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00
11	TAMPA FF 300MM ABA LARGA MAX 200KG	16	R\$ 36,61	R\$ 585,76
12	MINICAPTOR DIAM. NOM. 10MM	7	R\$ 4,45	R\$ 31,15
13	CB COBRE NU 35 MM <sup>2</sup> NBR 6524	69	R\$ 12,50	R\$ 862,50
			Total	R\$ 9.591,09

Fonte: o autor

Contudo, importante salientar que o projeto é o mesmo, mas com a mudança na norma houve a alteração das medidas dos níveis de proteção são diferentes as medidas, houve alguns materiais utilizados que eram diversos, com isso houve alteração de preço de uma norma para outra, que será melhor abordada adiante.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos quadros 5 e 6 que se foram construídas referente aos materiais gastos para a implantação de um sistema de proteção contra descarga atmosférica em uma estrutura fictícia que se foi determinada como todo de restaurante, o valor entre as duas tabelas que se refere as diferenças entre as duas normas foi diverso.

Apesar dos níveis de proteção ter resultados diferentes na norma antiga resultou nível II e na norma nova nível III. O material utilizado para montar a malha da gaiola de Faraday, é o cabo de alumínio, tamanho da malha é diverso, sendo na norma antiga de 297 m, e na norma atual é de alumínio de 227 m. Os condutores de descidas têm o mesmo espaçamento, com isso terá o mesmo número de captores, mesma quantidade de cano PVC, a mesma quantidade de haste, como a estrutura é a mesma para a comparação entre as duas normas, a quantidade de cabos também será a mesma, mas a bitola em relação a norma anterior é de 16 mm<sup>2</sup>, e na atual é de 35mm<sup>2</sup>.

Se a estrutura acaso possuísse dimensões superiores de 20 metros, verificar-se-ia a diferença dos anéis que são utilizados na horizontal que na norma antiga fala que a cada vinte metros deve ser colocado o anel na horizontal, já na norma nova segue a tabela que o anel se muda conforme os condutores de descida, como esta estrutura verificou classe de proteção III deve ser colocado a cada 15 metros de altura.

Pode ser observado, com a elaboração do presente estudo comparativo que o novo método para calcular o gerenciamento de risco feito pela norma nova ficou mais complexo. Ainda pode haver uma aumento no nível de proteção se as estruturas tiverem placas indicativas tais como: placa de extintor de incêndio, placa de alta tensão, placa de perigo, a classe de proteção pode cair para classe IV onde fica mais viável colocar as placar ao invés de fazer a instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas no nível anterior. Deve ser destacado que na norma antiga não tinha essa possibilidade.

## 6 CONCLUSÃO

Após a elaboração do presente trabalho, chegou-se ao entendimento de algumas questões. As principais seguem abaixo para finalizar o estudo.

O trabalho foi elaborado visando elaborar uma comparação de custo entre a NBR 5419/05 e NBR 5419/15.

Verificou-se ao longo do presente trabalho que o Brasil é um país que possui elevados índices de descargas atmosféricas. As descargas atmosféricas são fenômenos que não podem ser evitados pela ação humana. Assim, para minimizar seus efeitos há a necessidade de se implementar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Para que um sistema de proteção contra descargas atmosféricas seja implementado, há a necessidade de uma norma para que sejam determinadas as exigências do sistema.

Ocorre que a NBR 5419/05, estava desatualizada e em 2015, entra em vigor a NBR 5419/15.

Com relação aos tipos de métodos, podem ser elencadas as seguintes mudanças: no método de Franklin na norma antiga os ângulos eram obtidos através de tabelas, os ângulos eram fixos e com a edição da nova norma e através de um gráfico onde os ângulos são variáveis em relação ao nível de proteção, no método eletrogeométrico não houve qualquer alteração, no método Gaiola de Faraday foi modificado o tamanho da malha, o número de espaçamento também foi alterado, foi acrescentado o novo tipo de proteção contra surto.

Foi elaborado um estudo comparativo com relação a questão financeira entre as duas normas, em projeto de um restaurante, que o estudo foi realizados com os mesmos materiais e as mesmas dimensões.

Foi verificado os níveis de proteção diferentes o que refletiu em aumento no custo dos materiais, que obteve alteração com a edição da NBR 5419/15. Assim pode ser observado que com relação a questão financeira obteve-se uma diferença de R\$ 122,30, com relação a norma em vigor, que pode ser denotada pela exigência de utilização do cabo de cobre de 35 mm<sup>2</sup>, e na norma anterior era empregado o mesmo cabo de cobre, de 16mm<sup>2</sup>. A alteração de valores também deve-se a diferença de tamanhos das malhas, sendo a atual de 15x15, e da norma antiga 10x20.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5419/05. Disponível em: [https://docente.ifsc.edu.br/felipe.camargo/materialDidatico/ELETRO%203%20-%20ELETROT%C3%89CNICA/NBR/Nbr\\_5419\\_-\\_Abnt\\_-\\_Protecao\\_De\\_Estrutu\\_ras\\_Contra\\_Descargas\\_Atmosfericas.pdf](https://docente.ifsc.edu.br/felipe.camargo/materialDidatico/ELETRO%203%20-%20ELETROT%C3%89CNICA/NBR/Nbr_5419_-_Abnt_-_Protecao_De_Estrutu_ras_Contra_Descargas_Atmosfericas.pdf). Acesso em: 17 de novembro de 2017, às 17h35min.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5419/15. Disponível em: <http://portalcetec.net.br/wp-content/uploads/2015/03/Nova-NBR-5419.pdf>. Acesso em: 17 de novembro de 2017, às 17h38min.

ARAÚJO, Marcel Ayres. Projeto de um sistema de proteção contra descargas atmosférica para uma linha de transmissão de 69 kv, 2010. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-18112011-093114/?&lang=br>. Acesso em: 10 mai 2017.

BOHN, Adolar Ricardo. Projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, 2016. Disponível em: <http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/projetoSPDA.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2017.

BORTOLATO, Wuallyson Wuilton. Estudo comparativo das alterações da Norma NBR 5419, avaliação e estudo de gerenciamento de risco. Disponível em: [http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016\\_WuallysonWuiltonBortolato.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_WuallysonWuiltonBortolato.pdf). Acesso em : 31 de outubro de 2017, às 15h20min.

BURATTO, Fábio Sawada. Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação, 2011. Disponível em: [http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2011\\_FabioSawada.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2011_FabioSawada.pdf). Acesso em: 01 maio 2017.

BRASIL, República Federativa do. NBR 5419/01. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, 2001. Disponível em: <http://www.comservicefire.com.br/docs/Para-raios/NBR%205419%20-%20Para-raios.pdf>. Acesso em: 28 abr 2017.

COELHO, Guilherme Hoffmann Leão. Estudo sobre sistema de proteção contra descargas atmosféricas em plantas petroquímicas em situação de manutenção: análise de risco, ano. Disponível em: <http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/81M.PDF>. Acesso em: 05 maio 2017.

FERGUTZ, Marcos. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA. NBR 5419/05, 2015. Disponível em: [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fergutz/materiais/spda\\_v5\\_15.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fergutz/materiais/spda_v5_15.pdf). Acesso em: 24 abr 2017.

FUJITA, Luiz. Como se formam os raios., 2009. Disponível em: <http://mundoestranho.abril.com.br/ambiente/como-se-formam-os-raios/>. Acesso em: 26 abr. 2017.

GONÇALVES JÚNIOR, Francisco. Nova norma 5419: você está preparado?, 2015. Disponível em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/wp-content/uploads/2015/08/nova-norma-spda.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2017.

HENRIQUES, Marcos Ejczis. Estudo de caso: avaliação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3796/1/CT\\_CEEEST\\_XXIX\\_2015\\_23.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3796/1/CT_CEEEST_XXIX_2015_23.pdf)>. Acesso em: 08 maio 2017.

KNEBEL, Almiro José. Sistema de proteção de descargas atmosféricas - SPDA, 2001 Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAC7kAK/sistema-protecao-descarga-atmosferica-spda?part=2>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

LEITE, Duílio Moreira; LEITE, Carlos Moreira. Proteção contra descargas atmosféricas. 5.ed. São Paulo: Editora Officina de Mydia, 2001.

LIMA, Gabriel Porto Cioff de. Protegendo edificações de descargas atmosféricas através de para raios, 2011. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2081.pdf>>. Acesso em: 09 mai 2017.

MOURA, Grazielle Carvalho; DIAS, Júnio Guedes. A evolução dos para raios, 2016. Disponível em: <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a110.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a110.pdf)>. Acesso em: 25 abr 2017.

SANTINI, Rodrigo Quintanilha. Comparação entre a ABNT NBR 5419 do ano de 2005 e 2015 e aplicação em projeto. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/157812/001020921.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 de outubro de 2017, às 19h44min.

SANTOS, Douglas Caetano dos. Automatização do cálculo e da análise de risco da norma ABNT NBR 5419:2015. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169316/001049563.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017, às 17h37min.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. Raios, 2016. Disponível em <<http://brasilescola.uol.com.br/fisica/raios.htm>>. Acesso em: 26 abr 2017.

SOUSA, Rogério. Proteção contra descargas atmosféricas, 2012. Disponível em: <<http://fisica.icen.ufpa.br/aplicada/protec.htm>>. Acesso em: 24 abr 2017.

SOUZA, André Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo; BARROS, Benjamin Ferreira de. SPDA - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas: Teoria, prática e legislação. São Paulo: Ed. Érica, 2012.

STÉFANI, Rodrigo Verardino de. Metodologia de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício, 2011. Disponível em: <[www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/.../Stefani\\_Rodrigo\\_Verardino\\_de.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/.../Stefani_Rodrigo_Verardino_de.pdf)>. Acesso em: 28 abr 2017.

VISACRO FILHO, Silvério. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/nj729ladygkzpev/Descargas%20Atmosf%C3%A9ricas%20-%20Uma%20Abordagem%20de%20Engenharia%20-%20Silverio.pdf?dl=0>. Acesso em: 10 de dezembro de 2017, às 12h53min.