

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

RAUL MINUCCI NETO

**ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA NORMA NBR 5419:2015 EM UMA
INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL
DO PARANÁ – CORNÉLIO PROCÓPIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

RAUL MINUCCI NETO

**ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA NORMA NBR 5419:2015 EM UMA
INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL
DO PARANÁ – CORNÉLIO PROCÓPIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Raul Minucci Neto

ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA NORMA NBR5419:2015 EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CORNÉLIO PROCÓPIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 09/10/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Márcio Mendonça - (Membro)

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiaram e acreditaram,
tornando este momento possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges, pela sabedoria com que me orientou nesta trajetória.

Aos meus colegas de faculdade.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento e minha gratidão à minha família. Angela Aparecida da Silva Minucci (mãe), Raul Minucci Junior (pai) e Amanda da Silva Minucci (irmã), pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.”
Winston Churchil

RESUMO

NETO, Raul M. **Estudo de caso na aplicação da norma NBR 5419:2015 em uma instituição pública de ensino, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio**. 2020. 117 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

Descargas atmosféricas são eventos imprevisíveis que possuem um efeito destrutivo elevado. Uma descarga atmosférica pode ocorrer entre nuvens, ou entre nuvem e terra. Atingindo a terra uma descarga atmosférica pode causar danos, assim gerando perdas de vida humana, patrimônio cultural, serviço público e econômico. Para mitigar os efeitos das descargas atmosféricas sobre as estruturas, foram desenvolvidos métodos para avaliar a necessidade de realizar uma proteção contra esses eventos e as medidas utilizadas para realizar essa proteção. No Brasil essas medidas e métodos são normalizados pela ABNT NBR 5419, que em 2015 passou por uma grande atualização em seu texto base, apresentando novos conceitos para proteção e um novo método para se determinar a necessidade ou não de se realizar a proteção, chamado gerenciamento de risco. A avaliação da necessidade ou não de se realizar a proteção se tornou mais completa, se igualando a normas internacionais, assim trazendo mais variáveis a serem analisadas. Este trabalho tem como objetivo apresentar as principais atualizações entre a versão vigente da NBR 5419 (2015) e sua versão anterior (2005), assim como apresentar um estudo teórico do processo realizado para desenvolver o gerenciamento de risco. Concluindo o trabalho é desenvolvida uma ferramenta utilizando Visual Basic for Applications (VBA) aplicada ao software Excel, para facilitar a realização do gerenciamento de risco. Após uma inspeção fotográfica para constatar a conformidade do sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado, é realizado um estudo de caso aplicando a planilha desenvolvida reforçando a importância do gerenciamento de risco e garantindo a estrutura analisada níveis de risco de perdas próximo a zero.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. NBR 5419. Gerenciamento de risco.

ABSTRACT

NETO, Raul M. **Case study in the application of the NBR 5419: 2015 standard at the public educational institution of the Federal Technological University of Paraná - Cornélio Procópio.** 2020. 117 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

Lightning strikes are unpredictable events that have a high destructive effect. A lightning strike can occur between clouds, or between cloud and land. Hitting the earth with an atmospheric discharge can cause damage, thus generating losses of human life, cultural heritage, public and economic service. To mitigate the effects of lightning strikes on structures, methods have been developed to assess the need for protection against these events and the measures used to carry out this protection. In Brazil, these measures and methods are standardized by ABNT NBR 5419, which in 2015 underwent a major update in its base text (currently in force) presenting new concepts for protection and a new method to determine the need or not to perform the procedure. protection, called risk management. The need or not to carry out the protection has become more complete, equaling international standards, thus bringing more variables to be analyzed. This paper aims to present the main updates between the current version of NBR 5419 and its previous version (2005), as well as to present a theoretical study of the process carried out to develop risk management. Concluding the work, a tool is developed using VBA applied to the Excel software, to facilitate risk management, and so with a case study using the developed spreadsheet, the importance of the new method of assessing the need or not to develop is reinforced. a lightning protection system.

Keywords: Atmospheric discharges. NBR 5419. Risk management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparativo NBR 5419:2005 E 5419:2015.....	28
Tabela 2	Posicionamento de captadores conforme o NP NBR 5419:2005.....	32
Tabela 3	Área da malha de Faraday ABNT NBR 5419:2005 e 5419:2015...	34
Tabela 4	Valores típicos de distância entre os condutores de descida.....	34
Tabela 5	Componentes de risco para cada tipo de perda.....	40
Tabela 6	Valores típicos de risco tolerável R_T	41
Tabela 7	Fator de localização da estrutura c_D	47
Tabela 8	Fator tipo de linha C_T	48
Tabela 9	Fator de instalação da linha C_I	49
Tabela 10	Fator ambiental da linha C_E	49
Tabela 11	Valores de probabilidade P_{TA}	50
Tabela 12	Valores de probabilidade P_B	50
Tabela 13	Valores de probabilidade P_{SPD}	51
Tabela 14	Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI}	51
Tabela 15	Valores do fator K_{S3}	53
Tabela 16	Valores da probabilidade P_{TU}	54
Tabela 17	Probabilidade P_{EB} em função do NP.....	54
Tabela 18	Valores da probabilidade P_{LD}	55
Tabela 19	Valores da probabilidade P_{LI}	57
Tabela 20	Tipo de perda L_1	58
Tabela 21	Tipo de perda L_1 : Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	59
Tabela 22	Fator de redução r_t	59
Tabela 23	Fator de redução r_p	60
Tabela 24	Fator de redução r_f	60
Tabela 25	Fator h_Z	60
Tabela 26	Tipo de perda L_2	61
Tabela 27	Tipo de perda L_2 : valores médios típicos de L_F e L_O	62
Tabela 28	Tipo de perda L_3	62
Tabela 29	Tipo de perda L_3 : valores médios típicos de L_F	63
Tabela 30	Valor relevante a zona.....	63

Tabela 31	Tipo de perda L_4	64
Tabela 32	Tipo de perda L_4 – Valores médios típicos de L_T, L_F e L_O	65
Tabela 33	Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas....	80
Tabela 34	Características Ambientais e Globais Bloco P.....	92
Tabela 35	Bloco P: linha de energia.....	93
Tabela 36	Bloco P: linha de sinal.....	94
Tabela 37	Bloco P: distribuição por zonas.....	95
Tabela 38	Bloco P: fatores válidos para zona Z_1	95
Tabela 39	Bloco P: fatores válidos para zona Z_2	96
Tabela 40	Características Ambientais e Globais Blocos G, H e I.....	100
Tabela 41	Bloco G, H e I: linha de energia.....	101
Tabela 42	Bloco P: linha de sinal.....	102
Tabela 43	Blocos G, H e I: distribuição por zonas.....	103
Tabela 44	Blocos G, H e I: fatores válidos para zona Z_1	104
Tabela 45	Blocos G, H e I: fatores válidos para zona Z_2	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Parâmetros de um impulso de corrente.....	20
Figura 2	Início da formação de um Raio.....	21
Figura 3	Pontos de incidência de descargas atmosféricas.....	24
Figura 4	Ângulos de proteção correspondente à classe e altura do SPDA...	33
Figura 5	Exemplos de classificação das estruturas NBR 5419:2015.....	37
Figura 6	Área de exposição equivalente de uma estrutura isolada.....	46
Figura 7	Características Ambientais e Globais da Estrutura.....	68
Figura 8	Linhas de Energia.....	70
Figura 9	Linhas de Sinal.....	70
Figura 10	Cadastramento de Zonas.....	72
Figura 11	Identificação dos Riscos de cada Zona.....	73
Figura 12	Análise Final.....	74
Figura 13	Exemplo Macro.....	75
Figura 14	Setorização UTFPR - CP.....	77
Figura 15	Vista Oeste Bloco P.....	78
Figura 16	Blocos G, H e I.....	79
Figura 17	Captor e Mastro (Bloco P).....	82
Figura 18	Projeto do Captor e Mastro (Bloco P).....	82
Figura 19	Conexão entre telhado metálico e anel superior.....	83
Figura 20	Descida 1 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 21	Descida 2 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 22	Descida 3 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 23	Descida 4 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 24	Descida 5 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 25	Descida 6 de cabo de cobre nu.....	84
Figura 26	Descida 7 de cabo de cobre nu.....	85
Figura 27	Descida 8 de cabo de cobre nu.....	85
Figura 28	Descida 9 de cabo de cobre nu.....	85
Figura 29	Descida 10 de cabo de cobre nu.....	85
Figura 30	Conexão cabo/haste.....	86
Figura 31	Anel superior, malha de Faraday e descidas (Bloco P).....	87

Figura 32	Caixa de inspeção 1.....	88
Figura 33	Caixa de inspeção 2.....	88
Figura 34	Caixa de inspeção 3.....	88
Figura 35	Caixa de inspeção 4.....	88
Figura 36	Caixa de inspeção 5.....	89
Figura 37	Caixa de inspeção 6.....	89
Figura 38	Rampa de acesso (Bloco P).....	90
Figura 39	Vista lateral Bloco P (vista oeste).....	91
Figura 40	Análise Final Bloco P.....	97
Figura 41	Vista Frontal Blocos G, H e I – Vão central e zona 1.....	99
Figura 42	Vista lateral Blocos G, H e I – Rampas de acesso e zona 2.....	99
Figura 43	Análise Final Blocos G, H e I – Sem medidas protetivas.....	106
Figura 44	Análise Final Blocos G, H e I – Com medidas protetivas.....	109

SUMARIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE TABELAS	9
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Problematização	18
1.2 Justificativa	19
1.3.1 Objetivos Específicos	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Descargas atmosféricas	21
2.1.1 Tensões induzidas	23
2.2 Danos associados a descargas atmosféricas nuvem-solo	23
2.2.1 Descargas diretas	23
2.2.2 Descargas indiretas	24
2.3 Conceitos gerais NBR 5419	25
2.4 Proteção contra descargas atmosféricas (PDA)	26
2.4.1 SPDA	26
2.4.1.1 Sistema externo	26
2.4.1.2 Sistema interno	27
2.4.3 Equipotencialização	28
3 Atualização da NBR 5419	29
3.1 Comparação entre os textos normativos NBR 5419 de 2005 e 2015	29
3.1.1 Escopo dos textos normativos	29
3.1.2. Análise e gerenciamento de risco	30
3.1.3 Métodos utilizados para realização da proteção	33

3.1.3.1 Método de Franklin	33
3.1.3.2 Modelo eletrogeométrico (esfera rolante)	34
3.1.3.3 Método da gaiola de Faraday.....	34
3.1.3.4 Subsistemas de captação, descida e aterramento – Condutores	35
4 GERENCIAMENTO DE RISCO ABNT NBR 5419:2015	37
4.1 Fonte de danos, tipos de danos e perdas consequentes	37
4.2 Riscos e componentes	38
4.2.1 Risco tolerável.....	41
4.2.2 Componentes de risco	43
4.3 Análise do número anual N de eventos perigosos	46
4.4 Avaliação da probabilidade PX de danos	51
4.5 Análise da quantidade de perda LX.....	58
4.6 Avaliação dos custos das perdas.....	66
5 FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE APOIO.....	68
5.1 Estrutura da Ferramenta	68
5.1.1 Primeira Interface	68
5.1.2 Segunda e Terceira Interface.....	70
5.1.3 Quarta Interface	71
5.1.4 Quinta Interface.....	74
5.1.5 Sexta Interface	74
5.1.6 Cálculos	76
6 ESTUDO DE CASO.....	77
6.1 Análise de conformidade Bloco P	81
6.1.1 Subsistema de captação	82
6.1.2 Subsistema de descida	84
6.1.3 Conexões e Eletrodos de Aterramento.	89
6.2 Análise de Gerenciamento de Risco	91

6.2.1 Gerenciamento de Ricos: Bloco P	92
6.2.1 Gerenciamento de Ricos: Blocos G, H, I.....	99
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
ANEXO A	117

1 INTRODUÇÃO

Descargas atmosféricas são fenômenos naturais que podem ser definidos como descargas elétricas, as quais surgem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, com ocorrência entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016), por ano o território brasileiro é atingido por cerca de 50 milhões de raios, que acertam em média 500 pessoas e inúmeras edificações ou linhas de distribuição que adentram na estrutura, causando danos e gerando perdas de serviço público, de patrimônio cultural, de valor econômico e de vidas humanas.

Ainda que seja um evento imprevisível, é possível adotar medidas para amenizar ou evitar os possíveis danos e perdas geradas pelas descargas atmosféricas. A utilização de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), equipotencialização e dispositivos de proteção contra surtos (DPS) devem ser adotados para mitigar os efeitos dessas descargas.

Para garantir eficácia e realizar a padronização de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, o Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) adotou métodos de análise para avaliar a necessidade da implantação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas e as medidas que deverão ser adotadas para realizar essa proteção.

Os métodos e medidas adotadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT-NBR) estão presentes na norma nacional regulamentadora NBR 5419 e objetivando tornar mais abrangente a norma regulamentadora, foi realizada atualizações em seu texto base. Após a atualização ocorrida em maio de 2015 foram constatadas importantes mudanças em relação a sua versão anterior.

Dentre as mudanças a que mais causa impacto na avaliação e determinação do SPDA é a análise de riscos de ocorrência de um evento perigoso que podem causar perdas de vida humana, estrutural e econômica. Além do método de gerenciamento de riscos, que determina se uma edificação está realmente protegida, se existe necessidade de proteção, os benefícios econômicos da instalação de medidas de proteção e a escolha das medidas adequadas para realizar a proteção, a atualização apresenta o conceito de Proteção contra

Descargas Atmosféricas (PDA), que se trata da junção do SPDA e das medidas de proteção contra surtos.

O trabalho desenvolvido está fundamentado na norma ABNT NBR 5419, norma nacional vigente responsável por regulamentar a proteção contra descargas atmosféricas. O estudo realizado consiste em apresentar as alterações existentes entre a norma NBR 5419:2005 e a sua atualização norma NBR 5419:2015, e expor a metodologia utilizada para realização do Gerenciamento de Risco.

Na conclusão do trabalho além da explanação das alterações existente entre os textos normativos e da demonstração da metodologia utilizada para realizar o gerenciamento de risco, é desenvolvida uma ferramenta computacional utilizando a linguagem Virtual Basic for Applications (VBA), aplicada ao software Excel. Esta ferramenta trata-se de uma planilha desenvolvida para facilitar a realização do gerenciamento de risco devido ao grande número de fatores a serem ponderados (110 parâmetros, entre dados de entrada e cálculos), e suprir uma necessidade de mercado, apresentando um custo menor do que mecanismos existentes para realização do gerenciamento de risco.

Auxiliado pela ferramenta desenvolvida, um estudo de caso é realizado analisando duas estruturas distintas. A primeira análise em uma estrutura já protegida, em seguida analisara-se uma estrutura sem PDA. Através do gerenciamento de risco será analisada a eficiência de um sistema de proteção projetado seguindo parâmetros da versão da NBR 5419:2005 em relação as exigências presentes na versão atualizada em 2015, desde modo garantindo a estrutura valores aceitáveis de uma provável perda média anual (vida e bens) devido às descargas atmosféricas, assim como determinar se a estrutura sem PDA necessita ou não de medidas de proteção. O foco do estudo é facilitar a execução do gerenciamento de risco, proporcionando as estruturas valores de risco de ocorrência de perdas a um valor aceitável de acordo com diretrizes presentes na NBR 5419:2015.

Para constatar a conformidade do SPDA projetado e executado na estrutura protegida, em relação à norma vigente durante sua elaboração, e assim proporcionar um gerenciamento de risco mais preciso, é realizada uma análise fotográfica sobre as condições do SPDA instalado, analisando os componentes dos subsistemas de captação, descida e aterramento.

1.1 Problematização

As descargas atmosféricas podem causar danos, provocando perdas e falhas a própria estrutura e também a seus ocupantes e conteúdo, incluindo falhas nos sistemas internos que podem se estender também as estruturas vizinhas.

A extensão dos danos depende de sua fonte (descarga atmosférica direta ou indireta) e das características da construção como: o material utilizado na estrutura (alvenaria, madeira, concreto armado), função (residência, escritório, comércio, rural, teatro, hotel, escola, hospital, museu, igreja, prisão, shopping center, banco, fábrica, área industrial, áreas de práticas esportivas), ocupantes e conteúdo (pessoas, animais, sistemas elétricos e eletrônicos), linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram na estrutura, medidas de proteção existentes e dimensão do risco (estrutura com dificuldade de evacuação ou estrutura na qual pode haver pânico).

Deste modo, pode-se compreender que as descargas atmosféricas são eventos imprevisíveis. Porém, seus efeitos podem ser anulados ou minimizados com a utilização de proteção contra descargas atmosféricas e medidas de proteção contra surtos. A necessidade de proteção e as medidas adotadas para realizar a proteção é determinada pelo gerenciamento de risco, método presente na NBR 5419 após sua atualização, que define a fonte e o tipo do dano como fatores relevantes para a análise de risco.

As estruturas utilizadas para realização do estudo de caso tratam-se de blocos compostos por salas de aulas localizada em uma instituição pública de ensino, UTFPR – Cornélio Procópio, lugar em que se encontram instalados equipamentos eletrônicos de grande valor econômico agregado, que possuem sensibilidade aos efeitos gerados por descargas atmosféricas, e apresentam grande aglomeração de pessoas, proporcionando uma análise de risco em condições extremas.

1.2 Justificativa

Em maio de 2015 a norma regulamentadora NBR 5419 passou por grande atualização em seu texto base, tornando-a mais abrangente e eficaz na redução dos riscos associados a descargas atmosféricas.

Após a sua atualização foi constatado a ausência de bibliografias que evidenciem tais mudanças, ou seja, mecanismos que facilitem a realização do gerenciamento de riscos e que possibilitem um fácil entendimento do que deverá ser alterado em um projeto realizado de acordo com a norma vigente até julho de 2015.

Desta forma, apresenta-se viável e imprescindível o desenvolvimento de uma rotina para cálculo de gerenciamento de risco e um estudo que evidencie as mudanças ocorridas na norma referente ao SPDA. Além de contribuir para um fácil entendimento das alterações a serem realizadas, o estudo de caso atendera uma necessidade real da instituição pública de ensino, onde os riscos de eventos perigosos relacionados a perdas e danos devem ser próximos a zero.

1.3 Objetivos

O trabalho elaborado busca apresentar e comparar as principais alterações ocorridas na atualização da norma NBR 5419:2015 em relação a sua versão anterior (5419:2005), com enfoque na avaliação de gerenciamento de risco e desenvolvimento de uma rotina de cálculos para realização do gerenciamento de risco. Para evidenciar e possibilitar uma fácil compreensão da maior alteração ocorrida, será realizado um estudo de caso em parte de uma instituição pública, UTFPR-Cornélio Procópio.

1.3.1 Objetivos Específicos

Destacam-se os seguintes pontos do trabalho como objetivos específicos:

- Apresentar as alterações existentes entre a norma NBR 5419:2005 e a sua atualização norma NBR 5419:2015;
- Desenvolver um estudo teórico sobre o método de gerenciamento de risco, expondo o processo para realiza-lo;
- Elaborar uma ferramenta computacional que facilite a realização do gerenciamento de risco. O mecanismo consiste em uma planilha desenvolvida no software *Microsoft Excel* utilizando suas funções e também a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA);
- Evidenciar a importância do gerenciamento de risco através de um estudo de caso na UTFPR – Cornélio Procópio, utilizando a planilha desenvolvida, demonstrando sua aplicabilidade analisando uma estrutura protegida e uma não protegida.
- Identificar as medidas de proteção existentes na estrutura protegida em análise, bem como a conformidade do SPDA projetado e executado em relação a norma vigente durante sua elaboração, através de uma análise fotográfica, assim proporcionando um gerenciamento de risco mais preciso;
- Indicar possíveis medidas de proteção a serem adotadas pela edificação não protegida, e recomendar alterações na proteção presente na estrutura já protegida, caso identificar-se a necessidade através do gerenciamento de risco.

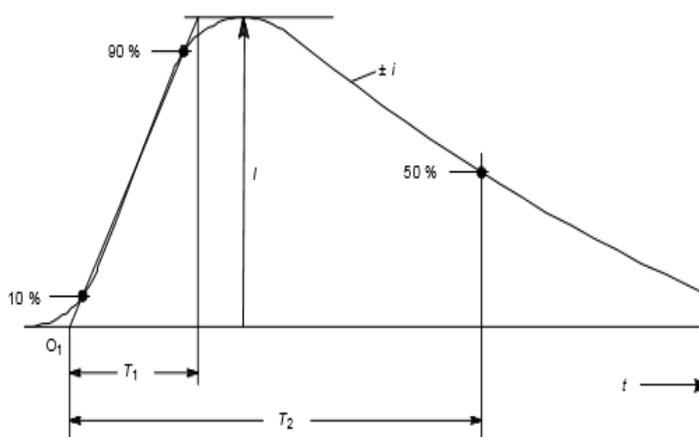
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica, visando aprofundar o conhecimento sobre o tema abordado neste trabalho, onde serão apresentados conceitos básicos sobre PDA, os riscos que uma descarga atmosférica oferece e qual a função da norma NBR 5419.

2.1 Descargas atmosféricas

Desde os primórdios as descargas atmosféricas vêm intrigando o homem devido seu poder destrutivo, desencadeando o desenvolvimento de muitas pesquisas com o intuito de se obter informações mais precisas das características desse evento. Segundo RINDAT (2016), descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (atingindo quilômetros de extensão), que se expressa pelo fluxo de uma corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração. De acordo com ABNT NBR 5419:2015 dentro desse curto período de duração, destacam-se três parâmetros, Figura (1): tempo de subida (tempo necessário para atingir o valor pico - T_1), valor de pico (valor máximo de corrente - I) e tempo de meia onda (tempo necessário para que se atinja a metade do valor de pico - T_2).

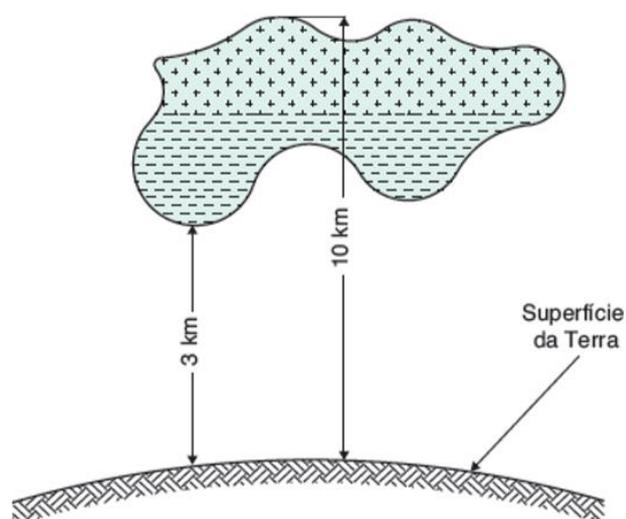
Figura 1: Parâmetros de um impulso de corrente.



Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419-1 (2015)

As descargas atmosféricas se formam especificamente em nuvens Cumulonimbus (nuvem caracterizada por um grande desenvolvimento vertical), a partir das cargas elétricas geradas pela fricção entre as partículas de água, que formam as nuvens. Verificou-se experimentalmente que na maioria dos fenômenos atmosféricos as cargas elétricas positivas ocupam a parte superior da nuvem, enquanto as cargas elétricas negativas se posicionam na parte inferior. Este evento gera uma intensa migração de carga elétrica positiva na superfície da terra para a área correspondente a localização da nuvem, como se pode observar na Figura (2) (MAMEDE 2011, p.605).

Figura 2: Início da formação de um Raio.



Fonte: Mamede (2017).

A concentração de cargas elétricas positivas e negativas em uma determinada região gera uma Diferença de Potencial (DDP). A DDP pode ocorrer entre nuvens, ou entre as nuvens e o solo. Como consequência deste fenômeno, passa a existir um campo elétrico que permeia todo o espaço envolvido. Quando o campo elétrico produzido pelas cargas excede a capacidade isolante do ar, também conhecida como rigidez dielétrica, (aproximadamente 1 kV/mm) em um dado local na atmosfera acontece a quebra dessa rigidez (MAMEDE, 2011, p.608), dando início a um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas, iniciando-se a formação de um canal ionizado de plasma, que é denominado canal precursor de descarga (líder descendente) (RINDAT, 2016).

2.1.1 Tensões induzidas

Ao atingir o solo as descargas atmosféricas produzem campos eletromagnéticos de grande intensidade que se irradiam pelo espaço produzindo picos de tensão e corrente. Esse fenômeno é gerado pela corrente que flui no canal ionizado constituído entre a nuvem e o solo.

Os campos eletromagnéticos gerados pela descarga atmosférica podem induzir correntes e sobretensões nas estruturas sob três formas de acoplamento: indutivo, capacitivo e resistivo, (NUNES. P, Fernando, 2016, p 15).

2.2 Danos associados a descargas atmosféricas nuvem-solo

O Brasil é líder mundial na incidência deste fenômeno, que provocou a morte de 1790 pessoas entre 2000 e 2014, como apresentam os dados do Ministério do Ambiente (2016). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016) a cada 50 mortes por raio no mundo, uma acontece no Brasil.

As descargas atmosféricas nuvem-solo podem ser divididas em dois tipos distintos de incidência: descargas diretas e indiretas, que acarretam danos gerando perdas.

2. 2.1 Descargas diretas

Eventos denominados descargas atmosféricas diretas ocorrem quando o canal principal (descendente ou ascendente) incide diretamente sobre a estrutura referência.

Os possíveis pontos de incidência direta de uma descarga atmosférica nuvem-solo (raio) em uma determinada estrutura é sobre a própria estrutura em análise ou sobre linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas que adentram a ela, Figura (3).

Ao incidir diretamente nas estruturas ou nas linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas, as descargas atmosféricas podem causar danos como: fogo ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica, danos as pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque e mau funcionamento de sistemas elétricos ou eletrônicos internos devido a pulsos eletromagnéticos gerados pela descarga. Os danos acarretados pela incidência direta geram perdas de vidas humanas, de serviço público e patrimônio cultural (ABNT NBR 5419-1, 2015).

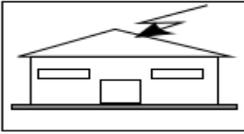
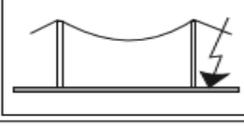
2.2.2 Descargas indiretas

Eventos denominados descargas atmosféricas indiretas ocorrem quando o canal principal (descendente ou ascendente) não incide diretamente sobre a estrutura referênciada. Os efeitos desse evento sobre seres vivos e estruturas são causados distantes do ponto de queda do raio.

Os possíveis pontos de incidência indireta da descarga atmosférica nuvem-solo (raio) em uma determinada estrutura são próximos à própria estrutura em análise ou próximos a linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas que adentram a ela, como ilustrado na Figura (3).

Ao incidir indiretamente nas estruturas ou em linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas, as descargas atmosféricas podem causar danos como: mau funcionamento de sistemas internos (cargas sensíveis), devido ao campo magnético e causar choques elétricos devido a tensões de toque e passo (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Figura 3: Pontos de incidência de descargas atmosféricas nuvem-solo.

Ponto de impacto	
Estrutura	
Nas proximidades de uma estrutura	
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica	

Fonte: ABNT NBR 54191-1 (2015, p 12).

2.3 Conceitos gerais NBR 5419

A norma NBR 5419 é responsável por normalizar os requisitos utilizados para a determinação da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas e as medidas adotadas para mitigar os efeitos gerados por ela.

Após 10 anos da sua última publicação em 2005, a norma NBR 5419 passou por uma grande atualização em seu conteúdo, com intuito de deixar a normatização mais abrangente e eficaz na redução dos riscos associados às descargas atmosféricas, apresentando os conceitos de proteção contra descargas atmosféricas (PDA – junção entre o SPDA, medidas de proteção contra surtos e equipotencialização) e o gerenciamento de risco (método responsável por determinar a necessidade da proteção, os benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção e a escolha das medidas adequadas para realizar a proteção).

ABNT NBR 5419 não se aplica a sistemas ferroviários, veículos, aviões, navios e plataformas offshore, tubulações subterrâneas de alta pressão, tubulações e linhas de energia e de sinais colocados fora da estrutura.

2.4 Proteção contra descargas atmosféricas (PDA)

Apresentado pela versão atual da norma NBR 5419, o conceito de proteção contra descargas atmosféricas (PDA) engloba o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e as medidas de proteção contra surto.

2.4.1 SPDA

Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem como finalidade proteger a edificação contra as descargas atmosféricas diretas, as quais podem comprometer a rigidez estrutural da edificação e até provocar incêndios. Tradicionalmente é dividido em sistema externo e sistema interno. (NISKIER.J, MACINTYRE. J, 2008, p 312).

2.4.1.1 Sistema externo

O sistema externo é composto basicamente por captadores, condutores de descida e aterramento.

- Captadores: Elementos destinados a interceptar as descargas atmosféricas. Os tipos mais comuns de captadores são: pontas de Franklin, hastes ionizantes e gaiola de Faraday. (CERVELIN. S, CAVALIN. G, 2007, p 376). Segundo MAMEDE FILHO (2011) os captadores podem ser classificados como: captadores naturais (elementos condutores expostos, normalmente partes integrantes da estrutura a ser protegida) e captadores não naturais (elementos condutores expostos, geralmente instalados sobre a cobertura e a lateral superior das edificações a serem protegidas).

- Condutores de descida: Tem como função levar a corrente elétrica do captor para o sistema de aterramento. Sua trajetória deve ser sempre menor e mais retilínea possível. Os tipos de condutores mais comuns são: fitas e cabos. Os elementos condutores são classificados de acordo com sua natureza construtiva: sistemas de descida não naturais (elementos condutores expostos ou não, dedicados à condução da corrente elétrica até o sistema de aterramento) e sistemas de descida naturais (elementos condutores integrantes da edificação que permitem escoar para o sistema de escoamento as correntes elétricas).
- Aterramento: O aterramento é responsável por garantir o escoamento da corrente para a terra. Os sistemas de aterramento mais comuns são: eletrodo vertical (haste), múltiplos eletrodos verticais, eletrodos horizontais (cabos), múltiplos eletrodos horizontais e sistema combinado de eletrodos verticais e horizontais. O sistema de aterramento pode ser classificado como: sistema de aterramento naturais (elementos metálicos embutidos nas fundações da edificação e parte integrante destas) e sistemas de aterramento não naturais (elementos condutores enterrados horizontalmente ou verticalmente que tem como função dispersar a corrente elétrica pelo solo) (MAMEDE FILHO, 2011, p 493).

A NBR 5419:2015 indica três métodos a serem utilizados na determinação da posição do subsistema de captação: princípio dos captores de Franklin, método da esfera rolante e gaiola de Faraday.

2.4.1.2 Sistema interno

O sistema interno é formado por um conjunto de DPS que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger. (NISKIER.J, MACINTYRE. J, 2008, p 332).

O DPS é destinado a limitar as sobretensões transitórias ou a desviar correntes de surto. A chegada de um surto de tensão abaixa para 0 (Ω) a impedância nos terminais do dispositivo, permitindo “absorver” a corrente associada

ao surto. Quanto mais alto for o surto de tensão, menor será a impedância e maior será a corrente drenada.

2.4.3 Equipotencialização

Equipotencialização consiste em um conjunto de medidas que visa proteção contra choques elétricos, contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas, e garantir níveis suportáveis de tensão para instalações e equipamentos por elas servidos, assim deixando toda a instalação no mesmo potencial. Tais medidas consistem em realizar ligações entre partes metálicas das instalações e estrutura ao barramento de equipotencialização (BEP) e por sua vez conectado sistema de aterramento principal. A norma NBR 5410:2004 determina que em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal reunindo os seguintes elementos:

- Armaduras de concreto armado e outras estruturas metálicas da estrutura;
- Tubulações metálicas de água, gás, esgoto, de sistema de ar-condicionado, etc;
- Condutores metálicos das linhas de energia que adentram ou saem da estrutura;
- Blindagens, armações, coberturas e capas metálicas de cabos de linha de energia que adentram a estrutura;
- Condutores de interligação provenientes de outros eletrodos de aterramento porventura existentes no retorno da edificação;
- Condutor neutro da alimentação elétrica.

3 Atualização da NBR 5419

A norma NBR 5419 é responsável por normalizar os requisitos utilizados para a determinação da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas e as medidas adotadas para mitigar os efeitos gerados por ela.

3.1 Comparação entre os textos normativos NBR 5419 de 2005 e 2015

Após 10 anos da sua última publicação em 2005, a norma NBR 5419 passou por uma grande atualização em seu conteúdo. A Comissão de Estudos da ABNT/CB-03 com base na Comissão Eletrotécnica Internacional IEC 62305 publicada em dezembro de 2010, revisou os conceitos presentes na versão de 2005 baseada antes na norma internacional IEC 61024, com intuito de deixar a normatização mais abrangente e eficaz na redução dos riscos associados às descargas atmosféricas. Essa atualização pode ser justificada por um aumento significativo da densidade de descargas atmosféricas por ano no território brasileiro (ELAT, 2009).

3.1.1 Escopo dos textos normativos

Entre as alterações ocorridas nas versões do ano de 2005 e 2015 da ABNT NBR 5419, a de mais fácil percepção se encontra no escopo da norma, porém ambas são apresentadas como a disposição da norma internacional as quais são baseadas. A tabela (1), apresenta a diferenças estruturais entre a versão atual da norma e anterior.

Tabela 1 - Comparativo NBR 5419:2005 e 5419:2015

NBR 5419:2005		NBR 5419:2015	
- Um único volume, com 5 anexos.		- Quatro partes totalizando 309 páginas.	
- Anexo A	- Requisitos complementares para proteção de estruturas especiais	- Parte 1	princípios gerais da proteção contra descargas atmosféricas, a descarga atmosférica e os efeitos gerados por ela, valores das correntes das descargas e parâmetros de ensaios para simular os efeitos das descargas atmosféricas
- Anexo B	- Método de seleção do nível de proteção	- Parte 2 (Análise de Risco)	- Método de gerenciamento de risco
- Anexo C	- Demonstração dos conceitos básicos e aplicações para o modelo eletrogeométrico.	- Parte 3	estrutura a ser protegida, no sentido a reduzir os danos físicos e o perigo a vida através da implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas diretas
- Anexo D	- Demonstração dos parâmetros para o uso de ferragem específica em estruturas de concreto armado como subsistemas de aterramento e descida	- Parte 4 (Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS))	- Medidas de proteção utilizadas para reduzir as falhas de sistemas elétricos e eletrônicos presentes na estrutura contra os efeitos causados por descargas diretas e indiretas, através de medidas de proteção contra surto, equipotencialização e blindagem magnética
- Anexo E	- ensaio necessário para constatar a continuidade da armadura, e os requisitos mínimos para aferir continuidade		

Fonte: Autoria Própria.

3.1.2. Análise e gerenciamento de risco

A análise de risco era retratada na NBR 5419:2005 com o título de: Método de Seleção do Nível de Proteção Contra Raios, antes utilizado para determinar se um SPDA é, ou não, exigido. O nível de proteção era definido analisando uma tabela em função da classificação da estrutura (comum, com risco confinado, com risco para os arredores e com risco para o meio ambiente), em função do tipo da estrutura (residências, fazendas, teatros, hospitais, indústrias, refinarias, etc.) e também em função dos efeitos das descargas atmosféricas (danos, incêndio, perdas, etc.).

A avaliação da necessidade de implementação de um SPDA de acordo com a ABNT NBR 5419:2005 era realizada por um simples produto apresentado pela

Equação (1), que ponderava basicamente parâmetros de utilização, regionais e estruturais da edificação avaliada.

$$N_{dc} = N_g * A_e * 10^{-6} * F_A * F_B * F_C * F_D * F_E \quad (1)$$

Sendo:

N_{dc} : Valor ponderado da frequência média anual de danos prevista para uma estrutura, expresso em descargas atmosféricas para a terra por ano;

N_g : Densidade de descargas atmosféricas para terra (km^2/ano). Equação (2);

A_e : Área de exposição equivalente (m^2). Os limites da área de exposição estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura. Equação (3);

F_A : Fator A: Tipo de ocupação da estrutura. (Coeficientes que variam de 0,3 a 1,2 de acordo com a ocupação);

F_B : Fator B: Tipo de construção da estrutura. (Coeficientes que variam de 0,2 a 2,0 de acordo com o tipo de construção);

F_C : Fator C: Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos dos raios. (Coeficientes que variam de 0,3 a 1,7 de acordo com o conteúdo);

F_D : Fator D: Localização da estrutura. (Coeficientes que variam de 0,4 a 2,0 de acordo com as características da localização);

F_E : Fator E: Topografia da região. (Coeficientes que variam de 0,3 a 1,7 de acordo com as características da região);

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25} \quad (2)$$

Sendo:

T_d : Número de dias de trovoadas por ano, obtido de mapas isocerânicos.

$$A_e = LW + 2LH + \pi * H^2 \quad (3)$$

Sendo:

L : Comprimento da estrutura (m);

W : Largura da estrutura (m);

H : Altura da estrutura (m).

Após a determinação do valor de N_{dc} era realizada uma análise para determinar se era necessário o dimensionamento de um SPDA. A análise se baseava na comparação do valor ponderado da frequência média anual de danos com valores toleráveis estipulados pela NBR5419, como demonstrado a seguir:

- Se $N_{dc} \geq 10^{-3}$, a estrutura requer um SPDA.
- Se $10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$, a conveniência de um SPDA deve ser tecnicamente justificada e decidida por acordo entre projetista e usuário.
- Se $N_{dc} \leq 10^{-5}$, a estrutura dispensa um SPDA.

Para a normalização vigente a partir de 2015, o gerenciamento de risco representa a maior mudança em seu texto base. Na NBR 5419 antes da atualização, o método só contribuía para a determinação da necessidade ou não da instalação de SPDA, a partir de 2015 o gerenciamento de risco também passou a contribuir para a determinação do nível de proteção exigido. O estudo de gerenciamento de risco está contido na parte 2 da NBR5419:2015.

Após a atualização, os efeitos das descargas atmosféricas indiretas na estrutura, e em linhas de energia e tubulações metálicas que adentram a estrutura objeto de estudo, passaram a ser avaliadas. O método de gerenciamento de risco atualmente pondera de forma detalhada diversos parâmetros construtivos da estrutura, os danos às estruturas decorrentes das descargas atmosféricas e risco a vida, considerando-se quatro fontes de danos distintas pelo ponto de impacto da descarga atmosférica, sendo definidas como: S_1 - descarga direta na estrutura, S_2 - descarga próxima da estrutura, S_3 - descarga direta em linhas de energia e telecomunicações, e S_4 - descarga próximo a elas. Define-se também tipos de danos como consequência das descargas atmosféricas, sendo: D_1 - ferimentos a seres vivos, D_2 - danos físicos e D_3 - falhas de sistemas eletroeletrônicos. Cada um destes danos, sozinhos ou combinados, refletem em diferentes tipos de perdas à estrutura, definidas como: L_1 - perda da vida humana, L_2 - perda de serviços públicos, L_3 - perda de patrimônio cultural e L_4 - perda de valores econômicos. Após a determinação do valor correspondente ao risco resultante, é comparado a valores tabelados de riscos toleráveis para determinadas perdas, se abaixo do valor tolerável a estrutura não necessita de proteção.

3.1.3 Métodos utilizados para realização da proteção

Os métodos de proteção não foram alterados, continuando a serem usados os métodos dos Ângulos (Franklin), Modelo Eletrogeométrico e o Método das Malhas.

3.1.3.1 Método de Franklin

O método de Franklin (método dos ângulos) passou por alterações no processo de determinação do ângulo de proteção da haste de captação. Para a versão de 2005 o ângulo de proteção era fixado para cada situação do nível de proteção, sendo o menor ângulo correspondente ao nível de proteção mais alto (Tabela 2).

Tabela 2: Posicionamento de captores conforme o nível de proteção NBR 5419:2005.

Nível de proteção	R m	h m	Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
			0 - 20 m	21 - 30 m	31 - 45 m	46 - 60 m	> 60 m	
I	20		25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30		35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45		45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60		55°	45°	35°	25°	2)	20

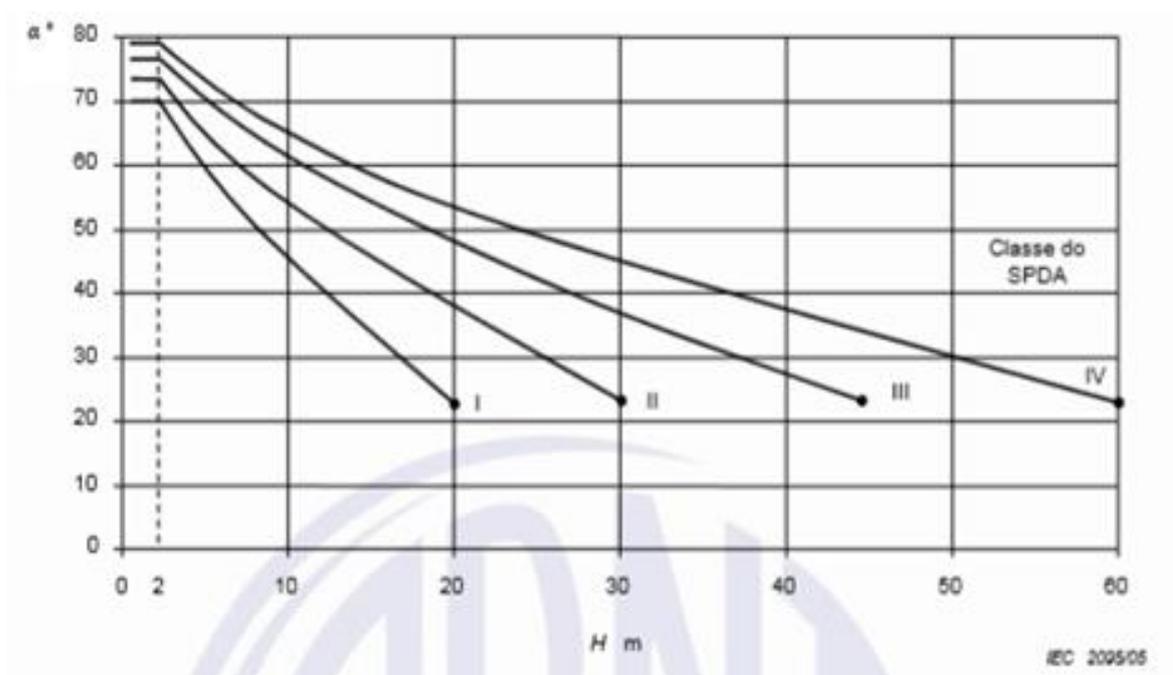
R = raio da esfera rolante.
 1). Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.
 2). Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS
 1) Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.
 2) O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2005).

A partir da versão de 2015 o ângulo de proteção passou a ser definido através de curvas dependendo da altura do captor a cima do plano de referência (Figura 4). A variação do ângulo de proteção é inversamente proporcional à altura da edificação a ser protegida.

Figura 4: Ângulos de proteção correspondentes à classe e altura do SPDA.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2005).

3.1.3.2 Modelo eletrogeométrico (esfera rolante)

O modelo eletrogeométrico (método da esfera rolante), não sofreu alterações após a atualização da norma NBR5419, uma vez que os raios das esferas rolantes não foram alterados para os respectivos níveis de proteção.

3.1.3.3 Método da gaiola de Faraday

Após atualização, o método da gaiola de Faraday sofreu alterações nas dimensões das malhas que compõem o sistema de captação de descargas

atmosféricas, de acordo com a norma de 2005 o comprimento da malha era limitado ao dobro de sua largura. Para a norma vigente atualmente esse espaçamento foi alterado, assim a largura e o comprimento da malha passaram a ter dimensões semelhantes, proporcionando o aumentando da proteção das edificações, porem aumentando também o material necessário para realizar a proteção. A Tabela (3) apresenta de forma comparativa ambas as versões de norma.

Tabela 3: Área da malha de Faraday ABNT NBR 5419:2005 e 5419:2015.

Nível de Proteção	NBR 5419:2005		NBR 5419:2015	
	Dimensões (m)	Área (m^2)	Dimensões (m)	Área (m^2)
I	5 x 10	50	5 x 5	25
II	10 x 20	200	10 x 10	100
III	10 x 20	200	15 x 15	225
IV	20 x 40	800	20 x 20	400

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2005).

O espaçamento entre os sistemas de descidas também sofreu alteração em relação a norma de 2005, aproximando mais cada via de descida do subsistema, tornando-o mais eficaz no encaminhamento das correntes oriundas das descargas atmosféricas para o subsistema de aterramento (Tabela 4).

Tabela 4: Valores típicos de distância entre os condutores de descida.

Nível de Proteção	NBR 5419:2005 (m)	NBR 5419:2015 (m)
I	10	10
II	15	10
III	20	15
IV	25	20

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419.

3.1.3.4 Subsistemas de captação, descida e aterramento – Condutores

Objetivando a eficiência dos subsistemas de captação, descida e aterramento, a atualização da NBR5419 trouxe alterações nas seções mínimas

especificadas para os materiais que compõem o SPDA. A versão de 2005 apresentava as seções mínimas para condutores de captação, descida e aterramento, sendo constituídos por cobre, alumínio ou aço galvanizado a quente. A partir de 2015 esses dados passaram a ser expostos de forma bem mais detalhada. Os materiais e áreas de seção mínima dos condutores de captação e descidas são descritos em diversas configurações (fita maciça, arredondado maciço e encordado) para diversos materiais (cobre, aço galvanizado a quente, aço cobreado, aço inoxidável, alumínio e alumínio cobreado). Os dados para os subsistemas de captação e descida são expostos separadamente do subsistema de aterramento (fita maciça, arredondado maciço e encordado e tubo), para diversos materiais (cobre, aço galvanizado a quente, aço cobreado e aço inoxidável), ambos presentes na Parte 3 da NBR 5419:2015.

4 GERENCIAMENTO DE RISCO ABNT NBR 5419:2015

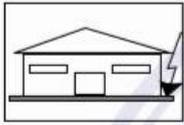
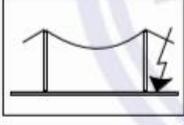
O estudo de gerenciamento de risco contido na Parte 2 da NBR 5419:2015 tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de riscos associados a descargas atmosféricas diretas e indiretas em uma estrutura e linhas de energia e telefonia que adentram a ela. A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano, para avaliar os riscos (R) associados a tal evento é necessário a análise das componentes de riscos parciais (R_x) dependendo do ponto de impacto da descarga atmosférica (S_x), do número de eventos perigosos por ano (N_x), probabilidade de dano a estrutura e seres vivos (P_x) e perda consequente (L_x). O procedimento básico para a realização do gerenciamento de risco de acordo com a norma se baseia em identificar a estrutura a ser protegida, suas características e todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes. Por fim avaliar a necessidade de proteção, através da comparação dos riscos obtidos com os riscos toleráveis expostos pela a norma, Tabela (4).

Com o estudo realizado pelo gerenciamento de risco todos os efeitos que provocam perdas devem ser considerados e atenuados com as devidas medidas de proteção, sendo então comparados ao risco tolerável normalizado (ABNT NBR 5419-2, 2015).

4.1 Fonte de danos, tipos de danos e perdas consequentes

A Figura (5) apresenta a relação entre a fonte do dano e as perdas associadas a ela, descritas no capítulo anterior. Para cada perda existe componentes de risco associadas, a soma desses componentes retrata o risco resultante para cada tipo de perda.

Figura 5: Exemplos de classificação das estruturas NBR 5419:2015.

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

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

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

4.2 Riscos e componentes

Segundo a versão vigente da NBR 5419 o valor relativo a uma provável perda anual média é chamado de risco (R). Para cada tipo de perda existente na estrutura o risco resultante deve ser avaliado. De acordo com a norma os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

R_1 : Risco de perda de vida humana. Equação (4);

R_2 : Risco de perda de serviço ao público. Equação (5);

R_3 : Risco de perda de patrimônio cultural. Equação (6);

R_4 : Risco de perda de valores econômicos. Equação (7).

Cada risco (R) é a soma dos seus componentes de risco. A norma decompõe cada um dos tipos de risco em oito componentes. Ao calcular um risco, os

componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos. As componentes de risco são classificadas pela NBR como:

- Componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S_1).

R_A : Componente referente a ferimentos aos seres vivos (D_1) causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 metros ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L_1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos perdas L_4 . Seu valor pode ser obtido pela Equação (8);

R_B : Componente associado a danos físicos (D_2) causados por centelhamentos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas podem aumentar, seu valor pode ser obtido pela Equação (9);

R_C : Componente pertinente a falhas de sistemas internos (D_3) causados por LEMP. Perdas do tipo L_2 e L_4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L_1 , nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana. O valor da variável pode ser obtido através da Equação (10).

- Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S_2).

R_M : Componente pertinente a falhas de sistemas internos (D_3) causados por pulso eletromagnético. Gerando perdas do tipo L_2 e L_4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L_1 , nos casos de estruturas com risco de explosão. Obtido através da Equação (11).

- Componentes de risco devido às descargas atmosféricas que atingem uma linha conectada à estrutura (S_3).

R_U : Componente relacionado a ferimentos aos seres vivos (D_1) causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. São geradas perda do tipo L_1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L_4 , seu valor pode ser alcançado através da Equação (12);

R_V : Componente relativo a danos físicos (D_2) (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) ou ao longo das linhas, considerar todos os tipos de perdas, valor calculado através da Equação (13);

R_W : Componente associado a falhas de sistemas internos (D_3) causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura. São ocasionadas perdas do tipo L_2 e L_4 , e podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L_1 , nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais e estruturas que podem colocar a vida humana em risco, montante estimado através da Equação (14).

- Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S_4).

R_Z : Componente pertinente a falhas de sistemas internos (D_3) causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura. Perdas do tipo L_2 e L_4 , são geradas em todos os casos, junto com o tipo L_1 , nos casos de estruturas que podem colocar em perigo a vida humana. Equação (15).

Cada risco (R) é a soma dos seus componentes de risco, sendo obtidos conforme as equações a seguir:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1}^1 + R_{V1}^1 + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (4)$$

Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais.

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (5)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (6)$$

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (7)$$

² Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura estão expostos na Tabela (5).

Tabela 5: Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda.

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S_1			Descarga atmosférica perto da estrutura S_2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S_3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S_4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a)	* a)	*	*	* a)	* a)
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b)	*	*	*	* b)	*	*	*
a) Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.								
b) Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.								

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

4.2.1 Risco tolerável

De acordo com a parte 1 da NBR 5419:2015 os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra descargas atmosféricas, para isso deve-se identificar todos os componentes de risco associados as possíveis perdas, calcular seus respectivos valores, assim tornado possível a obtenção do risco total (R) associado a cada perda que possa existir na estrutura em análise. Após a obtenção do risco total para a estrutura, o valor resultante deve ser comparado com os valores toleráveis disponibilizados pela NBR

para cada perda Seguindo a norma internacional IEC 62305, a ABNT expõe valores representativos de risco toleráveis (R_T) que envolvam perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais (Tabela 6). A necessidade de se desenvolver um SPDA é constatada se o risco total para determinada perda calculado para estrutura, for maior que o valor de risco tolerável tabelado para cada perda.

Tabela 6: 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: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Medidas de proteção adequadas devem ser elaboradas pelo projetista de acordo com a participação de cada componente de risco no risco total (R). Para cada tipo de perda, há um número de medidas de proteção que, individualmente ou em combinação, faz com que a condição $R \leq R_T$ seja mantida (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Além da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas ser exigida por questões de segurança, pode ser muito útil a constatação de benefícios econômicos com sua instalação reduzindo perdas financeiras que podem ocorrer devido aos danos gerados pela corrente elétrica proveniente da descarga atmosférica. O procedimento para verificar o custo da eficiência da proteção requer basicamente a identificação das componentes de risco que compõe o risco R_4 , calcular seus respectivos valores na ausência de medidas de proteção, obter o custo anual das perdas econômicas devido a cada componente de risco, assim possibilitando calcular o custo anual (C_L) referente a perda total na ausência de medidas de proteção. Após a constatação da necessidade de um SPDA, as medidas de proteção devem ser adotadas e seu custo anual (C_{PM}) deve ser orçado, os cálculos das componentes de risco associados a R_4 devem ser refeitos, assim como o cálculo anual de perdas devido a cada componente de risco na estrutura e o cálculo anual total de perdas (C_{RL}). As medidas de proteção podem provar a economia financeira durante a vida da estrutura se C_L for menor que a soma entre

C_{RL} e C_{PM} , caso contrário a proteção contra descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo custo eficiente.

4.2.2 Componentes de risco

Como descrito anteriormente, um risco (R) associado a uma perda causada por uma descarga atmosférica em seus possíveis pontos de incidência, é composto por diferentes componentes de risco ($R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W, R_Z$), que de acordo com a ABNT NBR 5419 podem ser expressados pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (11)$$

Sendo:

N_X : Número de eventos perigosos por ano;

P_X : Probabilidade de dano a estrutura e seres vivos;

L_X : Perda consequente.

O número de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra e pelas características da estrutura a ser protegida, assim como sua vizinhança, linhas conectadas a ela e o solo. Estes últimos quatro fatores também são responsáveis pela probabilidade de dano na estrutura. A perda consequente é afetada pelo uso no qual a estrutura foi projetada, tipo de serviço fornecido ao público e frequência de utilização, o valor dos bens afetados pelos danos e medidas adotadas para limitar as perdas. A NBR 5419:2015 apresenta as seguintes equações aplicáveis para cálculo das componentes de risco. Os componentes de riscos estão expostos de acordo com os diferentes tipos de danos e fontes de danos.

- Análise dos componentes de risco devido a descarga atmosférica direto na estrutura (S_1).

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (8)$$

Sendo:

N_D : Número de eventos perigosos para a estrutura;

P_A : Probabilidade de uma descarga causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

L_A : Perda consequente de vida humana.

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (9)$$

Sendo:

P_B : Probabilidade de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura em função do nível de proteção existente;

L_B : Perda consequente aos danos físicos na estrutura.

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (10)$$

Sendo:

P_C : Probabilidade de falhas nos sistemas internos;

L_C : Perda consequente a falhas dos sistemas internos causados por LEMP.

- Análise dos componentes de risco devido a descarga atmosférica perto da estrutura (S_2).

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (11)$$

Sendo:

N_M : Número anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas próximo à estrutura;

P_M : Probabilidade de uma descarga atmosférica próxima à estrutura causar falha nos sistemas internos;

L_M : Perda consequente a falhas dos sistemas internos causados por LEMP.

- Análise dos componentes de risco devido a descarga atmosférica direta em uma linha conectada à estrutura (S_3).

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (12)$$

Sendo:

N_{DJ} : Quantidade de descargas atmosféricas para a terra na estrutura adjacente por ano;

N_L : Número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

P_U : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

L_U : Perda consequente a ferimentos a seres vivos causadas por choque elétrico.

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (13)$$

Sendo:

P_V : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos a estrutura;

L_V : Perda consequente aos danos físicos a estrutura causada por centelhamento proveniente de descargas atmosféricas incidentes diretamente em linhas conectadas à estrutura.

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W \quad (14)$$

Sendo:

P_W : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falhas nos sistemas internos da estrutura;

L_W : Perda consequente a falhas dos sistemas internos da estrutura causada por LEMP proveniente de descargas atmosféricas incidentes diretamente em linhas que adentram a estrutura.

- Análise dos componentes de risco devido a descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura (S_4).

$$R_Z = N_I * P_Z * L_Z \quad (15)$$

Sendo:

N_I : Número anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas que atingem regiões próximas a linhas conectadas a estrutura em análise;

P_Z : Probabilidade de uma descarga atmosférica próxima a linhas que adentram a estrutura causar falha nos sistemas internos;

L_Z : Perda consequente a falhas dos sistemas internos causados por LEMP, devido a descargas atmosféricas que atingem regiões próximas a linhas que adentram a estrutura.

A NBR 5419 vigente atualmente, indica que para avaliar cada componente de risco a estrutura pode ser dividida em zonas Z_S , cada uma com características semelhantes e levando em conta a exequibilidade da implementação das medidas de proteção. Características como tipo do solo, comportamento a prova de fogo e blindagem especial devem ser avaliadas para a divisão das zonas. A estrutura pode ser, ou pode assumir ser, uma zona única. Em uma estrutura definida para análise como uma única zona, o risco (R) é a soma dos componentes de risco dessa zona, já para um estrutura dividida em zonas múltiplas o risco (R) é a soma dos riscos relevantes de todas as zonas da estrutura.

4.3 Análise do número anual N de eventos perigosos

As descargas atmosféricas podem causar muitos danos às estruturas e risco de morte a pessoas e animais. A norma vigente classifica como eventos perigosos: Descargas atmosféricas atingindo diretamente a estrutura, próximo à estrutura, diretamente linhas que adentram a estrutura ou que atingem próximo a essas linhas.

O número de descargas atmosféricas pode ser avaliado a partir de sua densidade, que é uma característica da região onde está localizada a edificação. (MAMEDE, 2017, p.1024). O número anual de eventos perigosos N , é obtido através

do produto entre o número de densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e a área de exposição equivalente da estrutura (A_D), junto a fatores de ponderação. São analisados os possíveis eventos perigosos em relação a própria estrutura (N_D), estruturas adjacentes (N_{DJ}), próximo a estrutura em análise (N_M), linhas conectadas a estrutura (N_L) e próximo a elas (N_I).

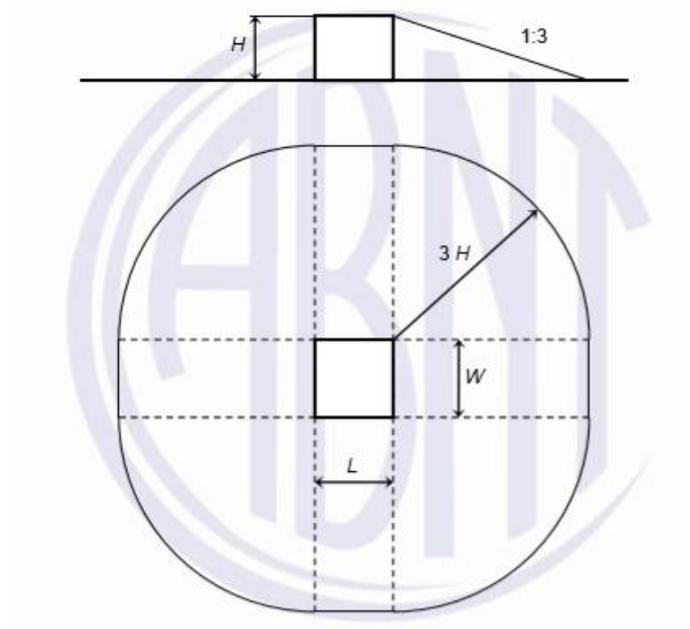
A densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G , é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano. Este valor está disponível pelas agências de monitoramento responsáveis por esses fenômenos. No Brasil esse valor é disponibilizado pelo INPE. Quando não disponível esse dado, N_G deve ser obtido pelo produto entre 0,1 e o número de dias de tempestade por ano.

A área de exposição da estrutura é determinada a partir de suas características geométricas. Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W e altura H , em uma região plana, sua área de exposição é dada pela equação (16).

$$A_D = L * W + 2 * (3 + H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (16)$$

Onde L , W e H são dados em metros (Figura 6).

Figura 6: Área de exposição equivalente de uma estrutura isolada.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Determinada estrutura pode ser avaliada nas situações em que sua localização está exposta, estando isolada ou sendo compensada por estruturas vizinhas, tais como edificações, morros etc. Para cada condição de sua posição em relação aos obstáculos nas proximidades existe um fator de localização que deve ser ponderado (MAMEDE, 2017, p.1027). A NBR 5419:2015 disponibiliza fatores de localização que devem ser ponderados no cálculo do número de eventos perigosos, Tabela (7).

Tabela 7: Fator de localização da estrutura C_D .

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Número de eventos perigosos N_D para a estrutura.

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (17)$$

Sendo:

A_D : Área de exposição equivalente da edificação (m^2);

N_G : Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot ano$);

C_D : Fator de localização (Tabela 7).

- Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente.

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (18)$$

Sendo:

A_{DJ} : Área de exposição equivalente da edificação adjacente (m^2);

N_G : Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot ano$);

C_{DJ} : Fator de localização da estrutura adjacente (Tabela 7);

C_T : Fator tipo de linha (Tabela 8).

Tabela 8: Fator tipo de linha C_T .

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

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura.

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} \quad (19)$$

Sendo:

N_G : Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot ano$);

A_M : Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura (m^2), Equação (20).

$$A_M = 2 * 500 * (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (20)$$

- Número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha.

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (21)$$

Sendo:

N_G : Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot ano$);

A_L : Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que incidem diretamente sobre as linhas conectadas a estrutura (m^2). Esta área é estimada em uma área de comprimento equivalente ao da linha e largura de 40 metros;

C_I : Fator de instalação da linha (Tabela 9);

C_E : Fator ambiental (Tabela 10);

C_T : Fator tipo de linha (Tabela 8).

Tabela 9: Fator de instalação da linha C_I .

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 10: Fator ambiental da linha C_E .

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m	0,01

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Número médio anual de eventos perigosos N_I devido a descargas atmosféricas perto da linha.

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (22)$$

Sendo:

N_G : Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot ano$);

A_I : Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que incidem em regiões próximas as linhas conectadas a estrutura (m^2). Esta área é estimada em uma área de comprimento equivalente ao da linha e largura de 4000 metros;

C_I : Fator de instalação da linha (Tabela 9);

C_E : Fator ambiental (Tabela 10);

C_T : Fator tipo de linha (Tabela 8).

4.4 Avaliação da probabilidade P_X de danos

Os valores de probabilidade de danos nas estruturas para o cálculo de ponderação do risco fornecido pela ABNT NBR 5419 são válidos se as medidas de proteção contra descargas atmosféricas adotadas na estrutura estiverem de acordo com os requisitos da norma vigente atualmente.

- Probabilidade P_A de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico.

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (23)$$

Sendo:

P_{TA} : Probabilidade que depende das medidas de proteção adicionais contrachocos devido a tensões de toque e passo (Tabela 11);

P_B : Probabilidade para ponderação que varia de acordo com o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA foi projetado (Tabela 12).

Tabela 11: Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de passo e toque.

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 12: Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um		0,01

subsistema de descida natural	
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural	0,001

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica direta em uma estrutura causar falha a sistemas internos.

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD} \quad (24)$$

Sendo:

P_{SPD} : Probabilidade relativo a possíveis falhas em sistemas internos devido a utilização ou não de sistemas coordenados de DPS (Tabela 13);

C_{LD} : Fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado (Tabela 14).

Tabela 13: Valores de probabilidade P_{SPD} em função do NP para qual o DPS foi projetado.

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,005 – 0,001

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 14: Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento.

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Para linhas externas constituídas com cabos protegidos contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos protegidos contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos com conexão de entrada possuindo blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento, adotar C_{LD} e C_{LI} com valor zero.

- Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica próximo a uma estrutura causar falha a sistemas internos.

A probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos depende das medidas de proteção contra surtos adotadas. Um SPDA em malha, blindagens com malha, precauções de roteamento, tensão suportável aumentada, interfaces e sistemas coordenados de DPS são medidas a serem adotadas para a redução de P_M . Quando um sistema coordenado de DPS estiver instalado na estrutura em análise, a probabilidade de falha é obtida através da Equação (25), caso contrário o valor de P_M deve ser igual ao valor de P_{MS} .

$$P_M = P_{SPD} * P_{MS} \quad (25)$$

Sendo:

P_{SPD} : Probabilidade relativo a possíveis falhas em sistemas internos devido a utilização ou não de sistemas coordenados de DPS (Tabela 13);

P_{MS} : Probabilidade que depende das características de blindagem e dos circuitos internos da estrutura, valor obtido através da Equação (26).

$$P_{MS} = (K_{S1} + K_{S2} + K_{S3} + K_{S4})^2 \quad (26)$$

Sendo:

K_{S1} : Fator variante conforme a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem. Calculado a partir da Equação (27);

K_{S2} : Fator que leva em consideração a eficiência por blindagem através de malha de blindagem interna à estrutura. Calculado a partir da Equação (28);

K_{S3} : Fator associado as caracterizas da fiação interna. Tabela (15);

K_{S4} : Fator relativo a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido. Calculado a partir da Equação (29).

$$K_{S1} = 0,12 * W_{M1} \quad (27)$$

$$K_{S2} = 0,12 * W_{M2} \quad (28)$$

Sendo:

W_{M1} (m) e W_{M2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

Tabela 15: Valores do fator K_{S3} dependendo da fiação.

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços a)	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços b)	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços c)	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos d)	0,0001
a) Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²). b) Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²). c) Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m ²). d) Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

$$K_{S4} = 1/U_W \quad (29)$$

Sendo:

U_W : Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

- Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha conectada a estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico.

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (30)$$

Sendo:

P_{TU} : Valor de probabilidade variante conforme medidas de proteção instaladas ou não, contra tensões de toque oriundas de descargas atmosféricas em linhas que adentram a estrutura em análise. Medidas como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. (Tabela 16);

P_{EB} : Probabilidade associada a descargas atmosféricas em linhas que adentram a estrutura em análise causar choque a seres vivos de acordo com o nível de proteção para o qual o DPS foi projetado, se instalados ou não, (Tabela 17);

P_{LD} : Probabilidade associada a falhas nos sistemas internos devidos a descargas atmosféricas em linhas conectas a estrutura, varia conforme as características da linha, Tabela (18);

C_{LD} : Fator cujo valor varia de acordo com a blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha, Tabela (14).

Tabela 16: Valores da probabilidade P_{TU} .

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 17: Probabilidade P_{EB} em função do NP para qual os DPS foram projetados.

Nível de Proteção	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 18: Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem.

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável U_W em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha conectada a estrutura causar danos físicos.

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (31)$$

Sendo:

P_{EB} : Probabilidade associada a descargas atmosféricas em linhas que adentram a estrutura em análise causar choque a seres vivos de acordo com o nível de proteção para o qual o DPS foi projetado, se instalados ou não, (Tabela 17);

P_{LD} : Probabilidade associada a falhas nos sistemas internos devidos a descargas atmosféricas em linhas conectas a estrutura, varia conforme as características da linha, Tabela (18);

C_{LD} : Fator cujo valor varia de acordo com a blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha, Tabela (14).

Uma descarga atmosférica que incide em uma linha que adentra a estrutura pode causa danos físicos, essa probabilidade de ocorrência de dano P_V depende das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS

instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha (ABNT NBR 5419-2, 2015).

- Probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha conectada a estrutura causar falha nos sistemas internos.

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD} \quad (32)$$

Sendo:

P_{SPD} : Probabilidade relativo a possíveis falhas em sistemas internos devido a utilização ou não de sistemas coordenados de DPS (Tabela 13);

P_{LD} : Probabilidade associada a falhas nos sistemas internos devidos a descargas atmosféricas em linhas conectas a estrutura, varia conforme as características da linha, Tabela (18);

C_{LD} : Fator cujo valor varia de acordo com a blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha, Tabela (14).

- Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada a estrutura causar falha nos sistemas internos.

$$P_W = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI} \quad (33)$$

Sendo:

P_{SPD} : Probabilidade relativo a possíveis falhas em sistemas internos devido a utilização ou não de sistemas coordenados de DPS (Tabela 13);

P_{LI} : Probabilidade associada a falhas nos sistemas internos devido a descargas atmosféricas próximas as linhas conectas a estrutura, varia conforme as características da linha e dos equipamentos, Tabela (19);

C_{LI} : Fator cujo valor varia de acordo com a blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha, Tabela (14).

Tabela 19: Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável U_w em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

4.5 Análise da quantidade de perda L_X

Os valores indicados pela norma disponibilizada pela ABNT a partir de 2015 são meramente propostos pela IEC. Os valores atribuídos as perdas referem-se à quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso. As perdas consequentes L_X a ser considerados de acordo com a ABNT são:

L_1 : Perda da vida humana incluindo ferimento permanente;

L_2 : Perda de serviços públicos (número de usuários não atendidos);

L_3 : Perda de patrimônio cultural (valor econômico em perigo da estrutura e conteúdo);

L_4 : Perda de valores econômicos (valor econômico referente a perigo de perda de animais, a estrutura, conteúdo e sistemas interno).

- Perda de vida humana L_1 .

Os valores das componentes associadas a perdas de vida humana podem ser determinados de acordo com as equações contidas na Tabela (20). A perda de vida humana é afetada pelas características da zona a ser avaliada, estas são levadas em conta pelos fatores de aumento (h_z) e de diminuição (r_t, r_p, r_f). O valor máximo da perda em uma zona pode ser reduzido pela relação entre o número de pessoas na zona (n_z) versus o número total de pessoas na estrutura. A perda de vida humana pode também ser reduzida se o tempo em que as pessoas passam na zona for menos que um total de 8760 horas por ano.

Tabela 20: Tipo de perda L_1 .

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D_1	$L_A = r_t * L_T * n_Z/n_t * t_Z/8760$	(34)
D_1	$L_U = r_t * L_T * n_Z/n_t * t_Z/8760$	(35)
D_2	$L_B = L_V = r_p * r_f * h_Z * L_F * n_Z/n_t * t_Z/8760$	(36)
D_3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * n_Z/n_t * t_Z/8760$	(37)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Sendo:

L_A : Valor relativo a perda consequente relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico causado por descargas atmosféricas que incidem diretamente na estrutura;

L_U : Valor associado a perda consequente relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico gerado por descargas atmosféricas na linha;

L_B : Valor ligado a perda consequente em uma estrutura relacionada a danos físicos provocados por descargas atmosféricas à estrutura;

L_V : Valor referente a perda consequente em uma estrutura devido a danos físicos gerados por descargas atmosféricas que atingem diretamente linhas que adentram a estrutura;

L_T : Valor médio relativo a vítimas feridas por choque elétrico (D_1) devido a uma descarga atmosférica Tabela (21);

L_F : Valor médio relativo a vítimas por danos físicos (D_2) devido a uma descarga atmosférica Tabela (21);

L_O : Valor médio relativo a vítimas por falhas nos sistemas internos (D_3) devido a uma descarga atmosférica Tabela (21);

L_C : Valor pertinente a perda consequente relacionada à falha dos sistemas internos produzidas por descargas atmosféricas diretas na estrutura;

L_M : Valor correlacionado a perda consequente associada a falhas de sistemas internos causados por descargas atmosféricas perto da estrutura;

L_Z : Valor associado a perda consequente relacionada à falha de sistemas internos gerados por descargas atmosféricas perto da linha.

r_t : Fator de redução da perda de vida humana que varia de acordo com o tipo do solo ou piso, Tabela (22);

r_p : Fator de redução da perda devido a danos físicos variante conforme as providencias tomadas para reduzir as consequências do incêndio, Tabela 23);

r_f : Fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura, Tabela (24);

h_z : Fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial (pânico e dificuldade de aglomeração) estiver presente, Tabela (25);

n_z : Número de pessoas na zona;

n_t : Montante total de pessoas na estrutura;

t_z : Período em horas por ano no qual as pessoas estão presentes na zona.

Tabela 21: Tipo de perda L_1 – Valores médios típicos de L_T, L_F, L_O .

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D_1 Ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D_2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		$10^{-2} * 5$	Entretenimento público, igreja, museu
		$10^{-2} * 2$	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
D_3 Falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3}	Outras partes de hospital

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 22: Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície b)	Resistência de contato k Ω a)	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

a) Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.
b) Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 23: Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático	0,2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Tabela 24: Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

Risco	Quantidade de risco	r_t
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

A norma vigente recomenda que estruturas contendo zonas perigosas ou contendo materiais explosivos sólidos sejam assumidas como estruturas com risco de explosão se o tempo de presença da substância explosiva for menor que 0,1 horas por ano, o volume de atmosfera explosiva for desprezível, e que a zona de risco não possa ser atingida diretamente pela descarga atmosférica.

Tabela 25: Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Perda inaceitável de serviço público L_2 .

A perda inaceitável de serviço público é afetada pelas características da estrutura em análise, estas levam em consideração o risco de incêndio na edificação e das providencias tomadas para reduzir as consequências de um possível incêndio. O valor máximo de perda devido a dano deve ser reduzido pela relação entre o número de usuários servidos pela zona versus o número total de usuários servidos pela estrutura inteira. Para danos físicos e falhas em sistemas internos as perdas típicas podem ser calculadas de acordo com a Tabela (26), perda típica referente a danos físicos (D_2) obtido pela Equação (38) e perda típica referente a falhas em sistemas interno (D_3) calculado utilizando a Equação (39).

Tabela 26: Tipo de perda L_2

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D_2	$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * n_Z/n_t$	(38)
D_3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_Q * n_Z/n_t$	(39)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015)

Sendo:

L_B : Valor médio relativo a perdas equivalentes aos danos físicos na estrutura causadas por centelhamento possibilitando incêndio ou explosões devido a descargas atmosféricas que incidem diretamente na estrutura.

L_V : Valor médio relativo a perdas equivalentes aos danos físicos na estrutura causadas por centelhamento possibilitando incêndio ou explosões devido a descargas atmosféricas que incidem diretamente em uma linha conectada a estrutura.

L_F : Valor médio relativo a usuários não servidos resultante do dano físico (D_2) devido a descargas atmosféricas, Tabela (27);

L_Q : Valor médio relativo de usuários não servidos devido a falhas nos sistemas internos (D_3), Tabela (27);

r_p : Fator de redução da perda devido a danos físicos variante conforme as providencias tomadas para reduzir as consequências do incêndio, Tabela (23);

r_f : Fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura, Tabela (24);

n_z : Número de pessoas servidas pela zona;

n_t : Montante total de pessoas servidas pela estrutura.

Tabela 27: Tipo de perda L_2 : valores médios típicos de L_F e L_O .

Tipo de dano	Valor da perda típica	Tipo de serviço
D_2	L_F	10^{-1} Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2} TV, linhas de sinais
D_3	L_O	10^{-2} Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3} TV, linhas de sinais

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Perda inaceitável de patrimônio cultural L_3 .

A perda inaceitável de patrimônio cultural é afetada pelas características da zona em estudo, medidas de proteção adotadas para mitigar consequências de um incêndio, risco de incêndio ou explosão existente na zona em análise, número relativo médio do valor do patrimônio cultural na zona e valor total da edificação e conteúdo da estrutura. Para danos físicos a perda típica pode ser calculada de acordo com a Tabela (28).

Tabela 28: Tipo de perda L_3 .

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D_2	$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * c_z / c_t$	(40)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Sendo:

L_B : Valor médio relativo a perdas equivalentes aos danos físicos na estrutura causadas por centelhamento possibilitando incêndio ou explosões devido a descargas atmosféricas que incidem diretamente na estrutura.

L_V : Valor médio relativo a perdas equivalentes aos danos físicos na estrutura causadas por centelhamento possibilitando incêndio ou explosões devido a descargas atmosféricas que incidem diretamente em uma linha conectada a estrutura.

L_F : Valor médio relativo de todos os valores atingidos pelos danos físicos devido a uma descarga atmosférica, Tabela (29);

r_p : Fator de redução da perda devido a danos físicos variante conforme as providencias tomadas para mitigar as consequências do incêndio, Tabela (23);

r_f : Fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (24);

c_z : Número relativo ao valor do patrimônio cultural na zona;

c_t : Número relativo ao valor total da edificação junto ao conteúdo da estrutura em análise.

Tabela 29: Tipo de perda L_3 : valores médios típicos de L_F .

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D_2	L_F	10^{-1}	Museus, galerias

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

- Perda econômica L_4 .

Perda de valores econômicos é variável de acordo com as características da zona em análise, medidas de proteção adotadas para mitigar consequências de um incêndio, risco de incêndio ou explosão existente na zona em análise e constituição da superfície do solo ou piso da zona avaliada. O valor máximo da perda devido a danos na zona pode ser amenizado pela relação entre o valor relevante na zona versus o valor total da estrutura completa (c_t). O valor relevante da zona é obtido de acordo com o tipo de dano, Tabela (30).

Tabela 30: Valor relevante a zona.

Tipo de danos	Valor relevante da zona
D_1 (ferimentos de animais devido a choque):	c_a (somente valor de animais)
D_2 (danos físicos)	$c_a + c_b + c_c + c_s$ (total de todos valores)
D_3 (falha de sistemas internos)	c_s (valor dos sistemas internos e suas atividades)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Sendo:

c_a : Valor médio dos animais na zona;

c_b : Valor médio da zona relevante a zona;

c_c : Valor do conteúdo da zona;

c_s : Valor médio dos sistemas internos incluindo suas atividades.

As perdas típicas para cada tipo de dano podem ser calculadas de acordo com as Equações (41), (42), (43) e (44) contidas na Tabela (31).

Tabela 31: Tipo de perda L_4 : valores de perdas.

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D ₁	$L_A = r_t * L_T * c_a / c_t$	(41)
D ₁	$L_U = r_t * L_T * c_a / c_t$	(42)
D ₂	$L_A = r_t * r_f * L_F * (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$	(43)
D ₃	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * c_s / c_t$	(44)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

Sendo:

L_T : Valor médio relativo típico de todos os valores danificados por choque elétrico (D₁), Tabela (32);

L_F : Valor médio relativo típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D₂ devido a uma descarga atmosférica, Tabela (32);

L_O : Valor médio relativo a todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D₃), devido a uma descarga atmosférica, Tabela (32);

r_t : Fator de redução da perda de animais que varia de acordo com o tipo do solo ou piso, Tabela (22);

r_p : Fator de redução da perda devido a danos físicos variante conforme as providencias tomadas para reduzir as consequências do incêndio, Tabela (23);

r_f : Fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura, Tabela (24);

c_t : Valor total da estrutura (estrutura, conteúdo e sistemas internos).

Tabela 32: Tipo de perda L_4 : Valores médios típicos de L_T, L_F, L_O .

Tipo de Dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura
D_1	L_T	0,01	Todos os tipos onde somente há animais presentes
D_2	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu e agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público e comercial
		0,1	Outros
D_3	L_O	0,1	Risco de explosão
		0,01	Hospital, industrial, escritório, hotel e comercial
		0,001	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento
		0,0001	Outros

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

4.6 Avaliação dos custos das perdas

A necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas também pode ser justificada financeiramente se o valor econômico anual (S_M), obtido através da Equação (45) for positivo. O valor econômico anual é uma relação entre o custo total de perdas (C_L) em uma determinada zona em reais (R\$), custo anual das medidas de proteção (C_{PM}) em reais (R\$) e o custo total de perda residual (C_{RL}) em uma estrutura apesar das medidas de proteção existentes, valor em reais (R\$).

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (45)$$

O custo total de perdas C_L em uma determinada zona é calculado através da Equação (46).

$$C_L = R_4 * c_t \quad (46)$$

Sendo:

R_4 : Risco associado à perda de valor econômico em reais (R\$) sem medidas de proteção adotadas;

c_t : Custo total da estrutura em reais (R\$).

O custo anual das medidas de proteção (C_{PM}) em reais (R\$) é obtido através da Equação (47).

$$C_{PM} = C_P * (i + a + m) \quad (47)$$

Sendo:

C_P : Custo das medidas de proteção em reais (R\$);

i : Taxa de juros;

a : Taxa de amortização;

m : Taxa de manutenção.

O custo total C_{RL} de perda residual em uma estrutura apesar das medidas de proteção, pode ser calculado utilizando a Equação (48).

$$C_{RL} = \Sigma R'_{4Z} * c_t \quad (48)$$

Sendo:

R'_{4Z} : Risco associado à perda de valor econômico em reais (R\$) apesar das medidas de proteção adotadas;

c_t : Custo total da estrutura em reais (R\$).

5 FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE APOIO

Em contribuição ao estudo de caso, foi desenvolvida uma ferramenta computacional de apoio baseada nas aplicações do Microsoft Excel. De acordo com as diretrizes estipuladas pela NBR 5419-2:2015, e utilizando esta ferramenta, pode-se determinar o cálculo de risco, bem como a necessidade de proteção das estruturas contra descargas atmosféricas. A ferramenta possibilita analisar a contribuição dos diferentes componentes de risco ao risco total, e o efeito das diferentes medidas de proteção para diminuir os riscos.

E por fim, sugerir o método de proteção por meio de diferentes soluções de proteção considerando a eficiência do PDA na redução das componentes de risco e custo das medidas a serem adotadas para realizar a proteção.

5.1 Estrutura da Ferramenta

A estrutura da ferramenta é dividida em seis interfaces, as quais são: as cinco primeiras para cadastramento da estrutura e zonas divididas de acordo com características como tipo do solo, comportamento a prova de fogo e blindagem especial, bem como seus coeficientes. Na última interface são apresentados os resultados referentes a cada tipo de risco (R_1 , R_2 e R_3) com seus respectivos danos e componentes de riscos associados, como também, a análise final em comparação com os coeficientes determinados pela NBR 5419 2015 parte 2.

No topo de cada interface é possível selecionar onde se deseja navegar, utilizando as opções apresentadas. Esta função foi adicionada a partir da função de "Hiperlink".

5.1.1 Primeira Interface

A página inicial da ferramenta apresenta os campos para inserção dos dados:

- Densidade de descargas atmosféricas;
- Fator de Localização da Estrutura;
- SPDA (Existência de medidas protetivas e classe de proteção);
- Ligação Equipotencial;
- Blindagem Espacial Externa.

O usuário insere os dados nos campos em branco apresentados na Figura (7), alguns dados devem ser selecionados de acordo com os pré-determinados pela Norma, para isto, foi utilizado a função de lista, através da função “Validação de Dados”, limitando assim a seleção.

Os códigos ao lado dos campos, referem-se às tabelas determinadas na Norma.

No rodapé da página, no botão “avançar”, o usuário poderá prosseguir para a próxima etapa, onde preencherá os dados da etapa 2.

Figura 7 Características Ambientais e Globais da Estrutura.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise
Características Ambientais e Globais da Estrutura					
Densidade de descargas atmosféricas para a terra	<input type="text"/>	(1/km ² /ano)			
Dimensões da estrutura	<input type="text"/>	L	<input type="text"/>	W	<input type="text"/>
					H (m)
Fator de localização da estrutura	<input type="text"/>				(A.1)
SPDA	<input type="text"/>				(B.2)
Ligação equipotencial	<input type="text"/>				(B.7)
Blindagem espacial externa	<input type="text"/>	0	Wm1	<input type="text"/>	(m)
Novo Gerenciamento			Avançar		

Fonte: Autoria Própria.

5.1.2 Segunda e Terceira Interface

A segunda e a terceira interfaces são desenvolvidas de forma análoga e apresentadas pelas Figuras (8) e (9). Nelas deverão ser inseridos os dados da Linha de Energia e Linha de Sinal.

Nesta página os campos para inserção de dados, são:

- Comprimentos da linha (Energia e Sinal)
- Fator de Instalação
- Fator tipo de linha
- Fator ambiental
- Blindagem da linha
- Blindagem, aterramento, isolação
- Estrutura adjacente (se aplicável)
- Fator de localização da estrutura adjacente (se aplicável)
- Tensão suportável dos sistemas internos
- Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
- Valores da probabilidade
- Valores da probabilidade PLI (linha de energia)

Da mesma maneira como na primeira página, alguns valores são pré-determinados e só podem ser inseridos a partir das tabelas fornecidas pela Norma, desta forma, é aplicada a função de lista, através da ferramenta de “Validação de Dados”.

No rodapé da ambas as páginas, é possível avançar para próxima etapa ou até mesmo retornar a etapa anterior.

Com a aplicação destes botões utilizando a função “Macro”, só poderá avançar para a próxima etapa caso os dados básicos tenham sido inseridos.

Figura 8: Linha de Energia.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise
Linha de Energia					
Comprimento	<input type="text"/>	(m)			
Fator de Instalação	<input type="text"/>	(A.2)			
Fator tipo de linha	<input type="text"/>	(A.3)			
Fator ambiental	<input type="text"/>	(A.4)			
Blindagem da linha	<input type="text" value="Não Blindada"/>		(B.8)		
Blindagem, aterramento, isolamento	<input type="text"/>		(B.4)		
Estrutura adjacente (se aplicável)	<input type="text" value="Lj"/>	<input type="text" value="Wj"/>	<input type="text" value="Hj"/>	(m)	
Fator de localização da estrutura adjacente (se aplicável)	<input type="text"/>		(A.1)		
Tensão suportável dos sistemas internos	<input type="text"/>		(kV)		
Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema	<input type="text" value="#DIV/0!"/>	Uw	<input type="text" value="0"/>	(kV)	
Valores da probabilidade Pld	<input type="text"/>	Blindagem	<input type="text"/>	Tensão suportavel	(kV) (B.8)
	(Ω/km)	Uw			
Valores da probabilidade PLI (linha de energia)	<input type="text"/>		(kV) (B.9)		
Voltar		Avançar			

Fonte: Autoria Própria.

Figura 9: Linha de Sinal.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise
Linha de Sinal					
Comprimento	<input type="text"/>	(m)			
Fator de Instalação	<input type="text"/>	(A.2)			
Fator tipo de linha	<input type="text"/>	(A.3)			
Fator ambiental	<input type="text"/>	(A.4)			
Blindagem da linha	<input type="text" value="Não Blindada"/>		(B.8)		
Blindagem, aterramento, isolamento	<input type="text"/>		(B.4)		
Estrutura adjacente (se aplicável)	<input type="text" value="Lj"/>	<input type="text" value="Wj"/>	<input type="text" value="Hj"/>	(m)	
Fator de localização da estrutura adjacente (se aplicável)	<input type="text"/>		(A.1)		
Tensão suportável dos sistemas internos	<input type="text"/>		(kV)		
Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema	<input type="text" value="#DIV/0!"/>	Uw	<input type="text" value="0"/>	(kV)	
Valores da probabilidade Pld	<input type="text"/>	Blindagem	<input type="text"/>	Tensão suportavel	(kV) (B.8)
	(Ω/km)	Uw			
Valores da probabilidade PLI (linha de energia)	<input type="text"/>		(kV) (B.9)		
Voltar		Avançar			

Fonte: Autoria Própria.

5.1.3 Quarta Interface

A quarta interface é responsável pelo cadastramento das zonas, que deveram ser delimitadas pelo projetista levando em conta a possibilidade de execução da medida protetiva na zona a ser protegida, e características que compõem o ambiente (tipo do solo ou piso, proteção contra incêndio, blindagem especial, uso de DPS). A interface pode ser observada na Figura (10). Os dados solicitados nesta etapa são:

- Identificar a Zona.
- Número de pessoas

- Tempo de presença
- Superfície do piso
- Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)
- Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)
- Risco de incêndio
- Proteção contra incêndio
- Blindagem espacial interna
- Energia e Telecom
 - Fiação Interna
 - DPS Coordenados
- L1: perda de vida humana
 - Perigo especial: baixo pânico
 - D1: devido à tensão de toque e de passo
 - D2: devido a danos físicos
 - D3: devido à falha de sistemas internos
- L2: Perda inaceitável de serviço ao público
 - D2: devido a danos físicos
 - D3: devido à falha de sistemas internos
- L3: Perda inaceitável de patrimônio cultural.
 - D2: devido a danos físicos

Dentro da interface além dos botões de avançar e voltar existe ainda um terceiro, responsável por adicionar a zona e dados referentes às suas características construtivas e de uso, possibilitando a gravação das informações adicionadas. Desta forma, cada vez em que são gravados os dados de uma nova zona, estes são salvos em uma interface adicional (Cálculos), tratada a seguir.

Uma função “Macro” foi desenvolvida para que o usuário só possa adicionar uma nova zona, quando os dados essenciais (número de pessoas que utilizam a zona, tempo de presença, superfície do piso, risco de incêndio, medidas de proteção contra choque elétrico e incêndio, fator de instalação das linhas de energia e sinal, blindagem, etc.) referentes às a zonas sejam inseridas. Caso o usuário não tenha informado algum dado essencial para o cadastramento da zona, uma caixa de mensagens “complete a tabela” é exibida apontando um erro na inserção dos dados.

Figura 10: Cadastramento de Zonas.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise
Fatores Válidos para Zona					
Zona		<input type="text"/>			
Número de Pessoas		<input type="text"/>			
Tempo de Presença		<input type="text"/> (horas)			
Superfície do piso		<input type="text"/>		(C.3)	
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		<input type="text"/>		(B.1)	
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		<input type="text"/>		(B.6)	
Risco de incêndio		<input type="text"/>		(C.5)	
Proteção contra incêndio		<input type="text"/>		(C.4)	
Blindagem espacial interna		<input type="text" value="0"/>	Wm2	<input type="text"/>	(m)
Energia	Fiação interna	<input type="text"/>		(B.5)	
	DPS coordenados	<input type="text"/>		(B.3)	
Telecom	Fiação interna	<input type="text"/>		(B.5)	
	DPS coordenados	<input type="text"/>		(B.3)	
L1: perda de vida humana	Perigo especial: baixo pânico	<input type="text"/>		(C.6)	
	D1: devido à tensão de toque e de passo	<input type="text"/>		(C.2)	
	D2: devido a danos físicos	<input type="text"/>		(C.2)	
	D3: devido à falha de sistemas internos	<input type="text"/>		(C.2)	
L2: Perda inaceitável de serviço ao público	D2: devido a danos físicos	<input type="text"/>		(C.8)	
	D3: devido à falha de sistemas internos	<input type="text"/>		(C.8)	
L3: Perda inaceitável de patrimônio cultural	D2: devido a danos físicos	<input type="text"/>		(C.10)	
	Valor do patrimônio cultural na zona	<input type="text"/>		(Reais)	
Adicionar Zona					
Voltar		Avançar			

Fonte: Autoria Própria.

5.1.4 Quinta Interface

Na quinta interface, Figura (11), o usuário seleciona a zona através de uma lista criada com a aplicação da ferramenta “Validação de Dados”. Ao selecionar a zona, o usuário pode observar os valores dos componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura, assim como os valores resultantes para cada tipo de risco (R_1 , R_2 e R_3). Após a seleção da zona e dos tipos de riscos a serem avaliados, é necessário clicar no botão “Identificar Risco da Zona” para que os valores de todos os componentes de risco sejam apresentados na última interface.

Figura 11: Identificação dos Riscos de cada Zona.

Tipo de Danos	Símbolo	Equação	R1	R2	R3
D1 Ferimentos devido a choque	Ra	$RA = ND \times PA \times LA$	0	0	0
	Ru	$RU = (NL + NDJ) \times PU \times LU$	0	0	0
D2 Danos físicos	Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	0	0	0
	Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	0	0	0
D3 falha de sistema interno	Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	0	0	0
	Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	0	0	0
	Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0	0	0
	Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0	0	0

Fonte: Autoria Própria.

5.1.5 Sexta Interface

Nesta interface são apresentados os resultados finais para os riscos R_1 , R_2 e R_3 , assim como os valores de seus componentes para cada zona analisada.

Os quatro botões auxiliares realizam as análises de R_1 , R_2 e R_3 , e também oferecem a opção de uma nova análise.

Para aplicação dos botões foram criadas “Macros” para realizar a soma dos coeficientes de todas as zonas cadastradas anteriormente (limitados a quinze zonas) e também limpar os dados de entrada, para que novas análises possam ser feitas.

A interface pode ser observada na Figura (12) a seguir:

Figura 12: Análise Final.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise
Tipo de Danos		Símbolo	Equação		Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque		Ra	RA = ND × PA × LA		
		Ru	RU = (NL + NDJ) × PU × LU		
D2 Danos físicos		Rb	RB = ND × PB × LB		
		Rv	RV = (NL + NDJ) × PV × LV		
D3 falha de sistema interno		Rc	RC = ND × PC × LC		
		Rm	RM = NM × PM × LM		
		Rw	RW = (NL + NDJ) × PW × LW		
		Rz	RZ = NI × PZ × LZ		
Analisar R1		Rt	1,00E-05		
O sistema está dentro dos limites da norma atual					
Tipo de Danos		Símbolo	Equação		Estrutura
D2 Danos físicos		Rb	RB = ND × PB × LB		
		Rv	RV = (NL + NDJ) × PV × LV		
D3 falha de sistema interno		Rc	RC = ND × PC × LC		
		Rm	RM = NM × PM × LM		
		Rw	RW = (NL + NDJ) × PW × LW		
		Rz	RZ = NI × PZ × LZ		
Analisar R2		Rt	1,00E-03		
O sistema está dentro dos limites da norma atual					
Tipo de Danos		Símbolo	Equação		Estrutura
D2 Danos físicos		Rb	RB = ND × PB × LB		
		Rv	RV = (NL + NDJ) × PV × LV		
Analisar R3		Rt	1,00E-04		
O sistema está dentro dos limites da norma atual					
Novo Gerenciamento					

Fonte: Autoria Própria.

A coluna Estrutura soma os componentes de riscos de todas as zonas e apresenta no final o valor de R_t , que é a soma total. Assim é possível que de forma comparativa seja analisado se os valores finais de R_1 , R_2 e R_3 calculados estão abaixo, acima ou em igualdade com os índices determinados pela norma.

5.1.6 Cálculos

Existe uma tabela auxiliar indisponível para o usuário, onde os dados informados em cada interface são salvos e também aplicados aos algoritmos determinados pela Norma.

Em todas as interfaces, existem campos com características pré-determinadas pela Norma, quando o usuário seleciona alguma destas características, um peso é adicionado a elas na tabela de cálculos.

A seleção destes coeficientes é feita a partir da aplicação de comandos “Se”, em algoritmos de comparação, ou seja, quando o usuário seleciona uma característica, a ferramenta busca na tabela equivalente o valor correspondente a ela e salva na célula referente na tabela de cálculos. Nesta tabela também são salvos de maneira dinâmica, os dados de todas as zonas cadastradas na interface 4. Para isso foi criada uma “Macro”, para que os coeficientes referentes a cada característica solicitada possam ser salvos como valores na Tabela de Cálculos. A Figura (13), apresenta um exemplo de como é feita esta análise.

Figura 13: Exemplo Macro.

```

'tabela c3

If (Sheets("Tab 4").Range("C11") = "Agricultura, concreto") Then
novaZona.Range(1, 4) = Sheets("C.3").Range("C2")
End If

If (Sheets("Tab 4").Range("C11") = "Marmore, cerâmica") Then
novaZona.Range(1, 4) = Sheets("C.3").Range("C3")
End If

If (Sheets("Tab 4").Range("C11") = "Cascalho, tapete, carpete") Then
novaZona.Range(1, 4) = Sheets("C.3").Range("C4")
End If

If (Sheets("Tab 4").Range("C11") = "Asfalto, linóleo, madeira") Then
novaZona.Range(1, 4) = Sheets("C.3").Range("C5")
End If

```

Fonte: Autoria Própria.

Como visto na Figura (13), a característica “Agricultura, concreto”, chama na Tabela de Cálculo o valor 0,01 para o valor correspondente ao coeficiente que essa característica traduz, como mostra a Figura (10).

6 ESTUDO DE CASO

Visando o conceito de minimização de riscos, a ABNT realizou as atualizações citadas nos capítulos anteriores. Sendo assim, os níveis de proteção foram definidos de acordo com os utilizados pela comunidade internacional, para determinação da necessidade ou não da proteção contra descargas atmosféricas e aplicação das medidas adotadas para realizar essa proteção.

Como fator significativo nessa atualização, o gerenciamento de risco é uma ferramenta utilizada para se determinar a necessidade ou não de realizar uma proteção contra eventos perigosos. Também pode ser utilizado para averiguar o real nível de segurança de um sistema de proteção já instalado, analisando diversos parâmetros da estrutura e da proteção.

Desta forma, identificar se a estrutura e as pessoas servidas por ela estão sujeitas a níveis de risco toleráveis, e em caso de ineficácia do sistema de proteção instalado, o gerenciamento de risco amparado pela abrangência de sua análise, ajuda a identificar pontos vulneráveis do sistema através da análise dos componentes de risco, Anexo B.

O estudo de caso proposto é desenvolvido na UTFPR, campus Cornélio Procópio, com intuito de evidenciar a aplicabilidade da planilha desenvolvida, analisando uma estrutura já protegida (Bloco P), e uma estrutura sem PDA (Blocos G, H, I) demonstrando de maneira detalhada a maior alteração ocasionada pela atualização no texto base da NBR 5419:2015.

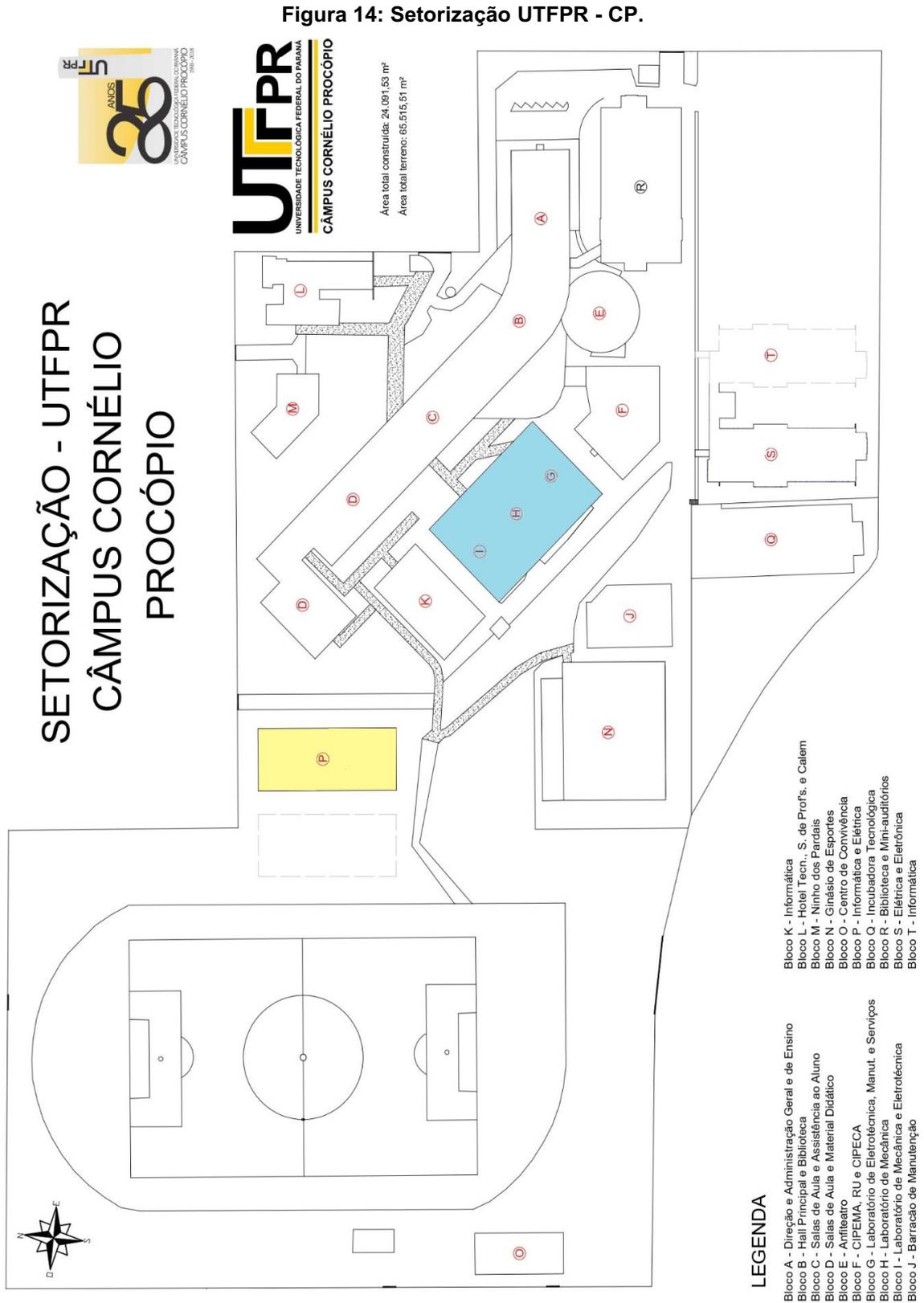
Através do gerenciamento de risco será analisada a compatibilidade de um sistema de proteção desenvolvido seguindo parâmetros da versão da NBR 5419:2005 em relação as exigências presentes na versão atualizada em 2015.

Amparado pelo texto atualizado da norma, também será analisado se a estrutura sem SPDA necessita de medidas de proteção.

Por fim, constatar se as edificações escolhidas estão efetivamente protegidas contra descargas atmosféricas, e sujeitas a níveis toleráveis de risco de perda de vida humana e perda de patrimônio público.

O estudo de gerenciamento de risco será realizado tendo como objetos de estudo os Blocos P (amarelo), G, H e I (azul), Figura (14), composto por salas de

aula e laboratórios de elétrica, mecânica e informática, possuindo computadores, motores, projetores e diferentes equipamentos elétricos e eletrônicos.



Fonte: DEPRO – UTFPR - CP

O Bloco P, ilustrado na Figura (15), foi selecionado como um dos objetos de estudo, entre todas as edificações que compõe a UTFPR, campus Cornélio Procópio apresentada na Figura (14), pois, juntamente com os blocos R, S e Caixa de Água, são os que possuem projeto e a instalação da proteção contra descargas atmosféricas, com subsistemas de captação, descida, aterramento e proteção contra surtos.

O projeto de SPDA do bloco P é o mais antigo, elaborado em junho de 2009.

Figura 15: Vista Oeste Bloco P.



Fonte: Autoria Própria.

A estrutura constituída pelos blocos G, H e I, exibida na Figura (16), foi selecionada como um dos objetos de estudo por se tratar de uma edificação não dotada de DPS, ligações equipotenciais e SPDA (subsistemas de captação, descida e aterramento), sendo utilizada para ensino superior, com intenso fluxo de pessoas e grande valor agregado de equipamentos elétricos e eletrônicos instalados.

Existem na estrutura algumas medidas de proteção contra choque elétrico e prevenção de incêndio já são adotadas, consequentemente possibilitando a demonstração da importância do gerenciamento de risco para a avaliação do valor relativo a uma provável perda anual média de vida humana e patrimônio cultural, devido a danos causados por descargas atmosféricas.

Figura 16: Blocos G, H e I.

Fonte: Autoria Própria.

Para constatar a conformidade do SPDA presente no Bloco P, e assim proporcionar um gerenciamento de risco mais preciso dessa estrutura, foi realizada uma análise a partir do registro fotográfico sobre as condições do sistema de proteção. Esta análise identificará se o mesmo está instalado conforme projeto, se todos os componentes do SPDA estão em bom estado, as conexões e fixações estão firmes e livres de corrosão, e se todas as construções acrescentadas à estrutura posteriormente à instalação original estão integradas no volume a proteger.

A análise é fundamentada nas diretrizes expostas pela NBR 5419:2005 vigente na elaboração do projeto de proteção do Bloco P (2005), e será composta por imagens e descrições de cada subsistema (captação, descida e conexões com o sistema de aterramento).

Além disto, contemplara áreas onde houve a possibilidade de chegar a estes elementos, considerando: escadas adequadas para o acesso, condições estruturais que garantissem a segurança para o acesso sem riscos de acidente por quebra de telhado e locais onde o acesso foi possível sem a utilização de plataformas elevatórias.

6.1 Análise de conformidade Bloco P

De acordo com as diretrizes da NBR 5419:2005, foram analisados: captadores, condutores de descida, elementos de fixação, emendas, equipotencialização de potencial e conexões com o subsistema de aterramento.

Para a estrutura em análise foi desenvolvido um sistema de proteção contra descargas atmosféricas nível 2, em concordância com a norma vigente até sua atualização em 2015, na qual indica que teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas devem possuir proteção dimensionada de acordo com os critérios estabelecidos para um nível de proteção com valor 2. A estrutura apresenta sistema coordenado de DPS, estando presentes no quadro de distribuição geral e secundários.

O nível de proteção é responsável por definir a classe do SPDA a ser instalado. Cada classe inclui regras dependentes do nível de proteção (raio da esfera rolante, largura da malha etc.) e regras independentes do nível de proteção (seções transversais de cabos, materiais etc.). Perante a norma são considerados quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas (I a IV), equivalentes a classe do SPDA (I a IV). Para cada nível de proteção, é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas. Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas para os diferentes níveis de proteção são dados na Tabela (33). Os valores são usados para projetar componentes de proteção contra descargas atmosféricas (seção transversal dos condutores, espessuras das chapas metálicas, capacidade de condução de corrente dos DPS e distância de segurança contra centelhamentos perigosos) e para definir parâmetros de ensaios que simulam os efeitos das descargas atmosféricas sob tais componentes (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Tabela 33: Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP)

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	I	kA	200	150	100	
Carga do impulso	Q_{curta}	C	100	75	50	
Energia específica	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	

Parâmetros de tempo	T_1/T_2	μ_s/μ_s	10/350			
Primeiro impulso negativo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	100	75	50	
Taxa média de variação	d_i/d_t	kA/μ_s	100	75	50	
Parâmetros de tempo	T_1/T_2	μ_s/μ_s	1/200			
Impulso subsequente			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	50	37,5	50	
Taxa média de variação	d_i/d_t	kA/μ_s	200	150	0,25/100	
Parâmetros de tempo	T_1/T_2	μ_s/μ_s	0,25/100			
Componente longa da descarga			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da componente longa	Q_{longa}	C	200	150	100	
Parâmetros de tempo	T_{longa}	s	0,5			
Descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da descarga	Q_{flash}	C	300	225	150	

Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

6.1.1 Subsistema de captação

Possui captor, conforme o método de Franklin, dispostos de forma homogênea e central, bem fixado a estrutura por estaiamento com cabo de aço para mastro de 6 metros a base do mastro, conforme Figura (17). No perímetro da estrutura estão instalados 24 captos secundários conectados ao anel captor superior. Estes captos medem 35 centímetros de comprimento, e estão espaçados em 4,65m aproximadamente entre si.

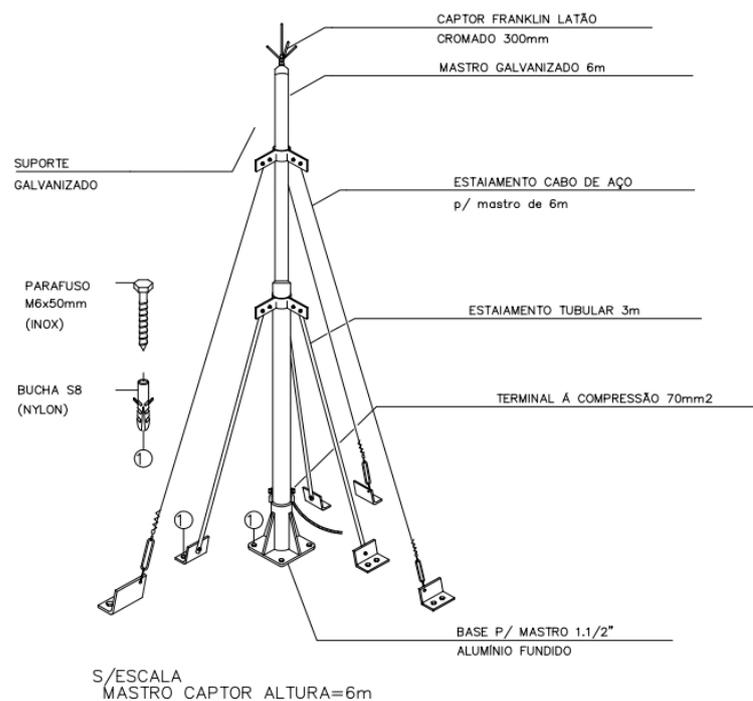
Figura 17: Captor e Mastro (Bloco P).



Fonte: DEPRO – UTFPR - CP.

Entretanto recomenda-se a instalação conforme solicitado no projeto da fixação por estaiamento tubular, a 3 metros em relação à base do mastro, deixando sua fixação mais robusta, como mostra a Figura (18).

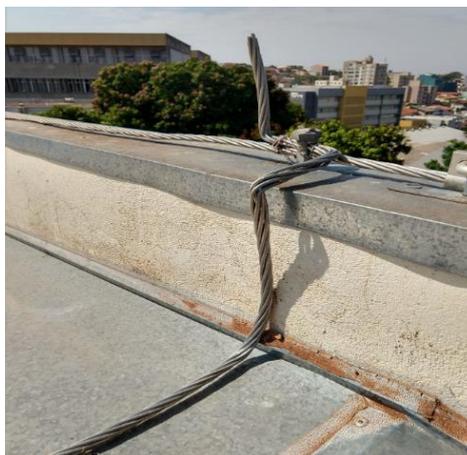
Figura 18: Projeto do Captor e Mastro (Bloco P).



Fonte: DEPRO – UTFPR - CP.

O subsistema de captação também utiliza componentes naturais da estrutura (telhado com partes metálicas) como captosres naturais, estando conectados aos captosres ou ao condutor que constitui o anel superior, conforme Figura (19).

Figura 19: Conexão entre telhado metálico e anel superior.



Fonte: Autoria Própria.

O anel superior de acordo com o projeto elaborado deveria ser executado com cabo de alumínio de seção nominal $\#70mm^2$, e a malha de Faraday deveria possuir área equivalente a $126m^2$ aproximadamente, dispendo de comprimento e largura de 14 e 9 metros respectivamente, porem o verificado in loco foi que o anel superior é constituído por cabo cobre nu com seção nominal de $\#50mm^2$, ainda assim estando dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR 5419:2005.

O subsistema de captação composto pelo captor de Franklin, anel superior, captosres secundários e malha de Faraday, não apresentam condutores soltos (sem fixação com o sistema de proteção) e emendas entre os condutores interligando ao captor. O captor se encontra em bom estado, assim como seu mastro, ambos representados na Figura (19).

6.1.2 Subsistema de descida

Conta com subsistema composto por 10 descidas de espaçamento inferior a 15 metros entre si, e não estão espaçadas homoganeamente. Os condutores de descida se originam do anel superior instalado no telhado e são compostos por cabo

de cobre nu de seção nominal $\#50\text{mm}^2$, protegidos por eletroduto de PVC rígido a 2,5 metros acima do nível do solo, como mostram as Figuras (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28) e (29).

Figura 20: Descida 1 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 21: Descida 2 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 22: Descida 3 (Bloco P).



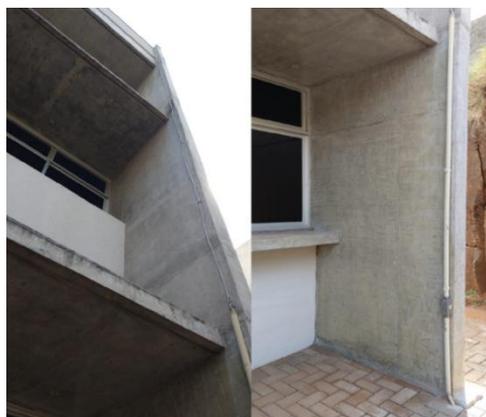
Fonte: Autoria Própria.

Figura 23: Descida 4 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 24: Descida 5 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 25: Descida 6 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 26: Descida 7 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27: Descida 8 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 28: Descida 9 (Bloco P).



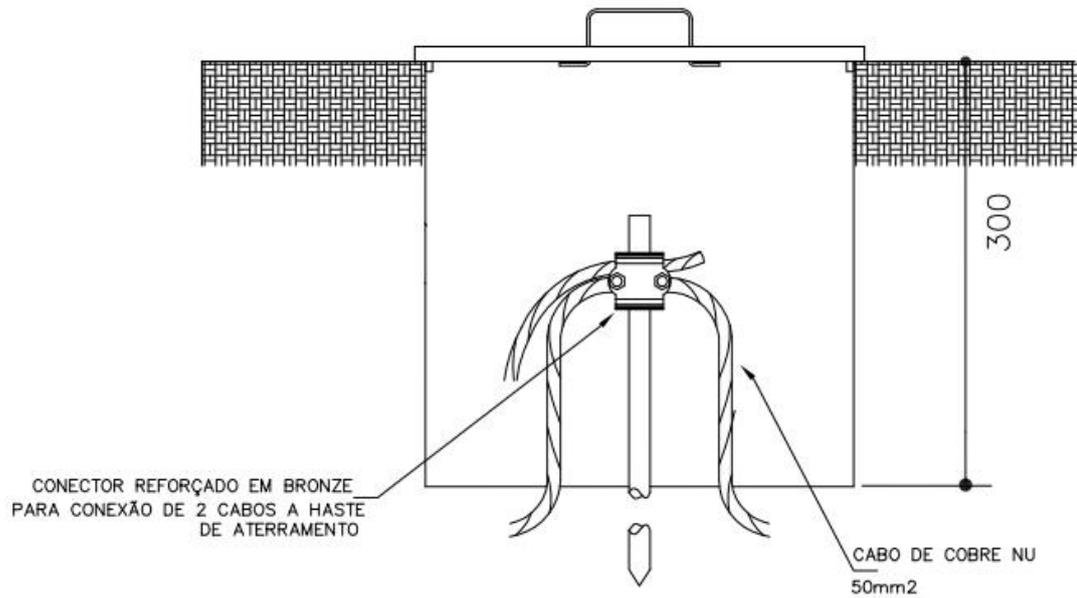
Fonte: Autoria Própria.

Figura 29: Descida 10 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

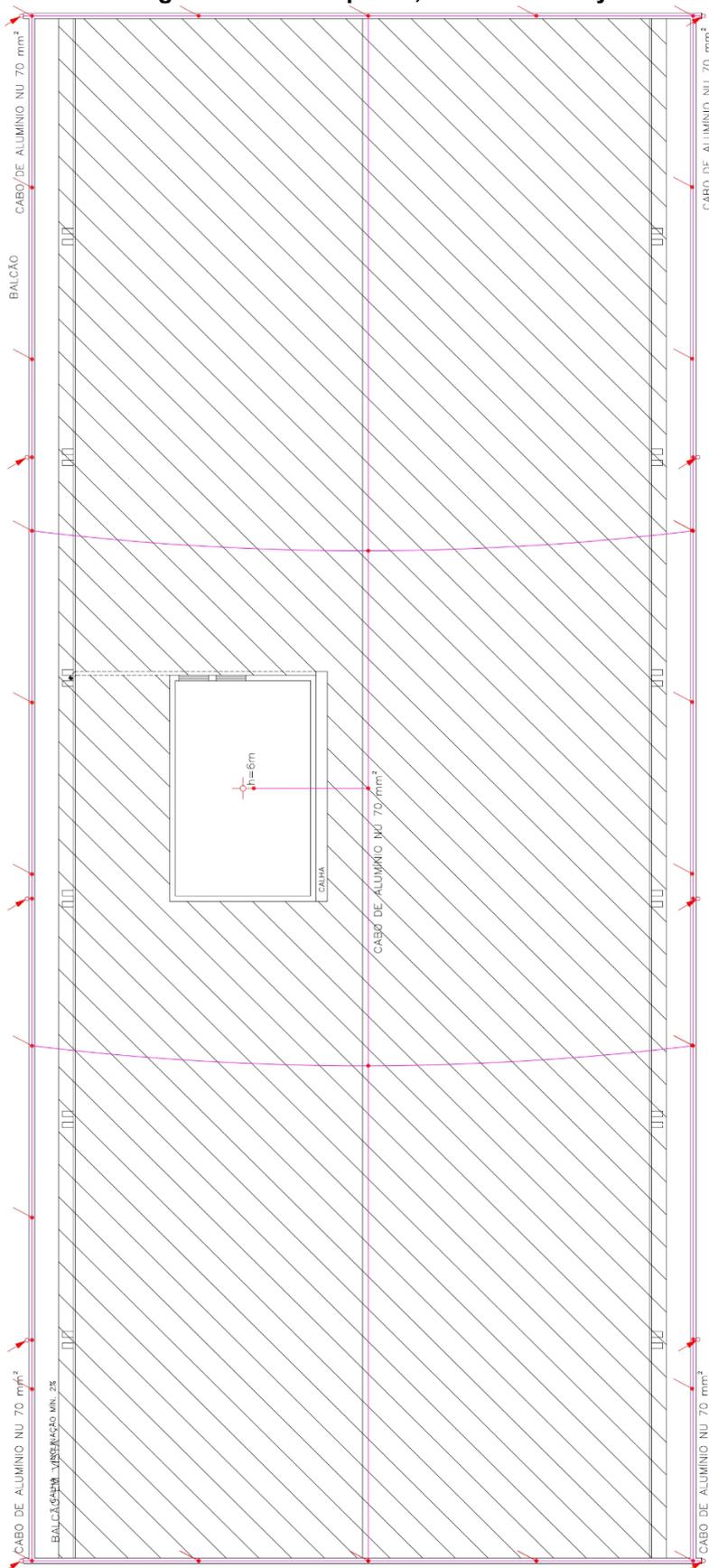
Os condutores de descida possuem conexão com o subsistema de aterramento composto por anel inferior e hastes de aterramento, através de conexões cabo/haste, conforme mostra a Figura (30).

Figura 30: Conexão cabo/haste.

Fonte: DEPRO – UTFPR - CP.

Entretanto, o projeto previa que os cabos de descida que interligam com a malha de aterramento, fossem de alumínio e com seção nominal de 70mm^2 , e espaçamento de aproximadamente 9 metros de distância entre si, apresentadas pela Figura (31).

Figura 31: Anel superior, malha de Faday e descidas (Bloco P).



SÍMBOLO	ESPECIFICAÇÃO
	TELHADO DE FIBROCEMENTO
	PARA-RAIOS TIPO FRANKLIN
	CAIXA DE INSPEÇÃO EM PVC ø300mm COM TAMPA DE FERRO E HASTE DE ATERRAMENTO 5/8"x2,40m
	BARRA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DO POTENCIAL
	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DE SOBREPOR. h=1,3m
	TERMINAL AFREDO 350mm
	CABO DE ALUMÍNIO NU 70mm²
	CABO DE COBRE NU 50mm²
	CONEXÃO
	SUBSISTEMA DE DESCIDA

Fonte: DEPRO – UTFPR - CP.

De acordo com a NBR 5419:2005, para as edificações de concreto armado existentes com NP 2, deveria ser implantado um SPDA com descidas possuindo conexão ao aterramento a cada 15 metros de perímetro. A seção nominal utilizada nos condutores que compõe o subsistema também está de acordo com as diretrizes normativas, assim evidenciando que o subsistema instalado está de acordo com a NBR 5419:2015.

6.1.3 Conexões e Eletrodos de Aterramento.

A análise detectou 6 caixas de inspeção, compostas de PVC com tampa de ferro, facilitando aferições futuras da impedância do subsistema de aterramento, Figuras (32), (33), (34), (35), (36) e (37).

Figura 32: Caixa de inspeção 1 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 33: Caixa de inspeção 2 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 34: Caixa de inspeção 3 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 35: Caixa de inspeção 4 (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 36: Descida 5 (Bloco P).

Fonte: Autorial Própria.

Figura 37: Descida 6 (Bloco P).

Fonte: Autorial Própria.

O anel inferior é composto por cabo de cobre nu de seção nominal 50mm^2 , circula com distância mínima de 1 metro do perfil da estrutura e a uma profundidade mínima de 0,6m do nível do solo, assim como previsto em projeto.

As conexões do subsistema de descida apresentam boa fixação aos eletrodos de aterramento, estão em ótimo estado e apresentam ausência de oxidação.

O projeto desenvolvido para estrutura previa 10 caixas de inspeção com seus respectivos eletrodos de aterramento, Figura (31), entretanto conforme indicações da norma NBR 5419:2005 o subsistema de aterramento foi executado corretamente.

Posteriormente a conclusão do Bloco P, foi instalada uma rampa de acesso para que pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida conseguissem acessar a estrutura facilmente. Para esta rampa de acesso foi adotado uma cobertura composta de estruturas metálicas e telhas de fibra de vidro, Figura (6.25), para proteção contra chuva. Esse novo volume inserido a estrutura em análise não possui ligação equipotencial com o BEP, assim indicando uma inadequação de acordo com as exigências da NBR 5419:2005.

Recomenda-se a realização de ligações equiponteciais interligando os volumes metálicos que constitui a estrutura da cobertura, janelas e portas.

Figura 38: Rampa de acesso (Bloco P).



Fonte: Autoria Própria.

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado no Bloco P, mesmo que não em total conformidade com o projeto original, está dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR 5419:2005, vigente no período do desenvolvimento do projeto. Após a constatação da real situação do SPDA instalado é possível desenvolver um estudo de gerenciamento de risco mais preciso, assim identificando se a estrutura em análise está realmente protegida contra os efeitos das descargas atmosférica, sujeita a níveis de risco toleráveis.

6.2 Análise de Gerenciamento de Risco

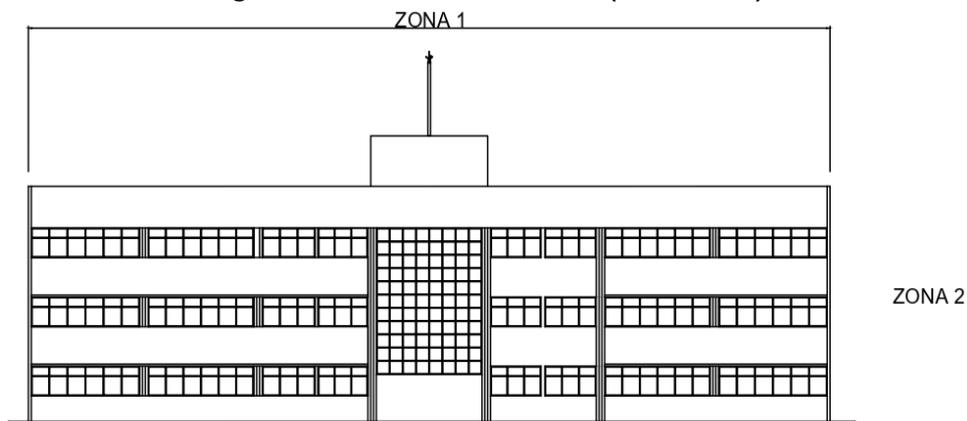
A probabilidade de ocorrência de um resultado desfavorável, de um dano ou de um fenômeno indesejado perante uma descarga atmosférica é chamada de risco. Controlar o risco sob diversas formas, gestão, análise, avaliação, mitigação ou tratamento, entre outros, tornou-se um ato normal, quase indispensável numa gestão adequada. A proteção contra os riscos que possam afetar o público ou ambiente passou a constituir um direito reconhecido e exigido pela população (ALMEIDA, 2014, p 19).

6.2.1 Gerenciamento de Riscos: Bloco P

O bloco P é composto por 18 salas de aulas, 12 banheiros, distribuídos em 3 pavimentos, com 18 metros de largura, 42 metros de comprimento, 15 metros de altura e uma área total de aproximadamente $2.268m^2$ construídos, Figura (39).

Perda de vida humana (L_1) e Perda inaceitável de serviço ao público (L_2) são relevantes para esse tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção, isso implica na avaliação do Risco de perda de vida humana (R_1) e Risco de perda de serviço ao público (R_2), junto aos componentes de risco R_A , R_B , R_U , R_V , R_C , R_M , R_W e R_Z possibilitando que medidas de proteção adequadas possam ser indicadas se necessário. A Perda de valor econômico (L_4), não será analisada no estudo de caso, devido à ausência de informações do valor agregado dos bens contidos na estrutura. Perda inaceitável de patrimônio cultural (L_3), não se aplica ao estudo de caso, pois é avaliada somente em museus e galerias.

Figura 39: Vista lateral Bloco P (vista oeste).



Fonte: Adaptado DEPRO – UTFPR - CP.

A estrutura em análise foi dividida em duas zonas distintas para melhor avaliação da sua área disponibilizada para uso público, Figura (6.22). A delimitação das zonas seguiu as indicações presentes na norma, sendo analisadas as possibilidades de execução do PDA, tipo de solo ou piso (componentes de risco R_A e R_U), medidas de proteção contra incêndio existentes (componentes de risco R_B e R_V), blindagem e uso de DPS (componentes de risco R_C e R_M).

A zona 1 é composta por salas de aula, banheiros, elevadores e laboratórios de informática. A circulação de pessoas na zona é caracterizada de maneira homogênea e os níveis de tensão suportável dos sistemas internos, em sua grande maioria são os mesmos. A zona 2 incorpora a área comum externa do bloco P (parte dessa área possuindo cobertura metálica com telhas de PVC), onde se encontram mesas e assentos para que estudantes possam realizar atividades.

A construção está localizada em um terreno plano, circulado por aclives e declives, com prédios e construções da mesma altura ou mais baixas nas redondezas.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) é equivalente a 5 descargas atmosféricas por quilometro quadrado por ano.

Os dados referentes às características da estrutura e do meio ambiente onde está inserida, estão contidos na Tabela (34).

Tabela 34 Características Ambientais e Globais Bloco P.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2$ /ano)	Dado obtido na página do ELAT, portal de informações do INPE	N_G	5,0
Dimensões da estrutura (m)		$L. W. H$	18. 42. 15
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5
SPDA	Estrutura protegida por SPDA NP 2	P_B	0,05
Ligação equipotencial	DPS Classe I	P_{EB}	0,01
Blindagem espacial externa	Malha de Faraday	K_{S1}	1

Fonte: Autoria Própria.

A instalação das linhas de energia que adentram a edificação, são classificadas de acordo com o fator de Instalação (C_I), apresentado na Tabela (4.5). Este é um fator que contribui para determinação do número médio anual de eventos perigosos na linha e perto da linha de energia (N_l), e (N_i). Quanto maior o C_I adotado, maiores são os números médios de eventos, ou seja, linhas aéreas elevam mais o número de eventos que as linhas subterrâneas, uma vez que seus coeficientes são 1 e 0,5 respectivamente. A análise do projeto, permite indicar que as linhas em baixa tensão do Bloco P são subterrâneas, com C_I igual a 0,5.

Seguindo indicações da NBR 5419:2015, quando o comprimento da seção das linhas for desconhecido, pode ser assumido com 1000 metros de comprimento, sendo esse valor o assumido para a análise referente às linhas de energia e sinal. As linhas de energia são provenientes de uma subestação instalada internamente aos limites da Universidade, portanto há isolamento elétrica entre rede de baixa tensão e a rede de média tensão.

As linhas de sinais são compostas por cabos tipo: par traçado, ótico e cabo de conexão interna (CCI). A rede destinada a sinais possui blindagem. São classificadas de acordo com o fator de Instalação (C_I), apresentado na Tabela (4.5). A análise do projeto, permite indicar que as linhas de sinal que adentram o Bloco P são aéreas, com C_I igual a 1.

Os dados para as linhas que adentram a estrutura e seus sistemas internos conectados são dados para linha de energia, Tabela (35), e para linha de sinal, Tabela (36).

Tabela 35 Bloco P: linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento da linha (m)	NBR 5419:2015	L_L	1000
Fator de instalação	Subterrâneo	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Energia BT	C_T	1,0
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S	Não se aplica
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha de energia com neutro multiaterrado	C_{LD}	1,0
	Isolada do sistema de média tensão por uma subestação	C_{LI}	0,2
Estrutura adjacente	Subestação	$L_J. W_J. H_J$	1,5. 3. 1,5
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos mais altos	C_{DJ}	0,25
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido. NBR 5410 – Tabela 31	U_W	2,5
Parâmetros resultantes	Pondera a tensão suportável de impulso $1/U_W$	K_{S4}	0,4
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga direta na linha – relativo a nível de tensão suportável e resistência da blindagem.	P_{LD}	1

	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga próxima à linha	P_{LI}	0,3
--	---	----------	-----

Fonte: Autoria Própria

Tabela 36 Bloco P: linha de sinal.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento da linha (m)	NBR 5419:2015	L_L	1000
Fator de instalação	Aéreo	C_I	1,0
Fator tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1,0
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Blindada. Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo	R_S	$1 < R_S \leq 5$
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea blindada (energia ou sinal)	C_{LD}	1,0
	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	C_{LI}	0,1
Estrutura adjacente	Blocos A, B, C e D	L_J, W_J, H_J	160, 20, 15
Fator de localização da estrutura adjacente	Não se aplica	C_{DJ}	-
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido. NBR 5410	U_W	1,5
Parâmetros resultantes	Pondera a tensão suportável de impulso $1/U_W$	K_{S4}	0,67
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga direta na linha – relativo a nível de tensão suportável e resistência da blindagem.	P_{LD}	0,8
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga próxima à linha	P_{LI}	0,5

Fonte: Autoria Própria.

As duas zonas delimitadas para a análise de gerenciamento de risco são conectadas com a energia, porém somente a zona 1 é conectada com a rede de sinal. Toda a área que contempla a zona 1 possui o mesmo tipo de acabamento de revestimento (cerâmica), assim como a totalidade da zona 2 é composta pelo mesmo tipo de acabamento de revestimento (concreto). Sistemas de proteção contra incêndio como: extintores, alarmes manuais, hidrantes e rotas de fuga estão presentes na Zona 1. Ambas as zonas em análise apresentam proteção contra choque elétrico, sendo eles aviso de alerta e restrições físicas.

O número de pessoas relacionadas a cada zona é diferente, em ambas foram adotadas situações extremas, com todos os assentos presentes na edificação ocupados. A distribuição dentro de cada zona individualmente e o tempo de presença de cada pessoa é apresentada na Tabela (37)

Tabela 37: Bloco P: distribuição por zonas.

Zona	Número de Pessoas	Tempo de presença (horas)
ZONA 1	833	8.760
ZONA 2	25	8.760
Total	858	-

Fonte: Autoria Própria.

O valor de 8.760 horas de presença por ano na estrutura em análise foi utilizado com o intuito de não reduzir o valor referente as perdas consequentes geradas pelos danos D_1 , D_2 e D_3 , assim retratando um quadro drástico.

As características resultantes das Zonas 1 e 2 estão contidas nas Tabelas (38) e (39).

Tabela 38: Bloco P: fatores válidos para zona Z_1 .

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso		Revestimento (cerâmica)	r_t	0,001
Proteção contra choque		Avisos de alerta	P_{TA}	0,1
Risco de incêndio		Normal, devido a pouco acúmulo de materiais inflamáveis.	r_f	0,01
Blindagem espacial interna		Largura entre os condutores de descida w_{m2}	K_{S2}	1
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	K_{S3}	0,2
	DPS coordenado	DPS classe 2	P_{SPD}	0,01
Telecom	Fiação interna	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	K_{S3}	0,0001
	DPS coordenado	Sistema de DPS coordenado. QD geral DPS classe I, QD secundário DPS classe II	P_{SPD}	1,0
L_1 : perda de vida humana		Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	h_Z	5,0
		D_1 : devido à tensão de toque	L_T	0,01

	e de passo: Todos os tipos		
	D_2 : devido a danos físicos: Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1
	D_3 : devido a falhas de sistemas internos: Não se aplica. Sem risco de explosão	L_O	-
L_2 : perda inaceitável de serviço público	D_2 : devido a danos físicos: Gás, água, fornecimento de energia	L_F	0,1
	D_3 :devido a falhas de sistemas internos : Gás, água, fornecimento de energia	L_O	0,01
Fator para pessoas na zona	Número total de pessoas	n_t	858
	Número de pessoas na zona	n_z	833
	Tempo de permanência	t_z	8760

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 39: Bloco P: fatores válidos para zona Z_2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso	Revestimento (concreto)	r_t	0,01
Proteção contra choque	Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	P_{TA}	0,01
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0
Proteção contra incêndio	Nenhuma providencia	r_p	1,0
Blindagem espacial interna	Largura entre os condutores de descida w_{m2}	K_{S2}	1,0
L_1 : perda de vida humana	Sem perigo especial por se tratar de uma área aberta com fácil evacuação	h_z	1,0
	D_1 : devido à tensão de toque e de passo: Todos os tipos	L_T	0,01
	D_2 : devido a danos físicos: Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1
	D_3 : devido a falhas de sistemas internos: Não se aplica.	L_O	-
Fator para pessoas na zona	Número total de pessoas	n_t	858
	Número de pessoas na zona	n_z	25
	Tempo de permanência	t_z	8760

Fonte: Autoria Própria.

Os parâmetros necessários para a realização do gerenciamento de risco, foram levantados através de análise in loco, de projetos e memoriais descritivos fornecidos pelo Departamento de Projetos e Obras (DEPRO) da UTFPR campus Cornélio Procópio. Os dados apurados foram inseridos na ferramenta desenvolvida e demonstrada no capítulo 5. Os cálculos dos componentes de riscos foram executados pela ferramenta e estão demonstrados na Figura (40)

Figura 40: Análise Final Bloco P.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise	
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D1 Ferimentos devido a choque		Ra	$RA = ND \times PA \times LA$	1,5647E-09	1,52E-09	4,56E-11
		Ru	$RU = (NL + NDJ) \times PU \times LU$	0	0	0
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	3,7978E-06	3,8E-06	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	0	0	0
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	0	0	0
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	0	0	0
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0	0	0
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0	0	0
Analisar R1		Rt	1,00E-05	3,7994E-06		
		O sistema está dentro dos limites da norma atual				
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	7,5956E-07	7,6E-07	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	0	0	0
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	6,0765E-06	6,08E-06	0
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	7,6587E-05	7,66E-05	0
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0	0	0
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	5,8252E-05	5,83E-05	0
Analisar R2		Rt	1,00E-03	0,00014168		
		O sistema está dentro dos limites da norma atual				
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$		0	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$		0	0
Analisar R3		Rt	1,00E-04			
		O sistema está dentro dos limites da norma atual				
Novo Gerenciamento						

Fonte: Autoria Própria.

Com o auxílio da ferramenta desenvolvida para realização do gerenciamento de risco, foi possível obter os valores referentes aos riscos de perda de vida

humana (R_1) e de perda de serviço ao público (R_2), assim obtendo seus componentes de risco $R_A, R_B, R_U, R_V, R_C, R_M, R_W$ e R_Z .

Como pode-se observar, o coeficiente limite de R_1 é de $1,0 \times 10^{-5}$, entretanto de acordo com a análise, para esta estrutura obteve-se um coeficiente equivalente à $3,79 \times 10^{-6}$. Para L_2 o coeficiente limite é de $1,0 \times 10^{-3}$, porém o valor indicado na análise é de $1,4 \times 10^{-4}$. Desta forma são necessárias alterações nas medidas já adotadas para realizar a proteção contra descargas atmosféricas. As recomendações feitas durante a análise de conformidade do sistema de proteção instalado devem ser executadas.

O resultado mostra que a proteção presente na edificação, mesmo que desenvolvida seguindo diretrizes da norma vigente até sua atualização em 2015, está sujeita a níveis toleráveis de riscos de perda de vida humana e de serviço público. Deste modo, exemplificando que em alguns casos, projetos desenvolvidos antes da atualização da NBR 5419 em 2015, quando desenvolvidos seguindo rigorosamente as exigências normativas e informações contidas em normas complementares, são compatíveis com as atuais exigências.

6.2.1 Gerenciamento de Riscos: Blocos G, H, I

A junção dos Blocos G, H, e I formam uma única edificação, como ilustrado na Figura (6.1). A estrutura é composta por laboratórios de eletrônica (Bloco G), mecânica (Bloco H) e de eletrotécnica (Bloco I). A estrutura é alimentada em média tensão $13,8 \text{ kV}$, possuindo uma subestação em alvenaria, contendo um transformador de potência, isolado a óleo, 300 kVA .

A estrutura composta pelos blocos, possui 24 salas de aula e laboratórios, 21 salas de professor, 2 banheiros, sala destinada ao diretório central dos estudantes (D.C.E), sala de assistência aos alunos e lavatório. A junção dos blocos está dividida em 3 pavimentos, com 45 metros de largura, 30 metros de comprimento, 15 metros de altura e uma área total de aproximadamente 3150 m^2 construídos em alvenaria, sendo ilustrado pela Figura (15).

A área externa da edificação possui cobertura metálica com telhas de fibra de vidro em parte do seu perímetro estrutural, representando um volume metálico a ser considerado na avaliação das medidas de proteção a serem adotadas se necessário.

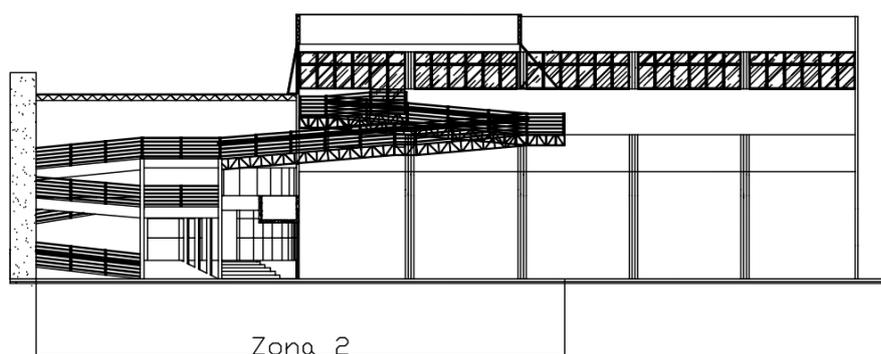
Para acessar os diferentes pavimentos que constituem a estrutura, são utilizadas três rampas de acesso. Somente uma dessas rampas é construída em metal, o restante em alvenaria. A rampa de acesso confeccionada em metal é a única que adentra a edificação, por meio de um vão central, como ilustrado nas Figuras (41) e (42).

Figura 41: Vista Frontal Blocos G, H e I – Vão central e zona 1.



Fonte: DEPRO – UTFPR – CP

Figura 42: Vista lateral Blocos G, H e I – Rampas de acesso e zona 2.



Fonte: DEPRO – UTFPR – CP

Para essa edificação, perda de vida humana (L_1) e perda inaceitável de serviço ao público (L_2), também são relevantes e requisitos para avaliação da necessidade de proteção, isso implica na avaliação do risco de perda de vida humana (R_1) e risco de perda de serviço ao público (R_2), junto aos componentes de

risco R_A , R_B , R_U , R_V , R_C , R_M , R_W e R_Z possibilitando que medidas de proteção adequadas possam ser indicadas se necessário. A perda de valor econômico (L_4), não será analisada nesse estudo de caso, devido à ausência de informações do valor agregado dos bens contidos na estrutura. Perda inaceitável de patrimônio cultural (L_3), não se aplica ao estudo de caso, pois é avaliada somente em museus e galerias.

A estrutura em análise foi dividida em duas zonas distintas para melhor avaliação da sua área disponibilizada para uso público. A zona 1 apresentada pela Figura (41), é composta por salas de aula, de auxílio ao estudante, D.C.E e professores, banheiros, laboratórios e lavatório. A circulação de pessoas na zona é caracterizada de maneira homogênea e os níveis de tensão suportável dos sistemas internos, em sua grande maioria são os mesmos. A zona 2 retratada na Figura (42), incorpora a área comum externa da estrutura, atingindo até 15 metros de distância em relação ao perímetro estrutural, incluindo as rampas de acesso e cobertura metálica.

A construção está localizada em um terreno plano, circulado por aclives e declives, com prédios e construções da mesma altura ou mais baixas nas redondezas.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) de acordo com o INPE, é equivalente a 5 descargas atmosféricas por quilometro quadrado por ano .

Os dados referentes às características da estrutura e do meio ambiente onde está inserida, estão contidos na Tabela (40).

Tabela 40 Características Ambientais e Globais Blocos G, H e I.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2$ /ano)	Dado obtido na página do ELAT, portal de informações do INPE	N_G	5,0
Dimensões da estrutura (m)		$L. W. H$	30, 45, 15
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5
SPDA	Estrutura não protegida por SPDA	P_B	0,05
Ligação equipotencial	Sem DPS	P_{EB}	1,0
Blindagem espacial externa	Nenhuma. Distância entre as vigas de concreto armado na vertical	K_{S1}	1,0

Fonte: Autoria Própria.

A instalação das linhas de energia e sinal que adentram a edificação, são classificadas de acordo com o fator de Instalação (C_I), apresentado na Tabela (9), possuindo ramal subterrâneo ou aéreo.

A análise in loco e do projeto, permite indicar que as linhas que fornecem energia ao Bloco G, H e I são subterrâneas e conectadas a rede de media tensão (13,8 kV), com C_I igual a 0,5. As linhas de energia são provenientes da rede da companhia paranaense de energia (COPEL). A redução do nível de tensão é realizada por subestação presente na edificação.

As linhas de sinais são compostas por cabos tipo: par traçado, ótico e CCI. A rede destinada a sinais possui blindagem. A análise in loco e do projeto, permite indicar que as linhas de sinal que adentram os Blocos G, H e I são aéreas, com C_I igual a 1.

A edificação composta pelos blocos A, B, C e D, caracteriza a estrutura adjacente da edificação em análise, devido sua proximidade e conexões através de linhas de sinal e energia. A estrutura metálica presente na zona 2 também representa um fator responsável por conectar as edificações.

Seguindo indicações da NBR 5419:2015, quando o comprimento da seção das linhas for desconhecido, pode ser assumido com 1000 metros de comprimento, sendo esse valor o assumido para a análise referente as linhas de energia e sinal.

Os dados para as linhas que adentram a estrutura e seus sistemas internos conectados são dados para linha de energia, Tabela (41), e para linha de sinal, Tabela (42).

Tabela 41 Bloco G, H e I: linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento da linha (m)	NBR 5419:2015	L_L	1000
Fator de instalação	Subterrâneo	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	C_T	0,2
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha enterrada blindada. Blindagem conectada ao aterramento somente na extremidade proveniente da concessionária. De acordo com a NBR 5419	R_S	$1 < R_S \leq 5$
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada blindada, não interligada (energia ou sinal)	C_{LD}	1,0
	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o	C_{LI}	0,3

	equipamento		
Estrutura adjacente	Subestação	L_J, W_J, H_J	160, 20, 15
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_{DJ}	0,5
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido. NBR 5410 – Produtos a serem utilizados em circuitos de distribuição	U_W	2,5
Parâmetros resultantes	Pondera a tensão suportável de impulso $1/U_W$	K_{S4}	0,4
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga direta na linha – relativo a nível de tensão suportável e resistência da blindagem.	P_{LD}	0,6
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga próxima à linha	P_{LI}	0,3

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 42 Bloco P: linha de sinal.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento da linha (m)	NBR 5419:2015	L_L	1000
Fator de instalação	Aéreo	C_I	1,0
Fator tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1,0
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Blindada. Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo	R_S	$1 < R_S \leq 5$
Blindagem, aterramento, isolação	Linha aérea blindada (energia ou sinal)	C_{LD}	1
	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	C_{LI}	0,1
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	160, 20, 15
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_{DJ}	0,5
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido. NBR 5410 – Equipamentos de utilização	U_W	1,5
Parâmetros resultantes	Pondera a tensão suportável de impulso $1/U_W$	K_{S4}	0,67
	Probabilidade de falha de sistemas internos devido a descarga direta na linha – relativo a nível de tensão suportável e resistência da blindagem.	P_{LD}	0,8
	Probabilidade de falha de		

	sistemas internos devido a descarga próxima à linha. Varia conforme o nível de tensão suportável do sistema	P_{LI}	0,5
--	---	----------	-----

Fonte: Autoria Própria.

As zonas 1 e 2 delimitadas para a análise de gerenciamento de risco são conectadas com as linhas de energia e sinal. Toda a área que contempla a zona 1 possui o mesmo tipo de acabamento de revestimento (cerâmica), assim como a totalidade da zona 2 é composta pelo mesmo tipo de acabamento de revestimento (concreto). Sistemas de proteção contra incêndio como: extintores, alarmes manuais, hidrantes e rotas de fuga estão presentes na Zona 1. Ambas as zonas em análise apresentam proteção contra choque elétrico, sendo eles aviso de alerta e restrições físicas.

O número de pessoas relacionadas a cada zona é diferente, em ambas foram adotadas situações extremas, com todos os assentos presentes na edificação ocupados. A distribuição dentro de cada zona individualmente e o tempo de presença de cada pessoa é apresentada na Tabela (43)

Tabela 43: Blocos G, H e I: distribuição por zonas.

Zona	Número de Pessoas	Tempo de presença (horas)
ZONA 1	480	8760
ZONA 2	30	8760
Total	510	-

Fonte: Autoria Própria.

O valor de 8.760 horas de presença por ano na estrutura em análise foi utilizado com o intuito de não reduzir o valor referente as perdas consequentes geradas pelos danos D_1 , D_2 e D_3 , assim retratando um quadro drástico de lotação.

As características resultantes das Zonas 1 e 2 estão contidas nas Tabelas (44) e (45).

Tabela 44: Blocos G, H e I: fatores válidos para zona Z_1 .

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso	Revestimento (cerâmica)	r_t	0,001
Proteção contra choque	Avisos de alerta	P_{TA}	0,1
Risco de incêndio	Normal, devido a pouco acúmulo de materiais inflamáveis.	r_f	0,01
Proteção contra incêndio	Extintores, instalações fixas		

		operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	r_p	0,5
Blindagem espacial interna		Largura entre os condutores de descida ou vigas de concreto na vertical w_{m2}	K_{S2}	1
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	K_{S3}	0,2
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS	P_{SPD}	1
Telecom	Fiação interna	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	K_{S3}	0,0001
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS	P_{SPD}	1
L_1 : perda de vida humana		Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	h_z	5
		D_1 : devido à tensão de toque e de passo: Todos os tipos	L_T	0,1
		D_2 : devido a danos físicos: Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1
		D_3 : devido a falhas de sistemas internos: Não se aplica. Sem risco de explosão	L_O	-
L_2 : perda inaceitável de serviço público		D_2 : devido a danos físicos: Gás, água, fornecimento de energia	L_F	0,1
		D_3 : devido a falhas de sistemas internos : Gás, água, fornecimento de energia	L_O	0,1
Fator para pessoas na zona		Número total de pessoas	n_t	510
		Número de pessoas na zona	n_z	480
		Tempo de permanência	t_z	8760

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 45: Blocos G, H e I: fatores válidos para zona Z_2 .

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso	Revestimento (cerâmica)	r_t	0,01
Proteção contra choque	Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1
Risco de incêndio	Normal, devido a pouco acúmulo de materiais inflamáveis.	r_f	0,01
Proteção contra incêndio	Extintores, instalações fixas operadas manualmente,		

		instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	r_p	0,5
Blindagem espacial interna		Largura entre os condutores de descida ou vigas de concreto na vertical w_{m2}	K_{S2}	1
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	K_{S3}	1,0
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS	P_{SPD}	1,0
Telecom	Fiação interna	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	K_{S3}	0,0001
	DPS coordenado	Nenhum sistema de DPS	P_{SPD}	1,0
L_1 : perda de vida humana		Nível baixo de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos com um número de participantes de até 100 pessoas)	h_z	2,0
		D_1 : devido à tensão de toque e de passo: Todos os tipos	L_T	0,01
		D_2 : devido a danos físicos: Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1
		D_3 : devido a falhas de sistemas internos: Não se aplica. Sem risco de explosão	L_O	-
L_2 : perda inaceitável de serviço público		D_2 : devido a danos físicos: Gás, água, fornecimento de energia	L_F	0,1
		D_3 : devido a falhas de sistemas internos : Gás, água, fornecimento de energia	L_O	0,1
Fator para pessoas na zona		Número total de pessoas	n_t	510
		Número de pessoas na zona	n_z	30
		Tempo de permanência	t_z	8760

Fonte: Autoria Própria

Os parâmetros necessários para a realização do gerenciamento de risco, foram levantados através de análise in loco, de projetos e memoriais descritivos fornecidos pelo DEPRO da UTFPR campus Cornélio Procópio. Os dados apurados foram inseridos na ferramenta desenvolvida e demonstrada no capítulo 5. Os cálculos dos componentes de riscos foram executados pela ferramenta e estão demonstrados na Figura (43).

Figura 43: Análise Final Blocos G, H e I – Sem medidas protetivas.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise	
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D1 Ferimentos devido a choque		Ra	$RA = ND \times PA \times LA$	5,5295E-07	3,4E-07	2,13E-07
		Ru	$RU = (NL + NDJ) \times PU \times LU$	5,4198E-07	7,48E-08	4,67E-07
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	8,5282E-05	8,51E-05	2,13E-07
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	0,00018736	0,000187	4,67E-07
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	0	0	0
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	0	0	0
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0	0	0
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0	0	0
Analisar R1		Rt	1,00E-05	0,00027373		
		Instalar SPDA ou rever medidas de proteção				
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	1,712E-05	1,7E-05	1,06E-07
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	3,7612E-05	3,74E-05	2,34E-07
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	0,00036154	0,00034	2,13E-05
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	0,00495589	0,004664	0,000292
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0,00079428	0,000748	4,67E-05
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0,00396	0,003727	0,000233
Analisar R2		Rt	1,00E-03	0,01012645		
		Instalar SPDA ou rever medidas de proteção				
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	1	2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$		0	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$		0	0
Analisar R3		Rt	1,00E-04			
		O sistema está dentro dos limites da norma atual				
Novo Gerenciamento						

Fonte: Autoria Própria.

Como pode-se observar, o coeficiente limite de R_1 é de $1,0 \times 10^{-5}$, entretanto de acordo com a análise, para esta estrutura obteve-se um coeficiente equivalente à $27,3 \times 10^{-5}$. Para L_2 o coeficiente limite é de $1,0 \times 10^{-3}$, porem o valor indicado na análise é de 10×10^{-3} . Desta forma existe a necessidade de aplicação de medidas de segurança, para que este coeficiente se adeque aos limites definidos pela NBR 5419:2015.

Para se determinar quais medidas devem ser adotadas é necessário analisar os componentes de risco, assim analisando características da estrutura e seu uso. Para auxiliar essa tarefa a NBR 5419:2015 fornece uma tabela, presente no Anexo

A, onde são apresentados os componentes de risco e medidas de proteção que ajudam reduzir os efeitos associados a esses componentes de risco. Deste modo proporcionando a estrutura valores de risco de ocorrência de perdas a um valor aceitável.

Analisando os componentes (R_x) que integram o risco de perda de vida humana (R_1), foi possível detectar que as principais contribuições ao valor final de R_1 são dadas pelos componentes de risco relacionados a ferimentos a seres vivos causado por descargas atmosféricas que atingem diretamente a estrutura (R_A) e a danos físicos na estrutura gerados por descarga atmosférica que incidem diretamente sobre ela (R_B).

Ao analisar os componentes (R_x) que constituem o risco de perda de serviço público (R_2), detectou-se que as principais contribuições ao valor final de R_2 são dadas pelos componentes de risco relacionados a falhas dos sistemas internos geradas por descargas atmosféricas que incidem diretamente sobre a estrutura (R_C), a falhas dos sistemas internos causadas por descargas atmosféricas que incidem próximo a estrutura (R_M) e a falhas dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas que atingem diretamente linhas conectadas a estrutura (R_w).

Através do auxílio das informações contidas no Anexo A, foi possível compreender que os riscos dominantes podem ser reduzidos:

- Provendo a estrutura um sistema completo de SPDA, Classe II de acordo com a NBR 5419-3:2015, contendo os subsistemas de captação, descida e aterramento, (captação através do método de Franklin, auxiliado por captadores secundários de Faraday). Com a utilização do SPDA será possível reduzir o componente de risco R_A e R_B , por meio das probabilidades P_A e P_B , onde as medidas de proteção para reduzir danos físicos são ponderadas.
- Desenvolvendo um BEP conectado ao subsistema de aterramento, que deverá ser preferencialmente localizado próximo ao quadro geral. O BEP atenderá as ligações equipotenciais que deveram ser realizadas conectando todos os volumes metálicos presentes na estrutura (janelas, portas, quadrados de distribuição, rampa de acesso e estrutura da cobertura) seguindo parâmetros contidos na NBR 5419-3:2015. Isto irá reduzir os componentes de risco R_U e R_V , que por sua vez são gerados por descargas atmosféricas que atingem linhas conectadas a estrutura.

- Instalando na estrutura uma proteção com DPS coordenados de acordo com a NBR 5419-4:2015, para os sistemas de energia interno e sistemas de sinais. No quadro de distribuição geral deverá ser instalado DPS classe I, nos quadros de distribuição secundários deverá ser instalado DPS classe II. Dessa forma reduzindo os componentes R_C , R_M e R_w por meio das probabilidades P_{SPD} e P_{EP} , que dependem do sistema de proteção contra surtos instalado na edificação.

Posteriormente a indicação de medidas protetivas a serem adotadas, é necessário avaliar se estas proporcionam a estrutura valores de risco de ocorrência de perdas a um valor aceitável. Auxiliado pela ferramenta desenvolvida e apresentada no capítulo 5 do trabalho, um novo gerenciamento de risco foi realizado avaliando as medidas de proteção indicadas. Os cálculos dos componentes de riscos que foram executados pela ferramenta e estão demonstrados na Figura (44).

Figura 44: Análise Final Blocos G, H e I – Com medidas protetivas.

Et. 1	Et. 2	Et. 3	Et. 4	Et. 5	Análise	
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	Protegida 1	Protegida 2
D1 Ferimentos devido a choque		Ra	$RA = ND \times PA \times LA$	2,7647E-09	1,7E-09	1,06E-09
		Ru	$RU = (NL + NDJ) \times PU \times LU$	5,4198E-10	7,48E-11	4,67E-10
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	4,2534E-06	4,25E-06	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	1,8689E-06	1,87E-06	0
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	0	0	0
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	0	0	0
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	0	0	0
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0	0	0
Analisar R1		Rt	1,00E-05	6,1257E-06		
O sistema está dentro dos limites da norma atual						
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	Protegida 1	Protegida 2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$	8,5069E-07	8,51E-07	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$	3,7378E-07	3,74E-07	0
D3 falha de sistema interno		Rc	$RC = ND \times PC \times LC$	7,2309E-06	6,81E-06	4,25E-07
		Rm	$RM = NM \times PM \times LM$	9,9118E-05	9,33E-05	5,83E-06
		Rw	$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW$	1,5886E-05	1,5E-05	9,34E-07
		Rz	$RZ = NI \times PZ \times LZ$	0,000066	6,21E-05	3,88E-06
Analisar R2		Rt	1,00E-03	0,00018946		
O sistema está dentro dos limites da norma atual						
Tipo de Danos		Símbolo	Equação	Estrutura	Protegida 1	Protegida 2
D2 Danos físicos		Rb	$RB = ND \times PB \times LB$		0	0
		Rv	$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV$		0	0
Analisar R3		Rt	1,00E-04			
O sistema está dentro dos limites da norma atual						
Novo Gerenciamento						

Fonte: Autoria Própria.

O novo estudo de gerenciamento mostrou que os valores de riscos R_1 e R_2 calculados foram inferiores aos riscos toleráveis para os tipos de perda de vida humana ($1,0 \times 10^{-5}$), e de serviço público ($1,0 \times 10^{-3}$). Portanto as medidas de proteção indicadas garantem a estrutura valores de risco de ocorrência de perdas a um valor aceitável, e devem ser ponderadas pelo projetista, levando em conta outras opções, considerando os critérios de melhor solução técnica e de melhor custo efetivo.

Após as análises realizadas nas estruturas com e sem proteção, compostas pelos blocos G, H, I e P, foi possível de elucidar a versatilidade e abrangência fornecida pelo novo método utilizado para determinação da necessidade ou não da adoção de medidas protetivas contra descargas atmosféricas, e de quais medidas devem ser adotadas para realizar essa proteção. Também foi possível apontar ações que devem ser estudadas para garantir a integridade física dos usuários e das próprias estruturas analisadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo fenômenos naturais e imprevisíveis, as descargas atmosféricas representam um grande risco as pessoas e estruturas, gerando danos e perdas conseqüentemente. Com o aumento da urbanização e de descargas atmosféricas atingindo esses os perímetros urbanos, tornou-se imprescindível o desenvolvimento de sistemas que permitissem realizar proteção e mitigação dos efeitos destas descargas. Tornou-se viável também, elaborar métodos para determinar a necessidade ou não de se realizar proteção em uma determinada estrutura.

No Brasil esses métodos são normalizados pela ABNT NBR 5419, que após atualização em seu texto base, passou a efetuar a análise da necessidade ou não de se realizar a proteção contra descargas atmosféricas, e a eficiência de um sistema já instalado, através do método de gerenciamento de risco. O risco (valor relativo a uma provável perda anual média devido a danos causados por descargas atmosféricas) é quantificado através da análise das componentes de riscos (fatores que ponderam diversos aspectos construtivos e de uso da estrutura em análise e do local onde está localizada), para posteriormente comparar com valores de riscos toleráveis indicados pela norma. Seguindo padrões internacionais, o gerenciamento de risco passou a analisar uma gama muito maior de variáveis, aumentando a complexidade do estudo e representando a maior alteração gerada pela atualização do texto normativo.

A ferramenta desenvolvida através da ferramenta Microsoft Excel, proporcionou mais agilidade e confiabilidade aos cálculos do gerenciamento de risco, possibilitando uma fácil análise dos componentes que constituem os riscos de perda de vida humana, serviço público e patrimônio cultural.

Mediante uma análise in loco foi possível constatar a real situação dos subsistemas de captação, descida e aterramento das estruturas analisadas (blocos G, H, I e P). Na estrutura composta pelos blocos G, H e I, foi constatada a ausência dos três subsistemas que compõem as principais medidas de proteção contra descargas atmosféricas, o que à deixa suscetível a perdas de vida humana e serviço público em decorrência de eventos perigosos. No bloco P, foi constatado a presença de SPDA (classe II) e uso coordenado de DPS. Embasado pelas informações obtidas in loco e com o auxílio dos projetos disponibilizados pelo DEPRO, foi

observado que o SPDA presente na estrutura protegida mesmo que não em total conformidade com o projetado, atende as exigências da norma vigente durante sua elaboração.

Através do estudo de caso realizado utilizando a ferramenta desenvolvida, foi possível indicar para a estrutura composta pelos blocos G,H e I, medidas de proteção (SPDA classe II, possuindo os subsistemas de captação, descida e aterramento, uso coordenado de DPS, desenvolvimento de um BEP e realização de ligações equipotenciais conectando ao subsistema de aterramento volumes metálicos existentes na estrutura), que possibilitaram a redução de 97% e 98% dos indicadores de uma provável perda média anual de vida humana e serviço público respectivamente, ou seja, dentro dos limites estipulados pela norma. Observou-se também que o sistema de proteção do bloco P está dentro dos níveis toleráveis de riscos de perda de vida humana, mesmo sendo desenvolvido pela versão anterior a de 2015 da norma.

Conclui-se também que a utilização de ferramentas computacionais que auxiliam os cálculos dos parâmetros apresentados pela norma, são fundamentais para que haja uma correta avaliação das perdas decorrentes de uma descarga atmosférica, permitindo ao projetista maior segurança e agilidade na obtenção do resultado final. Aplicada na UTFPR, a ferramenta possibilitou atender uma real necessidade da instituição em observar se os níveis de riscos decorrentes de eventos perigosos, relativos a perda de vida humana e serviço público, estejam próximos a zero.

REFERÊNCIAS

ABNT, N. 5419-2005 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas-**
. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

ABNT, N. 5419-2015 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas-**
Parte 1. *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

ABNT, N. 5419-2015 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas-**
Parte 2. *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

ABNT, N. 5419-2015 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas-**
Parte 3. *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

ABNT, N. 5419-2015 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas-**
Parte 4. *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

ABNT, N. 5410-2004 – **Instalações elétricas de baixa tensão.** *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

ALMEIDA, A. Betâmio, **Gestão do risco e da incerteza: conceitos e filosofia subjacente cap II.** 2017. Disponível em: < <https://digitalis-dsp.uc.pt/jspui/handle/10316.2/35747>>. Acesso em 29 de julho de 2018.

CERVELIN. S, CAVALIN. G, **Instalações elétricas prediais.** 16. Ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2007. 421p.

COTRIM. A, **Instalações elétricas prediais.** 5. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil E, 2008. 544p.

ELAT GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA. **Corrente elétrica do raio.** Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ELAT GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA. **Incidência de descargas no país**. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/incidencia.de.descargas.no.pais.php>>. Acesso em: 03 abr. 2020.

KINDERMANN, G. Descargas atmosféricas. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1997.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc- Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2011. 666 p.

NISKIER, J., MACINTYRE, J. **Instalações elétricas**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Base Livros Didáticos LTDA, 2008. 455p.

NUNES, P, Fernando. **Proteção contra descargas atmosféricas - SPDA**. CREA-PR (Caderno Técnico). 2016.

PORTAL DO BRASIL. **Brasil é líder mundial na incidência de raios por ano**. Disponível em :< <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/10/brasil-e-lider-mundial-na-incidencia-de-raios-por-ano>>.

Acesso em: 25 de set. 2017

PRAZERES, M. **Análise em FDTD de Tensões Induzidas no Interior de um Prédio com SPDA: Aspectos de Blindagem**. 2007.

REBOSIO, N, (Uruguai). **Introducción al curso de instalaciones eléctricas de baja tension**. Disponível em: < https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63221/mod_resource/content/1/Contenido/0910-Presentacion.pdf>. Acessado em 25 de setembro

RINDAT. Rede Integrada Nacional de Detecção De Descargas Atmosféricas.

Disponível em :< <http://simepar.br/rindat/internas/faq.shtml>>. Acesso em: 23 de set. 2017

SEVERINO. C, CAVALIN. G, **Instalações elétricas prediais.** 5. Ed. Curitiba: Base Livros Didáticos LTDA, 2008. 544p.

YAMANISHI. B, RAVENADA. M, **Análise dos efeitos de sobretensões causados por descargas atmosféricas em aere geradores.** Curitiba. 2016

ANEXO A

Características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco para uma estrutura.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	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	X	X a)	X b)	X b)		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X c)	X c)	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
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
a) Somente para SPDA tipo malha externa. b) Devido a ligações equipotenciais. c) Somente se eles pertencem ao equipamento.								