



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PATRICK ANDERSON PINHEIRO GOMES

GERENCIAMENTO DE RISCO PARA PROJETO SPDA: UM ESTUDO DE CASO

FORTALEZA-CE

2023

PATRICK ANDERSON PINHEIRO GOMES

GERENCIAMENTO DE RISCO PARA PROJETO SPDA: UM ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em engenharia elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

FORTALEZA-CE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G616g Gomes, Patrick Anderson Pinheiro.

Gerenciamento de risco para projeto SPDA : Um estudo de caso / Patrick Anderson Pinheiro Gomes. – 2023.

90 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

1. Descargas elétricas. 2. Gerenciamento de risco. 3. NBR 5419/2015. 4. Estudo de caso. 5. SPDA. I. Título.

CDD 621.3

PATRICK ANDERSON PINHEIRO GOMES

GERENCIAMENTO DE RISCO PARA PROJETO SPDA: UM ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em engenharia elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 10/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Manoel Mario Pinto de Sousa Junior
Especialista de campo elétrico.

À Deus. À minha família que sempre acreditou e me apoiou. Minha mãe Samia e meu pai Geraldo que sempre estiveram do meu lado. E à minha noiva, Renata, que me ajudou varias vezes a não desistir.

“Obstáculos são aquelas coisas assustadoras que vemos quando desviamos o foco do nosso objetivo.”

Henry Ford

AGRADECIMENTOS

A todos meus familiares, em especial minha mãe Samia e meu pai Geraldo, que me deram suporte, apoio e incentivo em todos meus sonhos.

A minha noiva, Renata, que me apoiou e incentivou a nunca desistir e continuar em frente em todos os desafios, com muito amor e companheirismo.

A todos os amigos que conquistei durante a graduação, em especial Pedro, Robson e Wanderson, que espero poder levar para vida fora da universidade.

A disponibilidade, confiança e ajuda por parte do Prof. Amaral na orientação deste trabalho. E também a todos os professores que ajudaram durante a minha caminhada na graduação, com conhecimento e conselhos.

RESUMO

O Brasil é um país que apresenta uma alta incidência de descargas atmosféricas, estes fenômenos são difíceis de prever e ocasionam problemas, podendo causar danos materiais às estruturas, perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição, além do risco a vida das pessoas, sendo dessa forma preciso adotar meios para minimizar esses problemas. Em vista da necessidade de neutralizar ou minimizar tais problemas, foi elaborada a norma Brasileira NBR 5419 que trata sobre SPDA. Com base no exposto, esse trabalho apresenta os principais conceitos envolvendo a análise e o gerenciamento de riscos abordados pela NBR 5419/2015 como, por exemplo: a conceituação de perdas e tipos de perdas, danos e tipos de danos e seus riscos associados. Além disso, também se propõe esclarecer as principais aplicações dessa NBR, qual o fluxograma a ser seguido na tomada de decisão na melhoria ou não de medidas de proteção que possam ser necessárias para a devida proteção de uma estrutura ou edificação. Para tanto, definições fundamentais foram realizadas como o conceito de raios e sua formação, sistemas e subsistemas de proteção contra descargas atmosféricas, métodos de proteção e explicações acerca das tensões de toque e de passo. Por fim, foi feita a análise do gerenciamento de riscos de um estudo de caso de uma unidade consumidora, identificando as perdas envolvidas e o risco associado tendo como conclusão a análise da conformidade do estudo com os padrões propostos pela norma.

Palavras-Chave: Descargas elétricas; Gerenciamento de riscos; NBR 5419/2015; estudo de caso; SPDA.

ABSTRACT

Brazil is a country that has a high incidence of lightning, these phenomena are difficult to predict and cause problems, which can cause material damage to structures, disturbances in overhead transmission and distribution networks, in addition to risking people's lives, thus being It is necessary to adopt means to minimize these problems. In view of the need to neutralize or minimize such problems, the Brazilian standard NBR 5419 was created, which deals with SPDA. Based on the above, this work presents the main concepts involving the analysis and management of risks addressed by NBR 5419/2015, such as the concept of losses and types of losses, damages and types of damages, and their associated risks. In addition, it also proposes to clarify the main applications of this NBR, which flowchart to be followed in decision-making on whether or not to improve protective measures that may be necessary for the proper protection of a structure or building. To this end, fundamental definitions were made, such as the concept of lightning and its formation, lightning protection systems and subsystems, protection methods, and explanations about touch and step voltages. Finally, an analysis of the risk management of a case study of a consumer unit was carried out, identifying the losses involved and the associated risk, having as a conclusion the analysis of the conformity of the study with the standards proposed by the norm.

Keywords: Electric discharges; Risk management; NBR 5419/2015; case study; SPDA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Campo induzido entre nuvem e o solo.....	20
Figura 2 -	Etapas de formação do raio.....	21
Figura 3 -	Mortes por raios no Brasil.....	22
Figura 4 -	Representação de um sistema SPDA.....	23
Figura 5 -	Relação dos tipos de riscos com as perdas e danos causados por descargas atmosféricas.....	28
Figura 6 -	Identificando a necessidade de proteção ou novas medidas de proteção.....	54
Figura 7 -	Análise SPDA dos componentes de risco R1 do restaurante.....	67
Figura 8 -	Análise SPDA dos componentes de risco R4 do restaurante.....	68
Figura 9 -	Análise SPDA dos componentes de risco R1 dos galpões 2 e 3.....	86
Figura 10 -	Análise SPDA dos componentes de risco R4 dos galpões 2 e 3.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.....	25
Quadro 2 -	Correspondência dos fatores de danos e perdas relevantes para uma estrutura.....	27
Quadro 3 -	Relação das componentes de risco com os tipos de perdas.	31
Quadro 4 -	Fator de localização da estrutura C_D	33
Quadro 5 -	Fator tipo de linha C_T	33
Quadro 6 -	Fator de instalação da linha C_I	35
Quadro 7 -	Fator ambiental da linha C_E	35
Quadro 8 -	Medidas de proteção adicional de uma estrutura P_{TA}	36
Quadro 9 -	Nível de proteção adotado para uma estrutura P_B	37
Quadro 10 -	Valores de P_{SPD} em função do nível de proteção que os DPS foram projetados.....	38
Quadro 11 -	Valores de C_{LD} e C_{LI} para os tipos de condições de blindagem, aterramento e isolamento.....	38
Quadro 12 -	Valores de K_{s3} para tipos de fiação interna.....	39
Quadro 13 -	Valores de P_{TU} considerando as medidas de proteção.....	40
Quadro 14 -	Valores de P_{EB} em função da proteção (NP).....	40
Quadro 15 -	Valores de P_{LD} que dependem da resistência R_s e da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_w do equipamento (NP).....	41
Quadro 16 -	Valores para probabilidade P_{LI} levando em consideração o tipo da linha e a tensão suportável de impulso dos equipamentos.....	42
Quadro 17 -	Equações de perda referente ao tipo de dano.....	43
Quadro 18 -	Valores médios de L_T , L_F e L_O para cada tipo de dano.....	44
Quadro 19 -	Fator r_t em função da superfície do solo.....	44
Quadro 20 -	Fator r_p em função das providências tomadas para reduzir consequências de incêndio.....	45
Quadro 21 -	Fator r_f em função do risco de incêndio ou explosão.....	45
Quadro 22 -	Fator h_z em função da quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.....	45

Quadro 23 -	Equações de perda referente ao tipo de dano.....	46
Quadro 24 -	Valores médios de L_F e L_O para cada tipo de dano.....	46
Quadro 25 -	Equações de perda referente ao tipo de dano.....	47
Quadro 26 -	Valores médio de L_F para o tipo de dano.....	47
Quadro 27 -	Equações de perdas referente ao tipo de dano.....	47
Quadro 28 -	Valores médios de L_T , L_F e L_O para cada tipo de dano.....	48
Quadro 29 -	Valores do risco tolerável (RT).....	53
Quadro 30 -	Restaurante: Características físicas da estrutura.....	58
Quadro 31 -	Restaurante: Fatores de ponderação de linhas de energia da estrutura.....	58
Quadro 32 -	Restaurante: Fatores de ponderação de eventos perigosos.....	59
Quadro 33 -	Restaurante: Fatores da zona da edificação.....	60
Quadro 34 -	Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano.....	61
Quadro 35 -	Cálculos das probabilidades de dano.....	62
Quadro 36 -	Fatores de redução para cálculo das perdas.....	62
Quadro 37 -	Fatores para cálculos das perdas L1.....	63
Quadro 38 -	Cálculos das perdas L1.....	63
Quadro 39 -	Fatores para cálculos das perdas L4.....	64
Quadro 40 -	Cálculos das perdas L4.....	65
Quadro 41 -	Restaurante: Riscos R1 da Zona Restaurante.....	65
Quadro 42 -	Restaurante: Riscos R4 da Zona.....	65
Quadro 43 -	Características mínimas necessárias para proteção da estrutura do restaurante.....	69
Quadro 44 -	Restaurante: Características físicas da estrutura.....	70
Quadro 45 -	Restaurante: Fatores de ponderação de linhas de energia da estrutura.....	70
Quadro 46 -	Restaurante: Fatores de ponderação de eventos perigosos.....	71
Quadro 47 -	Galpão 2 e 3: Fatores da zona 1 da edificação – Galpão 2 e 3..	72
Quadro 48 -	Galpão 2 e 3: Fatores da zona 2 da edificação – RH, Depósitos e Almoxarifado.....	73
Quadro 49 -	Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano.....	74

Quadro 50 -	Cálculos das probabilidades de dano.....	75
Quadro 51 -	Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano.....	75
Quadro 52 -	Cálculos das probabilidades de dano.....	76
Quadro 53 -	Fatores de redução para cálculo das perdas.....	77
Quadro 54 -	Fatores para cálculos das perdas L1.....	78
Quadro 55 -	Cálculos das perdas L1.....	78
Quadro 56 -	Fatores para cálculos das perdas L4.....	79
Quadro 57 -	Cálculos das perdas L4.....	79
Quadro 58 -	Fatores de redução para cálculo das perdas.....	80
Quadro 59 -	Fatores para cálculos das perdas L1.....	80
Quadro 60 -	Cálculos das perdas L1.....	81
Quadro 61 -	Fatores para cálculos das perdas L4.....	81
Quadro 62 -	Cálculos das perdas L4.....	82
Quadro 63 -	Restaurante: Riscos R1 da Zona Restaurante.....	83
Quadro 64 -	Restaurante: Riscos R4 da Zona.....	83
Quadro 65 -	Restaurante: Riscos R1 da Zona Restaurante.....	84
Quadro 66 -	Restaurante: Riscos R4 da Zona.....	84
Quadro 67 -	Características mínimas necessárias para proteção da estrutura dos galpões 2 e 3.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MPS	Medidas de proteção contra surtos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DDP	Diferença de potencial
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira
R	Risco total
RT	Risco tolerável
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Descargas atmosféricas	20
2.2	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA	23
2.3	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas – ABNT NBR 5419: 2015	24
2.4	GERENCIAMENTO DE RISCO – ABNT NBR 5419 – 2: 2015	29
2.4.1	Definição dos riscos e suas componentes.	29
2.4.2	Para descargas atmosféricas na estrutura.....	30
2.4.3	Para descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura.....	30
2.4.4	Para descargas atmosféricas em linhas conectadas à estrutura.....	30
2.4.5	Para descargas atmosféricas nas proximidades de linhas conectadas à estrutura.	31
2.5	Cálculos das componentes de risco	31
2.5.1	Avaliação do número de eventos perigosos para a estrutura.....	32
2.5.1.1	Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas na estrutura (N_D) e em uma estrutura adjacente (N_{DJ}).....	32
2.5.1.2	Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas próximo a estrutura (N_M).	34
2.5.1.3	Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas na linha (N_L).	34
2.5.1.4	Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas próximas da linha (N_I).	35
2.5.2	Avaliação da probabilidade de dano à estrutura.	36
2.5.2.1	Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico (P_A).....	36
2.5.2.2	Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar danos físicos (P_B).	37
2.5.2.3	Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar falha a sistemas internos (P_C).....	37
2.5.2.4	Probabilidade de uma descarga próximo de uma estrutura causar	

	falha a sistemas internos (P_M).....	39
2.5.2.5	Probabilidade de uma descarga em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (P_U).	40
2.5.2.6	Probabilidade de uma descarga em uma linha causar danos físicos (P_V).....	41
2.5.2.7	Probabilidade de uma descarga em uma linha causar falha de sistemas internos (P_W).....	41
2.5.2.8	Probabilidade de uma descarga próximo de uma linha causar falha dos sistemas internos (P_Z).....	42
2.5.3	Avaliação das quantidades de perdas.....	42
2.5.3.1	Perda de vida humana (L1).	42
2.5.3.2	Perda inaceitável de serviço ao público (L1).	46
2.5.3.3	Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3).	46
2.5.3.4	Perda econômica (L4).	47
2.5.4	Análise das componentes de risco.	49
2.5.4.1	Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas da estrutura.	49
2.5.4.2	Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura.	49
2.5.4.3	Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada na estrutura.	50
2.5.4.4	Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas próximo a uma linha conectada na estrutura.....	50
2.6	Cálculo dos riscos de perda.....	50
2.7	Procedimentos do gerenciamento de risco.....	51
2.7.1	Estrutura a ser realizado o gerenciamento.....	52
2.7.2	Divisão da estrutura em zonas (Zs).	52
2.7.3	Risco tolerável (RT).....	53
2.7.4	Avaliação da necessidade de proteção.....	53
3	MÉTODOS.....	55
3.1	Tipo de pesquisa.....	55
3.2	Instrumentos de Coleta de dados.....	55
3.3	Estudo de caso.....	55

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
4.1	Estrutura 1: Restaurante.....	57
4.1.1	Definições das zonas.....	60
4.1.2	Análise das probabilidades de dano à estrutura.....	61
4.1.3	Cálculo das perdas consequentes de dano.....	62
4.1.3.1	Perda de vida humana incluindo ferimento permanente – L1	63
4.1.3.2	Perda econômica – L4	64
4.1.4	Componentes de risco da zona.....	65
4.1.5	Risco total e tolerável.....	67
4.2	Estrutura 2: Galpão 2 e 3.....	69
4.2.1	Definições das zonas.....	72
4.2.3	Análise das probabilidades de dano à estrutura.....	73
4.2.3.1	Análise das probabilidades de dano à estrutura – Zona 1: Galpão 1 e 2.....	74
4.2.3.2	Análise das probabilidades de dano à estrutura – Zona 1: RH, Depósitos e Almoxarifado.....	75
4.2.4	Cálculo das perdas consequentes de dano.....	77
4.2.4.1	Perdas consequentes de dano para zona 1 – Galpão 2 e 3	77
4.2.4.2	Perdas consequentes de dano para zona 2 – RH, Depósitos e Almoxarifado.....	80
4.2.5	Componentes de risco.....	82
4.2.5.1	Componentes de risco da zona 1 – Galpão 2 e 3.....	83
4.2.5.2	Componentes de risco da zona 2 – RH, Depósitos e Almoxarifado.....	84
4.2.6	Risco total e tolerável.....	85
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
6	REFERÊNCIAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta uma alta incidência de descargas atmosféricas, esse fato é justificado pela sua geografia, sendo o maior país com zona tropical do planeta, favorecendo assim à formação de tempestades (GOMES *et al.*, 2023). Segundo dados do ELAT (INPE, 2022) o número de raios em 2022 aumentou 29% em relação a 2021.

As descargas atmosféricas são imprevisíveis em relação a sua intensidade e local de incidência. No entanto, é possível tomar certos cuidados para guiá-la em sua queda, fazendo a descarga seguir até um local pré-determinado, seja para terra ou em para-raios (KINDERMANN, 2009).

As descargas atmosféricas ocorrem quando a nuvem que está fortemente carregada com cargas negativas consegue induzir no solo abaixo dela uma distribuição de cargas positivas com a mesma intensidade, dessa forma é gerado um campo elétrico na região logo abaixo da nuvem e apresentando uma alta diferença de potencial (VISACRO FILHO, 2005).

Essas descargas são fenômenos difíceis de prever e ocasionam problemas com sua incidência, podendo causar danos materiais às estruturas, perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição, além do risco a vida das pessoas, sendo dessa forma preciso adotar meios para minimizar esses problemas (GOMES *et al.*, 2023).

Em vista da necessidade de neutralizar ou minimizar tais problemas, foi elaborada a norma Brasileira NBR 5419 que trata sobre SPDA (sistema de proteção contra descarga atmosférica) e por sua vez teve diversas atualizações ao longo dos anos com o intuito de trazer novas metodologias e segurança para pessoas, animais e também as edificações (JACÓ, 2020).

Segundo o mesmo autor, a versão mais recente é a NBR 5419/2015, composta por 04 partes, a primeira discorre sobre princípios gerais, a segunda fala de gerenciamento de risco, a terceira comenta a respeito de danos físicos a estruturas e perigos à vida e a quarta parte com relação a sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

O SPDA é um sistema integral de proteção destinado a proteger uma construção ou estrutura contra descargas atmosféricas, tradicionalmente tem sido chamado de para-raios. O sistema tem por objetivo blindar a edificação, seus ocupantes e todos os conteúdos no interior da estrutura dos efeitos térmicos, mecânicos e elétricos associados aos relâmpagos (PINHEIRO et al., 2019).

O SPDA atua de maneira que a descarga elétrica possa entrar e sair sem passar pelas partes condutoras da edificação ou dos seus ocupantes, evitando assim danos ou acidentes. Um para-raios não impede que relâmpagos atinjam a estrutura, ele constrói um caminho para que a corrente elétrica presente no raio flua do ponto de captação até o solo. Tal ideia foi formulada a séculos atrás por Benjamin Franklin, com seu experimento da pipa na tempestade (MINISTÉRIO DA CIDADANIA, 2019).

O método de Franklin se fundamenta no princípio que uma descarga piloto descendente poder ser capturada por uma descarga ascendente, que decorre pelos captosres instalados na edificação, esses captosres podem ser hastes metálicas, cabos ou até mesmo elementos naturais. De tal forma que a corrente elétrica proveniente do relâmpago seria dissipada no solo através do SPDA, e não através do objeto a que se deseja proteger (PINHEIRO et al., 2019).

Nesse tipo de sistema a concentração de carga presente no solo da edificação vai migrando para o sistema de captação, que se encontra no topo da edificação, desta forma o líder descendente (relâmpago), atrai o líder ascendente (carga presente no captor), gerando um sistema de atração mútua (STÉFANI, 2011).

O SPDA consiste em dois sistemas externos e internos de proteção contra descargas atmosféricas, as funções do SPDA interno é interceptar a descarga atmosférica, através do subsistema de captação, conduzir a corrente para a terra através do subsistema de descida, e dispersar a corrente no solo através do subsistema de aterramento. Evita-se o perigo de incêndio devido ao centelhamentos, o sistema interno mantém uma distância de segurança e mantém condutores são interligados para equipotencializar (WALTRICK, 2018).

Com base no exposto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar os principais conceitos que servem de subsídios uma compreensão do

gerenciamento de risco para projeto SPDA a partir da NBR 5419/2015. E como objetivos específicos:

- ✓ Apresentar os conceitos de danos, perdas e riscos da NBR 5419/2015;
- ✓ Apresentar a equação das componentes de risco, dano e perda;
- ✓ Apresentar o procedimento de determinação do risco em um SPDA;
- ✓ Apresentar um estudo de caso contemplando os procedimentos adotados;

Partindo disso, a pesquisa descreve os caminhos pelos quais a investigação se realiza. Iniciamos a presente introdução com a contextualização do tema para os debates desenvolvidos ao longo do texto. No referencial teórico, abordamos sobre os principais temas da pesquisa, como as considerações sobre descargas atmosféricas, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA, a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas e gerenciamento de risco dentro da ABNT NBR 5419: 2015. Por fim, apresentamos o estudo de caso de um gerenciamento de risco para projeto SPDA realizado para uma unidade consumidora, identificando as perdas envolvidas e o risco associado, além a análise da conformidade do estudo com os padrões propostos pela norma.

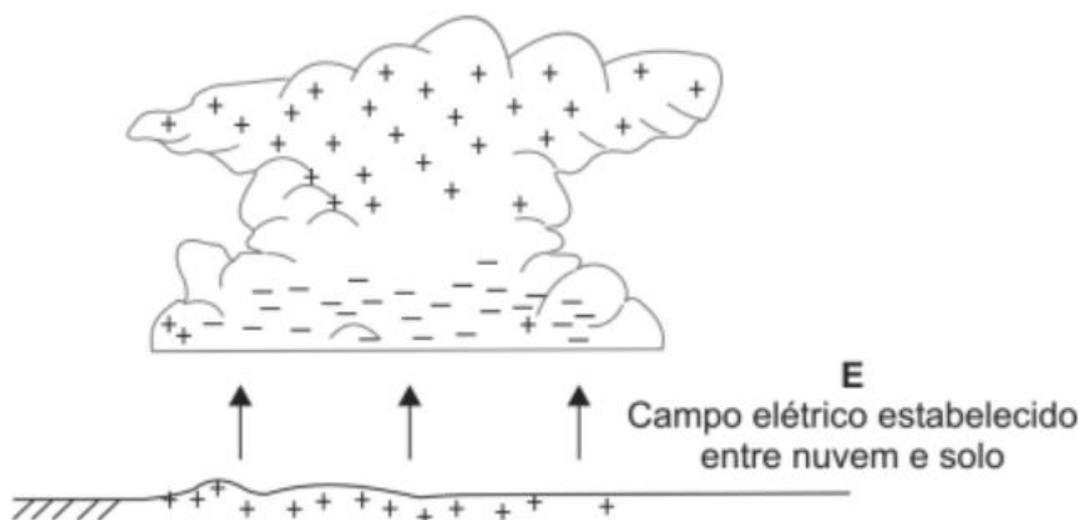
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será feito uma fundamentação teórica em cima de todo tema que envolve o gerenciamento de risco, desde as descargas atmosféricas até a parte dois da ABNT 5419: 2015, que define os conceitos do gerenciamento de risco.

2.1 Descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas ocorrem quando a nuvem que está fortemente carregada com cargas negativas consegue induzir no solo abaixo dela uma distribuição de cargas positivas com a mesma intensidade, dessa forma é gerado um campo elétrico na região logo abaixo da nuvem e apresentando uma alta diferença de potencial (VISACRO FILHO, 2005). A Figura 1 ilustra como ocorre a formação das cargas citadas anteriormente, na nuvem e no solo.

Figura 1 – Campo induzido entre nuvem e o solo.

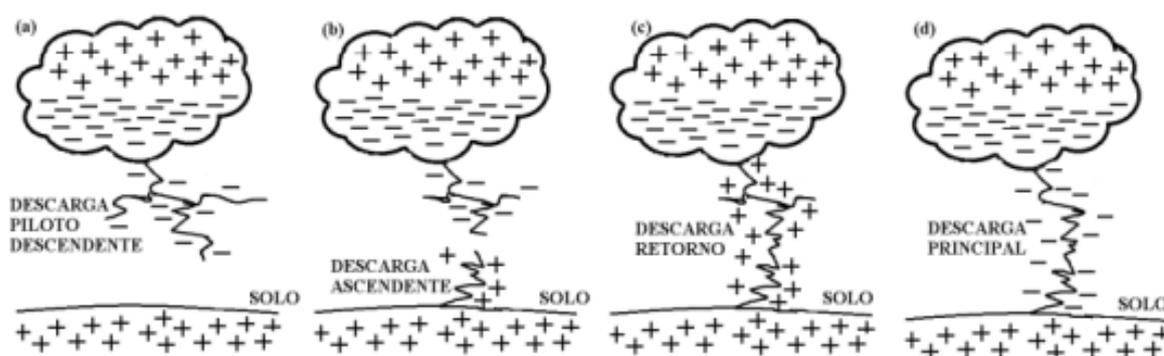


Fonte: VISACRO FILHO (2005).

Essas descargas são fenômenos difíceis de prever e ocasionam problemas com sua incidência, podendo causar danos materiais às estruturas, perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição, além do risco a vida das pessoas, sendo dessa forma preciso adotar meios para minimizar esses problemas.

É possível observar que entre a porção inferior das nuvens e a superfície terrestre, que é positivamente carregada, surge uma zona de concentração de cargas elétricas que produz uma diferença de potencial (DDP), com a influência do ar, que faz com que ocorra uma migração das cargas elétricas em direção à terra através de um caminho chamado descarga piloto, produzindo o fenômeno conhecido como raio ou descarga atmosférica, como demonstrado na Figura 2, são mostradas as etapas de formação dos raios (WALTRICK, 2018). De acordo com Mamede (2010) durante esse processo o deslocamento de ar que circula o caminho do raio em efeito do aumento de temperatura dá origem a um estrondo ou barulho chamado trovão, além disso de acordo com Visacro Filho (2019) o aquecimento intenso gera e um efeito luminoso, o relâmpago.

Figura 2- Etapas de formação do raio

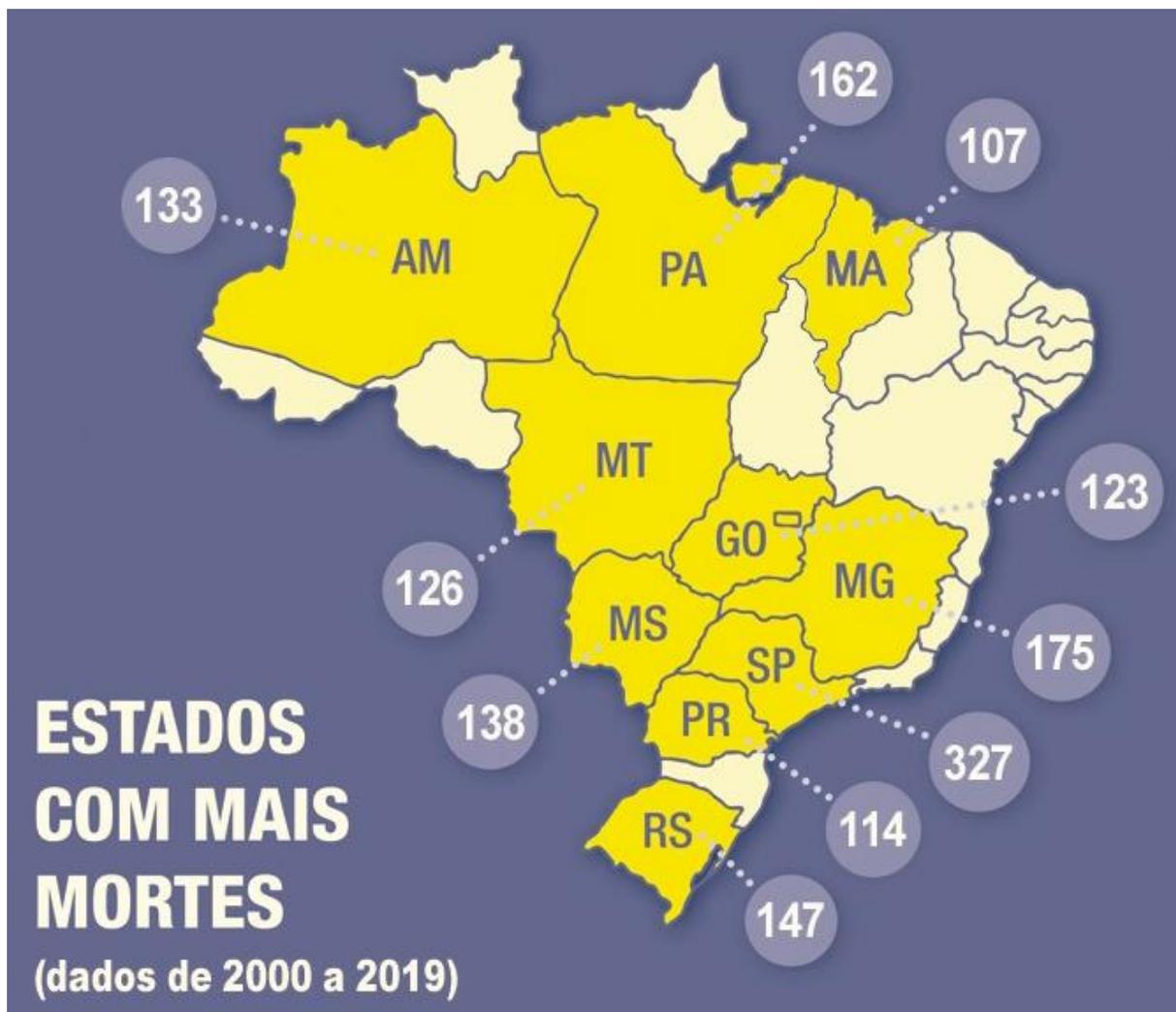


Fonte: Waltrick (2018).

Ademais, segundo dados do ELAT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de 2000 aos anos atuais foram registradas quase 2 mil mortes no Brasil em decorrência de eventos relacionados a descargas atmosféricas. Somado a isso, estudos do ELAT apontam que a cada cinquenta mortes no mundo por raios, uma ocorre no Brasil, um dos líderes Mundial de Incidência de Raios. Cerca de 78 milhões de raios caem no solo brasileiro todos os anos. A Figura 1 apresenta os dados coletados na pesquisa.

No Estado do Ceará, segundo o Diário do Nordeste, apenas em 2019 houve 8 acidentes fatais por incidência de raios no estado e nos meses de janeiro e fevereiro de 2020 as descargas atmosféricas incidentes no estado já superaram o ano anterior.

Figura 3 - Mortes por raios no Brasil (ELAT).



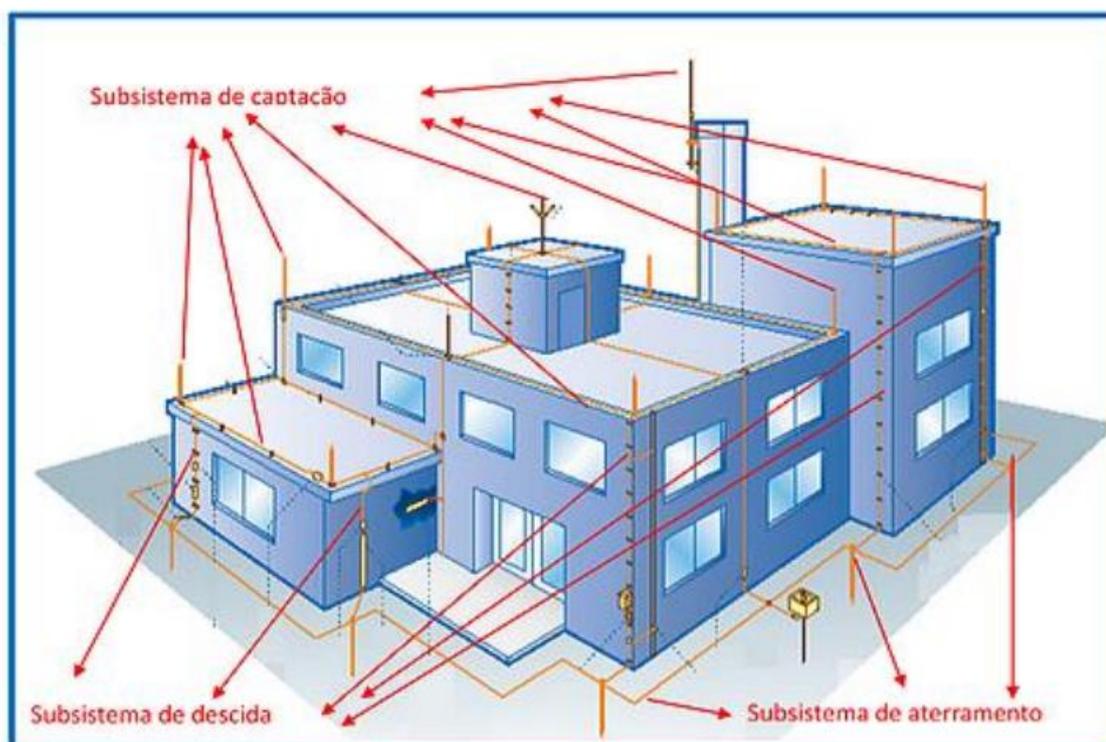
Fonte: Grupo de Eletricidade Atmosférica (2020)

Desta forma, é de grande importância o conhecimento dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), que de acordo com a NBR 5419/2015 são sistemas completos, destinados a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas e é composto por um sistema externo e um sistema interno.

2.2 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA

O SPDA é um sistema criado para proteção de estruturas, instalações industriais, antenas e até pessoas contra descargas atmosféricas. Esse sistema não impede a ocorrência das descargas, mas diminui os danos por elas ocasionados. Ele funciona a partir de equipamentos que são instalados em locais com mais elevada altitude da estrutura, para que possam captar as descargas e servirem como um caminho direto para a terra, livrando assim outros equipamentos, a própria estrutura e pessoas em seu interior de danos causados por essas descargas. Segundo Buratto (2011), esses sistemas buscam proteger as estruturas baseando-se na Teoria das Pontas, criando pontos preferenciais de incidência, a eventual ausência desses pontos acarretaria em descargas diretas na estrutura a ser protegida.

Figura 4 – Representação de um sistema SPDA



Fonte: Extimbrasil / Blog, 2020.

Na Figura 4 são representadas as principais partes de um sistema SPDA. Começando pelo subsistema de captação, compostos por para-raios, hastes ou cabos, essa parte do sistema faz a interceptação das descargas atmosféricas. O segundo é subsistema de descida, que são compostos por cabos em vários pontos

nas laterais da edificação, responsáveis por conduzir a corrente das descargas do captor até o aterramento. O subsistema final é o de aterramento, compostos por cabos e barras que são enterradas no solo, esse responsável pela dispersão da energia na terra.

Para estabelecer os requisitos e determinar a necessidade ou não de proteção contra descargas atmosféricas, foi escrita a ABNT NBR 5419. Ela contempla as condições exigíveis para um projeto SPDA, visando desde sua instalação até a manutenção do mesmo. Algumas edificações possuem geometrias complexas e para isso deve-se determinar a sua área de exposição equivalente a fim de garantir uma maior precisão nas análises dos riscos associados.

2.3 Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas – ABNT NBR 5419: 2015

Como já mencionado, essa norma abrange todas as características de um sistema SPDA, desde seu projeto, a sua instalação e manutenção. No item 1.2 da norma, são apresentados os tipos de instalações às quais ela abrange, dentre eles: estruturas comuns para fins residenciais, comerciais, industriais, agrícolas ou administrativos, além de estruturas como chaminés de grande porte, estruturas contendo líquidos ou gases inflamáveis, antenas externas e aterramento de guindastes (ABNT NBR5419-1, 2015).

Os danos causados pelas descargas atmosféricas que atingem as estruturas podem variar desde danos à própria estrutura, quanto a equipamentos internos, pessoas em seu interior e linhas elétricas. Dessa forma, o Quadro 1 retirada da ABNT NBR 5419 – 1: 2015 apresenta os efeitos das descargas atmosféricas em diferentes tipos de estruturas.

Quadro 1 – Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

Tipos de estruturas de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	<p>Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais.</p> <p>Danos normalmente limitados a objetivos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica.</p> <p>Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (Exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, etc.)</p>
Edificação em zona rural	<p>Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosos, assim como danos materiais.</p> <p>Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.</p>
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	<p>Danos em instalações elétricos que tendem a causar pânico (por exemplo, Iluminação elétrica).</p> <p>Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas nações de combate a incêndio.</p>
Banco; Empresa de seguros Estabelecimento comercial; Etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital; Casa de tratamento médico; Casa para idosos; Creche; Prisão.	Conforme acima, adicionando-se problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.

Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fabricas que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações; Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifício Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Indústria química; Refinaria; Usina nuclear; Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

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

A norma leva em consideração alguns fatores que mostram o impacto causado por descargas atmosféricas, desde a posição em que ela atinge a estrutura, os tipos de danos causados por ela, as perdas geradas e o grau de risco.

O primeiro desses fatores a ser abordado são as fontes e os tipos de danos causados a uma estrutura. A norma aponta que a corrente gerada pela descarga atmosférica é a principal fonte dos danos e descreve as seguintes situações em que se deve ser levado em consideração a posição do ponto de impacto na estrutura:

- S1: Descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S3: Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- S4: Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

Os danos causados por essas descargas podem ser mau funcionamento dos equipamentos e linhas elétricas dentro das estruturas, danos a pessoas por choques elétricos e até incêndios e/ou explosões. A norma também divide esses danos em três tipos básicos:

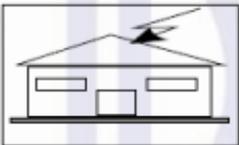
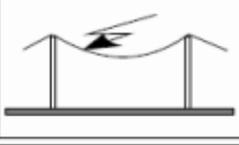
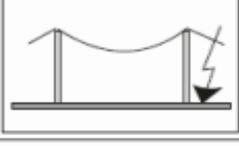
- D1: Danos às pessoas devido a choque elétrico;
- D2: Danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, etc.);
- D3: Falhas de sistemas internos devido a pulso eletromagnético.

Mais um fator a ser tratado na norma são os tipos de perdas produzidas em consequências dos danos citados anteriormente. Essa perda vai variar dependendo das características do que é atingido. A norma divide os tipos de perdas em quatro, sendo eles:

- L1: Perda de vida humana;
- L2: Perda de serviço ao público;
- L3: Perda de patrimônio cultural;
- L4: Perda de valor econômico.

Visto esses fatores até o momento, a norma faz uma vinculação entre eles da forma como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Correspondência dos fatores de danos e perdas relevantes para uma estrutura.

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

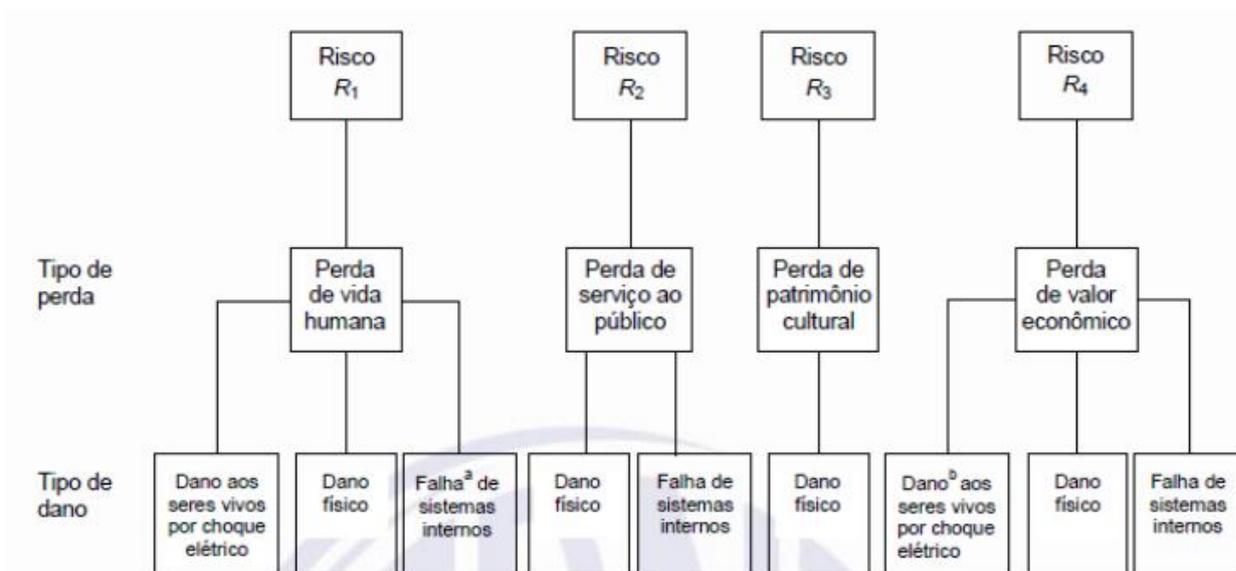
A partir da relação de perdas e danos causados por descargas atmosféricas, a ABNT NBR 5419-1: 2015 aponta que é de suma importância uma avaliação de projeto com intuito de reduzir as perdas dos tipos L1, L2 e L3, que são consideradas como perdas de valor social, enquanto a perda L4 é considerada como perda econômica.

Dessa forma, para analisar a real importância da necessidade de um sistema SPDA é feito um gerenciamento de risco, abordado na PARTE 2 da ABNT NBR 5419: 2015. Mais um fator que é abordado nessa parte são os tipos de riscos a serem levados em conta nesse gerenciamento, que são:

- R1: Risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- R2: Risco de perdas de serviço ao público;
- R3: Risco de perdas do patrimônio cultural;
- R4: Risco de perda de valores econômicos.

A Figura 5 a seguir mostra a relação entre os riscos apresentados no gerenciamento de risco da ABNT NBR 5419-2 com os fatores de danos e perdas.

Figura 5 – Relação dos tipos de riscos com as perdas e danos causados por descargas atmosféricas.



Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Visto a importância de estabelecer e identificar bem os níveis de riscos das estruturas é necessário uma abordagem mais aprofundada do gerenciamento de risco que trata a ABNT NBR 5419-2: 2015.

2.4 GERENCIAMENTO DE RISCO – ABNT NBR 5419 – 2: 2015

Na ABNT NBR 5419-2: 2015 são estabelecidos alguns requisitos para análises dos riscos já citados anteriormente, definidos na parte 1 da norma, em uma estrutura devido às descargas atmosféricas. São definidos na parte 2 da norma alguns fatores a serem abordados para realizar essa análise do risco, desde as características de localização geográfica da estrutura até características únicas da estrutura a ser analisada.

A norma detalha o procedimento para como deve ser feito a avaliação dos riscos, e partir dos cálculos realizados é possível definir as medidas e características da proteção a serem adotadas. A partir dos resultados obtidos do gerenciamento de risco, será possível obter resultados como a classe do SPDA para a instalação, a quantidade de descidas, o tamanho mínimo da malha de aterramento, componentes construtivos e até mesmo no caso da estrutura não necessitar de um SPDA.

2.4.1 Definição dos riscos e suas componentes.

Para calcular o cálculo dos riscos já mencionados anteriormente que a norma divide em quatro tipos que são R1, R2, R3 e R4, é necessário antes definir e calcular os componentes de risco, visto que cada um dos riscos é representado pela soma de seus componentes.

A NBR 5419-2 agrupa os componentes de riscos de acordo com as fontes e tipos de danos e o ponto de impacto na estrutura, como já mostrado no Quadro – 2. São considerados pontos de impacto diretamente a estrutura, nas proximidades da estrutura, em linhas elétricas conectadas à estrutura e nas proximidades dessas linhas elétricas.

2.4.2 Para descargas atmosféricas na estrutura.

Os componentes de risco a seguir foram retirados da ABNT NBR5419-2, 2015, para danos causados por descargas atmosféricas diretamente a estrutura:

- RA: Relativo a ferimentos a seres vivos, humano (perda L1) ou animais em propriedades agrícolas (perda L4), causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.
- RB: Relativo a danos físicos causados por incêndios ou explosões ocorrentes devido à centelhamentos. Podem causar das perdas L1 até a L4.
- RC: Relativo a falhas de sistema internas causadas por impulsos eletromagnéticos devido às descargas. Podem gerar perdas do tipo L1, L2 e L4.

2.4.3 Para descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura.

- RM: Comuns a componente RC, causando os mesmos tipos de perdas.

2.4.4 Para descargas atmosféricas em linhas conectadas à estrutura.

- RU: Relativo a ferimentos a seres vivos, humanos (perda L1) ou animais em propriedades agrícolas (perda L4), causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.
- RV: Relativo a danos físicos devido à corrente da descarga atmosférica transmitida, podendo causar incêndio ou explosões. Nesse componente é possível ocorrer da perda L1 até a L4.
- RW: Relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Podem causar perdas do tipo L1, L2 e L4.

2.4.5 Para descargas atmosféricas nas proximidades de linhas conectadas à estrutura.

- RZ: Comuns a componente RW, causando os mesmos tipos de perdas.

2.5 Cálculos das componentes de risco.

Descritas as componentes de risco anteriormente, é preciso definir a partir da estrutura que está sendo realizado o gerenciamento de risco, quais delas irão compor o risco. O Quadro 3 abaixo retirado da ABNT NBR 5419-2: 2015 apresenta uma disposição das componentes de risco relacionando-as com os riscos.

Quadro 3 – Relação das componentes de risco com os tipos de perdas

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R_A	R_B	R_C		R_M	R_U	R_V	
Componente de risco	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	*	*	*
<p>^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.</p> <p>^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p>								

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Após a identificação das componentes de riscos para a estrutura analisada, essas componentes são calculadas a partir da seguinte equação de acordo com a norma:

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (1)$$

Onde:

N_X é número de eventos perigosos por ano;

P_X é a probabilidade de dano à estrutura;

L_X é a perda consequente.

Logo, antes de ser apresentado o cálculo para as componentes de risco em cada situação, é necessário apresentar como são definidos o número de eventos perigoso, a probabilidade de dano e a perda consequente, também considerando as situações diferentes de dano.

2.5.1 Avaliação do número de eventos perigosos para a estrutura.

De acordo com a norma, o número de eventos perigosos é afetado diretamente pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e também pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

2.5.1.1 Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas na estrutura (N_D) e em uma estrutura adjacente (N_{DJ}).

Para a situação de descargas elétricas na estrutura, o número de eventos perigosos (N_D) é calculado da seguinte forma:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (2)$$

Onde,

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano);

A_D é a área da exposição equivalente da estrutura (m²);

C_D é o fator de localização, esse definido a partir da localização relativa da estrutura, conforme o quadro a seguir retirado da norma.

Quadro 4 – 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Considerando agora o número de eventos perigosos devido a descargas na estrutura para uma estrutura adjacente, será diferente do cálculo anterior da seguinte forma.

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (3)$$

Dessa forma, o fator de localização da estrutura (C_{DJ}) é retirado também do Quadro 4 mostrado anteriormente. As diferenças para a equação anterior serão apenas a área da estrutura adjacente (A_{DJ}) e o fator tipo de linha (C_T), definido a partir do seguinte quadro retirado da norma.

Quadro 5 – Fator tipo de linha C_T .

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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.1.2 Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas próximo a estrutura (N_M).

Para a situação de descargas elétricas próximo da estrutura, o número de eventos perigosos (N_M) é calculado da seguinte forma:

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} \quad (4)$$

Onde,

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura (m^2).

2.5.1.3 Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas na linha (N_L).

Para a situação de descargas elétricas na linha da estrutura, o número de eventos perigosos (N_L) é preciso considerar que uma linha pode consistir em varias seções, dessa forma o cálculo é feito da seguinte maneira:

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (5)$$

Onde,

C_T é o fator tipo de linha (Quadro 5);

C_I é o fator de instalação da linha (Quadro 6);

C_E é o fator ambiental (Quadro 7);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha (m^2).

Essa área de exposição (A_L) é definida por:

$$A_L = 40 * L_L \quad (6)$$

Onde L_L é o comprimento da seção da linha em metros.

Quadro 6 – 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 7 – 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.1.4 Cálculo do número de eventos perigoso devido a descargas próximas da linha (N_I).

Para a situação de descargas elétricas próximas da linha da estrutura, o número de eventos perigosos (N_I) é preciso considerar que uma linha pode consistir em varias seções, dessa forma o cálculo é feito da seguinte maneira:

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (7)$$

Onde,

A_I é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra próximo da linha (m^2).

Essa área de exposição (A_I) é definida por:

$$A_I = 4000 * L_L \quad (8)$$

2.5.2 Avaliação da probabilidade de dano à estrutura.

De acordo com a norma, a probabilidade de dano à estrutura é afetada diretamente pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

2.5.2.1 Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico (P_A).

Os valores para essa probabilidade dependem do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais adotadas. Ela é calculada da seguinte forma:

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (9)$$

Onde,

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo (Quadro 8);

P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas para o qual o SPDA foi projetado (Quadro 9);

Quadro 8 – Medidas de proteção adicional de uma estrutura P_{TA} .

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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 9 – Nível de proteção adotado para uma estrutura P_B .

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 subsistema de descida natural		0,01
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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.2.2 Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar danos físicos (P_B).

Essa probabilidade foi vista no Quadro 9, ela depende diretamente do nível de proteção contra descargas para o qual o SPDA foi projetado. Quando maior a proteção da estrutura menor será P_B .

2.5.2.3 Probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar falha a sistemas internos (P_C).

Os valores para essa probabilidade são calculados da seguinte forma:

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD} \quad (10)$$

Onde;

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme a norma e do nível de proteção contra descargas atmosféricas para qual os DPS foram projetados (Quadro 10);

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha em que o sistema está conectado (Quadro 11);

Uma das formas de reduzir a probabilidade P_C é utilizando um sistema coordenado de DPS adequado como medida de proteção.

Quadro 10 – Valores de P_{SPD} em função do nível de proteção que os DPS foram projetados.

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 11 – Valores de C_{LD} e C_{LI} para os tipos de 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 multiterrado	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
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.2.4 Probabilidade de uma descarga próximo de uma estrutura causar falha a sistemas internos (P_M).

Essa probabilidade depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotados para a estrutura. Caso haja um sistema coordenado de DPS instalado na estrutura, o valor de P_M será:

$$P_M = P_{SPD} * P_{MS} \quad (11)$$

Onde P_{SPD} foi apresentado e pode ser retirado no Quadro 10, e P_{MS} é definido por:

$$P_{MS} = (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2 \quad (12)$$

Onde

K_{S1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outro blindagem na interface;

K_{S2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface;

K_{S3} leva em consideração características da fiação interna (Quadro 12);

K_{S4} leva em consideração a tensão suportável do impulso do sistema protegido.

Quadro 12 – Valores de K_{S3} para tipos de fiação interna.

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	0,000 1

^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).
^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 m²).
^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).
^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.2.5 Probabilidade de uma descarga em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (P_U).

A norma aponta essa probabilidade depende das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e interfaces isolantes ou DPS utilizados. O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (13)$$

Onde;

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque (Quadro 13);

P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas e do nível de proteção contra descargas atmosféricas projetado (Quadro 14);

P_{LD} que é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha e depende das características da linha (Quadro 15);

Quadro 13 – Valores de P_{TU} considerando as medidas de proteção

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

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 14 – Valores de P_{EB} em função da proteção (NP)

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 15 – Valores de P_{LD} que dependem da resistência R_S e da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_w do equipamento (NP)

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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.2.6 Probabilidade de uma descarga em uma linha causar danos físicos (P_V).

A norma aponta que esse valor de probabilidade 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. O seu valor é calculado por:

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (14)$$

Onde as variáveis já foram definidas anteriormente.

2.5.2.7 Probabilidade de uma descarga em uma linha causar falha de sistemas internos (P_W).

A norma aponta que os valores dessa probabilidade dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS. É calculado da seguinte forma:

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD} \quad (15)$$

2.5.2.8 Probabilidade de uma descarga próximo de uma linha causar falha dos sistemas internos (P_Z).

A norma aponta que os valores dessa probabilidade dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema de DPS instalado. É calculado da seguinte forma:

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI} \quad (16)$$

Onde,

P_{LI} é a probabilidade da falha de sistemas internos devido a uma descarga perto da linha conectada (Quadro 16).

Quadro 16 – Valores para probabilidade P_{LI} levando em consideração o tipo da linha e a 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.3 Avaliação das quantidades de perdas.

A norma define que a componente de perda L_x é afetada pelo uso para o qual a estrutura foi projetada, pela frequência das pessoas, pelo tipo de serviço fornecido ao público, pelo valor dos bens afetados pelos danos e pelas medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

2.5.3.1. Perda de vida humana (L1).

Para esse tipo de perda, são considerados os danos D1, D2, D3 e D4. A norma considera uma perda para cada tipo de dano causador, da seguinte forma:

Quadro 17 - Equações de perda referente ao tipo de dano

Tipo de dano	Perda Típica	Equação
D1	$L_A = r_t * L_T * \frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_z}{8760}$	(17)
D2	$L_U = r_t * L_T * \frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_z}{8760}$	(18)
D3	$L_B = L_V = r_p * r_t * h_z * L_F * \frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_z}{8760}$	(19)
D4	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * L_F * \frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_z}{8760}$	(20)

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Onde,

L_T é o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (Quadro 18);

L_F é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Quadro 18);

L_O é o número relativo típico de vítimas por falhas de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (Quadro 18);

r_t é um fator de redução na perda de vida humana dependendo do tipo de solo ou piso (Quadro 19);

r_p é um fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (Quadro 20);

r_f é um fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo dos riscos de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (Quadro 21);

h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (Quadro 22);

n_z é o número de pessoas na zona;

n_t é o número total de pessoas na estrutura;

t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona (h/ano);

Quadro 18 – Valores médios de L_T , L_F e L_O para cada tipo de dano

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
	L_T		
D1 ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5×10^{-2}	Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2}	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
D3 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 19 – Fator r_t em função da superfície do solo

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega$ ^a	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 20 – Fator r_p em função das providências tomadas para reduzir consequências de 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 ^a	0,2
^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.	

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 21 – Fator r_f em função do risco de incêndio ou explosão

Risco	Quantidade de risco	r_f
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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Quadro 22 – Fator h_z em função da 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: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.3.2. Perda inaceitável de serviço ao público (L1).

Esse tipo de perda é causado pelos danos D2 e D3. A norma considera uma perda para cada tipo de dano causador dela, da seguinte forma:

Quadro 23 - Equações de perda referente ao tipo de dano

Tipo de dano	Perda Típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{n_Z}{n_t}$	(21)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * \frac{n_Z}{n_t}$	(22)

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Onde;

L_F é o número de relativo médio de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) devido a um evento perigoso (Quadro 24);

L_O é o número relativo médio de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (Quadro 24);

E as demais componentes foram descritas anteriormente.

Quadro 24 – Valores médios de L_F e L_O para cada tipo de dano

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	10 ⁻¹	Gás, água, fornecimento de energia
		10 ⁻²	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10 ⁻²	Gás, água, fornecimento de energia
		10 ⁻³	TV, linhas de sinais

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.3.3 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3).

Para esse tipo de perda é considerado apenas o dano D2. A norma considera uma perda para o tipo de dano causador, da seguinte forma:

Quadro 25 - Equações de perda referente ao tipo de dano

Tipo de dano	Perda Típica	Equação
D2 (danos físicos)	$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{c_z}{c_t} * \frac{t_z}{8760}$	(23)

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

Onde,

L_F é o número de relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Quadro 26);

C_Z é o valor do patrimônio cultural na zona;

C_t é o valor total da edificação e conteúdo da estrutura;

E os demais componentes já foram descritos anteriormente.

Quadro 26 – Valores médio de L_F para o tipo de dano

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	L_F	10 ⁻¹	Museus, galerias

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.3.4 Perda econômica (L4).

Para esse tipo de perda, são considerados os danos D1, D2, D3 e D4. A norma considera uma perda para cada tipo de dano causador, da seguinte forma:

Quadro 27 - Equações de perdas referente ao tipo de dano

Tipo de dano	Perda Típica	Equação
D1	$L_A = r_t * L_T * \frac{c_a}{c_t}$	(24)
D2	$L_U = r_t * L_T * \frac{c_a}{c_t}$	(25)
D3	$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{(c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t}$	(26)

D4	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * \frac{c_Z}{c_t}$	(27)
----	---	------

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

L_T é o valor relativo médio de todos os valores danificados por choque elétrico (D1) devido evento perigoso (Quadro 28);

L_F é o valor relativo médio de todos os valores atingidos por dano físico (D2) devido evento perigoso (Quadro 28);

L_O é o valor relativo médio de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido evento perigoso (Quadro 28);

c_a é o valor dos animais na zona;

c_b é o valor da edificação relevante à zona;

c_c é o valor do conteúdo da zona;

c_s é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;

c_t é o valor total da estrutura;

E as demais componentes forma descritas anteriormente.

Quadro 28 – Valores médios de L_T , L_F e L_O para cada tipo de dano.

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.5.4 Análise das componentes de risco.

Após analisados o número de eventos perigoso, a probabilidade de dano e a perda consequente, pode ser apresentado a análise de cada componente de risco.

2.5.4.1 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas da estrutura.

De acordo com a norma, as seguintes componentes de risco são aplicáveis para esse tipo de situação:

- (a) Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (28)$$

- (b) Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (29)$$

- (c) Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (30)$$

2.5.4.2 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura.

De acordo com a norma, a seguinte componente de risco é aplicável para esse tipo de situação:

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (31)$$

2.5.4.3 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada na estrutura

De acordo com a norma, as seguintes componentes de risco são aplicáveis para esse tipo de situação:

- (a) Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (32)$$

- (b) Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (33)$$

- (c) Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W \quad (34)$$

2.5.4.4 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas próximo a uma linha conectada na estrutura.

De acordo com a norma, a seguinte componente de risco é aplicável para esse tipo de situação:

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_Z = N_I * P_Z * L_Z \quad (35)$$

2.6 Cálculos dos riscos de perda.

Obtendo as componentes de riscos definidas anteriormente, a norma apresenta como são encontrados os riscos:

- Risco de perda de vida humana (R1):

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1 + RM1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1 \quad (36)$$

Para os componentes RC1, RM1, RW1 e RZ1, serão considerados apenas em caso onde há riscos de explosões a estrutura ou em caso de hospitais ou estruturas onde a falha de equipamentos elétricos pode causar risco a vida humana.

- Risco de perda de serviço ao público (R2):

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2 \quad (37)$$

- Risco de perda de patrimônio cultural (R3):

$$R3 = RB3 + RV3 \quad (38)$$

- Risco de perda de valor econômico (R4):

$$R4 = RA4 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4 + RV4 + RW4 + RZ4 \quad (39)$$

Para os componentes RA4 e RZ4, serão considerados apenas em casos com animais em propriedades agrícolas.

2.7 Procedimentos do gerenciamento de risco.

Neste tópico é apresentado o passo a passo a ser seguido pela norma para realizar o gerenciamento de risco, com os dados que precisam ser levantados e a forma como fazer.

2.7.1 Estrutura a ser realizado o gerenciamento.

Para iniciar o cálculo do gerenciamento de risco, devem ser realizados alguns procedimentos seguindo a norma. Primeiro é feito uma identificação na estrutura e suas características, para que então sejam identificados os possíveis tipos de perdas na estrutura e os componentes de riscos.

Após a identificação da estrutura a ser estudada, a ABNT NBR5419-2: 2015 diz que devem ser apresentadas algumas características da mesma:

- A própria estrutura (Podendo ser dívida em zonas, que será mais bem tratado a frente);
- As instalações na estrutura;
- O conteúdo da estrutura;
- As pessoas na estrutura ou nas zonas até 3m para fora da estrutura;
- O meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Além disso, também é necessário identificar a geometria da estrutura e após calcular a sua área de exposição da seguinte forma:

$$A_D = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (40)$$

Onde,

L é o comprimento

W é a largura

H é a altura

π é igual a aproximadamente 3,14159.

2.7.2 Divisão da estrutura em zonas (Zs).

Segundo a NBR 5419/2015, em algumas estruturas para que haja uma avaliação mais precisa é necessário dividi-la em zonas (Zs), assim facilitando a avaliação de alguns parâmetros. Elas podem ser definidas pelo tipo de solo ou piso, pelos compartimentos à prova de fogo e por uma blindagem especial, cada zona

com características homogêneas e próprias. Nesse sentido, a divisão da estrutura em zonas pode tornar necessárias a execução e implementação mais complexas, garantindo uma maior especificidade na proteção contra raios, portanto esses aspectos devem ser considerados no momento inicial do pré-projeto.

Dessa forma, existem estruturas com zona única, onde o risco R é calculado pela soma dos componentes de risco Rx desta zona, mas também existem estruturas multizona, onde os riscos são calculados pela soma dos riscos relevantes de todas as zonas da estrutura.

2.7.3 Risco tolerável (RT).

Com a definição dos tipos de perdas e correspondentes de riscos relevantes a partir das características da estrutura, são definidos os riscos de cada tipo de perda, de R1 a R4. Após isso, é feita uma comparação desses riscos com o risco tolerável.

O valor desse risco tolerável é definido previamente na norma, onde são valores em que as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perdas de valores sociais ou culturais.

Quadro 29 – Valores do risco tolerável (RT)

Tipos de perda		R _T (Y ⁻¹)
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10 ⁻⁵
L2	Perda de serviço ao público	10 ⁻³
L3	Perda de matrimônio cultural	10 ⁻⁴

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015.

2.7.4 Avaliação da necessidade de proteção.

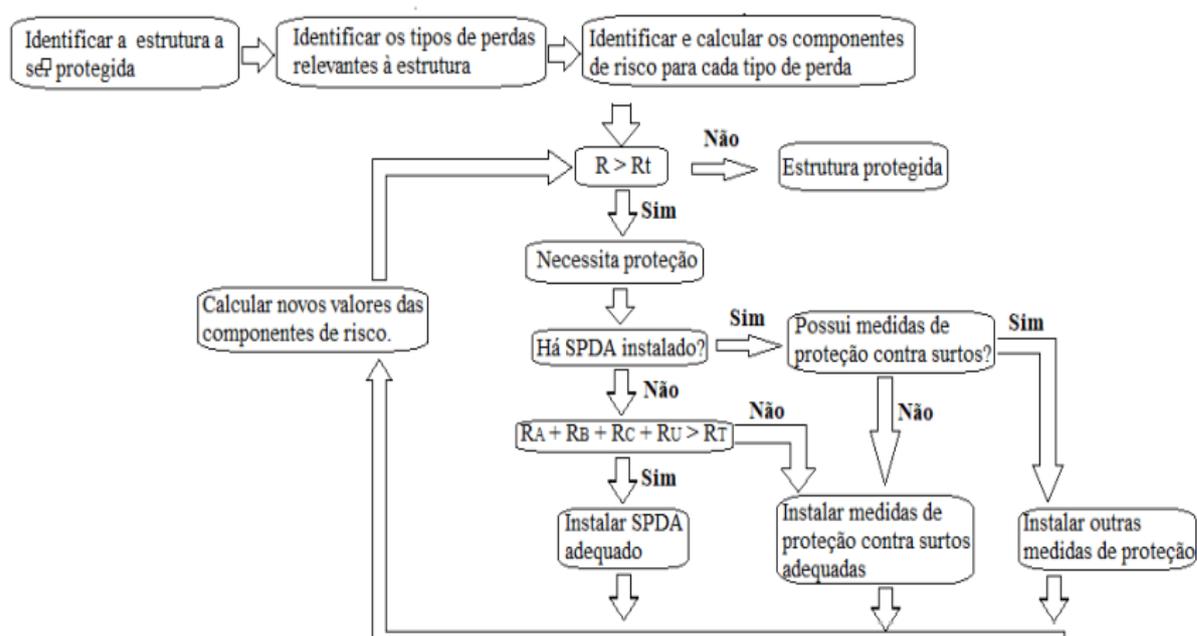
Como já mencionado anteriormente, no gerenciamento de risco é determinada a necessidade ou não de proteção na estrutura. A norma afirma que é necessário que os riscos R1, R2 e R3 sejam considerados para tal avaliação, sendo assim sendo necessário calcular cada componente de risco e em seguida o risco

total (R), da forma que foi mencionada nos tópicos anteriores. Em seguida, se identifica o risco tolerável R_t e é feita a seguinte comparação:

- Se $R \leq R_t$: Não há uma necessidade de proteção.
- Se $R \geq R_t$: Há uma necessidade de proteção.

Dessa forma, se ocorrer o que é descrito na segunda situação, é necessário que seja realizada a instalação proteções necessárias para diminuir o risco total, fazendo com que se iguale ou que fique menor que o risco tolerável. Em um caso onde o risco total não possa se igualar ou ficar inferior ao risco tolerável, deverá ser informado ao proprietário à necessidade de ser instalado um sistema com o maior grau de proteção possível.

Figura 6 – Identificando a necessidade de proteção ou novas medidas de proteção



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

Na Figura 6 é mostrado como é feito o passo a passo para identificar a necessidade ou não da proteção ou substituição da proteção atual para uma mais adequada.

3 MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os métodos utilizados durante o trabalho.

3.1 Tipo de pesquisa

A metodologia de gerenciamento de risco adotada neste estudo de caso consiste em uma abordagem sistemática e estruturada para identificar, avaliar e monitorar os riscos associados ao projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). O processo metodológico é composto por várias etapas, conforme descrito a seguir:

3.2 Instrumentos de Coleta de dados

Identificação de riscos: Nesta etapa, foram identificados os potenciais riscos que podem afetar o projeto SPDA. Envolvendo uma análise detalhada dos elementos do projeto, considerando fatores como localização geográfica, características do ambiente, requisitos normativos, entre outros.

Análise de riscos: Os riscos identificados foram avaliados quanto à sua probabilidade de ocorrência e ao impacto que podem ter no projeto SPDA. Utilizam-se métodos como a matriz de probabilidade-impacto para classificar e priorizar os riscos, permitindo a focalização dos esforços nas questões mais críticas.

3.3 Estudo de caso

Diante do tema abordado, a metodologia adotada para realização deste trabalho foi uma pesquisa de cunho exploratório e quantitativa, se caracterizando como um estudo de caso, que é uma abordagem valiosa para investigar novos conceitos e examinar a aplicação prática dos elementos teóricos. Trata-se de um método de pesquisa que utiliza predominantemente dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o propósito de explicar, explorar ou descrever fenômenos contemporâneos em seus contextos específicos. O estudo de caso é

reconhecido por sua abordagem detalhada e minuciosa de um número limitado de objetos, ou até mesmo de um único objeto, resultando em uma compreensão profunda do tema em questão (YIN, 2009). Tendo em vista a necessidade de coletar dados e interpretá-los com uma maior clareza e aprofundamento, na configuração de um esforço interpretativo dos dados, afinal, nesse tipo de investigação a fonte direta de dados é o ambiente natural.

Partes desses dados foram apresentados em forma de gráficos e quadros a fim de oferecer uma melhor compreensão da análise da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse estudo de caso foram considerados os conceitos apresentados nas seções anteriores bem como definições que se fizerem necessárias ao decorrer do texto. Foi realizado um estudo de gerenciamento de risco para a uma unidade consumidora, situada em Fortaleza-CE, para se chegar a resultados adequados para a proteção da estrutura baseando-se na norma.

Para tanto, será primeiramente as características construtivas da edificação referentes à zona do restaurante e dos galpões 2 e 3 da estrutura, como também informações geográficas e o uso para o qual a construção foi destinada. O procedimento básico seguido ao avaliar a necessidade de proteção em uma edificação pode ser listado em tópicos para garantir uma maior compreensão do processo e, por conseguinte uma avaliação livre de vícios ou erros.

Através do gerenciamento de risco realizado, podem-se obter diversos resultados como: Classe do SPDA a ser instalado, número de descidas, tamanho mínimo da malha de aterramento, componentes construtivos ou até mesmo que a edificação não precise de um SPDA.

No estudo do gerenciamento de risco, foi considerada apenas os riscos R1, referente ao risco de perda de vida humana, e risco R4, referente a risco de perda de valor econômico, isso, pois a estruturas fazem parte de uma empresa que, dessa forma como há movimentação de pessoas o risco R1 é considerado, e o risco R4 devido ao valor econômico da empresa. Os risco R2, risco de perda de serviço ao público, não é considerado, pois não são estruturas para fins públicos, e o risco R3, risco de perda de patrimônio cultura também não se enquadra no tipo de estrutura do caso.

4.1 Estrutura 1: Restaurante

A primeira estrutura a ser estudada era usada como restaurante. No primeiro momento serão apresentadas as características físicas da estrutura e da região em volta dela, assim como os fatores de ponderação que serão necessários para o gerenciamento de risco dela.

No seguinte quadro são apresentados a área de exposição a descargas elétricas na estrutura, assim como de estruturas adjacentes do mesmo local.

Quadro 30 - Restaurante: Características físicas da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário / Equação	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para terra	Descargas/km ² /ano	N_G	1,43	-
Geometria da estrutura	Metros (m)	L, W e H	55; 45 e 10	-
Área de exposição equivalente da estrutura	m ²	A_D	11302,43	Equação 40
Geometria da estrutura adjacente	Metros (m)	Lj, Wj e Hj	175; 2 e 12	-
Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	m ²	A_{DJ}	17165,5	Equação 40

Fonte: De autoria própria.

A estrutura adjacente mencionada é uma estrutura ao lado da principal, utilizada como depósito do restaurante. Segundo a NBR 5419: 2015 estruturas adjacentes devem ser incluídas no gerenciamento de risco da estrutura principal para analisar a possibilidade de aumento do risco total.

Os próximos quadros apresentam os fatores de ponderação para as linhas de energia instaladas na estrutura, assim como os quadros de referência ou equações de onde foram retiradas do trabalho em questão.

Quadro 31 - Restaurante: Fatores de ponderação de linhas de energia da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário / Equação	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento da linha de energia	Metros	L_L	500	-
Fator de instalação da linha de energia	Aéreo	C_I	1	Quadro 6
Fator do tipo de linha de energia	Linha de energia em AT (com Trafo AT/BT)	C_T	0,2	Quadro 5
Área de exposição para descargas em uma linha	$A_I = 40 * 500$	A_L	20000	Equação 6
Área de exposição para descargas próximas de linha	$A_I = 4000 * 500$	A_I	2000000	Equação 8

Área de exposição de descargas próxima a uma estrutura	$A_M = 2 * 500 * (L + W) + \pi * 500^2$	A_M	885398,16	–
Fator ambiental da linha de energia	Urbano	C_E	0,1	Quadro 7
Fator de localização da estrutura.	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5	Quadro 4
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos mais altos	C_{DJ}	0,25	Quadro 4

Fonte: De autoria própria.

As informações retiradas do anteriormente foram retiradas levando em conta uma análise da estrutura e seus arredores, como o comprimento da linha de energia e o tipo de roteamento e instalação, além de fatores de localização que levam em conta edifícios mais próximos da estrutura. A partir delas poderão ser calculados os ventos perigosos que são apresentados no seguinte quadro.

Quadro 32 - Restaurante: Número de eventos de eventos perigosos

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Número de eventos perigosos para a estrutura	$N_D = 1,43 * 11302,43 * 0,5 * 10^{-6}$	N_D	0,00808	Equação 2
Número de eventos perigosos para a estrutura adjacente	$N_{DJ} = 17165,5 * 0,25 * 10^{-6}$	N_{DJ}	0,00614	Equação 3
Eventos perigosos devido descargas próximo a estrutura	$N_M = 1,43 * 885398,16 * 10^{-6}$	N_M	1,26612	Equação 4
Eventos perigosos devido descargas na linha de energia	$N_L = 1,43 * 20000 * 1 * 0,1 * 0,2 * 10^{-6}$	N_L	0,00057	Equação 5
Eventos perigosos devido descargas próximas a linha de energia	$N_I = 1,43 * 2000000 * 1 * 0,1 * 0,2 * 10^{-6}$	N_I	0,0572	Equação 7

Fonte: De autoria própria.

Os eventos perigosos calculados anteriormente serão necessários para os cálculos das componentes de risco do risco total, cada um deles é calculado levando em conta à posição dos eventos na estrutura e estrutura adjacente, próximo a estrutura, e na linha de energia e próximos a ela. Os eventos levam em

consideração a densidade de cargas atmosféricas para terra naquele terreno, que pode variar de acordo com onde está situada a estrutura.

4.1.1 Definições das zonas

Na definição de zonas, será definido em quantas zonas estão dividida a estrutura, dependendo da quantidade de pessoas que trabalha naquela zona, tempo de presença de pessoas nela além dos tipos de perdas consideradas. Na estrutura em questão é considerada apenas uma zona. No quadro abaixo estão representadas as características relevantes para ela.

Quadro 33 - Restaurante: Fatores da zona da edificação

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Total de pessoas na zona	–	Nz	120	–
Total de pessoas na estrutura	–	Nt	120	–
Tempo de presença de pessoas na zona	horas/ano	tz	8760	–
Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura	–	Te	0	–
Perda de vida humana incluindo ferimento permanente (L1)	Considerado	–	–	–
Perda inaceitável de serviço ao público (L2)	Desconsiderado	–	–	–
Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)	Desconsiderado	–	–	–
Perda Econômica (L4)	Considerado	–	–	–
Risco de explosão	Não	–	–	–

Fonte: De autoria própria.

Como a estrutura possui apenas uma zona, a quantidade de pessoas na zona e a quantidade total de pessoas na estrutura é a mesma. A perda de vida humana (L1) foi considerada por se tratar de um local onde há movimentação de pessoas e a perda econômica (L4) foi considerada devido se tratar de uma empresa

4.1.2 Análises das probabilidades de dano à estrutura

Nesse tópico serão apresentados os fatores que modificam as probabilidades de danos causados à estrutura, além dos cálculos dessas probabilidades.

Quadro 34 – Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Medidas de proteção (descargas na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Quadro 8
Tensão suportável nominal	Expressa em kV	U_w	1	–
Fator de redução para Pz	Para $U_w = 1\text{kV}$	P_{LI}	1	Quadro 16
Blindagem da malha da estrutura	–	$KS1$	1	–
Blindagem da malha dos campos internos	$KS2 = KS1$	$KS2$	1	–
Cabeamento interno	Cabo não blindado	$KS3$	1	Quadro 12
Tensão suportável de impulso	$KS4 = 1/UW$	$KS4$	1	–
Roteamento, blindagem e interligação de energia	Linha aérea ou enterrada	P_{LD}	1	Quadro 15
Tipo de linha externa	Linha aérea não blindada	C_{LD}, C_{LI}	1 ; 1	Quadro 11
Medidas de proteção (descargas na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Quadro 13
Nível de proteção NP	DPS Classe II	P_{EB}	0,02	Quadro 14
Nível de proteção NP Energia	DPS Classe II	P_{SPD}	0,02	Quadro 10
Fator de redução de PM com relação a blindagem	$P_{MS} = (ks1 * ks2 * ks3 * ks4)^2$	P_{MS}	1	–

Fonte: De autoria própria.

No quadro anterior todos os fatores são retirados das tabelas referenciadas, levando em conta informações da proteção anterior da estrutura, como blindagem, níveis de proteção. Abaixo se encontra os cálculos das probabilidades de dano na estrutura.

Quadro 35 – Cálculos das probabilidades de dano

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
P_A	$P_A = 1 * 0,1$	0,1	Equação 9
P_B	SPDA Classe III	0,1	Quadro 9
P_C	$P_C = 0,02 * 1$	0,02	Equação 10
P_V	$P_V = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 14
P_M	$P_M = 0,02 * 1$	0,02	Equação 11
P_U	$P_U = 1 * 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 13
P_W	$P_W = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 15
P_Z	$P_Z = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 16

Fonte: De autoria própria.

Dessa forma, calculando as probabilidades de dano levando em consideração as características das medidas de proteção da estrutura do caso, essas serão usadas no cálculo das componentes de risco

4.1.3 Cálculos das perdas consequentes de dano

Como mostrado no Quadro 33, apenas as perdas L1 e L4 são consideradas para o tipo de estrutura abordada. São utilizados alguns fatores de redução para o cálculo das perdas que serão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 36 – Fatores de redução para cálculo das perdas

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de superfície do solo	Agricultura, concreto	rt	0,01	Quadro 19
Providências para redução de incêndios	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, hidrantes.	rp	0,5	Quadro 20
Risco de incêndio ou explosão na estrutura	Risco alto	rf	0,1	Quadro 21
Perigo especial	Alto nível de pânico	hz	10	Quadro 22

Fonte: De autoria própria.

Os fatores utilizados para determinação de ambas as perdas L1 e L4, levam em consideração valores dos riscos na estrutura, como explosão, incêndios e também leva em conta parâmetros do terreno, como o tipo de solo.

4.1.3.1 Perda de vida humana incluindo ferimento permanente – L1.

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda de vida humana incluindo ferimentos permanentes. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 37 – Fatores para cálculos das perdas L1

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Ferimentos (D1)	Todos os tipos	L_T	0,01	Quadro 18
Danos físicos (D2)	Industrial, comercial	L_F	0,02	Quadro 18
Danos de sistemas internos (D3)	Não aplicável	L_O	0	Quadro 18

Fonte: De autoria própria.

Os tipos de danos considerados levam em consideração o tipo da estrutura. Os danos considerados foram danos que podem causar ferimentos (D1), considerados para todo tipo de estrutura e os danos físicos (D2), considerado pelo tipo de estrutura industrial. No dano D3, nenhuma das estruturas se enquadram no tipo de estrutura do caso, logo é desconsiderado.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada tipo.

Quadro 38 – Cálculos das perdas L1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_A	$L_A = 0,01 * 0,01 * (120/120) * (8760/8760)$	0,0001	Equação 17
L_U	$L_U = L_A$	0,0001	–
L_B	$L_{B4} = rp * rf * L_F * (120/120) * (8760/8760)$	0,01	Equação 19
L_V	$L_V = L_B$	0,01	–
L_C	$L_C = 0 * (120/120) * (8760/8760)$	0	Equação 20
L_M, L_W, L_Z	$L_M = L_W = L_Z = L_C$	0	–

Fonte: De autoria própria.

As perdas encontradas para os tipos de danos considerados na estrutura foram: Perdas relacionadas aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido a descargas na estrutura (L_a) e na linha (L_u); perdas na estrutura relacionadas a danos físicos por descargas atmosféricas na estrutura (L_b) e na linha (L_v). Como o tipo de dano D3 foi desconsiderado para essa estrutura, as demais perdas serão zero.

4.1.3.2 Perda econômica - L4

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda econômica. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 39 – Fatores para cálculos das perdas L4

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Danos físicos	Hotel, escola, escritório, igreja, comercial	L_F	0,2	Quadro 28
Danos de sistemas internos (D3)	Outros	L_{O4}	0,0001	Quadro 28
Valor dos animais na zona	Milhões	C_A	0	–
Valor da edificação relevante à zona	Milhões	C_B	3	–
Valor do conteúdo da zona	Milhões	C_C	1	–
Valor dos sistemas internos incluindo atividades na zona	Milhões	C_S	1	–
Valor total da estrutura	Milhões	C_T	5	–

Fonte: De autoria própria.

Para perda econômica são considerados mais fatores, levando em conta o custo do patrimônio do tipo de estrutura estudada, como valores referentes a animais, ao conteúdo da e aos sistemas internos e atividades do local.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada um.

Quadro 40 – Cálculos das perdas L4

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_{A4}	$L_{A4} = 0,01 * 0,01 * (0/5)$	0	Equação 24
L_{U4}	$L_{U4} = L_{A4}$	0	Equação 25
L_{B4}	$L_{B4} = 0,5 * 0,1 * 0,2 * ((0 + 3 + 1 + 1)/1)$	0,01	Equação 26
L_{V4}	$L_{V4} = L_{B4}$	0,01	–
L_{C4}	$L_{C4} = 0,0001 * (1/5)$	$0,02 * 10^{-3}$	Equação 27
L_{M4}, L_{W4}, L_{Z4}	$L_{M4} = L_{W4} = L_{Z4} = L_{C4}$	$0,02 * 10^{-3}$	–

Fonte: De autoria própria.

As perdas encontradas para os tipos de danos considerados na estrutura foram: Perdas na estrutura relacionadas a danos físicos por descargas atmosféricas na estrutura (Lb) e na linha (Lv); perdas relacionadas a falhas nos sistemas internos devido a descargas atmosféricas na estrutura (Lb), perto da estrutura (Lm), na linha da estrutura (Lw) e próximas a linhas da estrutura. As perdas La e Lu não são consideradas pois não existem valor considerado para animais na zona da estrutura, sendo o fator Ca igual a zero.

4.1.4 Componentes de riscos da zona

Para calcular as componentes de risco, foi utilizado a equação 01 como base, diferenciando as componentes para cada risco e considerando apenas as que se adequassem ao tipo de estrutura. Na tabela abaixo seguem as equações para o cálculo de cada componente.

Quadro 41 - Restaurante: Riscos R1 da Zona Restaurante

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_A	$R_A = 0,00808 * 0,1 * 0,0001$	$0,00808 * 10^{-5}$	Equação 28
R_B	$R_B = 0,00808 * 0,1 * 0,01$	$0,00808 * 10^{-3}$	Equação 29
R_C	$R_C = 0,00808 * 0,02 * 0$	0	Equação 30
R_M	$R_M = 1,26612 * 0,02 * 0$	0	Equação 31
R_U	$R_U = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,0001$	$0,01342 * 10^{-6}$	Equação 32

R_V	$R_V = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,01$	$0,01342 * 10^{-4}$	Equação 33
R_W	$R_W = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0$	0	Equação 34
R_Z	$R_Z = 0,0572 * 0,02 * 0$	0	Equação 35

Fonte: De autoria própria.

As componentes de risco para o risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas (R1), consideráveis para essa estrutura foram as componentes de risco devido a descargas elétricas na estrutura relacionada a danos referentes a seres vivos por choque elétrico (Ra) e a danos físicos (Rb) e componentes de risco devido a descargas em linhas conectadas a estrutura, referente aos danos D1 (Ru) e D2 (Rv). Como não são considerados os danos referentes à falhas em sistemas internos, não são consideradas as demais componentes de risco para o risco R1 da estrutura.

Quadro 42 - Restaurante: Riscos R4 da Zona Restaurante

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_{B4}	$R_{B4} = 0,00808 * 0,1 * 0,01$	$0,00808 * 10^{-3}$	Equação 29
R_{C4}	$R_{C4} = 0,00808 * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,03232 * 10^{-7}$	Equação 30
R_{M4}	$R_{M4} = 1,26612 * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,00506 * 10^{-4}$	Equação 31
R_{V4}	$R_{V4} = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * L_{V4}$	$0,01342 * 10^{-4}$	Equação 33
R_{W4}	$R_{W4} = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,02683 * 10^{-7}$	Equação 34
R_{Z4}	$R_{Z4} = 0,0572 * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,02288 * 10^{-6}$	Equação 35

Fonte: De autoria própria.

As componentes de risco para o risco de perda de valores econômicos da estrutura (R4), consideráveis para essa estrutura foram todas as componentes de risco analisadas, visto que para essa área foi considerado também os danos D3, referente a falhas de sistema interno, visto que nessa área é considerada perda de valor econômico.

4.1.5 Riscos total e tolerável

Abaixo é apresentado o resumo do Resultado Global dos Riscos de Perdas Avaliados nesse Gerenciamento de Risco, onde o R1 risco de perda de vida humana, é calculado através da soma das componentes de risco consideráveis na estrutura:

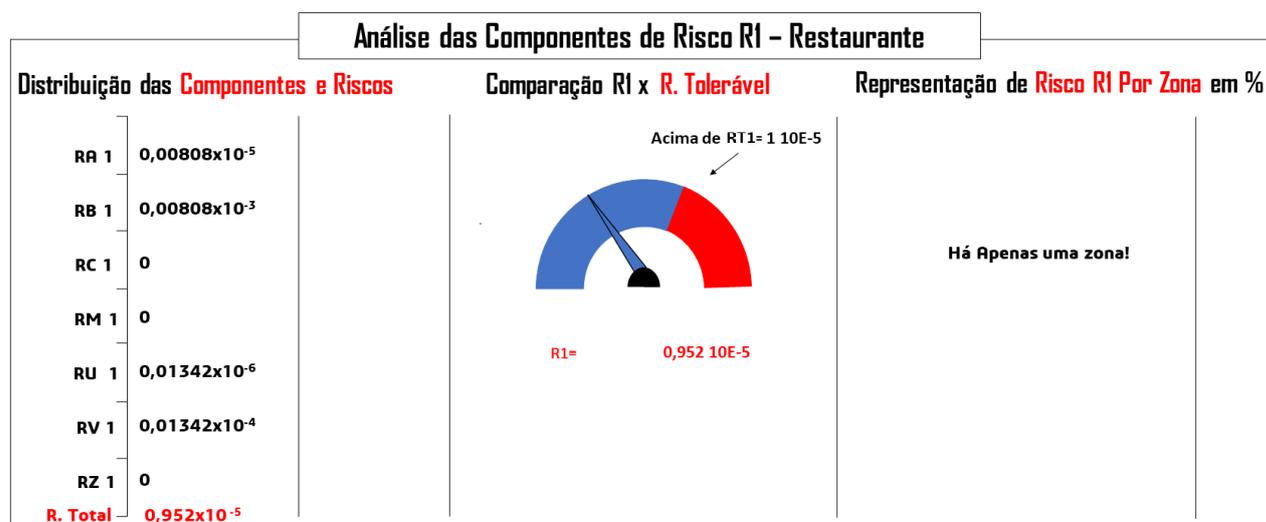
$$R1 = 0,00808 * 10^{-5} + 0,00808 * 10^{-3} + 0,01342 * 10^{-6} + 0,01342 * 10^{-4}$$

$$= 0,952 * 10^{-5}$$

Referência: Equação 36

Na imagem abaixo foi ilustrado a análise das Componentes de Riscos para R1 Total, a comparação com o risco tolerável e a representação do risco R1 por zonas:

Figura 7 - Análise SPDA dos componentes de risco R1 da zona do restaurante.



Fonte: De autoria própria.

Com o risco total R1, foi feito a comparação com o risco tolerável (Rt), que foi selecionado a partir do quadro 29. Como o risco total encontrado foi menor que o risco tolerável, o nível de proteção considerado para os cálculos do gerenciamento de risco atende a essa estrutura, sendo capaz de proteger o local.

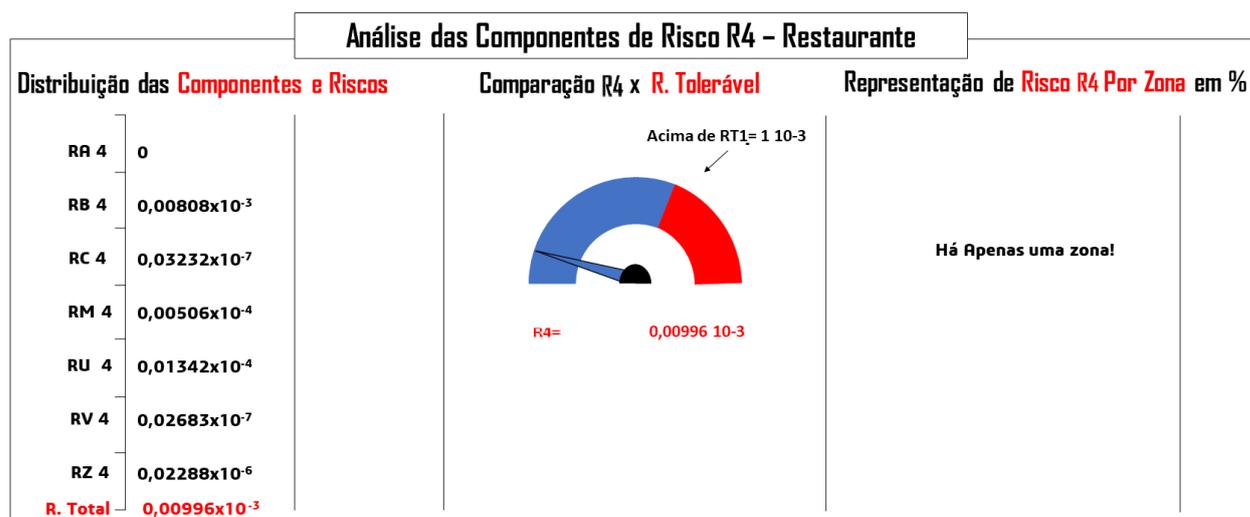
Já para o R4, que é o Risco de perdas de valor econômico, será calculado a partir da soma de suas componentes de risco:

$$R4 = 0,00808 * 10^{-3} + 0,03232 * 10^{-7} + 0,00506 * 10^{-4} + 0,01342 * 10^{-4} \\ + 0,02683 * 10^{-7} + 0,02288 * 10^{-6} = 0,00996 * 10^{-3}$$

Referência: Equação 39

Foi ilustrado abaixo a comparação do risco total R4 com o risco tolerável (Rt), além da representação do risco R4 por zonas:

Figura 8 - Análise SPDA dos componentes de risco R4 da zona do restaurante.



Fonte: De autoria própria.

De forma semelhante a R1, foi feito uma comparação com o risco tolerável (Rt), como esse valor encontrado foi menor que o tolerável, o nível de proteção considerado para os cálculos do gerenciamento atende a essa estrutura.

Dessa forma, é possível chegar a conclusão que o nível de proteção necessário para a estrutura estudada é um nível 3, que foi usado como base para os cálculos até chegar no resultado para o riscos considerados para essa estrutura não ultrapassarem o risco tolerável. Abaixo contém as características para proteção da estrutura escolhidas pelo fornecedor, considerando o nível de proteção indicado no estudo.

Quadro 43 - Características mínimas necessárias para proteção da estrutura do restaurante

Estrutura	Características adotadas
Nível de proteção adotada	Nível 3
Captação	Telhado metálico com 7mm de espessura no mínimo equipotencializado com estruturas metálicas adjacentes e subsistema de descidas.
Descidas	18 descidas a uma distância média de 15m entre si, sendo de fita metálica de alumínio 70mm ² espessura mínima 3mm ou Cobre – Encordoado 35mm ² Diâmetro de cada fio da cordoalha 2.5mm equipotencializado com subsistema de captação e aterramento.
MPS	Instalação de DPS de no mínimo classe II.
Aterramento	Eletrodo de aterramento enterrado a 50cm de profundidade utilizando Cobre – Encordoado 50mm ² Diâmetro de cada fio da cordoalha 2.5mm equipotencializado com subsistema de captação.

Fonte: De autoria própria.

4.2 Estrutura: Galpão 2 e 3

Na segunda estrutura contempla os galpões 2 e 3. Da mesma forma que anteriormente, será apresentado as características físicas da estrutura e da região por volta dela, além de fatores de ponderação para o cálculo do gerenciamento de risco para essa nova estrutura.

Nos quadros abaixo seguem as características da área de exposição a descargas elétricas da estrutura e de sua estrutura adjacente.

Quadro 44 - Galpão 2 e 3: Características físicas da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para terra	descargas/km ² /ano	N_G	1,43	–
Geometria da estrutura	Metros (m)	L, W e H	250; 150 e 15	–
Área de exposição equivalente da estrutura	m ²	A_D	79861,73	Equação 40
Geometria da estrutura adjacente	Metros (m)	Lj, Wj e Hj	175; 2 e 12	–
Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	m ²	A_{DJ}	17165,5	Equação 40

Fonte: De autoria própria.

Dentre as características, são consideradas também a área de estrutura adjacente, com propósito de analisar a possibilidade do aumento do risco total.

Os próximos quadros apresentam os fatores de ponderação para as linhas de energia instaladas na estrutura.

Quadro 45 – Galpão 2 e 3: Fatores de ponderação de linhas de energia da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário / Equação	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento da linha de energia (m)	-	L_L	500	–
Fator de instalação da linha de energia	Aéreo	C_I	1	Quadro 6
Fator do tipo de linha de energia	Linha de energia em AT (com Trafo AT/BT)	C_T	0,2	Quadro 5
Área de exposição para descargas em uma linha	$A_I = 40 * 500$	A_L	20000	Equação 6
Área de exposição para descargas próximas de linha	$A_I = 4000 * 500$	A_I	2000000	Equação 8

Área de exposição de descargas próxima a uma estrutura	$A_M = 2 * 500 * (L + W) + \pi * 500^2$	A_M	1185398,16	–
Fator ambiental da linha de energia	Urbano	C_E	0,1	Quadro 7
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5	Quadro 4
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos mais altos	C_{DJ}	0,25	Quadro 4

Fonte: De autoria própria.

Assim como no caso anterior, foram levadas em consideração as estruturas ao redor da estrutura principal, seus tamanhos, o tipo de ambiente e área de exposição a descargas, próximas a estrutura e a linha.

O próximo quadro apresenta os valores dos fatores de ponderação de eventos perigosos, calculados a partir das equações apresentadas anteriormente.

Quadro 46 – Galpão 2 e 3: Fatores de ponderação de eventos perigosos

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Número de eventos perigosos para a estrutura	$N_D = 1,43 * 79861,73 * 0,5 * 10^{-6}$	N_D	0,0571	Equação 2
Número de eventos perigosos para a estrutura adjacente	$N_{DJ} = 17165,5 * 0,25 * 10^{-6}$	N_{DJ}	0,00614	Equação 3
Eventos perigosos devido descargas próximo a estrutura	$N_M = 1,43 * 1185398,16 * 10^{-6}$	N_M	1,69512	Equação 4
Eventos perigosos devido descargas na linha de ENERGIA	$N_L = 1,43 * 20000 * 1 * 0,1 * 0,2 * 10^{-6}$	N_L	0,00057	Equação 5
Eventos perigosos devido descargas próximas a linha de energia	$N_I = 1,43 * 2000000 * 1 * 0,1 * 0,2 * 10^{-6}$	N_I	0,0572	Equação 7

Fonte: De autoria própria.

Os eventos perigosos calculados serão utilizados para todas as zonas da estrutura, sendo necessários para o cálculo das componentes de risco.

4.2.1 Definições das zonas

Na definição de zonas para essa estrutura, serão divididas em duas zonas, sendo a Zona 1 o galão 2 e 3 e a Zona 2 o RH, depósito e almoxarifado. Isso devido a diferente quantidade de pessoas que trabalham em cada zona e o tempo que passam nela, dessa forma modificando os valores de riscos para cada uma. Dessa forma, serão calculadas as probabilidades de dano, perdas e as componentes de risco pra cada zona separadamente, para que no final seja calculado o risco total.

Nas informações do quadro abaixo, estão apresentadas as informações da quantidade de pessoas na zona 1 e tempo total delas nessa zona, além de consideradas os tipos de perda para essa estrutura.

Quadro 47 – Galpão 2 e 3: Fatores da zona 1 da edificação – Galpão 2 e 3

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Total de pessoas na zona	–	Nz	20	–
Total de pessoas na estrutura	–	Nt	22	–
Tempo de presença de pessoas na zona	horas/ano	tz	8760	–
Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura	–	Te	0	–
Perda de vida humana incluindo ferimento permanente (L1)	Considerado	–	–	–
Perda inaceitável de serviço ao público (L2)	Desconsiderado	–	–	–
Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)	Desconsiderado	–	–	–
Perda Econômica	Considerado	–	–	–
Risco de explosão	Sim	–	–	–

Fonte: De autoria própria.

Foram consideradas as perdas de vida humana incluindo ferimento permanente (L1) devido as pessoas que trabalham no local, além da perda

econômica (L4) devido ao patrimônio da indústria. Pelo mesmo fator da primeira estrutura, não foram consideradas perdas de patrimônio cultura ou de serviço ao público. O quadro abaixo apresenta agora os valores para a zona 2.

Quadro 48 – Galpão 2 e 3: Fatores da zona 2 da edificação – RH, Depósitos e Almojarifado

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Total de pessoas na zona	–	Nz	2	–
Total de pessoas na estrutura	–	Nt	22	–
Tempo de presença de pessoas na zona	(h/ano)	tz	8760	–
Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura	–	Te	0	–
Perda de vida humana incluindo ferimento permanente (L1)	Considerado	–	–	–
Perda inaceitável de serviço ao público (L2)	Desconsiderado	–	–	–
Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)	Desconsiderado	–	–	–
Perda Econômica	Considerado	–	–	–
Risco de explosão	Não	–	–	–

Fonte: De autoria própria.

Como ambas as zonas fazem parte da mesma estrutura, foram considerados os mesmos tipos de perdas. A diferença entre elas é a quantidade de pessoas que estão em cada uma.

4.2.3 Análises das probabilidades de dano à estrutura

Nesse tópico serão apresentados os fatores que modificam as probabilidades de danos causados à estrutura, além dos cálculos dessas probabilidades. As probabilidades de dano serão calculadas levando em consideração cada Zona, e suas diferentes características.

4.2.3.1 Probabilidades de dano à estrutura – Zona 1: Galpão 2 e 3

No quadro abaixo são apresentados os fatores que modificam as probabilidades de danos causados à estrutura da zona 1.

Quadro 49 – Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Medidas de proteção (descargas na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Quadro 8
Tensão suportável nominal	Expressa em kV	U_w	1	–
Fator de redução para P_z	Para $U_w = 1\text{kV}$	P_{LI}	1	Quadro 16
Blindagem da malha da estrutura	–	$KS1$	1	–
Blindagem da malha dos campos internos	$KS2 = KS1$	$KS2$	1	–
Cabeamento interno	Cabo não blindado	$KS3$	1	Quadro 12
Tensão suportável de impulso	$KS4 = 1/UW$	$KS4$	1	–
Roteamento, blindagem e interligação de energia	Linha aérea ou enterrada	P_{LD}	1	Quadro 15
Tipo de linha externa	Linha aérea não blindada	C_{LD}, C_{LI}	1 ; 1	Quadro 11
Medidas de proteção (descargas na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Quadro 13
Nível de proteção NP	DPS Classe II	P_{EB}	0,02	Quadro 14
Nível de proteção NP ENERGIA	Nenhum	P_{SPD}	1	Quadro 10
Fator de redução de PM com relação a blindagem	$P_{MS} = (ks1 * ks2 * ks3 * ks4)^2$	P_{MS}	1	–

Fonte: De autoria própria.

Os fatores do quadro levaram em consideração as proteções adotadas na estrutura para o estudo.

No seguinte quadro, são representados os cálculos das probabilidades de dano.

Quadro 50 – Cálculos das probabilidades de dano da zona 1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
P_A	$P_A = 1 * 0,1$	0,1	Equação 9
P_B	SPDA Classe III	0,1	Quadro 9
P_C	$P_C = 1 * 1$	1	Equação 10
P_V	$P_V = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 14
P_M	$P_M = 1 * 1$	1	Equação 11
P_U	$P_U = 1 * 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 13
P_W	$P_W = 1 * 1 * 1$	1	Equação 15
P_Z	$P_Z = 1 * 1 * 1$	1	Equação 16

Fonte: De autoria própria.

As probabilidades de dano calculadas irão influenciar diretamente no cálculo das componentes de risco para essa zona.

4.2.3.2 Probabilidades de dano à estrutura – Zona 2: RH, Depósitos e Almoxarifado

No quadro abaixo são apresentados os fatores que modificam as probabilidades de danos causados à estrutura da zona 2.

Quadro 51 – Fatores de redução para cálculo das probabilidades de dano

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Medidas de proteção (descargas na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Quadro 8
Tensão suportável nominal	Expressa em kV	U_w	1	–
Fator de redução para P_Z	Para $U_w = 1kV$	P_{LI}	1	Quadro 16
Blindagem da malha da estrutura	–	$KS1$	1	–
Blindagem da malha dos campos internos	$KS2 = KS1$	$KS2$	1	–
Cabeamento interno	Cabo não blindado	$KS3$	1	Quadro 12
Tensão suportável de impulso	$KS4 = 1/UW$	$KS4$	1	–

Roteamento, blindagem e interligação de energia	Linha aérea ou enterrada	P_{LD}	1	Quadro 15
Tipo de linha externa	Linha aérea não blindada	C_{LD}, C_{LI}	1 ; 1	Quadro 11
Medidas de proteção (descargas na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Quadro 13
Nível de proteção NP	DPS Classe II	P_{EB}	0,02	Quadro 14
Nível de proteção NP ENERGIA	DPS Classe II	P_{SPD}	0,02	Quadro 10
Fator de redução de PM com relação a blindagem	$P_{MS} = (ks1 * ks2 * ks3 * ks4)^2$	P_{MS}	1	—

Fonte: De autoria própria.

No seguinte quadro, são representados os cálculos das probabilidades de dano.

Quadro 52 – Cálculos das probabilidades de dano da zona 2

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
P_A	$P_A = 1 * 0,1$	0,1	Equação 9
P_B	SPDA Classe III	0,1	Quadro 9
P_C	$P_C = 0,02 * 1$	0,02	Equação 10
P_V	$P_V = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 14
P_M	$P_M = 0,02 * 1$	0,02	Equação 11
P_U	$P_U = 1 * 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 13
P_W	$P_W = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 15
P_Z	$P_Z = 0,02 * 1 * 1$	0,02	Equação 16

Fonte: De autoria própria.

As probabilidades de dano calculadas irão influenciar diretamente no cálculo das componentes de risco para essa zona.

4.2.4 Cálculos das perdas consequentes de dano

Nesse tópico serão apresentados os tipos de perdas considerados para cada zona na estrutura, sendo calculados os valores separadamente para cada uma e utilizados nas componentes de risco.

4.2.4.1 Perdas consequentes de dano para zona 1 – Galpão 1 e 2

São utilizados alguns fatores de redução para o cálculo das perdas, serão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 53 – Fatores de redução para cálculo das perdas – Zona 1

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de superfície do solo	Agricultura, concreto	<i>rt</i>	0,01	Quadro 19
Providências para redução de incêndios	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, hidrantes	<i>rp</i>	0,5	Quadro 20
Risco de incêndio ou explosão na estrutura	Risco médio	<i>rf</i>	0,01	Quadro 21
Perigo especial	Alto nível de pânico	<i>hz</i>	10	Quadro 22

Fonte: De autoria própria.

Os fatores levam em conta ambiente em que se encontra a zona 1 e os riscos nela.

4.2.4.1.1 Perda de vida humana incluindo ferimento permanente – L1

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda de vida humana incluindo ferimentos permanentes. Foi considerada essa perda por haver uma quantidade de pessoas trabalhando na área em determinado período. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 54 – Fatores para cálculos das perdas L1 – zona 1

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Ferimentos (D1)	Todos os tipos	L_T	0,01	Quadro 18
Danos físicos (D2)	Industrial, comercial	L_F	0,02	Quadro 18
Danos de sistemas internos (D3)	Não aplicável	L_O	0	Quadro 18

Fonte: De autoria própria.

Os tipos de danos considerados foram D1 e D2, para danos a estrutura e danos físicos. Já o dano D3 não é considerado pois as estruturas que ele abrange não se enquadram na da zona 1.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada uma.

Quadro 55 – Cálculos das perdas L1 – zona 1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_A	$L_A = 0,01 * 0,01 * (20/22) * (8760/8760)$	0,00009	Equação 17
L_U	$L_U = L_A$	0,00009	–
L_B	$L_{C4} = 0,5 * 0,01 * 0,02 * (20/22) * (8760/8760)$	0,00091	Equação 19
L_V	$L_V = L_B$	0,00091	–
L_C	$L_C = 0 * (20/22) * (8760/8760)$	0	Equação 20
L_M, L_W, L_Z	$L_M = L_W = L_Z = L_C$	0	–

Fonte: De autoria própria.

As perdas consideráveis foram: Perdas relacionadas aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido a descargas na estrutura (L_A) e na linha (L_U); perdas na estrutura relacionadas a danos físicos por descargas atmosféricas na estrutura (L_B) e na linha (L_V).

4.2.4.1.2 Perda econômica - L4

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda econômica. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 56 – Fatores para cálculos das perdas L4 – zona 1

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Danos físicos (D2)	Hotel, escola, escritório, igreja, comercial	L_F	0,2	Quadro 28
Danos de sistemas internos (D3)	Outros	L_{O4}	0,0001	Quadro 28
Valor dos animais na zona	Milhões	C_A	0	–
Valor da edificação relevante à zona	Milhões	C_B	5	–
Valor do conteúdo da zona	Milhões	C_C	3	–
Valor dos sistemas internos incluindo atividades na zona	Milhões	C_S	2	–
Valor total da estrutura	Milhões	C_T	10	–

Fonte: De autoria própria.

Na perda econômica para a zona 1, foram considerados valores referentes ao tipo de atividades feitas naquela zona, o que podem diferenciar para os valores utilizados na zona seguinte.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada um.

Quadro 57 – Cálculos das perdas L4 – zona 1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_{A4}	$L_{A4} = 0,01 * 0,01 * (0/10)$	0	Equação 24
L_{U4}	$L_{U4} = L_{A4}$	0	Equação 25
L_{B4}	$L_{C4} = 0,5 * 0,01 * 0,2 * ((0 + 5 + 3 + 2)/10)$	0,001	Equação 26
L_{V4}	$L_{V4} = L_{B4}$	0,001	–
L_{C4}	$L_{C4} = 0,0001 * (2/10)$	$0,02 * 10^{-3}$	Equação 27
L_{M4}, L_{W4}, L_{Z4}	$L_{M4} = L_{W4} = L_{Z4} = L_{C4}$	$0,02 * 10^{-3}$	–

Fonte: De autoria própria.

As perdas encontradas para os tipos de danos considerados na estrutura foram: Perdas na estrutura relacionadas a danos físicos por descargas atmosféricas na estrutura (L_b) e na linha (L_v); perdas relacionadas a falhas nos sistemas internos devido a descargas atmosféricas na estrutura (L_b), perto da estrutura (L_m), na linha da estrutura (L_w) e próximas a linhas da estrutura.

4.2.4.2 Perdas consequentes de dano para zona 2 – RH, Depósitos e A

Nesse tópico serão calculadas as mesmas perdas L_1 e L_4 , mas agora levando em consideração valores da zona 2. São utilizados alguns fatores de redução para o cálculo das perdas, serão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 58 – Fatores de redução para cálculo das perdas – zona 2

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de superfície do solo	Agricultura, concreto	rt	0,01	Quadro 19
Providências para redução de incêndios	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, hidrantes.	rp	0,5	Quadro 20
Risco de incêndio ou explosão na estrutura	Risco normal	rf	0,01	Quadro 21
Perigo especial	Alto nível de pânico	hz	10	Quadro 22

Fonte: De autoria própria.

4.2.4.2.1 Perda de vida humana incluindo ferimento permanente – L_1

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda de vida humana incluindo ferimentos permanentes. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 59 – Fatores para cálculos das perdas L_1 – zona 2

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Ferimentos (D1)	Todos os tipos	L_T	0,01	Quadro 18
Danos físicos (D2)	Industrial, comercial	L_F	0,02	Quadro 18
Danos de sistemas internos (D3)	Não aplicável	L_O	0	Quadro 18

Fonte: De autoria própria.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada um.

Quadro 60 – Cálculos das perdas L1 – zona 2

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_A	$L_A = 0,01 * 0,01 * (2/22) * (8760/8760)$	$0,00909 * 10^{-3}$	Equação 17
L_U	$L_U = L_A$	$0,00909 * 10^{-3}$	–
L_B	$L_{C4} = 0,5 * 0,01 * 0,02 * (2/22) * (8760/8760)$	0,00001	Equação 19
L_V	$L_V = L_B$	0,00001	–
L_C	$L_C = 0 * (2/22) * (8760/8760)$	0	Equação 20
L_M, L_W, L_Z	$L_M = L_W = L_Z = L_C$	0	–

Fonte: De autoria própria.

As perdas consideráveis foram as mesmas para a zona anterior, com valores diferentes devido a quantidade de pessoas presente em cada zona.

4.2.4.2.2 Perda econômica - L4

Nesse tópico serão apresentados os fatores para cálculos da perda econômica. O quadro a seguir apresenta os fatores retirados das tabelas da norma.

Quadro 61 – Fatores para cálculos das perdas L4 – zona 2

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Danos físicos (D2)	Hotel, escola, escritório, igreja, comercial	L_{F4}	0,2	Quadro 28
Danos de sistemas internos (D3)	Outros	L_{O4}	0,0001	Quadro 28
Valor dos animais na zona	Milhões	C_A	0	–
Valor da edificação relevante à zona	Milhões	C_B	5	–
Valor do conteúdo da zona	Milhões	C_C	3	–

Valor dos sistemas internos incluindo atividades na zona	Milhões	C_S	2	–
Valor total da estrutura	Milhões	C_T	10	–

Fonte: De autoria própria.

O seguinte quadro apresenta os valores das perdas e as equações utilizadas para encontrar cada um.

Quadro 62 – Cálculos das perdas L4 – zona 2

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
L_{A4}	$L_{A4} = 0,01 * 0,01 * (0/10)$	0	Equação 24
L_{U4}	$L_{U4} = L_{A4}$	0	Equação 25
L_{B4}	$L_{C4} = 0,5 * 0,01 * 0,2$ $* ((0 + 5 + 3 + 2)/10)$	0,001	Equação 26
L_{V4}	$L_{V4} = L_{B4}$	0,001	–
L_{C4}	$L_{C4} = 0,001 * (2/10)$	$0,02 * 10^{-3}$	Equação 27
L_{M4}, L_{W4}, L_{Z4}	$L_{M4} = L_{W4} = L_{Z4} = L_{C4}$	$0,02 * 10^{-3}$	–

Fonte: De autoria própria.

Foram calculadas as perdas referentes a zona 2 consideradas as mesmas que a zona anterior, no entanto, diferindo apenas pela quantidade de pessoas.

4.2.5 Componentes de riscos

Assim como as probabilidades de dano e as perdas foram calculadas separadamente para cada zona, as componentes de risco também serão e no final serão somadas para calcular o risco total.

4.2.5.1 Componentes de riscos da zona 1 – Galpão 2 e 3

O quadro a seguir apresenta as componentes de risco e as equações para calculá-las utilizando os parâmetros encontrados anteriormente. O quadro abaixo apresenta as componentes de risco R1 calculadas para zona 1.

Quadro 63 – Galpão 2 e 3: Componentes de risco R1 da Zona 1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_A	$R_A = 0,0571 * 0,1 * 0,00009$	$0,00519 * 10^{-4}$	Equação 28
R_B	$R_B = 0,0571 * 0,1 * 0,00091$	$0,00519 * 10^{-3}$	Equação 29
R_U	$R_U = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,00009$	$0,0122 * 10^{-6}$	Equação 32
R_V	$R_V = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,00091$	$0,0122 * 10^{-5}$	Equação 33

Fonte: De autoria própria.

As componentes de risco para o risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas (R1), consideráveis para essa estrutura foram as componentes de risco devido a descargas elétricas na estrutura relacionada a danos referentes a seres vivos por choque elétrico (Ra) e a danos físicos (Rb) e componentes de risco devido a descargas em linhas conectadas a estrutura, referente aos danos D1 (Ru) e D2 (Rv).

No quadro abaixo serão calculadas as componentes de risco R4 para Zona1.

Quadro 64 – Galpão 2 e 3: Componentes de riscos R4 da zona 1

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_{B4}	$R_{B4} = 0,0571 * 0,1 * 0,001$	$0,00571 * 10^{-3}$	Equação 29
R_{C4}	$R_{C4} = 0,0571 * 1 * 0,02^{-3}$	$0,01142 * 10^{-4}$	Equação 30
R_{M4}	$R_{M4} = 1,69512 * 1 * 0,02^{-3}$	$0,0339 * 10^{-3}$	Equação 31
R_{V4}	$R_{V4} = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,001$	$0,01342 * 10^{-5}$	Equação 32
R_{W4}	$R_{W4} = (0,00057 + 0,00614) * 1 * 0,02^{-3}$	$0,01342 * 10^{-5}$	Equação 34
R_{Z4}	$R_{Z4} = 0,0572 * 1 * 0,02^{-3}$	$0,01144 * 10^{-4}$	Equação 35

Fonte: De autoria própria.

As componentes de risco para o risco de perda de valores econômicos da estrutura (R4), consideráveis para essa estrutura foram todas as componentes de risco analisadas, visto que para essa área foi considerado também os danos D3, referente a falhas de sistema interno, visto que nessa área é considerada perda de valor econômico.

4.2.5.2 Componentes de riscos da zona 2 – RH, Depósitos e Almoxarifado.

Serão calculadas agora as componentes de risco para Zona 2. O quadro a seguir apresenta as componentes de risco e as equações para calculá-las utilizando os parâmetros encontrados anteriormente. O quadro abaixo apresenta as componentes do risco R1 para Zona 2.

Quadro 65 – Galpão 2 e 3: Componentes de Riscos R1 da zona 2

Parâmetros de entrada.	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_A	$R_{B4} = 0,0571 * 0,1$ $* 0,00909 * 10^{-3}$	$0,00519 * 10^{-5}$	Equação 28
R_B	$R_B = 0,0571 * 0,1 * 0,00001$	$0,00519 * 10^{-4}$	Equação 29
R_U	$R_U = (0,00057 + 0,00614) * 0,02$ $* 0,00909 * 10^{-3}$	$0,0122 * 10^{-7}$	Equação 32
R_V	$R_V = (0,00057 + 0,00614) * 0,02$ $* 0,00001$	$0,0122 * 10^{-6}$	Equação 33

Fonte: De autoria própria.

As componentes encontradas foram às mesmas da zona anterior, por se tratar da mesma estrutura, mas com valores diferentes. O quadro abaixo apresenta as componentes do risco R4 para a Zona 2.

Quadro 66 - Galpão 2 e 3: Componentes de Riscos R4 da zona 2

Parâmetros de entrada	Equação / Comentário	Valor	Referência
R_{B4}	$R_{B4} = 0,0571 * 0,1 * 0,001$	$0,00571 * 10^{-3}$	Equação 29
R_{C4}	$R_{C4} = 0,0571 * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,02284 * 10^{-6}$	Equação 30
R_{M4}	$R_{M4} = 1,69512 * 0,02 * 0,02$ $* 10^{-3}$	$0,00678 * 10^{-4}$	Equação 31
R_{V4}	$R_{V4} = (0,00057 + 0,00614)$ $* 0,02 * 0,001$	$0,01342 * 10^{-5}$	Equação 32

R_{W4}	$R_{V4} = (0,00057 + 0,00614) * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,02683 * 10^{-7}$	Equação 34
R_{Z4}	$R_{Z4} = 0,0572 * 0,02 * 0,02 * 10^{-3}$	$0,02288 * 10^{-6}$	Equação 35

Fonte: De autoria própria.

Da mesma forma, as componentes encontradas foram às mesmas da zona anterior para o risco R4, por se tratar da mesma estrutura, mas com valores diferentes.

4.2.6 Riscos total e tolerável

Para o cálculos dos riscos totais, é feito a soma das componentes de risco para o risco R1 das Zonas 1 e 2, como apresentado abaixo

$$\begin{aligned} R1(zona1) &= 0,00519 * 10^{-4} + 0,00519 * 10^{-3} + 0,0122 * 10^{-6} + 0,0122 * 10^{-5} \\ &= 5,8432 * 10^{-6} \end{aligned}$$

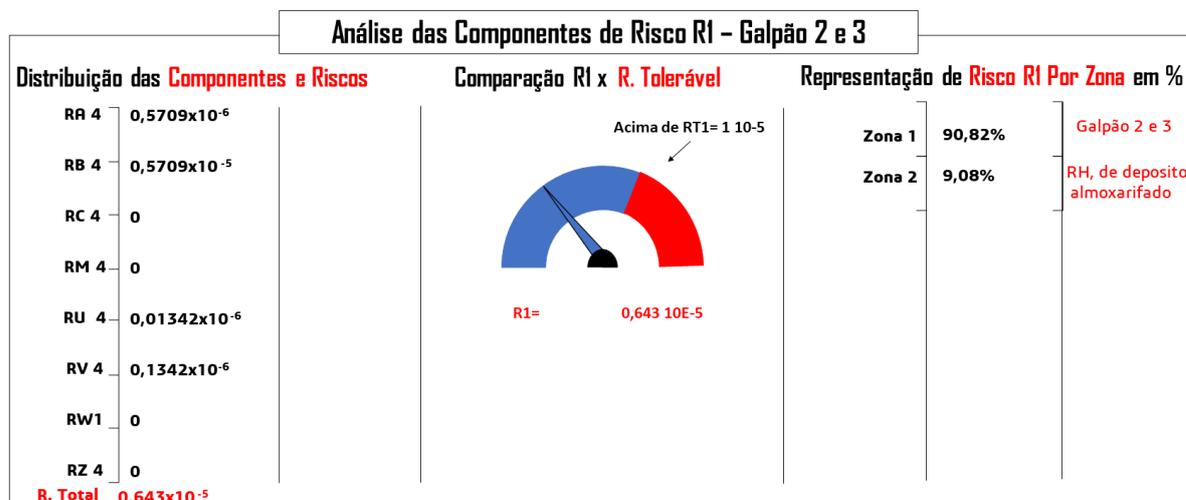
Referência: Equação 36

$$\begin{aligned} R1(zona2) &= 0,00519 * 10^{-5} + 0,00519 * 10^{-4} + 0,0122 * 10^{-7} + 0,0122 * 10^{-6} \\ &= 5,8432 * 10^{-7} \end{aligned}$$

Referência: Equação 36

O Risco total, como dito anteriormente, será a soma dos risco R1 das duas zonas. Abaixo é apresentado o risco total dessa soma, além da comparação do risco total com o risco tolerável e a representação do risco R1 por zonas.

Figura 9 - Análise SPDA dos componentes de risco R1 dos galpões 2 e 3.



Fonte: De autoria própria.

Com o risco total R1, foi feita a comparação com o risco tolerável (Rt), que foi selecionado a partir do quadro 29. Como o risco total encontrado foi menor que o risco tolerável, o nível de proteção considerado para os cálculos do gerenciamento de risco atende a essa estrutura, sendo capaz de proteger o local.

Já o R4, que é o Risco de perdas de valor econômico, será calculado somando as componentes de risco R4 de cada zona.

$$R4 (zona 1) = 0,00571 * 10^{-3} + 0,01142 * 10^{-4} + 0,0339 * 10^{-3} + 0,01342 * 10^{-5} + 0,01342 * 10^{-5} + 0,01144 * 10^{-4} = 0,0422 * 10^{-3}$$

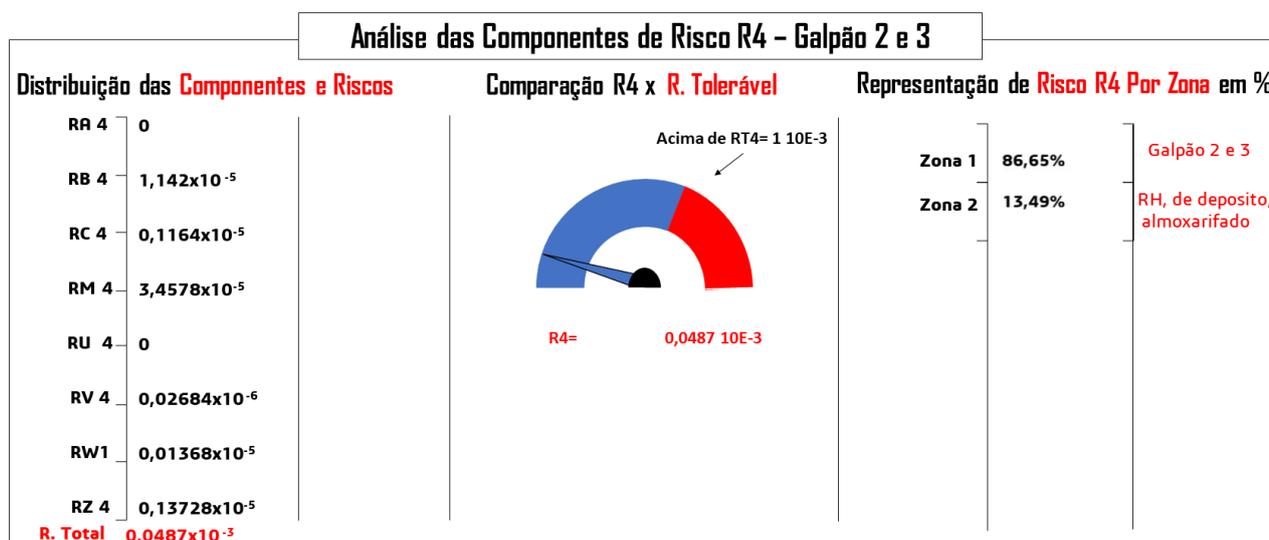
Referência: Equação 39

$$R4 (zona 2) = 0,00571 * 10^{-3} + 0,02284 * 10^{-6} + 0,00678 * 10^{-4} + 0,01342 * 10^{-5} + 0,02683 * 10^{-7} + 0,02288 * 10^{-6} = 0,00657 * 10^{-3}$$

Referência: Equação 39

O Risco total, como dito anteriormente, será a soma dos risco R4 das duas zonas. Abaixo é apresentado o risco total dessa soma, além da comparação do risco total com o risco tolerável e a representação do risco R4 por zonas.

Figura 10 - Análise SPDA dos componentes de risco R4 dos galpões 2 e 3.



Fonte: De autoria própria.

Com o risco total R4, foi feita a comparação com o risco tolerável (Rt) e como o resultado encontrado foi menor que o risco tolerável, o nível de proteção considerado para os cálculos do gerenciamento de risco atende a essa estrutura, sendo capaz de proteger o local.

Portanto, o nível de proteção necessário para a estrutura do caso é nível 3, que foi a utilizada para os cálculos desse gerenciamento de risco e chegou em um resultado aceitável segundo a NBR 5419. Abaixo contém as características para proteção da estrutura escolhidas pelo fornecedor, considerando o nível de proteção indicado no estudo.

Quadro 67 - Características mínimas necessárias para proteção da estrutura dos galpões 2 e 3

Estrutura	Características adotadas
Nível de proteção adotado	Nível 3
Captação	Telhado metálico com 7mm de espessura no mínimo equipotencializado com estruturas metálicas adjacentes e subsistema de descidas.

Descidas	58 descidas a uma distância média de 15m entre si, sendo de fita metálica de alumínio 70mm ² espessura mínima 3mm ou Cobre – Encordado 35mm ² Diâmetro de cada fio da cordoalha 2.5mm equipotencializado com subsistema de captação e aterramento.
MPS	Instalação de DPS de no mínimo classe II.
Aterramento	Eletrodo de aterramento enterrado a 50cm de profundidade utilizando Cobre – Encordado 50mm ² Diâmetro de cada fio da cordoalha 2.5mm equipotencializado com subsistema de captação

Fonte: De autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre o gerenciamento de risco para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, presente neste trabalho, apresenta grande importância vista a maior segurança que proporciona na realização desses projetos para proteger estruturas, seres vivos e sistemas internos contra descargas atmosféricas, visto que tal fenômeno é algo totalmente imprevisível e aleatório. O gerenciamento de risco presente na parte 2 da NBR5419: 2015 trata as estruturas não somente de acordo com seu tipo, mas levando em consideração parâmetros específicos para um estudo mais preciso, como o a área da estrutura, a quantidade de pessoas que a frequentam, as probabilidades de danos de descargas atmosféricas na localização em que se encontra a estrutura, dentre outros aspectos que são próprios para cada estudo.

A partir desse tipo de estudo, é possível até mesmo reduzir custos da instalação do SPDA, visto que em algumas edificações que antes eram obrigadas a ter SPDA, agora podem ser protegidas apenas por meio de medidas de proteção contra surtos ou sequer precisem de proteção, dada a baixa probabilidade de serem atingidas por uma descarga atmosférica, porém, apenas a partir dos resultados do gerenciamento de risco, utilizando os parâmetros adequados para essa estrutura, se chegará à necessidade ou não dessa proteção.

A partir do estudo do caso presente no trabalho, foi possível estabelecer a necessidade de um novo nível de SPDA, sendo considerado que o SPDA atual presente na empresa não apresentava um valor coerente para proteção do local. Dessa forma, foram identificados os riscos presentes em cada estrutura e pela comparação dos valores obtidos por meio dos cálculos utilizando as características de cada uma e os valores retirados da norma como parâmetros de resultados aceitáveis para aquela estrutura, foi possível estabelecer um nível de proteção que cumprisse a função de proteger a estrutura e seu interior contra descargas atmosféricas e os danos que elas causam.

6 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – **NBR 5419-3**, Rio de Janeiro, 2015.

BASTOS, Cleverson Leite; KELLER, Vicente. **Aprendendo a aprender: introdução à metodologia científica**. 19. ed. Petrópolis: Vozes, 2006.

BITTAR, E. C. B. **Linguagem jurídica**. São Paulo: Saraiva, 2001.

CEARÁ FOI O ESTADO DO NORDESTE COM MAIS MORTES POR RAIOS EM 2019. Diário do Nordeste, 2020. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/ceara-foi-o-estado-do-nordeste-com-mais-mortes-p>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

GOMES, P. A. P. **Gerenciamento de risco para projeto SPDA: um estudo de caso**. 2013. 34 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

HORIZONTE. Secretaria Municipal de Educação. **Censo escolar**. Horizonte: Secretaria Municipal de Educação, 2009.

IEEE Std 1410:2015 - IEEE **Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines**.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2003. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

JACÓ, H. S. NBR 5419/2015: **Estudo do gerenciamento de risco de um edifício comercial**. 2020. 34 f. TCC (Trabalho conclusão curso em bacharel em Engenharia Elétrica) apresentado ao Centro Universitário Uniamérica, Foz do Iguaçu, 2020.

LARA, M. L.G. de; SMIT, J. W. **Temas de pesquisa em Ciência da Informação no Brasil**. São Paulo: Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/000005/00000588.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2012.

MAMEDE, João F. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 8ª ed., 2010.

Menezes, A. M. S. Gerenciamento de riscos em SPDA. Artigo apresentado no 17º COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Curitiba, PR. **Anais**...PR. 2019.

MUELLER, Suzana Pinheiro Machado; PERUCCHI, Valmira. Universidades e a produção de patentes: tópicos de interesse para o estudioso da informação tecnológica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 15-36, 2014.

NBR 5419-2:2015 - **Proteção contra descargas atmosféricas** - Parte 2: Gerenciamento de risco.

PINHEIRO, A. L. S.; SILVA, A. J. D.; JUNIOR, G. M. A.; NETO, A. C. S. Elaboração de projeto de SPDA, em galpão fabril no estado de Minas Gerais. **Revista Projectus**, (4)1, 102-124, 2019.

Preservação do meio ambiente: manifesto do chefe de Seattle ao presidente dos EUA. São Paulo: Babel Cultural, 1987.

ROSAS, A. J. C. **Sustentabilidade da atividade produtora de água envasada em Fortaleza, CE.** 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SISS, A. **Afro-brasileiros e Educação Superior:** notas para debates. In: COSTA, Hilton; PINHEL, André; SILVEIRA, Marcos Silva da (org.). Uma década de políticas afirmativas: panorama, argumentos e resultados. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. p. 18-26.

TARAPANOFF, K. Educação corporativa. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GESTÃO DO CONHECIMENTO E INTELIGÊNCIA COMPETITIVA, 1., 2006, Curitiba. Curitiba: CIETEP, 2006. p. 59-70. **Anais...** 2006.

TRISTÃO, A. M. D; FACHIN, G. R. B.; ALARCON, O. E. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. **Ciências da Informação**, v. 33, n. 2, p. 172-178, 2004.

VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia.** Minas Gerais: Artliber, 2005. 268 p

WALTRICK, P. V. V. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial.** 2018. 87 F. TCC (Trabalho de conclusão de curso em Bacharel em Engenharia Elétrica) apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.

WALTRICK, P. V. V. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial.** Trabalho de conclusão curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST. Lages. 2018.

YIN, R.K. **Case study research, design and methods** (applied social research methods). Thousand Oaks. California: Sage Publications. 2009.