



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Bruno Medeiros de Sousa

**Desenvolvimento de interface para análise de
risco para proteção contra descargas
atmosféricas**

Campina Grande - PB
Dezembro de 2024

Bruno Medeiros de Sousa

Desenvolvimento de interface para análise de risco de para proteção contra descargas atmosféricas

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador: Ronimack Trajano de Souza

Campina Grande - PB
Dezembro de 2024

Lista de Ilustrações

Figura 1: Conexão entre as partes ABNT-5419.....	10
Figura 2: Elementos básicos de um projeto SPDA.....	12
Figura 3: Etapas do projeto MPS para uma estrutura existente.....	13
Figura 4: Procedimento para decisão da necessidade de proteção.....	19
Figura 5: Estrutura com forma retangular.....	24
Figura 6: Estrutura com forma complexa.....	25
Figura 7: Importar dados do Excel.....	45
Figura 8: Janela de seleção de tabelas.....	46
Figura 9: Criação de novo parâmetro.....	47
Figura 10: Definição de novo parâmetro.....	48
Figura 11: Valores tabelados.....	49
Figura 12: Edição da segmentação de dados.....	49
Figura 13: Gerenciamento das relações entre as variáveis.....	50
Figura 14: Sincronização de dados.....	51
Figura 15: Criação de caixa de apresentação.....	52
Figura 16: Casa de campo.....	53
Figura 17: Edifício de escritórios.....	53
Figura 18: Aba com as características da estrutura.....	55
Figura 19: Aba com as características da linha de energia.....	56
Figura 20: Aba com as características da linha de telecom.....	56
Figura 21: Aba padrão com as características das zonas.....	57
Figura 22: Janela de resultados.....	57
Figura 23: Resultados da ferramenta no primeiro caso.....	59
Figura 24: Resultados da ferramenta no segundo caso.....	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tolerâncias de riscos.....	16
Tabela 2: Componentes de riscos a serem considerados para cada tipo de perda.....	18
Tabela 3: Características da estrutura e do meio ambiente.....	19
Tabela 4: Características da linha de energia e de sinal.....	20
Tabela 5: Características da zona.....	20
Tabela 6: Área de exposição equivalente da estrutura e linhas.....	21
Tabela 7: Número esperado anual de eventos perigosos.....	21
Tabela 8: Fórmulas para cálculo dos riscos.....	22
Tabela 9: Fator de localização.....	25
Tabela 10: Fator de instalação da linha.....	27
Tabela 11: Fator ambiental da linha.....	27
Tabela 12: Fator do tipo de linha.....	27
Tabela 13: Valores de P_{ta}	30
Tabela 14: Probabilidade em cima das medidas de proteção.....	30
Tabela 15: Nível de proteção do DPS.....	31
Tabela 16: Fatores em função de blindagens, aterramento e isolamento das linhas.....	32
Tabela 17: Fator em função dos cabos de instalação.....	34
Tabela 18: Probabilidade de raio na linha conectada a estrutura causar choque a seres vivos.....	35
Tabela 19: Valores da probabilidade P_{ld}	35
Tabela 20: Probabilidade (P_{li}) dependendo do tipo de linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos.....	36
Tabela 21: Tipos de perda L_1 : valores típicos de L_t , L_f e L_o	38
Tabela 22: Fator de redução r_t	38
Tabela 23: Fator de redução (r_p).....	39
Tabela 24: Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.....	39
Tabela 25: Fator h_z	40
Tabela 26: Tipo de perda L_2 : valores médios típicos de L_f e L_o	41
Tabela 27: Tipo de perda L_3 : valor médio típico de L_f	42
Tabela 28: Tabela 24 modificada para atender os requisitos do PowerBI.....	44
Tabela 29: Casa de campo: risco R1 para estrutura não protegida.....	58
Tabela 30: Edifício de escritórios: risco R1 para estruturas não protegidas.....	60
Tabela A.1: Casa de campo: características da estrutura e meio ambiente.....	64
Tabela A.2: Casa de campo: linha de energia.....	65
Tabela A.3: Casa de campo: linha de sinal.....	66
Tabela A.4: Casa de campo: fator válido para a zona Z2 (dentro da casa).....	67
Tabela B.1: Edifício de escritórios: características da estrutura e do meio ambiente.....	68
Tabela B.2: Edifício de escritórios: linha de energia.....	69

Tabela B.3: Edifício de escritórios: linha de sinal.....	69
Tabela B.4: Edifício de escritórios: distribuição das pessoas nas zonas.....	70
Tabela B.5: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z1 (entrada da área externa).....	70
Tabela B.6: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z2 (jardim externo).....	71
Tabela B.7: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z3 (arquivos).....	72
Tabela B.8: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z4 (escritórios).....	73
Tabela B.9: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z5 (centro de informática).....	74

Resumo

Neste trabalho é descrito o que é uma análise de risco para um projeto SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), assim como uma breve introdução a todas as variáveis utilizadas na confecção deste tipo de análise e suas respectivas fórmulas matemáticas, como também, o processo de desenvolvimento da interface no software do PowerBI. Este trabalho foi desenvolvido com o principal objetivo de desenvolver uma ferramenta que possa ser utilizada de forma simples e dinâmica para a confecção de uma análise de risco de um projeto SPDA.

Palavras-chave: SPDA, Análise de Risco, Power BI.

Sumário

1	Introdução	8
1.1	Objetivo	9
1.2	Organização do Texto	9
2	Projeto PDA	10
2.1	Gerenciamento de Risco	14
2.2	Obtenção dos parâmetros (Fontes de Danos NX).....	23
2.3	Obtenção dos parâmetros (Probabilidade de Danos PX)	29
2.4	Obtenção dos parâmetros (Valores médios de perda LX).....	37
3	Metodologia	44
4	Resultados	55
5	Conclusões	62
	Referências	63
	Apêndice A – Parâmetros do estudo de caso: Casa de Campo.....	64
	Apêndice B – Parâmetros do estudo de caso: Edifício de escritórios	68

1 Introdução

Descargas atmosféricas são descargas elétricas que ocorrem quando há um acúmulo de cargas na atmosfera, estas descargas são imprevisíveis e podem atingir estruturas tanto de forma direta, quanto indireta (quando a descarga atinge as linhas que chegam na estrutura) gerando o risco de perdas tanto materiais quanto humanas ou de animais.

Para mitigar estes riscos e reduzir as perdas devido às descargas atmosféricas, podem ser necessárias medidas de proteção, como por exemplo, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), equipotencialização de elementos metálicos, principalmente com o sistema de aterramento (como grades ou portões), isolamento elétrico nos pisos e paredes, blindagem das linhas, entre outros (todos estes associados a uma boa malha de aterramento). Quando tais medidas se fazem necessárias, e em qual medida, deve ser determinado pela análise de risco.

O efeito que estas medidas de proteção apresentam resulta das características individuais de cada uma e da instalação, podendo reduzir as probabilidades de danos ou a quantidade média da perda consequente.

O risco de uma descarga atmosférica provocar perdas materiais ou humanas, de acordo com a norma, depende do: número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura, a probabilidade de dano causado por uma das descargas atmosféricas e a quantidade média das perdas causadas.

A análise de risco existe justamente para estimar este risco de perdas e minimizá-las, pois o risco se trata da possibilidade dessas perdas ocorrerem, ao reduzir o risco se reduz a possibilidade da ocorrência das perdas. Em um projeto que não se faça a consideração deste risco assume-se, a completa possibilidade da ocorrência das perdas sem nenhum tipo de mitigação.

A análise de riscos envolve uma gama de equações e fatores que dificultam bastante o cálculo de forma manual, tendo em vista o número de variáveis envolvidas. Para facilitar a análise de riscos, o uso de uma ferramenta de cálculos automatizados reduz os erros de processamento e o tempo de análise.

Tendo em vista esta dificuldade para o cálculo da análise de riscos, a motivação para este projeto é o desenvolvimento de uma ferramenta de visualização de dados, com recursos para coletar, calcular e analisar informações de maneira automatizada. Pretende-se utilizar o programa Power BI da Microsoft para o desenvolvimento da ferramenta.

O Power BI é uma ferramenta de avaliação e visualização de dados desenvolvida pela Microsoft™. Com o Power BI é possível gerar relatórios e *dashboards* que mostram números, estatísticas, valores, listas e gráficos de maneira simples e intuitiva. Isso porque a ferramenta tem o propósito de facilitar a visualização de dados e promover um maior envolvimento do espectador em relação a maneira como essas informações são apresentadas.

1.1 Objetivo

Utilizar e desenvolver na plataforma Power BI uma ferramenta para que possam ser calculados de maneira fácil e interativa, os parâmetros necessários para o gerenciamento de risco de um projeto PDA (Proteção contra Descargas Atmosféricas).

1.2 Organização do Texto

Este trabalho encontra-se dividido em 4 Capítulos. O primeiro Capítulo é introdutório nele são apresentados os objetivos e a estruturação do trabalho.

O segundo Capítulo é a apresentação e explicação teórica de todas as variáveis utilizadas para elaboração de uma análise de risco de um projeto PDA.

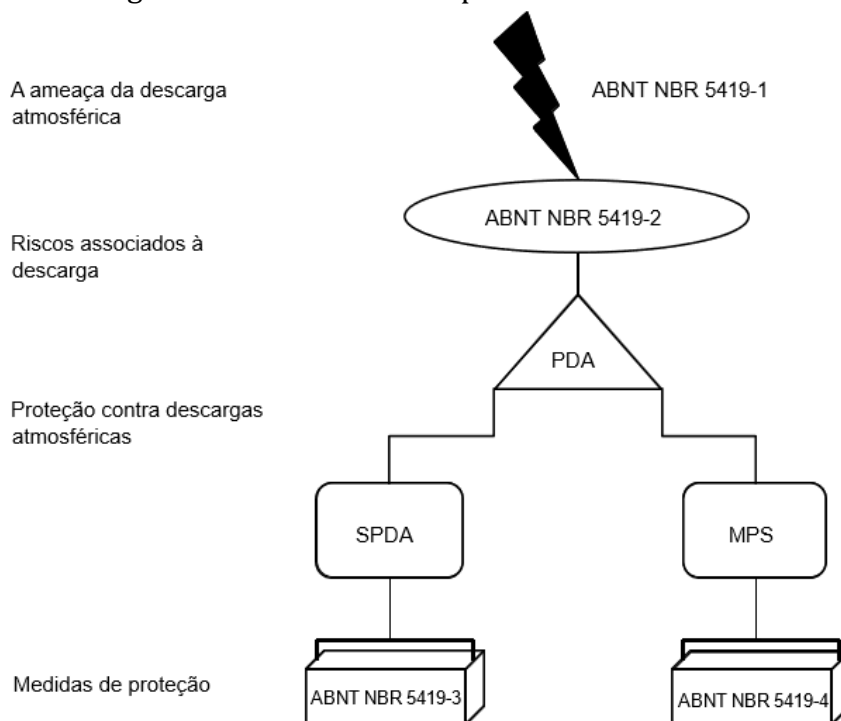
O terceiro Capítulo mostra a metodologia utilizada para desenvolver a aplicação no programa Power BI.

E o quarto e último capítulo são apresentados os resultados e conclusão do trabalho.

2 Projeto PDA

O projeto PDA (Proteção contra Descargas Atmosféricas) é um projeto que visa determinar a instalação de um conjunto de dispositivos e condutores, que visam reduzir o risco de perdas humanas ou materiais na estrutura, seja esta uma edificação, rede elétrica ou outros tipos de construção. O projeto é composto por duas partes o SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) e pelo MPS (Medidas de Proteção de Surto) como visto na figura 1:

Figura 1: Conexão entre as partes da ABNT 5419.



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

O gerenciamento de risco é um passo fundamental para um projeto PDA, pois é nele que são ponderadas quais medidas de proteção, são mais adequadas a estrutura, e a partir da escolha destas medidas é que são elaborados os projetos SPDA e MPS (ou somente o MPS).

No contexto de um projeto PDA estrutura é o termo genérico utilizado para definir o elemento que será protegido contra descargas atmosféricas podendo ser prédios, edifícios, galpões entre outros.

Os danos que podem ser causados são os seguintes: danos físicos a estrutura, ferimentos a seres vivos por choque elétrico e falhas de sistemas eletroeletrônicos. Os danos físicos a estrutura incluem incêndios, explosões, comprometimento da integridade estrutural, emissão de químicos perigosos (gases explosivos ou inflamáveis como o gás de cozinha), interrupção do fornecimento de serviços (água, luz, internet, etc.) entre outros.

Em relação a falha de sistemas eletroeletrônicos são incluídos neste tipo de dano, avarias em equipamentos eletrônicos em geral, aqui também são incluídos danos adicionais em casos de equipamentos eletrônicos de sustentação à vida, e também o dano de incêndio ou explosões causadas por estas falhas, também são incluídas as interrupções do fornecimento de serviços.

Estes danos geram percas econômicas e em casos mais graves a perda de vidas, sejam humanas ou de animais.

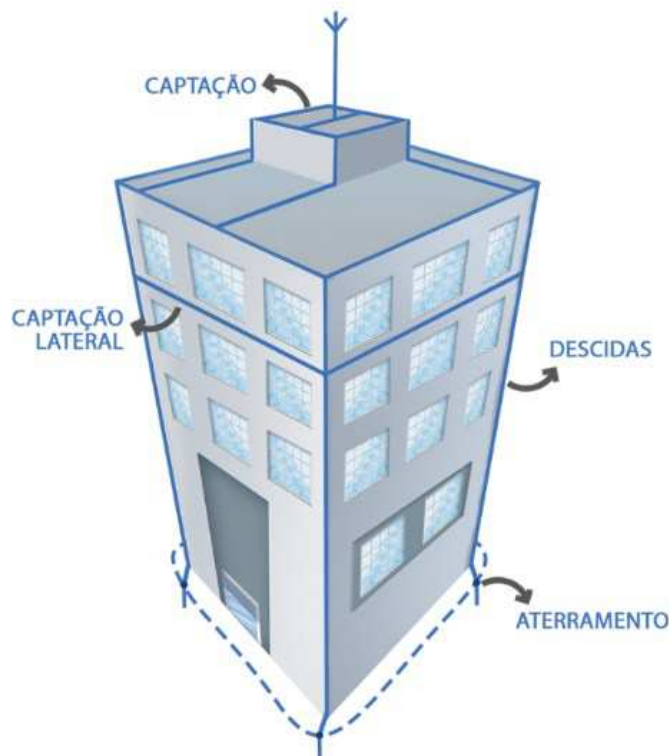
Portanto, medidas de proteção contra descargas atmosféricas devem ser utilizadas. As medidas de proteção são implantadas no sentido de reduzir as perdas e/ou danos as pessoas e a estrutura para níveis toleráveis, ou ainda eliminar, se possível. Essas medidas são implantadas de acordo com o tipo de dano que as pessoas e a estrutura estão sujeitas, sendo elas:

1. Medidas de Proteção para reduzir danos à pessoas devido a choque elétrico;
 - a. Isolação adequada das partes condutoras expostas;
 - b. Equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
 - c. Restrições físicas e avisos;
 - d. Ligação equipotencial para descargas atmosféricas;
2. Medidas de proteção para redução de danos a estrutura;
 - a. Subsistema de captação;
 - b. Subsistema de descida;
 - c. Subsistema de aterramento;
 - d. Equipotencialização dos elementos metálicos;
 - e. Isolação elétrica;
3. Medidas de proteção para redução de falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos;
 - a. Medidas de aterramento e equipotencialização;
 - b. Blindagem magnética;
 - c. Roteamento de fiação;
 - d. Interfaces isolantes;
 - e. Sistema de DPS coordenado.

Todas estas medidas de proteção juntas, formam a proteção completa contra descargas atmosféricas. Porém, estas medidas são separadas em dois grupos: as medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos a vida dentro de uma estrutura, sendo essas representadas no projeto SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) e, as medidas de

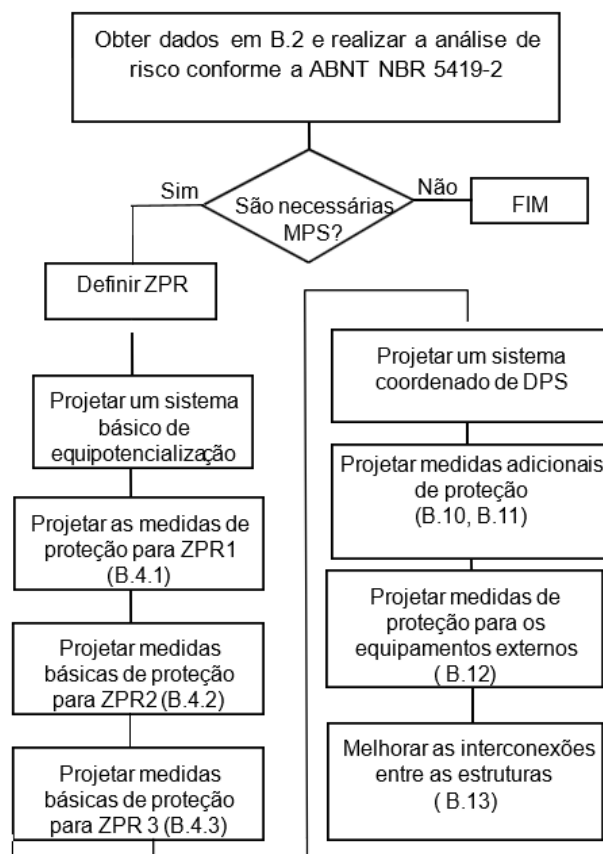
proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura, estando contidas nos projetos MPS (Medidas de Proteção de Surto). A figura 2 apresenta os componentes básicos de um sistema SPDA e a figura 3 apresenta o fluxograma que representa o processo completo para confecção de um projeto MPS.

Figura 2: Elementos básicos de um projeto SPDA.



Fonte: Disponível em < <https://greenlegis.com.br/saiba-tudo-sobre-o-sistema-de-protecao-contradescargas-atmosfericas-spda/>>.

Figura 3: Etapas do projeto MPS para uma estrutura existente.



Fonte: NBR 5419-4 (ABNT, 2015).

A escolha das medidas de proteção mais adequadas a estrutura, deve levar em conta o tipo e valor dos danos que podem ser causados, e também deve-se levar em conta os aspectos técnicos e econômicos que cada uma das diferentes medidas de proteção apresenta.

Sabendo disso o projeto de gerenciamento de risco contido na norma NBR 5419-2 apresenta os critérios utilizados para a avaliação de risco e para a escolha das medidas de proteção.

2.1 Gerenciamento de Risco

“Gerenciamento de risco é a obtenção dos parâmetros e manipulação dos conceitos em forma de equacionamentos do risco” (ABNT, 2015). O processo para realizar um gerenciamento de risco consiste em identificar as características como altura, comprimento, largura e tipo de revestimento do piso da estrutura a ser protegida (Todas as características e dados relevantes podem ser encontradas nas tabelas 3, 4, 5).

Portanto faz-se necessário identificar e relacionar os tipos de perdas possíveis, para assim obter os riscos (R_X) correspondentes e por fim avaliar os mesmos para chegar à conclusão se existirá ou não necessidade de instalação de um sistema PDA. Este procedimento de avaliação é realizado comparando os valores dos riscos obtidos (R_X) com o risco tolerável (R_T). Estes parâmetros de tolerância são tabelados pela NBR 5419-2/2015

De acordo com a NBR 5419 (ABNT, 2015) “o risco é um valor relativo a uma provável perda média anual”. A definição do risco (R_X) leva em conta cada tipo de perda que possa ocorrer na estrutura, no seu interior ou nos ambientes e estruturas circunvizinhas. Sendo eles:

- R_1 : risco de perda de vida humana ou ferimentos permanentes;
- R_2 : risco de perda de serviço público;
- R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- R_4 : risco de perda de valores econômicos.

Cada um destes é resultado da soma de suas respectivas componentes de risco: R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , e R_Z , sendo estes definidos pela NBR 5419-2/2015 como:

- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura;
 - R_A : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas;
 - R_B : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente;
 - R_C : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP (*Lightning Electromagnetic Pulse*, que significa pulso eletromagnético causado por descargas atmosféricas);
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura;
 - R_M : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP;
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada a estrutura;

- R_U : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas, em descargas atmosféricas que atingem as linhas conectadas a estrutura;
- R_V : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente, no caso de descargas atmosféricas que atingem as linhas conectadas a estrutura;
- R_W : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta;
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada a estrutura
 - R_Z : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta;

As componentes de risco são obtidas pelas análises realizadas para cada uma de suas diferentes fontes de danos (S_X) e para cada um de seus tipos de danos (D_X). Sendo as fontes de danos (S_X):

- S_1 : Descargas atmosféricas direto na estrutura;
- S_2 : Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S_3 : Descargas atmosféricas direto nas linhas conectadas à estrutura;
- S_4 : Descargas atmosféricas próximas às linhas conectadas à estrutura.

E os tipos de danos (D_X):

- D_1 : ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
- D_2 : danos físicos;
- D_3 : falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Os danos que são causados por descargas atmosféricas podem atuar de forma isolada, ou em conjunto, trazendo diferentes tipos de perdas à estrutura ou a partes conectadas a ela. A norma classifica os tipos de perdas em quatro formas distintas, sendo elas:

- L_1 : ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

- L_2 : perda de serviço público;
- L_3 : perda de patrimônio cultural;
- L_4 : perdas de valores econômicos.

Após obtidos os valores das componentes de risco, deve ser realizada a análise para definição do valor de cada risco (R_X). Com os tipos de riscos definidos e calculados, deve ser realizada uma comparação com os valores de tolerância para cada situação. As tolerâncias para cada tipo de risco são referentes ao tipo de perda que está atrelado a ele, e que são estabelecidos pela norma como mostrado na tabela 1. Esses valores serão calculados mais a frente neste capítulo.

Tabela 1: Tolerâncias de riscos.

Risco Tolerável		R_T
L_1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L_2	Perda de serviço público	10^{-3}
L_3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Para a perdas relacionadas a valores econômicos (L_4), deve ser realizada uma análise relacionada ao custo/benefício para a definição deste risco. Para esta deve-se levar em consideração diversos fatores econômicos. Estes valores devem então ser comparados aos valores das perdas possíveis. Caso estes dados não estejam disponíveis a ABNT 5419-2 recomenda o uso do valor representativo de $R_T = 10^{-3}$ para L_4 .

Para se obter cada tipo de risco, é necessário realizar a soma de todas as componentes relacionadas. Desta maneira, para se calcular o risco de perda de vida humana ou ferimentos permanentes (R_1), é utilizada a equação (1).

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

R_A : risco relacionado a ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico causados por tensões de toque e passo dentro da estrutura, e nas zonas (até 3 metros) próximas aos condutores de descidas.

R_B : risco relacionado a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura que possam iniciar incêndio ou causar explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente.

R_C : risco relacionado as falhas de sistemas internos causados por pulsos eletromagnéticos provenientes de descargas atmosféricas na estrutura.

R_M : risco relacionado as falhas de sistemas internos causados por pulsos eletromagnéticos provenientes de descargas atmosféricas próximas a estrutura.

R_U : risco relacionado a ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico causados por tensões de toque e passo dentro da estrutura.

R_V : risco relacionado a danos físicos devido a corrente da descarga atmosférica transmitida ao longo das linhas.

R_W : risco relacionado a falhas dos sistemas internos causados pelas sobretensões induzidas nas linhas na estrutura, por uma descarga atmosférica que atinge a linha.

R_Z : risco relacionado a falhas dos sistemas internos causados pelas sobretensões induzidas nas linhas na estrutura, por uma descarga atmosférica que atinge as proximidades da linha.

R_{C1^1} , R_{M1^1} , R_{W1^1} e R_{Z1^1} são utilizados somente para estruturas que possuam um risco de explosão, para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou qualquer outra estrutura em que a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana.

De forma semelhante, para se calcular o risco de perda de serviço público (R_2), o risco de perdas de patrimônio cultural (R_3) e o risco de perdas de valores econômicos (R_4) utilizam-se as equações (2), equação (3) e equação (4) respectivamente.

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

$$R_4 = R_{A4^2} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4^2} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

R_{A4^2} e R_{U4^2} somente serão considerados onde vidas animais possam ser perdidas.

Em caso de haver mais de uma análise, e que por consequência mais de um valor para a mesma componente de risco, o maior valor é o que será levado em consideração para a soma das componentes. Isto ocorre quando existe mais de uma forma de perda para a mesma componente de risco. Nestes casos, será levado em consideração o risco mais relevante para a componente.

Uma melhor visualização da distribuição das componentes de risco para seus respectivos tipos de risco, pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2: Componentes de riscos a serem considerados para cada tipo de perda.

Fonte de Danos	S1			S2	S3			S4
Componentes de Risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
L1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
L2		*	*	*		*	*	*
L3		*				*		
L4	*b	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Nota1: Os campos contendo (a) correspondem a estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana.

Nota2: O campo contendo (b) corresponde a propriedades onde animais possam ser perdidos.

As componentes de risco (R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , e R_Z) podem ser calculadas tendo como base a equação (5):

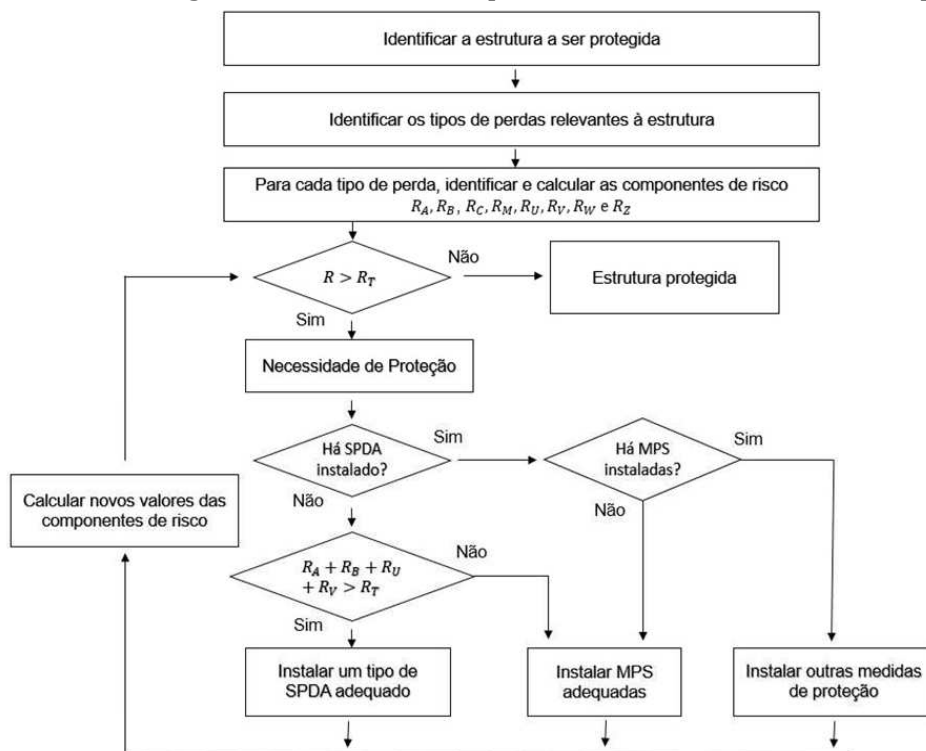
$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (5)$$

Onde:

- R_X é a componente de risco causado por um evento perigoso proveniente de uma eventual descarga atmosférica;
- N_X é o número de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas no intervalo de um ano;
- P_X é a probabilidade de ocorrer danos à estrutura por motivos de descargas atmosféricas;
- L_X é a quantidade média de perdas que podem ser causadas por eventuais descargas atmosféricas.

Com esta equação é possível calcular as componentes de risco, tendo essas diferentes análises e cálculos, correspondendo a diferentes fontes de danos (S_X). A figura 1 apresenta o fluxograma, para se obter o risco e a possível necessidade de proteção.

Figura 4: Procedimento para decisão da necessidade de proteção.



Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Para cálculo dos diferentes riscos é necessário que primeiramente sejam calculados todos os parâmetros e obtidos todos os dados relevantes para este cálculo estes dados podem ser separados da seguinte forma: características gerais da estrutura e do meio ambiente apresentadas na tabela 3, características da linha de energia e de sinal apresentadas na tabela 4.

Tabela 3: Características da estrutura e do meio ambiente.

Parâmetros de entrada	Variável(símbolo)
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)	NG
Dimensões da estrutura (m)	L, W, H
Fator de localização da estrutura	CD
SPDA	PB
Ligação equipotencial	PEB
Blindagem espacial externa	KS1

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 4: Características da linha de energia e de sinal.

Parâmetros de entrada	Variável(símbolo)
Comprimento (m) ^a	<i>LL</i>
Fator de Instalação	<i>CI</i>
Fator tipo da linha	<i>CT</i>
Fator ambiental	<i>CE</i>
Blindagem da linha	<i>RS</i>
Blindagem, aterramento, isolamento	<i>CLD</i>
	<i>CLI</i>
Estrutura adjacente	<i>LJ, WJ, HJ</i>
Fator de localização da estrutura	<i>CDJ</i>
Tensão suportável do sistema interno (kV)	<i>UW</i>

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Para se realizar o cálculo do gerenciamento de risco, deve-se separar a estrutura em diferentes zonas e levar em consideração as diferentes características de cada zona, estas podem ser vistas na tabela 5.

Tabela 5: Características da zona.

Parâmetros de entrada	Variável(símbolo)
Tipo de piso	<i>rt</i>
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)	<i>PTA</i>
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	<i>PTU</i>
Risco de incêndio	<i>rf</i>
Proteção contra incêndio	<i>rp</i>
Blindagem espacial interna	<i>KS2</i>
Energia	Fiação interna
	<i>KS3</i>
	DPS coordenados
	<i>PSPD</i>
Telecom	Fiação interna
	<i>KS3</i>
	DPS coordenados
	<i>PSPD</i>

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Por fim é necessário realizar o cálculo de diversas variáveis estas representam a área de exposição equivalente da estrutura e linhas onde as fórmulas são apresentadas na tabela 6 e o número esperado anual de eventos perigosos onde as fórmulas são apresentadas na tabela 7. Na tabela 8 são apresentadas as fórmulas para cálculos dos riscos.

Tabela 6: Área de exposição equivalente da estrutura e linhas.

Variável(símbolo)	Equação
AD	$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
AL/P (linha de energia)	$AL/P = 40 \times LL$
AI/P (linha de energia)	$AL/P = 4\,000 \times LL$
AL/T (linha de telecom)	$AL/T = 40 \times LL$
AI/T (linha de telecom)	$AL/T = 4\,000 \times LL$

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 7: Número esperado anual de eventos perigosos.

Variável(símbolo)	Equação
ND	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$
NL/P	$NL/P = NG \times AL/P \times CI/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$
NL/T	$NL/T = NG \times AL/T \times CI/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 8: Fórmulas para cálculo dos riscos.

Variável(símbolo)	Equação
R_A	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$
R_B	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$
R_C	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$
R_M	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M$
R_U	$R_U = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$
R_V	$R_V = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$
R_W	$R_W = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Todos esses parâmetros e fórmulas serão descritos e apresentados ao longo da próxima seção.

2.2 Obtenção dos parâmetros (Fontes de Danos N_X)

N_X é o número de eventos perigosos por ano, esse número é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

Para calcular o número N_X , deve-se multiplicar a densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) pela área de exposição equivalente da estrutura, levando em conta os fatores de correção para as características físicas da estrutura.

Os parâmetros que serão apresentados neste capítulo são:

- N_D : Número anual de eventos perigosos para a estrutura;
- N_M : Número anual de eventos perigosos próximos a estrutura;
- N_L : Número anual de eventos perigosos nas linhas conectadas a estrutura;
- N_I : Número anual de eventos perigosos nas proximidades das linhas conectadas na estrutura.

O primeiro parâmetro a ser apresentado é o N_D que é o número anual de eventos perigosos, que é um parâmetro que depende da região onde a estrutura se localiza, e de suas características físicas. Um dos parâmetros necessários para o seu cálculo é o produto entre a área de exposição equivalente da estrutura e a densidade de descargas atmosféricas (N_G), que pode ser obtida através do site do ELAT (INPE). N_G pode de maneira alternativa ser calculado pela equação (6):

$$N_G = 0,1 \cdot N_{da} \quad (6)$$

Onde N_{da} é o número anual de dias de tempestade na região.

Outro parâmetro utilizado para a determinação do N_D é o cálculo da área de exposição equivalente da estrutura, podendo ser considerado com uma forma retangular isolada ou com uma forma complexa.

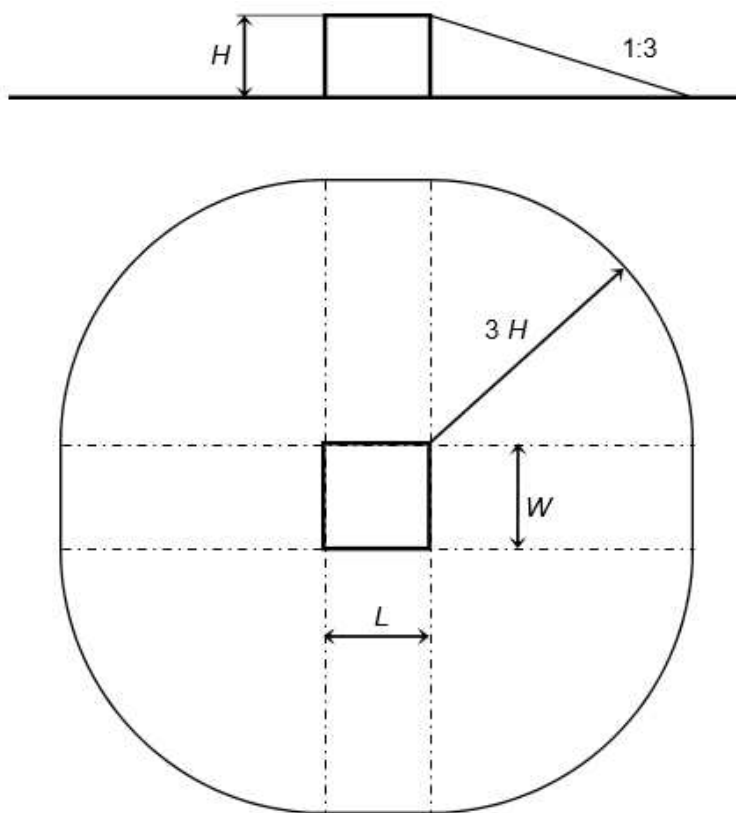
Para uma forma retangular isolada área de exposição A_D pode ser calculada através da equação (7) a figura 2 representa uma estrutura com forma retangular:

$$A_D = L_e \cdot W_e + 2 \cdot (3 \cdot H_e) \cdot (L_e + W_e) + \pi \cdot (3 \cdot H_e)^2 \quad (7)$$

Onde:

- A_D é a área da estrutura equivalente para áreas planas e retangulares, em m^2 ;
- L_e é o comprimento da estrutura a ser protegida, em m;
- W_e é a largura da estrutura a ser protegida, em m;
- H_e é a altura da estrutura protegida.

Figura 5: Estrutura com forma retangular.

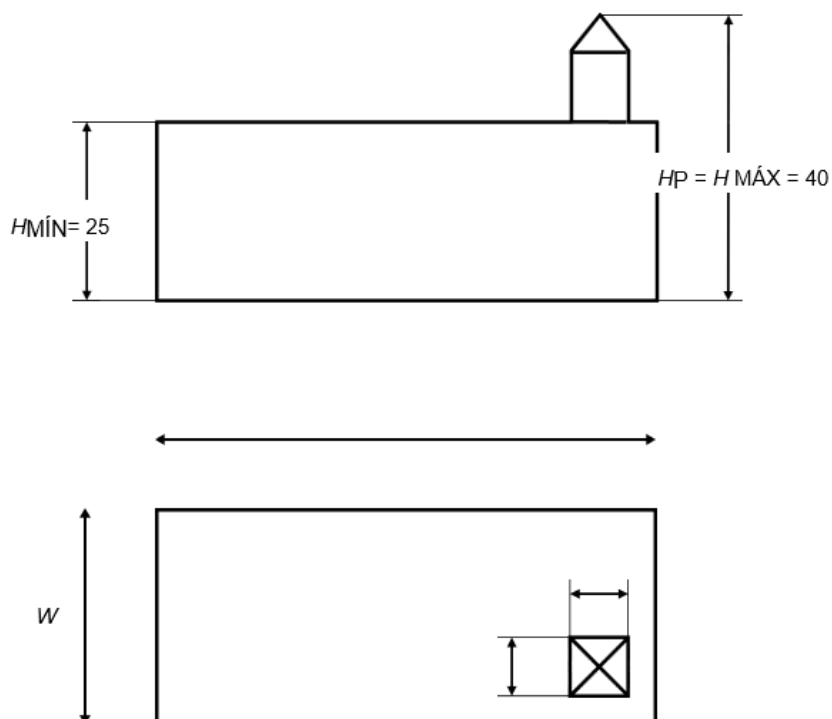


Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Já para uma estrutura com uma configuração geométrica complexa A_D pode ser calculada através da equação (8) a figura 6 representa a configuração complexa:

$$A_D = \pi \cdot (3 \cdot H_e)^2 \quad (8)$$

Figura 6: Estrutura com forma complexa.



Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Para este cálculo apenas a maior área medida para estrutura equivalente deve ser utilizada.

Outro parâmetro que define o número anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas é o valor do fator de localização da estrutura (C_D) obtido através da tabela 9. Este fator se refere a localização da estrutura em relação ao local e as estruturas vizinhas.

Tabela 9: Fator de localização.

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 objeto na vizinhança	1
Estrutura isolada no topo de uma colina	2

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Finalmente, para a determinação do número anual de eventos perigosos é obtida através dos parâmetros citados anteriormente, através da equação (9):

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Onde:

- A_D é a área da estrutura equivalente para áreas planas e retangulares, em m^2 ;
- N_G é o valor anual de descargas para a terra no local da estrutura (município);
- C_D é o valor do fator de localização da estrutura (Tabela 9).

Em seguida iremos fazer a determinação do número anual de eventos perigosos causados por raios próximo à estrutura (N_M) que pode ser obtido através da equação (10):

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

Onde:

- N_M é o número médio de eventos perigosos próximos à estrutura, provenientes de descargas atmosféricas;
- N_G é o valor anual de descargas para a terra no local da estrutura (município);
- A_M é a área de exposição equivalente, e que é determinada pela equação (11).

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L_e + W_e) + \pi \cdot 500^2 \quad (11)$$

O próximo parâmetro a ser determinado é o número anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas incidentes nas linhas conectadas à estrutura (N_L), e é obtida através da equação (12):

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (12)$$

Onde:

- N_L é o número médio de sobretensões de amplitude igual ou superior a 1kV por ano, na seção da linha de energia ou de sinal;

- A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha equação (13);
- C_I é o fator de instalação da linha de alimentação energética (Tabela 10);
- C_E é o fator ambiental referente a localidade da estrutura (Tabela 11);
- C_T é o fator do tipo de linha estabelecido pela norma (Tabela 12).

Tabela 10: Fator de instalação da linha.

Fator de instalação da linha	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento	0,01

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 11: Fator ambiental da linha.

Fator ambiental da linha	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20m	0,01

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 12: Fator do tipo de linha.

Fator do tipo de linha	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

A área de exposição a descargas atmosféricas equivalente referente a linha em análise (A_L), é definida pela equação (13):

$$A_L = 40 \cdot L_l \quad (13)$$

Onde:

- L_l é o comprimento da linha, dado em metros.

Se o valor do comprimento da linha não for conhecido pode ser utilizado o valor de 1000 metros para L_l .

Em seguida a determinação do número anual de eventos perigosos decorrentes de raios incidentes nas proximidades das linhas conectadas à estrutura (N_l) é obtida através da equação (14):

$$N_l = N_G \cdot A_l \cdot C_l \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (14)$$

Onde:

- N_l é o número médio de sobretensões de amplitude igual ou superior a 1kV por ano, na seção da linha;
- A_l é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem as proximidades da linha em análise;

A área de exposição a descargas atmosféricas equivalente referente a linha (A_l), é definida pela equação (15):

$$A_l = 4000 \cdot L_l \quad (15)$$

Se o valor do comprimento da linha não for conhecido pode ser utilizado o valor de 1000 metros para L_l .

Com os valores para o número médio anual de eventos perigosos considerando cada uma das fontes de danos N_x calculados, vamos agora então obter dos valores de probabilidade de danos P_x .

2.3 Obtenção dos parâmetros (Probabilidade de Danos P_X)

P_X é a probabilidade de dano a estrutura, esse valor é afetado pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

Os parâmetros que serão apresentados neste capítulo são

- P_a : probabilidade de choque a seres vivos devido à tensão de toque e passo devido a uma descarga atmosférica em uma estrutura;
- P_b : probabilidade de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura;
- P_c : probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha dos sistemas internos;
- P_m : probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos;
- P_u : probabilidade de ferimentos a seres vivos dentro da estrutura devido à tensão de toque causado por uma descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura;
- P_v : probabilidade de danos físicos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura;
- P_w : probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura causar uma falha dos sistemas internos;
- P_z : probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que adentra na estrutura causar falha de sistemas internos.

As probabilidades de danos devem ser calculadas especificamente para cada uma das componentes de risco, a primeira é a probabilidade de um raio atingir uma estrutura e causar ferimentos a seres vivos (P_a), e é calculada através da equação (16):

$$P_a = P_{ta} \cdot P_b \quad (16)$$

Onde:

- P_{ta} é a probabilidade de uma pessoa ficar submetida a tensões de passo e de toque provocados por raios em uma estrutura com proteções adicionais (Tabela 13);
- P_b é a probabilidade de uma pessoa ficar submetida a tensões de passo e de toque provocados por raios, considerando a classe do SPDA existente na estrutura projetado para determinado nível de proteção (Tabela 14).

Tabela 13: Valores de P_{ta} .

Medida de proteção adicional	P_{ta}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica 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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 14: Probabilidade em cima das medidas de proteção.

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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015)

A classificação do SPDA é referente ao nível de proteção que ele provém. Sendo assim quanto maior o nível de proteção, maior é a classificação, sendo o de classe I o que possui o maior índice de proteção, e o classe IV o que possui o menor índice de proteção.

O próximo valor de probabilidade perdas a ser calculado são a perdas referentes a uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar falhas em sistemas internos, podendo ser obtidos através da equação (17):

$$P_c = P_{spd} \cdot C_{LD} \quad (17)$$

Onde o valor do P_{spd} depende do sistema de coordenação dos dispositivos de proteção de sobrecargas (DPS) e do nível de proteção contra descarga atmosférica obtido podendo este valor ser obtido na tabela 15.

Já o valor de C_{LD} depende do nível de isolamento da linha de distribuição da estrutura, da blindagem aplicada à linha e do sistema de aterramento instalado para protegê-la, este valor pode ser obtido através da tabela 16.

Tabela 15: Nível de proteção do DPS.

Nível de proteção (NP)	P_{spd}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
DPS que tenham melhores características de comparados com os requisitos definidos para NPI	0,005 – 0,001

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 16: Fatores em função de blindagens, aterramento e isolamento das linhas.

Tipos de linha externa	Conexão de entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
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 protegidos 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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

O próximo valor a ser calculado é o de P_m que representa a probabilidade de uma descarga atmosférica próxima a estrutura causar falhas dos sistemas internos, o valor de P_m deve é dado pela equação (18):

$$P_m = P_{spd} \cdot P_{ms} \quad (18)$$

Onde P_{ms} é um fator dado pela equação (19):

$$P_{ms} = (K_{s1} \cdot K_{s2} \cdot K_{s3} \cdot K_{s4})^2 \quad (19)$$

Onde:

- K_{s1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface. Seu valor deve se igual ou inferior a 1;
- K_{s2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface;
- K_{s3} leva em consideração as características da fiação interna (Tabela 17);
- K_{s4} leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Estes fatores podem ser calculados pelas seguintes equações (20), (21) e (22):

$$K_{s1} = 0,12 \cdot L_{m1} \quad (20)$$

$$K_{s2} = 0,12 \cdot L_{m2} \quad (21)$$

$$K_{s4} = \frac{1}{V_{tsi}} \quad (22)$$

Onde:

- L_{m1} e L_{m2} podem ser as larguras da blindagem em forma de grade, os condutores de descidas do SPDA tipo malha, o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado que estão atuando como SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1mm, $K_{s1} = K_{s2} = 10^{-4}$;
- V_{tsi} é a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido, em kV.

Tabela 17: Fator em função dos cabos de instalação.

Tipo de fiação interna	K_{s3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (1).	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços (2)	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (3)	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos (4)	0,0001

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

- (1) Nota 1: Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).
- (2) Nota 2: 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).
- (3) Nota 3: Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).
- (4) Nota 4: Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

A próxima probabilidade a ser calculada é P_u que é probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar ferimentos por choque elétrico, este valor é dado pela equação (23):

$$P_u = P_{tu} \cdot P_{spd} \cdot P_{td} \cdot C_{LD} \quad (23)$$

Onde:

- P_{tu} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta (Tabela 18);
- P_{td} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada dependendo das características da linha (Tabela 19);

Tabela 18: Probabilidade de raio na linha conectada a estrutura causar choque a seres vivos.

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

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 19: Valores da probabilidade P_{ld} .

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável UW 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	$5\Omega/\text{km} < RS \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < RS \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$RS \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

O R_s na Tabela 13 é a resistência da blindagem do cabo.

Em seguida deve-se calcular o valor da probabilidade de P_v que é probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar danos físicos, este valor pode ser calculado através da equação (24):

$$P_v = P_{spd} \cdot P_{ld} \cdot C_{LD} \quad (24)$$

Com a mesma equação (24) podemos calcular também o valor da probabilidade P_w que é a probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar falha nos sistemas internos da estrutura conectada a ela, dessa forma temos a equação (25):

$$P_w = P_{spd} \cdot P_{ld} \cdot C_{LD} \quad (25)$$

E por fim para calcular o valor de P_z que é a probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo a uma linha e causar falha nos sistemas internos da estrutura conectada a ela, utilizamos a equação (26):

$$P_z = P_{spd} \cdot P_{li} \cdot C_{LI} \quad (26)$$

Onde:

P_{li} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha dependendo também das características da linha e dos equipamentos (Ver Tabela 20);

Tabela 20: Probabilidade (P_{li}) dependendo do tipo de linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos.

Tipo da linha	Tensão suportável UW 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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

2.4 Obtenção dos parâmetros (Valores médios de perda L_X)

Para completar a obtenção dos parâmetros necessários na equação (5) deve-se calcular as perdas L_X , que se referem a quantidade de um tipo particular de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, considerando a sua abrangência e os efeitos causados. As perdas que serão calculadas neste capítulo são:

- L_a : Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura);
- L_b : Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura);
- L_c : Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura);
- L_m : Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura);
- L_u : Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha);
- L_v : Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha);
- L_w : Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha);
- L_z : Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha);

Estes valores de perdas estão relacionados aos valores de L_1 , L_2 , L_3 e L_4 que já foram apresentados anteriormente neste relatório e são separados pelos tipos de danos D1 (ferimentos a seres vivos por choque elétrico), D2 (danos físicos), D3(perdas provenientes de falhas em sistemas eletroeletrônicos). Sendo assim para o dano D1 (ferimentos a seres vivos por choque elétrico), podemos obter o valor através da equação (27):

$$L_a = L_u = r_t \cdot L_t \cdot \frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760} \quad (27)$$

Onde:

- A expressão $\frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760}$ é denominada fator de pessoas na zona;
- L_a corresponde às perdas causadas por choque elétrico em seres vivos proveniente de raios diretamente a estrutura;
- L_u corresponde às perdas causadas por choque elétrico em seres vivos proveniente de raios nas linhas conectadas à estrutura;
- L_t é o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso (Ver Tabela 21);

- r_t é o fator de redução de perdas de vidas humanas em função do tipo da superfície do solo ou piso da estrutura, devido a uma descarga atmosférica (Ver Tabela 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, dado em horas/ano.

Tabela 21: Tipos de perda L_t : valores típicos de L_t , L_f e L_o .

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
(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
		$5 \cdot 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja, museu
		$2 \cdot 10^{-2}$	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
		10^{-1}	Risco de explosão
(D3) falhas de sistemas internos	L_o	10^{-2}	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3}	Outras partes de hospital

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela 22: Fator de redução r_t .

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

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Já para o dano D2 (danos físicos) o valor é definido pela equação (28):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_f \cdot \frac{N_Z}{N_t} \cdot \frac{T_Z}{8760} \quad (28)$$

Onde:

- L_b corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente na estrutura;

- L_v corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente nas linhas conectadas à estrutura;
- r_p é o fator de redução de perdas devido a danos físicos em função de determinadas providências de segurança (Ver Tabela 23);
- r_f é o fator de redução de perdas em função dos danos físicos, dependendo dos riscos de explosões ou incêndios na estrutura (Ver Tabela 24);
- h_z é o fator de aumento das perdas em função dos danos físicos quando um perigo especial estiver presente (Ver Tabela 25);
- L_f é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Ver Tabela 21).

Tabela 23: Fator de redução (r_p).

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

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

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

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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Zona 0: local de atmosfera explosiva, consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa, de forma contínua ou por longos períodos ou frequentemente;

Zona 1: local de atmosfera explosiva, consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa, de forma ocasional;

Zona 2: local de atmosfera explosiva, consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa, de forma rara e por curtos períodos de tempo;

Zona 20: local de atmosfera explosiva, na forma de nuvens de poeira combustível no ar, de forma contínua ou por longos períodos ou frequentemente;

Zona 21: local de atmosfera explosiva, na forma de nuvens de poeira combustível no ar, ocorrendo ocasionalmente;

Zona 22: local de atmosfera explosiva, na forma de nuvens de poeira combustível no ar, ocorrendo raramente e por períodos curtos de tempo.

Tabela 25: Fator h_z .

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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

O último tipo de dano a ser considerado é o D3 (perdas provenientes de falhas em sistemas eletroeletrônicos) que pode ser obtido através da equação (29):

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760} \quad (29)$$

Onde:

- L_c corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios diretamente na estrutura;
- L_m corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios nas linhas conectadas à estrutura;
- L_w corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno proveniente de raios próximos da estrutura;
- L_z corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios próximos das linhas conectadas à estrutura;
- L_o é o número relativo médio típico de vítimas por falha no sistema eletroeletrônico interno devido a um evento perigoso (Ver Tabela 21);

Outro tipo de perda é a perda de serviço ao público. Este tipo de perda é calculado de formas diferentes para danos físicos (D2), e para danos de falhas de sistemas internos (D3). E seus valores são obtidos respectivamente pelas equações (30) e (31):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{N_z}{N_t} \quad (30)$$

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{N_z}{N_t} \quad (31)$$

Onde:

- L_f é o número relativo médio típicos de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Ver Tabela 26);
- L_o é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (Ver Tabela 26).

Tabela 26: Tipo de perda L_2 : valores médios típicos de L_f e L_o .

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: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Em seguida temos a perda de patrimônio cultural. Este tipo de perda é calculado apenas para danos físicos (D2), e seus valores são obtidos através da equação (32):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{C_z}{C_t} \quad (32)$$

Onde L_f é o número relativo médio típico de todos os valores atingidos por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Ver tabela 27).

Tabela 27: Tipo de perda L_3 : valor médio típico de L_f

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
(D2) danos físicos	L_f	10^{-1}	Museus, galerias

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Por fim temos a perda de valores econômicos. O valor relevante da zona depende do tipo de dano, sendo que para o dano D1 (ferimentos a seres vivos por choque elétrico), podemos obter os valores através da equação (33):

$$L_a = L_u = r_t \cdot L_t \cdot \frac{C_a}{C_t} \quad (33)$$

Onde C_a é o valor estimado dos animais da zona.

Já para o tipo de dano D2 (danos físicos) o valor é definido pela equação (34):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{(C_a + C_b + C_v + C_s)}{C_t} \quad (34)$$

Onde:

- C_b é o valor de edificação relevante na zona;
- C_c é o valor de bens presentes na zona;
- C_s é o valor dos sistemas internos na zona;
- C_t é o valor total da estrutura.

E por fim deve ser levado em consideração de perdas proveniente de falhas em sistemas eletroeletrônicos (D3). Que por sua vez é obtida através da equação (35):

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{C_s}{C_t} \quad (35)$$

Agora com todos estes valores devidamente calculados podemos calcular os valores dos riscos com as seguintes equações:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (36)$$

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (37)$$

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (38)$$

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (39)$$

$$R_U = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (40)$$

$$R_V = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (41)$$

$$R_W = (N_L \cdot N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (42)$$

3 Metodologia

Este capítulo descreve os métodos empregados na elaboração de uma ferramenta computacional para o cálculo de riscos em instalações elétricas em função das descargas atmosféricas. O trabalho compreende 4 etapas, assim distribuídas:

A primeira etapa para o desenvolvimento deste projeto foi a análise, e o estudo da norma NBR-5419-2 para poder entender como é realizado o cálculo para uma análise de risco, e compreender quais as variáveis necessárias para o cálculo. Um outro passo desta etapa foi a leitura da NBR-5419-1 para entender como a análise de risco se relaciona com um projeto PDA e entender suas ligações.

Na segunda etapa foi necessário levar as tabelas da norma que continham os valores de algumas variáveis necessárias para o cálculo, e transferi-las para o Excel neste processo foi notado que da forma como estavam apresentadas na norma, as tabelas não poderiam ser usadas no PowerBI, pois o programa só consegue utilizar as tabelas se estiverem organizadas de uma maneira específica.

As mudanças necessárias nestas tabelas são no sentido de retirar a concatenação existente em algumas tabelas como por exemplo a tabela 24 que após as devidas modificações ficaria da seguinte forma:

Tabela 28: Tabela 24 modificada para atender os requisitos do PowerBI

Risco(z2)	Quantidade de risco(z2)	rf
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
Explosão	Zonas 1, 21	0,1
Explosão	Zonas 2, 22	0,001
Incêndio	Alto	0,1
Incêndio	Normal	0,01
Incêndio	Baixo	0,001
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: Autoria própria

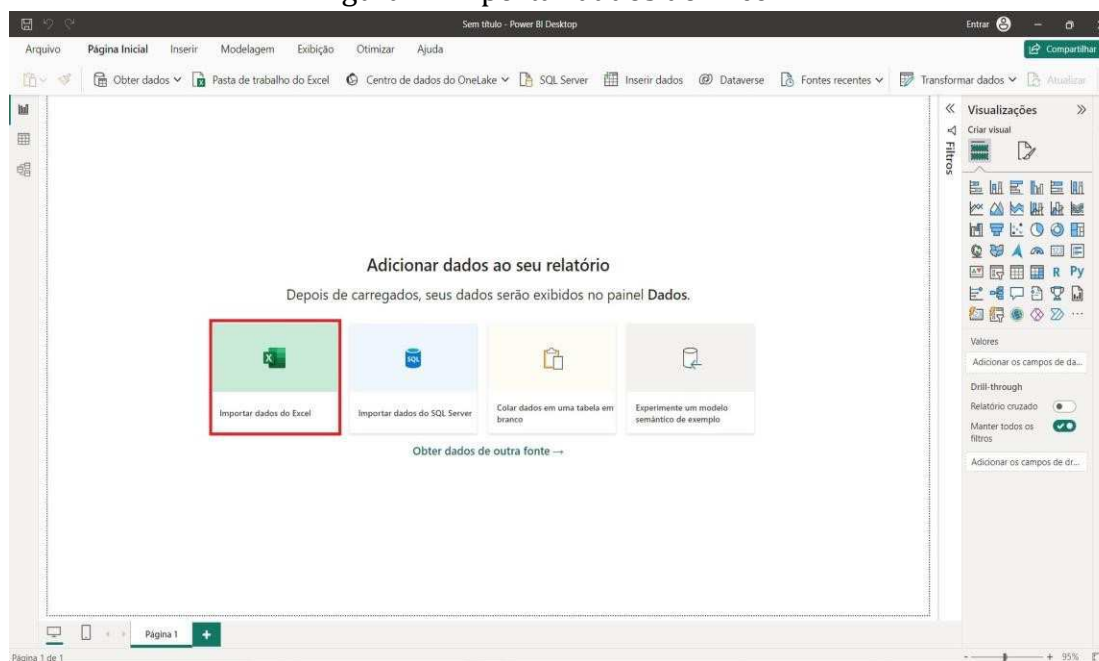
Assim as tabelas que continham qualquer tipo de concatenação, teriam que ter suas células separadas, e os valores ou textos contidos nelas replicados para as células resultantes da quebra da concatenação, e no caso de valores que são utilizados mais de uma vez, deve-se fazer uma outra cópia da tabela, com o nome do cabeçalho distinto (por exemplo se na primeira cópia o texto no cabeçalho era “Valor” em uma outra cópia o texto deve ser “Valor1”) isso se faz necessário, pois o PowerBI entende textos de cabeçalho com o mesmo nome como apenas uma coluna (mesmo de tabelas distintas), fazendo com que os valores que deveriam ser escolhidos separadamente, fossem escolhidos em conjunto impossibilitando valores diferentes para parâmetros diferentes, este processo é essencial para que a interface possua

mais de uma zona calculável, por conta desta limitação do programa foram inseridas apenas 5 zonas calculáveis na interface.

A terceira etapa compreende toda a construção da ferramenta, nesta etapa ocorreu a construção inicial da ferramenta e no processo foi possível entender as limitações da plataforma e, adaptar os recursos disponíveis para que o objetivo da ferramenta seja alcançado, como por exemplo, a limitação na função que o programa oferece para a criação de um vetor de números, pois nesta função o vetor está limitado a apenas 1000 valores distintos, sendo essa uma limitação nos valores inseridos manualmente pelos usuários. A construção da ferramenta se dá da seguinte forma:

Primeiramente deve-se abrir um novo relatório no Power BI e escolher “importar dados do Excel” [7] uma guia se abrirá em seguida deve-se selecionar a planilha do Excel em que foram colocados os dados anteriormente.

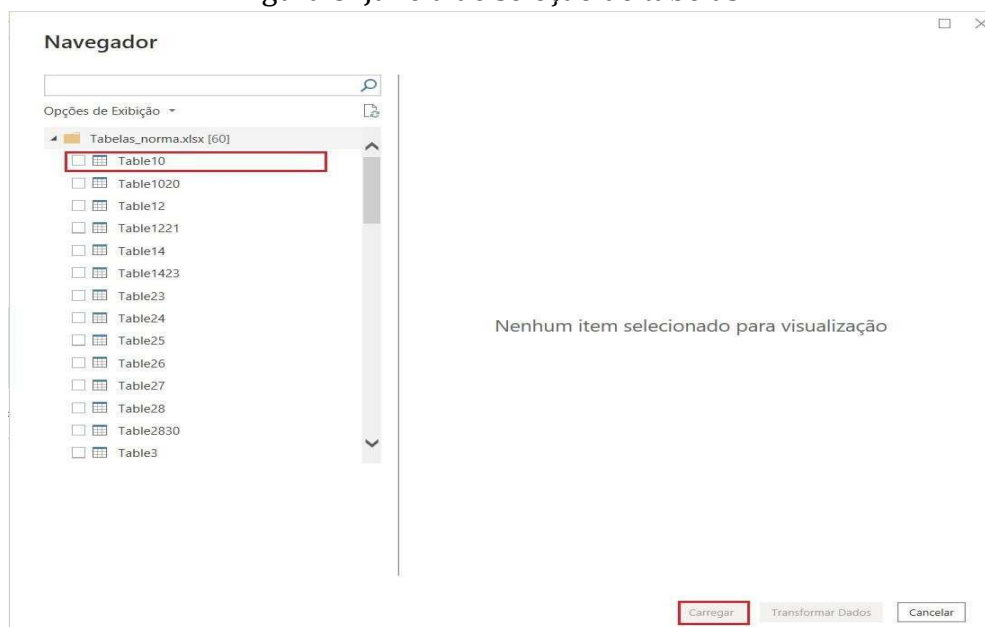
Figura 7: Importar dados do Excel



Fonte: Autoria Própria

Feito isso uma janela abrirá onde o usuário deve selecionar as tabelas que serão utilizadas [8], feito isto a opção carregar ficara disponível, ao seleciona-la a tabela irá aparecer como parte do modelo do relatório na aba “dados”.

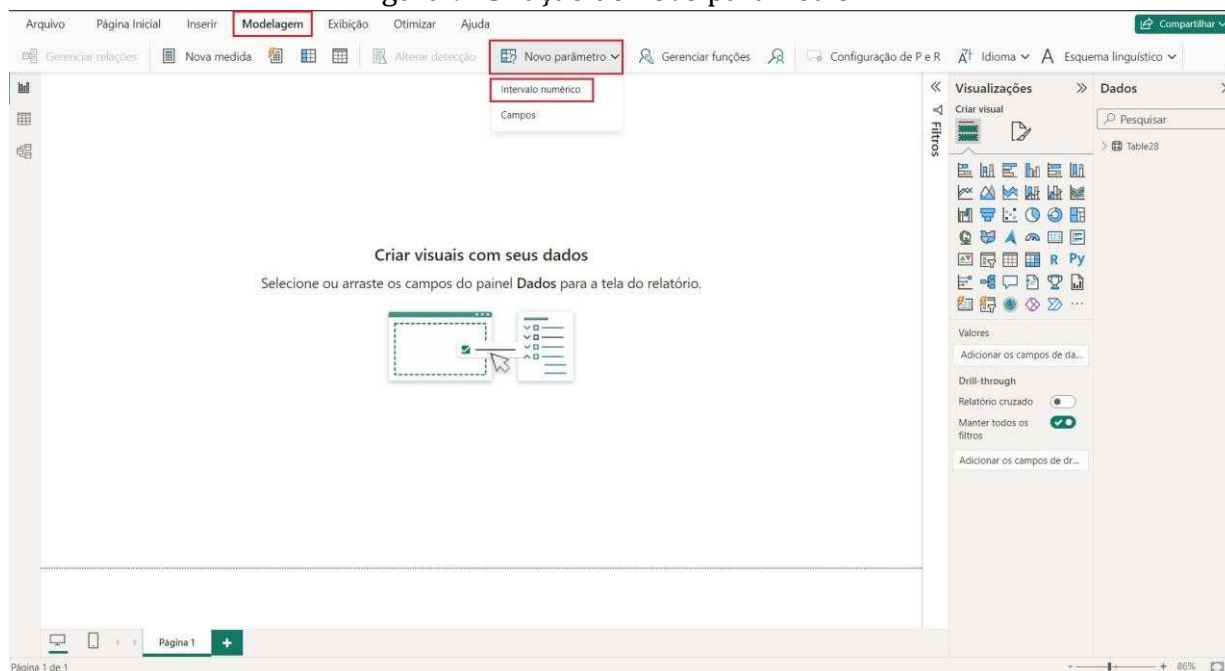
Figura 8: Janela de seleção de tabelas



Fonte: Autoria Própria

Para se chegar nos valores desejados será necessário a utilização tanto das tabelas, com valores já predefinidos, como também, há a necessidade de o usuário inserir algumas informações para que se possa realizar os cálculos, para o último será necessário seguir o seguinte caminho: Modelagem > Novo Parâmetro > Intervalo Numérico [9].

Figura 9: Criação de novo parâmetro.



Fonte: Autoria Própria

Onde uma nova janela se abrirá [10] e para que possa ser definido o novo parâmetro são necessárias as seguintes informações: valor máximo, valor mínimo, um valor de incremento (Que funciona como uma espécie de passo), selecionar se o número, e um número inteiro ou se será decimal, e opcionalmente o nome do parâmetro.

Figura 10: Definição de novo parâmetro

Parâmetros

Adicione parâmetros a visuais e expressões DAX para que as pessoas possam usar segmentações para ajustar as entradas e ver diferentes resultados. [Saiba mais](#)

O que a variável ajustará?

Intervalo numérico

Nome

Parâmetro

Tipo de dados

Número inteiro

Mínimo

0

Máximo

20

Incrementar

1

Padrão

☒ Adicionar segmentação a esta página

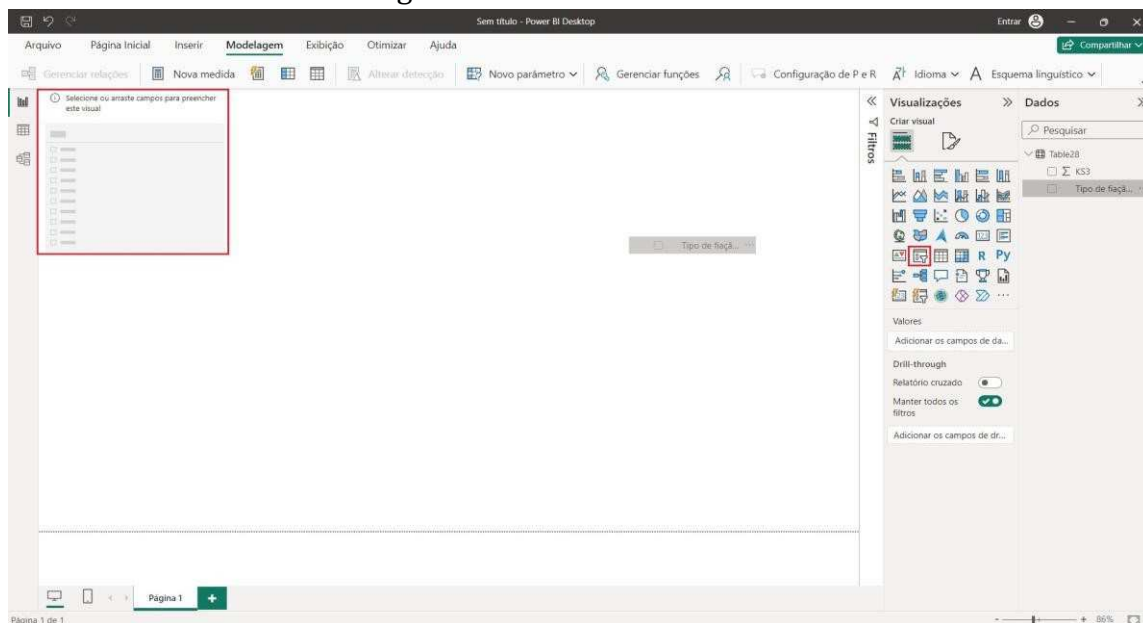
Criar

Cancelar

Fonte: Autoria Própria

Para utilização dos valores tabelados o usuário deve abrir a aba visualizações e selecionar a opção “Segmentação de Dados” e então, deve-se arrastar o campo da tabela desejada para a janela que foi criada na área de trabalho do Power BI [11].

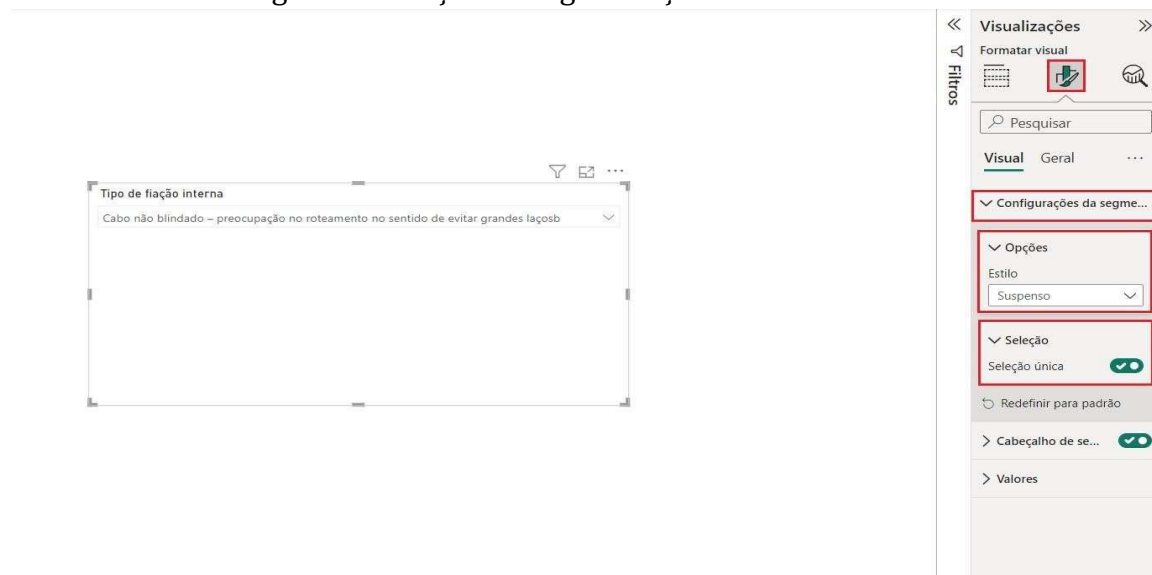
Figura 11: Valores tabelados



Fonte: Autoria Própria

Para uma melhor utilização e visualização ainda se faz necessário fazer alguns ajustes neste modelo, para isso deve se seguir o seguinte caminho presente na aba visualizações: Formatar visual > Configuração da segmentação > Opção > Estilo > Suspenso > Seleção > Seleção única [12]. Esse processo deve ser repetido para todas as variáveis envolvidas no cálculo dos riscos.

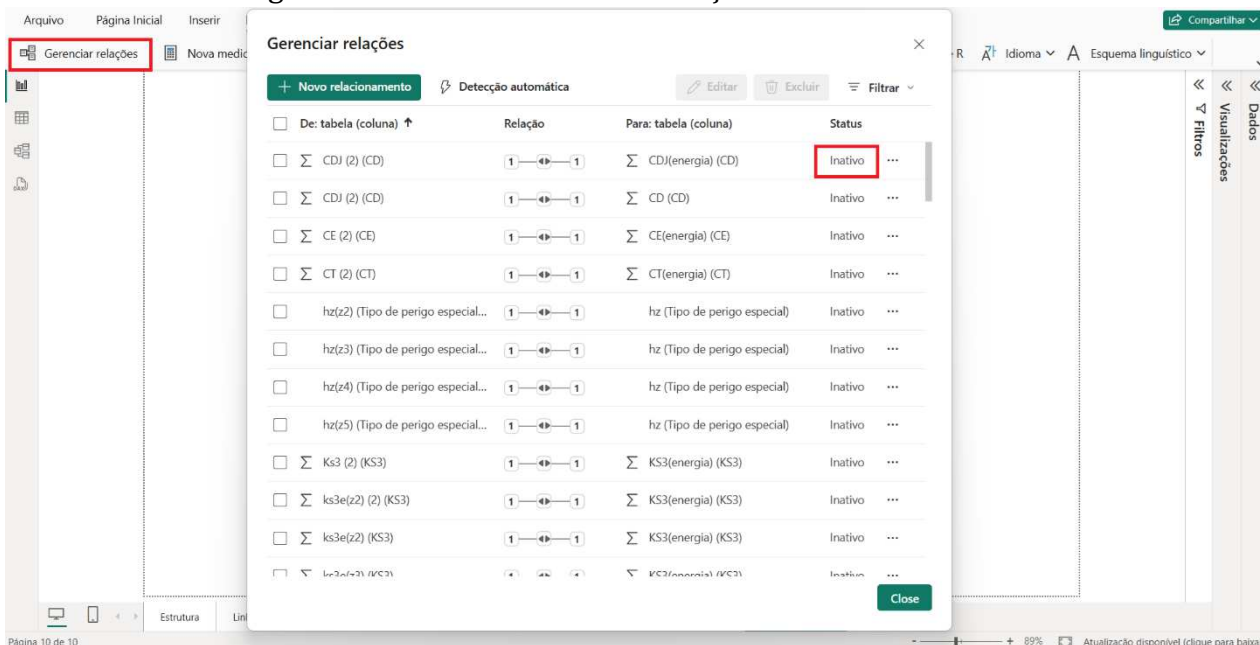
Figura 12: Edição da segmentação de dados



Fonte: Autoria Própria

Após todo este processo feito para todas as variáveis de interesse o usuário deve realizar o gerenciamento das relações [13], nesta janela o usuário deve garantir que todos estes valores estejam com status inativo, para que todos os valores escolhidos pelo usuário na interface, sejam entendidos como valores únicos

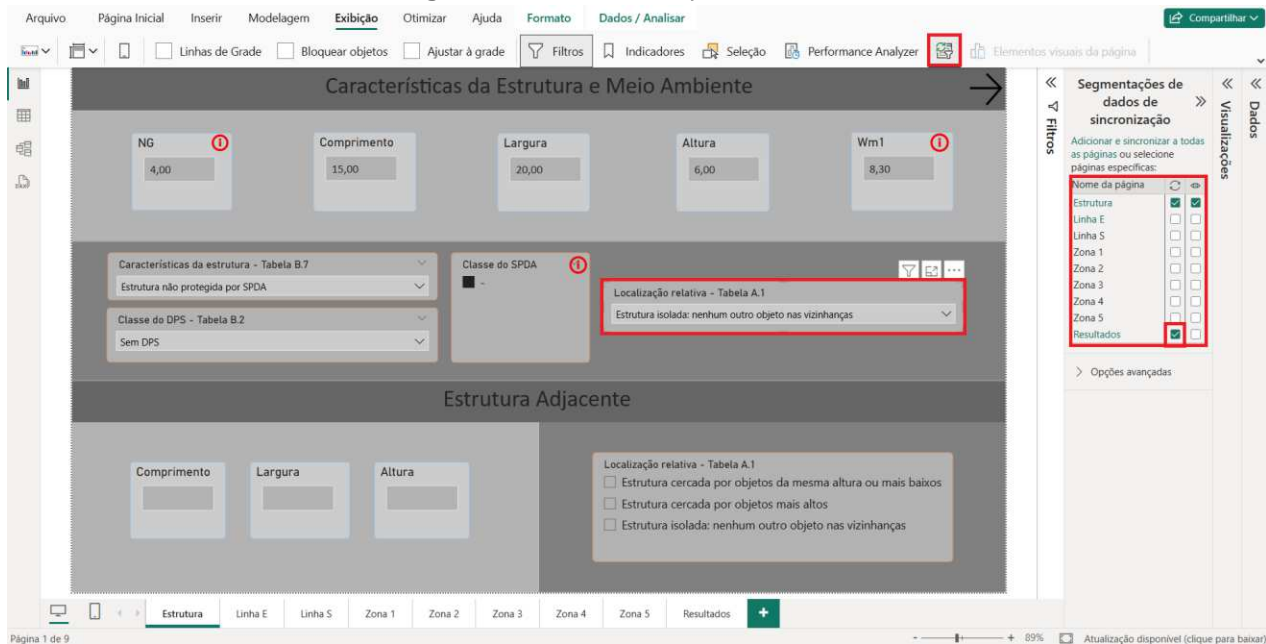
Figura 13: Gerenciamento das relações entre as variáveis



Fonte: Autoria Própria

A última etapa antes de realizar os cálculos finais é garantir que os valores sejam compartilhados na aba de apresentação dos resultados pois sem realizar esta etapa os valores selecionados estariam presentes apenas nas abas que foram selecionados originalmente. Para isto é necessário abrir a aba segmentação de dados e selecionar o compartilhamento de dados na aba de escolha [14] este processo deve ser repetido para todas as variáveis sem exceção.

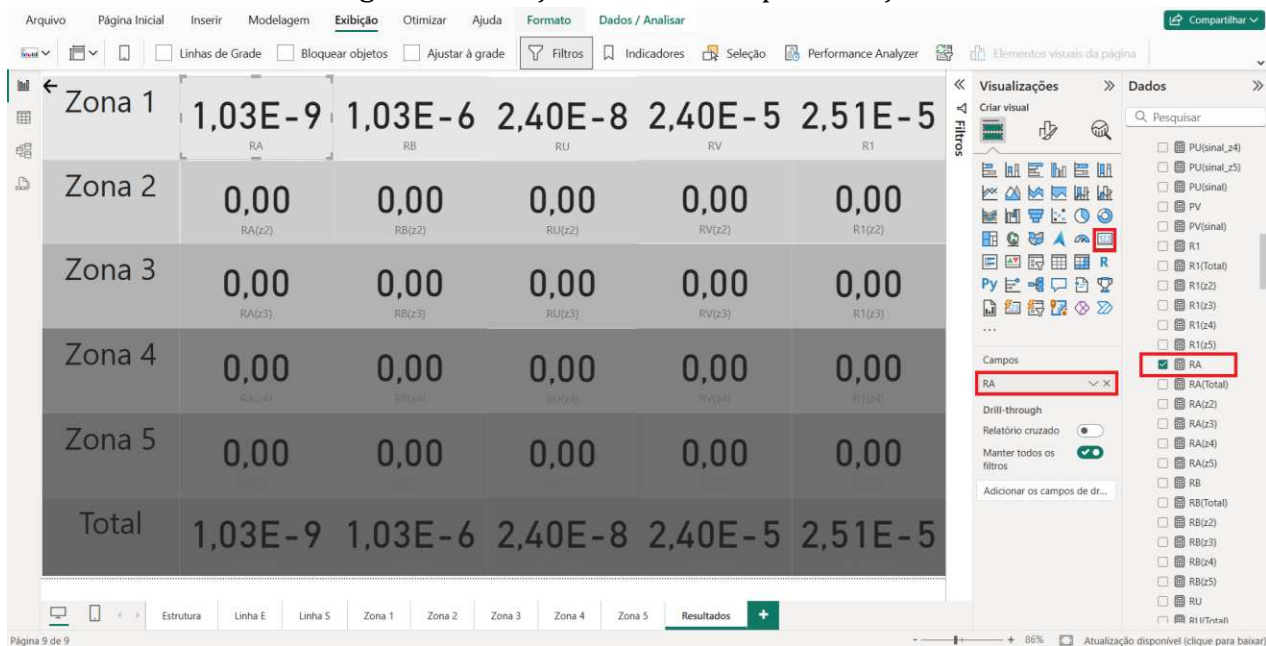
Figura 14: Sincronização de dados



Fonte: Autoria Própria

Após repetir este processo, para todas as variáveis necessárias para os cálculos, há a necessidade de utilizar estes valores para o cálculo de equações, e assim chegar ao resultado final. Para isso a opção medidas do Power BI será utilizada para realizar as equações necessárias, vale ressaltar que, para utilização dos valores oriundos da seleção dos valores tabelados, se faz necessário utilizar a função *"Selectedvalue()"* onde esta função consegue capturar somente o valor que foi realmente selecionado pelo usuário, já no caso dos parâmetros, basta uma chamada simples de seus valores. Com isso basta realizar todos os cálculos até chegar nos valores de interesse. Por fim é necessário apresentar os valores calculados para isso basta abrir um visual do tipo "cartão" e arrastar o valor resultante do cálculo para os campos um exemplo pode ser visto na figura 15.

Figura 15: Criação de caixa de apresentação

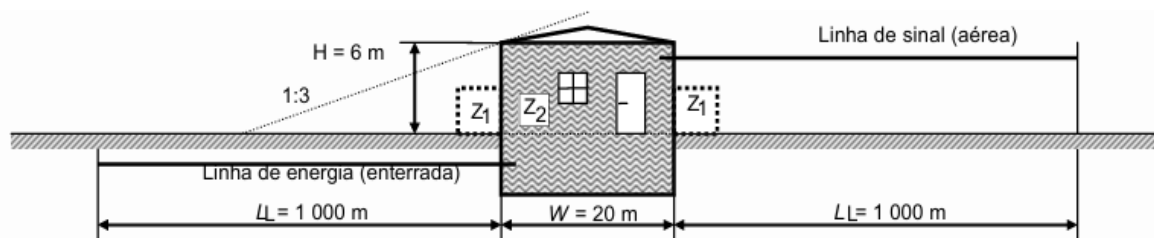


Fonte: Autoria Própria

Com a ferramenta construída inicia-se a quarta etapa, onde são inseridos valores para realizar os testes para detectar se a ferramenta está funcionando da maneira esperada. Nesta etapa foram feitos vários testes e correções. Uma dessas correções, foi entender que uma das funcionalidades da plataforma *PowerBI*, fazia com que diferentes valores em diferentes abas do programa, compartilhassem uma espécie de relação que fazia com que o valor selecionado em uma aba estivesse sincronizado com outro valor, que deveria ser distinto. Por conta deste problema com a sincronização, a ferramenta só consegue realizar o cálculo para estruturas menos complexas, pois em casos mais complexos há a necessidade de utilizar um mesmo parâmetro com dois valores distintos dentro de uma mesma zona, o que para o *software* não é possível.

A última etapa é a etapa de validação que se deu com a inserção dos valores para os casos apresentados na norma NBR 5419-2, para validação da ferramenta. O primeiro caso, é uma casa de campo (figura 16) que está localizada em um território plano e sem nenhuma estrutura nas vizinhanças. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ (descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano). Cinco pessoas vivem na casa. Este é também o número total de pessoas a serem consideradas, porque se assume que não haverá nenhuma pessoa fora da casa durante a tempestade.

Figura 16: Casa de campo



Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

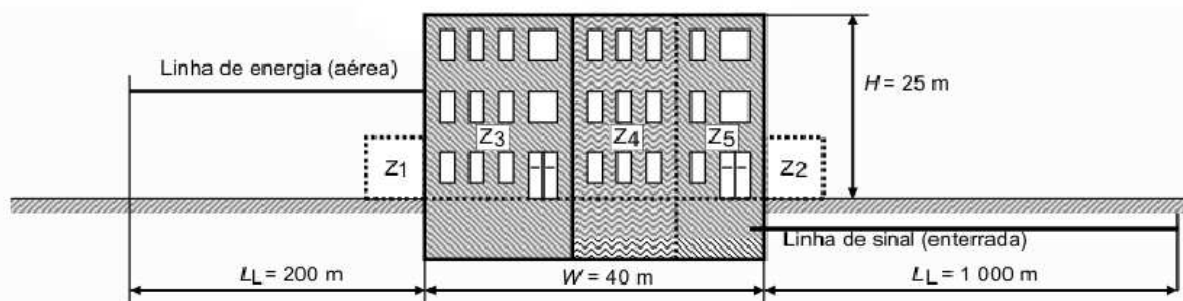
Essa estrutura pode ser dividida em duas zonas Z_1 (fora da casa) e Z_2 (dentro da casa). Para zona Z_1 , é assumida que nenhuma pessoa está fora da casa. Portanto, o risco de choque em pessoas $R_A = 0$. Pelo fato de R_A ser a única componente de risco fora da casa, a zona Z_1 pode ser desconsiderada completamente.

Em relação a Z_2 devem ser levados em consideração os seguintes pontos: ambos os sistemas internos (energia e telecom) se estendem através da casa, nenhuma blindagem espacial existe, a estrutura é um compartimento único à prova de fogo e que perdas são assumidas como constantes em toda a casa.

Dessa forma os dados para a casa e redondeza são dados na tabela A.1. Os dados para as linhas que adentram e seus sistemas internos conectados são dados pela tabela A.2 para a linha de energia e na Tabela A.3 para linhas de sinais. Os valores utilizados na zona Z_2 são apresentados na tabela A.4.

O segundo caso, é um edifício de escritórios com um arquivo, escritórios e um centro de informática (Figura 17). O edifício de escritórios está localizado em um território plano sem estruturas nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra $NG = 4$ (descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano). Nas diferentes zonas interna e externa do edifício de escritórios, é considerado um número total de 200 pessoas. O número de pessoas relacionadas a cada zona é diferente. A distribuição dentro de cada zona individual está mostrada na Tabela B.4.

Figura 17: Edifício de escritórios



Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Essa estrutura pode ser dividida em 5 zonas: Z_1 (entrada fora da edificação), Z_2 (jardim externo), Z_3 (arquivo), Z_4 (escritórios) e Z_5 (centro de informática). Devem ser levados em consideração os seguintes pontos: o tipo de superfície é diferente na entrada da área externa, no jardim externo e dentro da estrutura, a estrutura é dividida em dois compartimentos separados à prova de fogo: o primeiro é o arquivo (Z_3) e o segundo são os escritórios juntos com o centro de informática (Z_4 e Z_5), em todas as zonas internas, Z_3 , Z_4 e Z_5 , há sistemas internos conectados à energia assim como às linhas de sinais e não há nenhuma blindagem espacial.

Dessa forma os dados para a casa e redondeza são dados na tabela B.1. Os dados para as linhas que adentram e seus sistemas internos conectados são dados pela tabela B.2 para a linha de energia e na Tabela B.3 para linhas de sinais. Os valores utilizados na zona Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 e Z_5 são apresentados respectivamente na tabela B.5, B.6, B.7, B.8 e B.9.

Esses valores foram inseridos na ferramenta para realizar a comparação entre os resultados apresentados na norma e os resultados calculados na ferramenta as discussões sobre os resultados obtidos serão apresentadas no próximo capítulo.

4 Resultados

Neste capítulo serão apresentados a ferramenta e como utiliza-la, em seguida, os estudos dos casos apresentados na NBR 5419-2.

Após realizar o levantamento dos dados necessários para realizar o cálculo de risco (esses parâmetros podem ser vistos no apêndice A e B deste trabalho) o usuário irá fazer o preenchimento desses dados na ferramenta, como podemos ver na figura 18 existem dois tipos diferentes de campos de preenchimento, os campos destacados em azul são os campos atrelados a uma tabela com valores, onde o usuário, irá apenas selecionar a opção que se encaixa com a característica da estrutura. Nos campos em vermelho o usuário deve preencher manualmente o valor correspondente aquele campo.

Figura 18: Aba com as características da estrutura

Fonte: Autoria própria

Essa forma de preenchimento se repete em todas as abas da ferramenta que estão divididas da seguinte forma: a primeira é a aba apresentada na figura 18 que é a aba com as características gerais da estrutura, a segunda aba mostrada na figura 19 é onde os valores relacionados as linhas de energia que adentram a estrutura estão localizados, a terceira aba mostrada na figura 20 é análoga a última porém estes valores são relacionados as linhas de telecom, as próximas 5 abas são onde os valores relacionados a cada zona são preenchidos (figura 21) e na última aba é onde os resultados são apresentados (figura 22).

Figura 19: Aba com as características da linha de energia

Linha de Energia

Tensão Suportável: 2,50

Linha de Energia(m): 200

Tipo da Linha - Tabela A.3: Linha de energia ou sinal

Ambiente - Tabela A.4: Rural

Tipo de linha externa - Tabela B.4: Linha enterrada não blindada

Instalação - Tabela A.2: Aéreo

Tensão suportável UW em kV: 2,50

Condições do roteamento, blindagem e interligação - Tabela B.8: Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencializaç...

Rs: -

Fonte: Autoria própria

Figura 20: Aba com as características da linha de telecom

Linha de Sinal

Linha de Sinal (m): 1000

Tensão Suportável: 1,50

Tipo da Linha - Tabela A.3: Linha de energia ou sinal

Ambiente - Tabela A.4: Rural

Tipo de linha externa - Tabela B.4: Linha aérea não blindada

Instalação - Tabela A.2: Enterrado

Tensão suportável UW em kV: 1,50

Condições do roteamento, blindagem e interligação - Tabela B.8: Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do e...

Rs: -

Fonte: Autoria própria

Figura 21: Aba padrão com as características das zonas

Fator de Zona 1

Tipo de superfície - Tabela C.3
Marmore, cerâmica

Risco - Tabela C.5
Incêndio

Tipo de fiação interna (Energia) - Tabela B.5
Todos

Medida de proteção na estrutura - Tabela B.1
Nenhuma medida de proteção

Nível de risco
☐ Alto
☐ Baixo
☐ Normal

Tipo de fiação interna (Sinal) - Tabela B.5
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no ...

Tipo de perigo especial - Tabela C.6
Sem perigo especial

Medida de proteção na linha - Tabela B.6
Todos

Proteção contra incêndio - Tabela C.4
Nenhuma providência

Tipo da estrutura - Tabela C.2
Todos os tipos

Nível de Proteção DPS (energia) - Tabela B.3
Nenhum sistema de DPS coordenado

Tipo da estrutura - Tabela C.2
Industrial, comercial

Nível de Proteção do DPS (sinal) - Tabela B.3
Nenhum sistema de DPS coordenado

Nº de Pessoas na Zona
4

Nº de Pessoas na Estrutura
200

Tempo de Presença na Zona
8760

Wm2
8,30

Tipo da estrutura - Tabela C.2
☐ Outras partes de hospital
☐ Risco de explosão
☐ Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital

Z1 Ativa?
☐ Não
☒ Sim

Fonte: Autoria própria

Figura 22: Janela de resultados

Zona 1	0,00 RA	0,00 RB	0,00 RU	0,00 RV	0,00 R1
Zona 2	0,00 RA(z2)	0,00 RB(z2)	0,00 RU(z2)	0,00 RV(z2)	0,00 R1(z2)
Zona 3	1,10E-9 RA(z3)	4,39E-5 RB(z3)	1,12E-9 RU(z3)	4,48E-5 RV(z3)	8,87E-5 R1(z3)
Zona 4	8,79E-9 RA(z4)	3,52E-6 RB(z4)	8,96E-9 RU(z4)	3,58E-6 RV(z4)	7,12E-6 R1(z4)
Zona 5	7,69E-... RA(z5)	3,08E-7 RB(z5)	7,84E-... RU(z5)	3,14E-7 RV(z5)	6,23E-7 R1(z5)
Total	1,07E-8	4,78E-5	1,09E-8	4,87E-5	9,65E-5

Fonte: Autoria própria

Uma última consideração é que, nas abas correspondentes as características das zonas o campo destacado na figura 12, funciona como uma forma de zerar os valores daquela zona em específico, para evitar qualquer valor adicionado a mais sem que aquela zona esteja sendo utilizada pelo usuário.

No primeiro caso apresentado na norma que é um cálculo de risco relacionado a uma casa de campo neste caso a tabela 29 apresenta o resultado da norma e a figura 23 apresenta o resultado obtido na ferramenta. Os parâmetros utilizados para os cálculos são apresentados no apêndice A.

Tabela 29: Casa de campo: risco R_1 para estrutura não protegida (valores $\times 10^{-5}$).

Tipo de danos	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D1 Ferimento	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	R_U		0,002	0,002
D2 Danos físicos	R_B		0,103	0,103
	R_V		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		$R_T = 1$

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Figura 23: Resultados da ferramenta no primeiro caso.

← Zona 1	1,03E-9 RA	1,03E-6 RB	2,40E-8 RU	2,40E-5 RV	2,51E-5 R1
Zona 2	0,00 RA(z2)	0,00 RB(z2)	0,00 RU(z2)	0,00 RV(z2)	0,00 R1(z2)
Zona 3	0,00 RA(z3)	0,00 RB(z3)	0,00 RU(z3)	0,00 RV(z3)	0,00 R1(z3)
Zona 4	0,00 RA(z4)	0,00 RB(z4)	0,00 RU(z4)	0,00 RV(z4)	0,00 R1(z4)
Zona 5	0,00 RA(z5)	0,00 RB(z5)	0,00 RU(z5)	0,00 RV(z5)	0,00 R1(z5)
Total	1,03E-9	1,03E-6	2,40E-8	2,40E-5	2,51E-5

Fonte: Autoria Própria

O segundo caso, é um edifício de escritórios com um arquivo, escritórios e um centro de informática neste os resultados apresentados pela norma são apresentados na tabela 30, e o resultado da ferramenta é apresentado na figura 24. Os parâmetros utilizados para os cálculos são apresentados no apêndice B.

Tabela 30: Edifício de escritórios: risco R1 para estruturas não protegidas (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	RA	0,002	0	≈ 0	0,001	≈ 0	0,003
	RU			≈ 0	0,001	≈ 0	0,001
D2 Danos físicos	RB			4,395	0,352	0,031	4,778
	RV			4,480	0,358	0,031	4,870
Total		0,002	0	8,876	0,712	0,062	R1 = 9,65
Tolerável		R1 > RT: proteção contra descargas atmosférica é necessária					RT = 1

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Figura 24: Resultados da ferramenta no segundo caso.

← Zona 1	2,20E-8 RA	(Em br... RB	(Em br... RU	(Em br... RV	2,20E-8 R1
Zona 2	0,00 RA(z2)	(Em br... RB(z2)	(Em br... RU(z2)	(Em br... RV(z2)	0,00 R1(z2)
Zona 3	1,10E-9 RA(z3)	4,39E-5 RB(z3)	1,12E-9 RU(z3)	4,48E-5 RV(z3)	8,87E-5 R1(z3)
Zona 4	8,79E-9 RA(z4)	3,52E-6 RB(z4)	8,96E-9 RU(z4)	3,58E-6 RV(z4)	7,12E-6 R1(z4)
Zona 5	7,69E-... RA(z5)	3,08E-7 RB(z5)	7,84E-... RU(z5)	3,14E-7 RV(z5)	6,23E-7 R1(z5)
Total	3,26E-8	4,78E-5	1,09E-8	4,87E-5	9,65E-5

Fonte: Autoria própria.

A norma ainda apresenta um outro caso relacionado à um hospital, porém, como já mencionado no capítulo anterior, por se tratar de um caso mais complexo as limitações da plataforma utilizada para construção da ferramenta, impedem que esse caso seja calculado da forma correta.

Com esses dados apresentados, podemos fazer a comparação entre os valores, onde vemos que, os valores apresentados na ferramenta são muito próximos aos valores apresentados na norma, de forma que, ao utilizar as mesmas métricas, tanto de arredondamento quanto de notação científica, os valores apresentados são exatamente iguais.

A ferramenta além de calcular corretamente os valores ela ainda atinge o seu objetivo principal de ser uma ferramenta simples e de fácil uso para o cálculo do gerenciamento de risco que normalmente seria um cálculo difícil por ser extensivo com muitas variáveis e formulas a serem calculadas.

5 Conclusões

Na versão final a aplicação conta com cinco zonas para cálculo de suas componentes. No que diz respeito aos valores ao realizar testes com os exemplos presentes na norma (ABNT – NBR 5419-2 2015) para ambos os casos de uma única zona quanto para zonas múltiplas os resultados foram correspondentes como vistos no capítulo anterior.

A ferramenta se destaca por ser fácil de se utilizar, com uma interface interativa, que realiza todo o cálculo sem a necessidade de o usuário lidar com a grande quantidade de tabelas e cálculos necessários para realizar o cálculo de risco. Para ser utilizada em outros dispositivos, basta que o usuário baixe a plataforma *PowerBI* e pegue uma cópia do arquivo da ferramenta. Por outro lado, para inserir mais zonas, ou modificar de alguma outra forma o arquivo, será necessário que o usuário também tenha uma cópia das tabelas utilizadas originalmente como base de dados.

Nas considerações finais vale ressaltar o fato que, há uma limitação nos valores de entrada do usuário já que a função responsável por os criar tem um valor de passo limitado de até 1000 intervalos onde em alguns casos pode gerar uma perda de precisão e que para implementação de outras zonas foi necessário além de alterar a nomenclatura dos parâmetros e configurações do software fez-se necessário o uso de diversas planilhas do *Excel* para que não houvesse um confronto de variáveis.

Por fim a aplicação mostrou o resultado esperado sendo uma ferramenta iterativa e de fácil uso que apesar das limitações impostas pela plataforma alcançou os resultados esperados onde há muita janela para melhorias já que, em versões pagas do *PowerBI* é possível tanto o compartilhamento em nuvem desse relatório como também o uso dele em aparelhos móveis além da implementação de mais zonas através de bancos de dados *online* e possíveis melhorias relacionadas a estruturas mais complexas como a do terceiro caso apresentado na norma.

Referências

[NBR 5419] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas”. Em: *Rio de Janeiro: ABNT* (2015).

[EBA] EBAOnline. *O que é power bi*. Disponível em: <<https://ebaonline.com.br/blog/o-que-epower-bi>> Acessado em 10/03/2024.

[GRE] Greenlegis, Saiba tudo sobre o Sistema De Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Disponível em: <<https://greenlegis.com.br/saiba-tudo-sobre-o-sistema-de-protecao-contradescargas-atmosfericas-spda/>> Acessado em 22/02/2025.

Apêndice A – Parâmetros do estudo de caso: Casa de Campo

Tabela A.1: Casa de campo: características da estrutura e meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		NG	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	15, 20, 6	
Fator de localização da Estrutura	Estrutura isolada	CD	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	KS_1	1	Equação (B.5)

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela A.2: Casa de campo: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		<i>LL</i>	1 000	
Fator de Instalação	Enterrada	<i>CI</i>	0,5	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha BT	<i>CT</i>	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	<i>CE</i>	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	<i>RS</i>	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	<i>CLD</i>	1	Tabela B.4
		<i>CLI</i>	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	<i>LJ, WJ, HJ</i>	–	
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	<i>CDJ</i>	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		<i>UW</i>	2,5	
	Parâmetros resultantes	<i>KS4</i>	0,4	Equação (B.7)
		<i>PLD</i>	1	Tabela B.8
		<i>PLI</i>	0,3	Tabela B.9

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela A.3: Casa de campo: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		LL	1 000 m	
Fator de Instalação	Aérea	CI	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de sinais	CT	1	Tabela A.3
Fator do ambiente	Rural	CE	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	RS	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	CLD	1	Tabela B.4
		CLI	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	LJ, WJ, HJ	–	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	CDJ	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		UW	1,5	
	Parâmetros resultantes	$KS4$	0,67	Equação (B.7)
		PLD	1	Tabela B.8
		PLI	0,5	Tabela B.9

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela A.4: Casa de campo: fator válido para a zona Z2 (dentro da casa)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10-5	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10-3	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (laço dos condutores em um mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS Coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços $> 10m^2$)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS Coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10-2	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10-1	
		D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	—	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8$ $760 = 5/5 \times 8$ $760/8$ 760	—	1	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Apêndice B – Parâmetros do estudo de caso: Edifício de escritórios

Tabela B.1: Edifício de escritórios: características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)		<i>NG</i>	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		<i>L, W, H</i>	20, 40, 25	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	<i>CD</i>	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	<i>PB</i>	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	<i>PEB</i>	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	<i>KS1</i>	1	Equação (B.5)

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.2: Edifício de escritórios: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento m		<i>LL</i>	200	
Fator de instalação	Aéreo	<i>CI</i>	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha BT	<i>CT</i>	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	<i>CE</i>	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	<i>RS</i>	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	<i>CLD</i>	1	Tabela B.4
		<i>CLI</i>	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	<i>LJ, WJ, HJ</i>	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	<i>CDJ</i>	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas Internos (kV)		<i>UW</i>	2,5	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.3: Edifício de escritórios: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		<i>LL</i>	1 000	
Fator de instalação	Enterrada	<i>CI</i>	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de sinal	<i>CT</i>	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	<i>CE</i>	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	<i>RS</i>	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	<i>CLD</i>	1	Tabela B.4
		<i>CLI</i>	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	<i>LJ, WJ, HJ</i>	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	<i>CDJ</i>	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos kV		<i>UW</i>	1,5	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.4: Edifício de escritórios: distribuição das pessoas nas zonas

Zona	Número de pessoas	Tempo da presença
Z1 (entrada área fora da edificação)	4	8 760
Z2 (jardim externo)	2	8 760
Z3 (arquivo)	20	8 760
Z4 (escritórios)	160	8 760
Z5 (centro de informática)	14	8 760
Total	<i>nt</i> = 200	–

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.5: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z1 (entrada da área externa)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Supefície do piso	Mármore	<i>rt</i>	₁₀ –3	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	<i>PTA</i>	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	<i>rf</i>	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	<i>rp</i>	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	<i>KS2</i>	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	<i>hz</i>	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	<i>LT</i>	₁₀ –2	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	<i>LF</i>	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	<i>LO</i>	–	
Fator para pessoas na zona	$nz/nt \times tz/8\,760 = 4/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,02	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.6: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z2 (jardim externo)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso	Gramma	<i>rt</i>	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	cerca	<i>PTA</i>	0	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	<i>rf</i>	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	<i>rp</i>	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	<i>KS2</i>	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	<i>hz</i>	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	<i>LT</i>	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	<i>LF</i>	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	<i>LO</i>	–	
Fator para pessoas na zona	$nz/nt \times tz/8\,760 = 2/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,01	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.7: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z3 (arquivos)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	<i>rt</i>	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	<i>PTA</i>	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	<i>PTU</i>	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Alto	<i>rf</i>	10^{-1}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	<i>rp</i>	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	<i>KS2</i>	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	<i>KS3</i>	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	<i>PSPD</i>	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços >10 m ²)	<i>KS3</i>	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	<i>PSPD</i>	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo panico	<i>hz</i>	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	<i>LT</i>	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	<i>LF</i>	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	<i>LO</i>	–	
Fator para pessoas em perigo		$nz/nt \times tz/8\,760 = 20/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,10	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.8: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z4 (escritórios)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	rt	10–5	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	PTA	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	PTU	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	rf	10–3	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	rp	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	$KS2$	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	$KS3$	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	$KS3$	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo pânico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10–2	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 160/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,80	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Tabela B.9: Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z5 (centro de informática)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	rt	10-5	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	PTA	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	PTU	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	rf	10-3	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	rp	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	$KS2$	1	Equação (B.6)
Energia	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	$KS3$	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	$PSPD$	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	$KS3$	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	$PSPD$	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo pânico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10-2	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_0	-	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 14/200 \times 8\,760/8\,760$	-	0,07	

Fonte: NBR 5419-2 (ABNT, 2015).