

INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* ITABIRITO

ENGENHARIA ELÉTRICA

Jonas Heraldo Rosendo Leite

**PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA UMA INDÚSTRIA
DE ANÁLISE MINERAL: ESTUDO DE CASO**

Itabirito
Agosto de 2024

Jonas Heraldos Rosendo Leite

**PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA UMA INDÚSTRIA
DE ANÁLISE MINERAL: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Itabirito, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Profa. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Lages dos Santos

**Itabirito
Agosto de 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

L533p Leite, Jonas Heraldo Rosendo
2024

Proteção contra descargas atmosféricas para uma indústria de análise mineral: estudo de caso / Jonas Heraldo Rosendo Leite. – 2024.

100 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito, 2024.

Orientadora: Dra. Cláudia Rejane de Mesquita.

Coorientador: Dr. Adriano Lages dos Santos.

1. Descargas atmosféricas. 2. Raios. 3. SPDA. 4. NBR 5419-2015. 5. Gerenciamento de risco. I. Leite, Jonas Heraldo Rosendo. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito. III. Título.

CDD 621.317

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Itabirito
Diretoria de Ensino
Docentes do Campus Avançado Itabirito
Rua José Benedito, 139 - Bairro Santa Efigênia - CEP 35450-000 - Itabirito - MG
- www.ifmg.edu.br

Ata da Defesa de TCC, realizada em 16 de Agosto de 2024

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA UMA INDÚSTRIA DE ANÁLISE MINERAL: ESTUDO DE CASO

Jonas Heraldo Rosendo Leite

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Avançado Itabirito para a obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Aprovado em 16/08/2024 pela banca examinadora:

Profa. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita (IFMG)
Orientador (presidente da banca avaliadora)

Prof. Dr. Adriano Lages dos Santos
Coorientador

Prof. Dr. Eduardo José de Araújo (IFMG)
Membro avaliador

Prof. Me. Helvécio de Almeida Júnior (IFMG)
Membro avaliador



Documento assinado eletronicamente por **Cláudia Rejane de Mesquita, Professora**, em 16/08/2024, às 18:55, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Helvécio de Almeida Junior, Professor**, em 16/08/2024, às 18:55, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Lages dos Santos, Professor**, em 16/08/2024, às 18:55, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo José de Araújo, Professor**, em 16/08/2024, às 18:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2007078** e o código CRC **030F169C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me manter forte e não me deixar desistir durante os momentos difíceis, aos meus pais Marcelo e Sonira, pela dedicação e por me ensinar a sempre seguir o caminho dos estudos, aos meus irmãos Sara e Thales (*In memoriam*) por sempre me apoiarem, a minha namorada Ana Luiza pelo carinho e apoio ao longo da trajetória, e o DM Corp. por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, tornando a vida mais leve. Agradeço também à minha orientadora Cláudia Mesquita e ao meu coorientador Adriano Santos pelo suporte, orientação, paciência e incentivo durante toda a jornada acadêmica.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

A incidência de descargas atmosféricas em edificações e sistemas elétricos pode causar danos físicos e financeiros significativos, além de representar um risco à vida humana. Esses perigos são especialmente elevados em regiões com alta frequência de descargas atmosféricas, como o estado de Minas Gerais.

Devido a essa alta incidência, é importante que as construções e as infraestruturas estejam preparadas para lidar com as descargas elétricas, implementando medidas de segurança e precaução para minimizar os riscos. Dessa forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 5419, estabelece as diretrizes para o projeto, instalação e manutenção do sistema de proteção contra descarga atmosférica.

Este trabalho aborda um estudo de caso na empresa localizada no município de Ouro Preto que não possui Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). O principal objetivo do presente trabalho é analisar e propor medidas de proteção contra os danos decorrentes de incidências de descargas nas instalações da empresa.

As principais realizações incluem a análise de risco e o desenvolvimento de um projeto coordenado de proteção contra surtos. A implementação dessa proposta visa reduzir os danos e prejuízos financeiros da empresa, que atualmente lida com um número significativo de problemas causados por descargas atmosféricas.

Palavras-chave: Descarga atmosférica, raio, SPDA, NBR 5419-2015, gerenciamento de risco, estudo de caso, coordenação de DPS.

ABSTRACT

The incidence of lightning strikes on buildings and electrical systems can cause significant physical and financial damage, in addition to posing a risk to human life. These dangers are especially elevated in regions with a high frequency of lightning strikes, such as the state of Minas Gerais.

Due to this high incidence, it is important that buildings and infrastructures are prepared to handle lightning strikes by implementing safety and precautionary measures to minimize risks. In this context, the Brazilian Association of Technical Standards, through NBR 5419, establishes guidelines for the design, installation, and maintenance of lightning protection systems.

This study focuses on a company located in the Ouro Preto city that does not have a Lightning Protection System (LPS). The main objective of this work is to analyze and propose protective measures against damage resulting from lightning strikes on the company's facilities.

The main achievements include the risk analysis and the development of a coordinated surge protection plan. The implementation of this proposal aims to reduce the company's damages and financial losses, which currently face a significant number of problems caused by lightning strikes.

Keywords: Atmospheric discharge, lightning, SPDA, NBR 5419-2015, risk management, case study, surge protection coordination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Número de registros de descargas 2018/2019 do sistema INPE.....	19
Figura 2 Fases da formação de uma descarga elétrica.....	24
Figura 3 Elementos que compõe o SPDA	25
Figura 4 Exemplo de DPS classe I/II da marca Clamper	31
Figura 5 Imagem de satélite Empresa em estudo	37
Figura 6 Densidade de descargas atmosféricas NG – Região Sudeste.....	38
Figura 7 Zona 1 do Galpão 1	39
Figura 8 Zona 2 do Galpão 1	39
Figura 9 Zona 3 do Galpão 1	40
Figura 10 Áreas de exposição equivalentes.....	46
Figura 11 Exemplo de planificação de uma estrutura	47
Figura 12 Zona 1 do Galpão 2.....	63
Figura 13 Zona 2 do Galpão 2.....	63
Figura 14 Zona 3 do Galpão 2.....	64
Figura 15 Exemplo de coordenação de DPS	71
Figura 16 Esquema do DPS inserido em um circuito.....	73

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 Análise da gestão de risco.....	34
Fluxograma 2 Análise da coordenação dos DPS.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Descrição das categorias de EMC do inversor de frequência CFW08	72
--------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Informações dos equipamentos danificados por descarga atmosférica 2022/2023 ...	20
Tabela 2 Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com ponto de impacto	29
Tabela 3 Valores típicos de risco tolerável.....	37
Tabela 4 Distribuição de pessoas por zona Galpão 1	40
Tabela 5 Características da Estrutura e Meio Ambiente	40
Tabela 6 Características relativas à linha de energia elétrica	41
Tabela 7 Características relativas à linha de sinais.....	42
Tabela 8 Características resultantes das zonas Z1	42
Tabela 9 Características resultantes das zonas Z2.....	43
Tabela 10 Características resultantes das zonas Z3.....	44
Tabela 11 Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas.....	48
Tabela 12 Número anual de eventos perigosos esperados	50
Tabela 13 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1	53
Tabela 14 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z2	53
Tabela 15 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z3	53
Tabela 16 Risco R1 Galpão 1– sem medidas de proteção (valores x 10 ⁻⁵)	62
Tabela 17 Distribuição de pessoas por zona Galpão 2	64
Tabela 18 Características da Estrutura e Meio Ambiente Galpão 2.....	64
Tabela 19 Características relativas à linha de energia elétrica Galpão 2.....	65
Tabela 20 Características relativas à linha de sinais Galpão 2	65
Tabela 21 Características resultantes das zonas Z1 Galpão 2	66
Tabela 22 Características resultantes das zonas Z2 Galpão 2	67
Tabela 23 Características resultantes das zonas Z3 Galpão 2	67
Tabela 24 Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas.....	68
Tabela 25 Número anual de eventos perigosos esperados Galpão 2.....	69
Tabela 26 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1- Galpão 2	69
Tabela 27 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z2 - Galpão 2	69
Tabela 28 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z3 - Galpão 2	69
Tabela 29 Risco R1 Galpão 2 – sem medidas de proteção (valores x 10 ⁻⁵)	70
Tabela 30 Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (220/127).....	73
Tabela 31 Valor mínimo de U _C exigível do DPS, em função do esquema de aterramento.....	74
Tabela 32 Suportabilidade a impulso exigível dos componentes de instalação	75
Tabela 33 Parâmetros mínimos para o DPS classe 1.....	75
Tabela 34 Características DPS classe 1 Clamper	77
Tabela 35 Características técnicas DPS classe 1 Clamper	77
Tabela 36 Compilação das informações DPS classe 1	78
Tabela 37 Parâmetros mínimos para o DPS classe 2.....	79
Tabela 38 Características DPS classe 2 Clamper	79
Tabela 39 Características técnicas DPS classe 2 Clamper	80
Tabela 40 Compilação das informações DPS classe 2	80
Tabela 41 Parâmetros mínimos para o DPS classe 3.....	81
Tabela 42 Características DPS classe 3 Metaltex.....	81
Tabela 43 Compilação das informações DPS classe 3	81
Tabela 44 Características DPS Ethernet Clamper	83
Tabela 45 Características DPS telefonia Clamper.....	84

Tabela 46 Características DPS antena Clamper	85
Tabela 47 Custo dos DPS necessários para a empresa em estudo.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

A_D - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada

A_{DJ} - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente

A_I - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha

A_L - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha

A_M - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura

C_D - Fator de localização

C_{DJ} - Fator de localização de uma estrutura adjacente

C_E - Fator ambiental

C_I - Fator de instalação de uma linha

CL - Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção

C_{LD} - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha

C_{LI} - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha

$D1$ - Ferimentos a seres vivos por choque elétrico

$D2$ - Danos físicos

$D3$ - Falhas de sistemas eletroeletrônicos

H - Altura da estrutura

I_{imp} - Corrente de impulso, ou seja, a corrente conduzida pelo raio que o DPS suporta sem sofrer danos

I_{MAX} - Este é o valor máximo de corrente que o DPS pode suportar sem ser danificado

I_n - Este é valor nominal da corrente que o DPS suporta

K_{S1} - Fator que leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura

K_{S2} - Fator que leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura

K_{S3} - Fator que leva em consideração as características da fiação interna

K_{S4} - Fator que leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido

L - Comprimento da estrutura

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_F - Perda em uma estrutura devido a danos físicos

L_M - Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)

L_O - Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos

L_T - Perda devido a ferimentos por choque elétrico

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_I - Perda de vida humana

L_2 - Perda de serviço ao público

L_3 - Perda de patrimônio cultural

L_4 - Perda de valor econômico

N_D - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura

N_{DJ} - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente

N_G - Densidade de descargas atmosféricas para a terra

N_I - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha

N_L - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha

N_M - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura

n_z - Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)

n_t - Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado

P - Probabilidade de danos

P_A - Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

P_B - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

P_C - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)

P_{TA} - Probabilidade de reduzir PA dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo

P_U - Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

P_V - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

P_W - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)

P_X - Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura) P_Z - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

r_t - Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo

r_f - Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio

r_p - Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio

R - Risco

R_A - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)

R_B - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)

R_C - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)

R_M - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

R_S - Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo

R_T - Risco tolerável

R_U - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)

R_V - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)

R_W - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)

R_X - Componente de risco para uma estrutura

R_Z - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

R_1 - Risco de perda de vida humana em uma estrutura

R_2 - Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura

R_3 - Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura

R_4 - Risco de perda de valor econômico em uma estrutura

S_1 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura

S_2 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura

S_3 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha

S_4 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha

t_z - Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso

U_C - Refere-se à máxima tensão eficaz (RMS) ou contínua (CC) que pode ser aplicada continuamente ao DPS

U_P - Máxima tensão de impulso atingida nos terminais de um DPS antes que ele atue

W - Largura da estrutura

Z_S - Zonas de uma estrutura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivos	19
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>19</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>
1.2	Justificativa.....	20
<i>1.2.1</i>	<i>Danos em equipamentos eletroeletrônicos.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Estimativa de danos total da empresa.....</i>	<i>21</i>
1.3	Organização do texto.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	Definições	22
2.2	Origem da descarga atmosférica.....	22
2.3	Sistema de proteção contra descarga atmosférica – SPDA	24
<i>2.3.1</i>	<i>Subsistema de captores.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Subsistemas de descidas</i>	<i>25</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Subsistemas de aterramento.....</i>	<i>26</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Gerenciamento de risco.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.4.1</i>	<i>Fonte de danos</i>	<i>27</i>
<i>2.3.4.2</i>	<i>Tipo de danos</i>	<i>28</i>
<i>2.3.4.3</i>	<i>Tipo de perdas.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.4.4</i>	<i>Tipos de riscos.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.5</i>	<i>Dispositivo de proteção contra surtos – DPS.....</i>	<i>30</i>
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Levantamento de dados	32
3.2	Análise de risco	32
3.3	Implementação e coordenação de DPS.....	34
4	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO.....	37
4.1	Número anual de eventos perigosos decorrentes de descarga atmosférica (N_G).....	37
4.2	Avaliação Galpão 1.....	38
<i>4.2.1</i>	<i>Dados do Projeto.....</i>	<i>38</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Características da estrutura e do meio ambiente.....</i>	<i>40</i>
<i>4.2.3</i>	<i>Características relativas à linha de energia elétrica e sinais</i>	<i>41</i>
<i>4.2.4</i>	<i>Fatores relacionados com a zona Z1, Z2 e Z3.....</i>	<i>42</i>
<i>4.2.5</i>	<i>Determinação das áreas de exposição equivalentes da estrutura.....</i>	<i>44</i>
<i>4.2.6</i>	<i>Determinação das áreas de exposição equivalentes da linha de energia</i>	<i>45</i>

4.2.7	<i>Determinação das áreas de exposição equivalentes da linha de sinais</i>	47
4.2.8	<i>Número anual de eventos perigosos esperados</i>	48
4.2.9	<i>Parâmetros resultantes</i>	51
4.2.10	<i>Cálculo do risco R1</i>	54
4.3	Avaliação Galpão 2	62
4.3.1	<i>Dados do Projeto</i>	62
4.3.2	<i>Características da estrutura e do meio ambiente</i>	64
4.3.3	<i>Características relativas à linha de energia elétrica e sinais</i>	65
4.3.4	<i>Fatores relacionados com a zona Z1, Z2 e Z3</i>	66
4.3.5	<i>Determinação das áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas</i>	68
4.3.6	<i>Número anual de eventos perigosos esperados</i>	68
4.3.7	<i>Parâmetros resultantes</i>	69
4.3.8	<i>Cálculo do risco R1</i>	69
5	COORDENAÇÃO DE DPS NA EMPRESA EM ESTUDO	71
5.1	Parâmetros de um DPS	71
5.2	Projeto de coordenação de DPS	73
5.2.1	<i>Dimensionamento DPS classe 1</i>	74
5.2.2	<i>Dimensionamento DPS classe 2</i>	78
5.2.3	<i>Dimensionamento DPS classe 3</i>	80
5.2.4	<i>Disposição dos DPS de linha de energia elétrica na Empresa em estudo</i>	82
5.2.5	<i>Dimensionamento DPS linha de sinal</i>	82
5.2.5.1	<i>Dimensionamento do DPS de sinal de rede cabeada</i>	82
5.2.5.2	<i>Dimensionamento do DPS de sinal de telefonia</i>	83
5.2.5.3	<i>Dimensionamento do DPS de sinal antena</i>	84
5.3	Custos dos protetores de surtos	85
6	CONCLUSÃO	86
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXO A1 – TABELAS DA NBR5419/2015-2	90
	APÊNDICES A1 – ÁREA A_D DO GALPÃO 1	97
	APÊNDICES A2 – ÁREA A_D DO GALPÃO 2	98
	APÊNDICES A3 – ÁREA A_M DO GALPÃO 2	99
	APÊNDICES A4 – ESQUEMÁTICO DA COORDENAÇÃO DOS DPS	100

1 INTRODUÇÃO

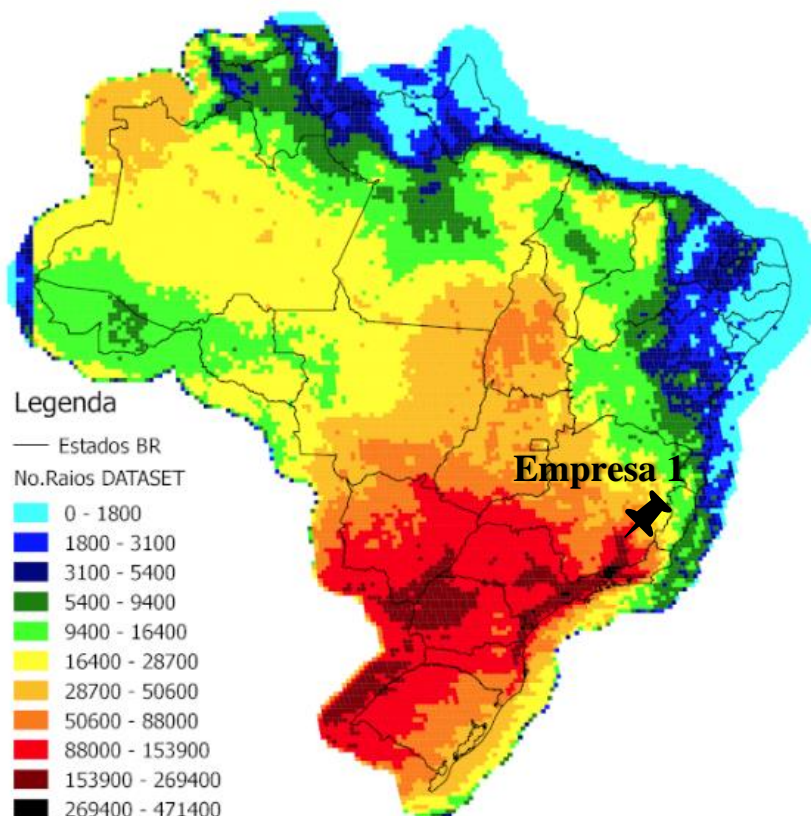
Uma descarga atmosférica, também chamada de raio, é um evento natural e súbito de liberação de energia elétrica que ocorre entre nuvens, dentro de uma única nuvem, entre nuvens e a superfície terrestre ou da nuvem para um ponto qualquer na atmosfera. Este fenômeno é marcado por uma corrente elétrica intensa que segue o percurso de menor resistência através do ar, resultando em um brilho luminoso e um som característico. Descargas atmosféricas podem acontecer durante tempestades elétricas e são acompanhadas por trovões.

É crucial enfatizar que, em relação ao vasto conjunto de investigações e análises realizadas ao longo deste século, subsistem muitos aspectos a serem esclarecidos, e até o presente momento, não foi alcançado nenhum progresso significativo na prevenção de descargas atmosféricas. Portanto, até agora, o foco tem sido primariamente na pesquisa e desenvolvimento de sistemas de proteção destinados a mitigar ou minimizar os riscos de danos, acidentes e perdas. Os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) têm passado por um processo contínuo de aprimoramento. No entanto, é importante salientar que ainda não foi alcançada uma proteção completa ou completamente eficaz contra descargas atmosféricas (Creder, 2006).

A quantidade de energia liberada durante uma descarga atmosférica é extremamente elevada e pode causar danos significativos a estruturas, sistemas elétricos, vegetação e também pode representar um perigo para a segurança de pessoas e animais. Por esta razão, medidas de proteção, como sistemas de para-raios e aterramentos apropriados, são empregadas para reduzir os impactos negativos das descargas atmosféricas.

O Brasil é um dos maiores países do mundo, com uma área territorial de 8,51 milhões de km², juntamente com a localização próxima ao Equador geográfico, fazem do Brasil um dos países de maior incidência de raios do mundo (INPE, 2020). Na Figura 1 apresenta as incidências de descargas atmosféricas em todo o Brasil.

Figura 1 Número de registros de descargas 2018/2019 do sistema INPE



Fonte: INPE (2019) adaptada

Na Figura 1 é possível ver a localização da empresa em estudo, denominada Empresa 1, situada em uma região de grande incidência de descargas atmosféricas. A justificativa do trabalho gira em torno da inexistência de SPDA nesse local, ocasionando grande risco para os trabalhadores que frequentam a localidade diariamente, além de não possuir um sistema de proteção para os equipamentos eletroeletrônicos, ocasionando prejuízo financeiro e baixa confiabilidade do sistema.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo de gerenciamento de risco conforme a NBR 5419:2015 para verificar a necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Adicionalmente, conduzir um estudo e proposta de coordenação dos protetores de surto, visando aumentar a confiabilidade das instalações contra surtos provenientes da rede.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento de dados dos problemas decorrentes da incidência de descargas na instalação e em seus equipamentos;

- Conduzir uma análise de risco para verificar a necessidade de SPDA nas estruturas da empresa em estudo;
- Estudar proposta de proteção contra danos advindos da ocorrência de descargas e dos surtos de tensão transmitidos para instalação, identificando equipamentos disponíveis no mercado para realizar a proteção;
- Avaliar os custos envolvidos na implementação dos dispositivos contra surtos.

1.2 Justificativa

O SPDA atenua os danos causados por descargas atmosféricas, tendo como finalidade proteger as construções, as pessoas ao redor e o que estiver em seu interior contra os efeitos térmicos, mecânicos e elétricos relacionados aos relâmpagos. Esse sistema opera de maneira a permitir que a descarga atmosférica seja direcionada para o solo utilizando as partes condutoras definidas pelo projeto, sem afetar seus ocupantes, evitando assim prejuízos ou acidentes.

Um sistema de proteção contra descargas também tem como função, mitigar os danos resultantes dos efeitos secundários dos raios, como, por exemplo a utilização de dispositivos de supressão de surtos. A atividade de raios nas proximidades de uma região, pode causar surtos de tensão, denominadas sobretensões ou transientes, que têm potencial para afetar linhas de energia, cabos de comunicação e dados, assim como equipamentos em geral (Cooray, 2010).

A empresa em estudo foi fundada em 1999, porém até o momento não foi feito um levantamento qualitativo e quantitativo sobre o valor monetário relacionado aos danos causados por descarga atmosférica. Para fins de estudos, obteve-se acesso às informações de manutenções realizadas nos equipamentos durante 12 meses, (25/10/2022 a 25/10/2023), relacionadas nos tópicos a seguir.

1.2.1 Danos em equipamentos eletroeletrônicos

Foram listados os equipamentos danificados após ocorrências de descargas atmosféricas. Na Tabela 2 estão sumarizados os dados levantados sobre o equipamento e o valor para reparo, afim de se conseguir quantificar o valor gasto no período estudado com despesas relacionadas à descarga atmosférica.

Tabela 1 Informações dos equipamentos danificados por descarga atmosférica 2022/2023

Equipamento	Marca	Modelo	Defeito	Valor do reparo	
Inversor 1	Delta	VFD037M23A	IGBT danificado no circuito de entrada.	R\$	1.400,00
Inversor 2	WEG	CFW080073B2024PSZ	Defeito na fonte e IGBT danificado	R\$	1.400,00
Inversor 3	WEG	CFW080026B2024PSZ	Defeito no circuito de fonte	R\$	600,00
Fonte 12V 3A	Nacional	12V3AP4	CI em curto	R\$	360,00
Total				R\$	3.760,00

Fonte: Do autor.

1.2.2 Estimativa de danos total da empresa

Para calcular o aumento médio do patrimônio de uma empresa, utiliza-se a taxa de crescimento anual composta (CAGR), para este cálculo foi utilizada a Equação abaixo (Costa, 2018):

$$CAGR = \left(\frac{\text{Patrimônio Final}}{\text{Patrimônia Inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Onde n, é o número de anos.

Considerando o período desde a inauguração da empresa e o CAGR de 5% ao ano, pôde-se estimar que os custos associados a equipamentos danificados devido a descargas atmosféricas totalizam R\$54.340,30. No entanto, essa cifra não abrange danos específicos, como a ocorrência em 2019 que resultou na queima do transformador principal, também causada por uma descarga atmosférica.

Se incorporarmos esse incidente, o montante global gasto em prejuízos decorrentes de descargas atmosféricas aumenta para R\$88.740,30. É importante notar que essa cifra não reflete os prejuízos adicionais relacionados à paralisação da produção durante os períodos de manutenção dos equipamentos danificados.

Até o momento, não houve incidentes envolvendo pessoas ou animais, seja por: descarga por contato, descarga para múltiplos pontos ou por tensão de passo, mas é de extrema importância o projeto de um sistema de proteção contra os danos adivinhos de descarga atmosférica para mitigar riscos de acidente para pessoas e animais.

1.3 Organização do texto

Neste capítulo são apresentados a motivação pela escolha do tema, o objetivo do trabalho e a estrutura do texto.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica abordando a descarga atmosférica e seus diferentes tipos, os fundamentos relacionados à análise de risco, ao SPDA e à proteção contra surtos.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia empregada para desenvolvimento desse trabalho, contendo os métodos utilizados para a confecção da avaliação da necessidade de SPDA para a empresa, bem como os métodos utilizados para a proposição de um sistema de coordenação de proteção contra surtos atmosféricos.

No capítulo 4 são apresentados os passos para a obtenção do nível de proteção exigido.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos a partir dos estudos de caso e a discussão desses resultados.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda informações importantes sobre descargas atmosféricas, assim como o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e a Norma Brasileira (NBR) 5419/2015.

2.1 Definições

Aqui estão algumas expressões da norma NBR-5419/2015 que são de grande importância para a compreensão do projeto:

- Descargas Atmosféricas - Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra, consistindo de um ou mais impulsos de vários kA;
- Raio - Um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra;
- Ponto de Impacto - Ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, uma estrutura ou SPDA;
Nota: uma descarga atmosférica pode ter vários pontos de impacto.
- Volume a proteger - Volume de uma estrutura ou região que se quer proteção contra os efeitos das descargas atmosféricas [...];
- Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) - Sistema completo destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. É composto de um sistema externo e de um sistema interno de proteção;
Nota: em casos particulares, o SPDA pode compreender unicamente um Sistema externo ou interno.
- Sistema externo de proteção Contra Descargas Atmosféricas - Sistema que consiste de captores, condutores de descida e de sistema de aterramento;
- Sistema Interno de proteção contra Descargas Atmosféricas - Conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger;
- Captores - Parte do SPDA externo destinado a interceptar as descargas atmosféricas;
- Condutor de Descida - Parte do SPDA externo e interno destinado a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o captor até o sistema de aterramento. Estes elementos podem também estar embutidos na estrutura;
- Sistema de aterramento - Parte do SPDA destinada a conduzir, e a dispersar a corrente de descarga atmosférica na terra. Nota: Em solos de alta resistividade, as instalações de aterramento podem interceptar correntes pelo solo, provenientes de descargas atmosféricas ocorridas nas profundidades. (ABNT 5419, 2015a, p.2).

2.2 Origem da descarga atmosférica

A partir do século XVIII, graças aos experimentos inovadores do cientista americano Benjamin Franklin (1706-1790), tornou-se conhecido que os relâmpagos são descargas elétricas resultantes do acúmulo de cargas elétricas em áreas específicas da atmosfera, frequentemente dentro de tempestades. Franklin comprovou a natureza elétrica dos relâmpagos por meio de seu célebre experimento com uma pipa, realizado em 1752 (INPE, 2012). Nesse experimento, uma pipa foi empinada e presa a um fio condutor em uma região próxima a uma nuvem de tempestade. A carga elétrica induzida na pipa se deslocava ao longo do fio, causando uma

pequena descarga entre uma chave colocada na extremidade do condutor e a mão de Franklin. Esse experimento de Franklin é considerado o ponto de partida para a investigação científica sobre os relâmpagos (INPE, 2012).

Experimentalmente, é possível observar que na maioria dos eventos atmosféricos, as cargas elétricas positivas predominam na região superior das nuvens, ao passo que as cargas elétricas negativas se concentram na parte inferior das nuvens, originando uma movimentação de cargas positivas na superfície terrestre diretamente sob as nuvens. Conseqüentemente, a carga positiva induzida na superfície do solo adquire o mesmo valor absoluto que a carga negativa presente na nuvem. À medida que a nuvem se desloca, a zona de cargas positivas na superfície terrestre acompanha esse movimento, comportando como um grande capacitor (Niskier, 2020).

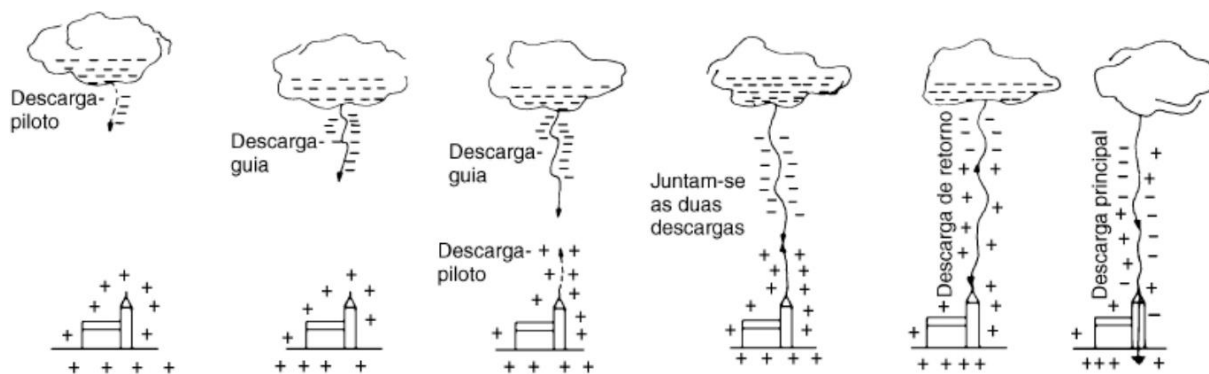
Portanto, surge uma diferença de potencial entre a nuvem e a superfície da Terra. No entanto, o ar possui uma alta rigidez dielétrica, o que impede a ocorrência de uma descarga entre eles. Contudo, quando o campo elétrico gerado por essas cargas ultrapassa a capacidade isolante do ar, ocorre o início de um rápido deslocamento de elétrons de áreas carregadas negativamente para áreas carregadas positivamente. De maneira geral, existem dois tipos de descargas atmosféricas: os que permanecem nas nuvens e os que atingem o solo. As descargas nas nuvens têm origem no interior das próprias nuvens e podem se propagar dentro delas (descargas intranuvens), se estender para outra nuvem (descargas de nuvem para nuvem) ou até se propagar para fora da nuvem, em uma direção qualquer (descargas para o ar). Os raios que atingem o solo podem originar-se dentro de uma nuvem (descargas de nuvem para solo) ou no próprio solo (descargas do solo para a nuvem).

Aproximadamente 70% de todas as descargas são classificadas como descargas intranuvem (INPE, 2012). No entanto, esses raios são menos reconhecidos devido ao fato de que geralmente se manifestam apenas como um breve clarão no céu. Em termos gerais, a descarga elétrica começa na parte inferior da região carregada negativamente, ramificando-se horizontalmente, e depois se estende para cima em direção à área de carga positiva, onde ocorrem novas ramificações horizontais. É importante notar que, em alguns casos, a descarga pode começar na parte superior da nuvem e se propagar para baixo, sendo chamadas de descargas intranuvem invertidas.

Na ocorrência da descarga nuvem-solo, inicialmente ocorre uma descarga elétrica dentro da nuvem, seguida por uma descarga descendente da nuvem para a terra, com uma intensidade relativamente baixa. À medida que essa descarga se aproxima da superfície terrestre, as cargas na terra começam a se acumular, aumentando o campo elétrico e levando à quebra da rigidez dielétrica do ar próximo ao solo. Isso resulta na formação de pequenas descargas ascendentes, chamadas de "líderes ascendentes". Quando um ou mais desses líderes ascendentes se encontram com o líder descendente, cria-se um caminho ionizado entre a nuvem e a terra, pelo qual uma corrente de alta intensidade, denominada "corrente de retorno", flui, conforme ilustrado na Figura 2. A corrente de retorno percorre áreas de gás não uniformes e segue um caminho ao longo de regiões de maior condutividade, que estão dispostas de maneira irregular, por este motivos os relâmpagos apresentam um padrão sinuoso.

A corrente da primeira descarga (descarga de retorno), pode atingir níveis superiores a 200.000 ampères (200 kA). A luz emitida pelo raio é resultado da alta temperatura do canal ionizado, que pode ser ainda mais quente do que a superfície do Sol (Niskier, 2020). O trovão é uma onda de pressão gerada pelo rápido aquecimento do canal ionizado durante a passagem da corrente de retorno e as descargas subsequentes, podendo ser ouvido a km de distância ou mais (INPE, [202-?]).

Figura 2 Fases da formação de uma descarga elétrica.



Fonte: (Niskier, 2020) adaptada.

As descargas mencionadas anteriormente, originárias da região negativa da nuvem, são conhecidas como descargas negativas e representam cerca de 90% das descargas para o solo. Em situações em que as nuvens estão mais próximas ao solo, é possível que ocorram descargas originadas na parte superior, onde estão concentradas as cargas positivas da nuvem. Essas descargas são chamadas de raios positivos e tendem a ser mais intensas (Visacro et al, 2003).

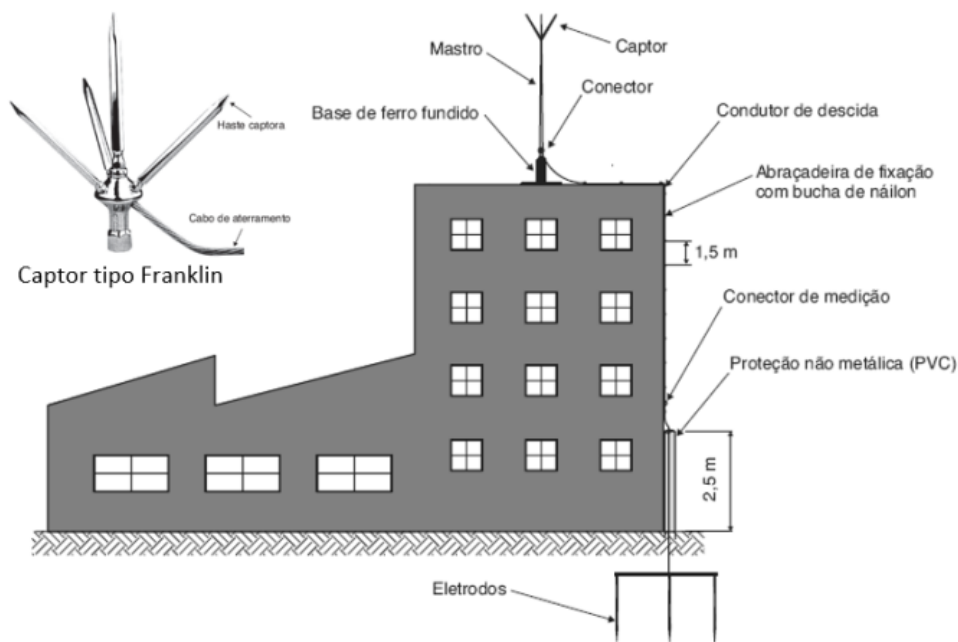
2.3 Sistema de proteção contra descarga atmosférica – SPDA

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é um sistema abrangente projetado para resguardar edificações ou estruturas dos impactos das descargas atmosféricas (Visacro et al, 2003). Em sua essência, o SPDA é composto por três subsistemas distintos que se interligam:

- Subsistema de Captura;
- Subsistema de Descidas;
- Subsistema de Aterramento.

Cada um desses subsistemas contém componentes que desempenham funções específicas, garantindo uma proteção eficaz contra os efeitos das descargas atmosféricas, conforme detalhado na Figura 3. Nessa figura, é possível visualizar o captor tipo Franklin, que simboliza o sistema de captura, o qual está conectado ao condutor de descida, representando o subsistema de descida, até chegar às hastes de aterramento, que simbolizam o subsistema de aterramento.

Figura 3 Elementos que compõe o SPDA



Fonte: (Mamede, 2023)

2.3.1 *Subsistema de captores*

São componentes condutores que ficam expostos e são projetados para interceptar descargas atmosféricas, geralmente situados na parte mais alta da construção, esses componentes podem consistir em uma, três ou mais pontas, geralmente feitas de aço inoxidável, fixadas em uma haste ou mastro que está preso a uma base isolante com capacidade para suportar uma tensão de até 10 kV (Niskier, 2020, p.268).

O captor tem a função de receber os raios, diminuindo a chance de eles atingirem diretamente a estrutura. Ele deve possuir resistência térmica e mecânica suficientes para suportar o calor e os esforços eletromecânicos gerados durante uma descarga atmosférica.

Existem duas categorias de captores (Creder, 2006, p.208):

- Captores Naturais são partes expostas da própria edificação que se deseja proteger, como tanques, telhas e telhas metálicas com espessura superior a 0,50 mm. Esses elementos são condutores naturais de descargas atmosféricas;
- Captores Não Naturais são componentes criados especificamente para essa finalidade, como hastes verticais, cabos horizontais ou dispositivos projetados para serem captadores, como o captor tipo Franklin. Esses elementos não fazem parte natural da estrutura e são instalados para proteção contra raios.

2.3.2 *Subsistemas de descidas*

Os condutores de descida são componentes que, quer estejam expostos ou não, garantem a continuidade elétrica entre os captores e o sistema de aterramento. Sua rota deve ser planejada

de maneira segura, a fim de evitar efeitos colaterais perigosos, como faíscas laterais e indução de corrente em condutores próximos. Portanto, é essencial que esses condutores sejam dispostos de forma a permitir que a corrente siga múltiplos caminhos em paralelo e que seu comprimento seja o mais curto possível (ABNT 5419, 2015c, p.14).

Da mesma forma que os captosres, os sistemas de descida podem ser classificados em duas categorias:

- Sistemas de Descida Naturais são condutores que fazem parte integrante da própria edificação e permitem o escoamento das correntes elétricas resultantes das descargas atmosféricas em direção ao sistema de aterramento. Isso pode incluir as estruturas metálicas da edificação, desde que possuam continuidade elétrica na direção vertical e suas seções atendam aos requisitos especificados em norma (ABNT 5419, 2015c, p.21).
- Sistema de descida não natural consiste em condutores adicionais especificamente instalados para esse fim, geralmente cabos de cobre ou alumínio, que são fixados ao longo da estrutura da edificação para garantir uma trajetória segura e eficiente da corrente do raio até os sistemas de aterramento.

Os condutores de descida devem ser dispostos de maneira a criar múltiplos trajetos garantindo equipotencialização de acordo com as diretrizes estabelecidas pela norma NBR5419:2015. De acordo com esta norma, é necessário considerar interconexões horizontais entre os condutores de descida, posicionadas ao nível do solo, em intervalos de 10 a 20 metros. Quanto maior o número de condutores de descida, dispostos com espaçamentos regulares, maior será a redução da probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas e faíscas perigosas. Isso, por sua vez, aprimora a proteção das instalações internas contra tais eventos.

2.3.3 Subsistemas de aterramento

Quando se trata da dissipação da corrente de uma descarga atmosférica em alta frequência para a terra, é crucial aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento para minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa. Desta forma, é fundamental buscar a menor resistência de aterramento viável, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo local.

Do ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma infraestrutura de aterramento integrada única é a escolha preferível e adequada. Ou seja, um eletrodo comum deve ser implementado para proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinais (telecomunicações, TV a cabo, dados etc.). Isso garante uma abordagem abrangente e eficaz para a segurança do sistema elétrico (ABNT 5419, 2015c, p.17).

Os componentes que integram o sistema de aterramento podem ser divididos em duas categorias: naturais e não naturais.

Os sistemas de aterramento naturais compreendem elementos metálicos incorporados nas fundações das edificações, fazendo parte intrínseca da estrutura. A presença de aço dentro do concreto, embora protegido, apresenta uma característica higroscópica que o torna um condutor com uma resistência relativamente baixa, proporcionando um aterramento eficaz e de qualidade (Bezerra, 2017, p. 30)

Por outro lado, os sistemas de aterramento não naturais consistem em elementos condutores que são enterrados de maneira horizontal, vertical ou inclinada, como as hastes de Copperweld. No caso de um eletrodo de aterramento em forma de anel, é necessário enterrá-lo a uma profundidade mínima de 0,5 metro e posicioná-lo a uma distância de aproximadamente 1 metro das paredes externas (ABNT 5419, 2015c, p.18). É de extrema importância que esses eletrodos sejam instalados de maneira que sua inspeção seja viável durante a fase de construção. Além disso, deve ser observado um espaço mínimo entre eles, correspondente ao comprimento das próprias hastes, para reduzir o efeito da indutância mútua.

2.3.4 Gerenciamento de risco

Na avaliação de um sistema de SPDA, é fundamental considerar os riscos envolvidos. O risco pode ser entendido como a perda média anual estimada de vidas e bens.

A norma NBR 5419-2:2015 tem como propósito fornecer procedimentos de cálculos e definições essenciais para determinar a necessidade, ou não, da implementação de medidas de proteção para uma estrutura. O gerenciamento de risco conforme a NBR 5419-2 envolve:

- Identificação de risco - reconhecer todos os possíveis riscos relacionados a descargas atmosféricas, incluindo riscos para pessoas, equipamentos, estruturas e a continuidade das operações;
- Avaliação de risco - utilizar métodos quantitativos para calcular o risco de dano. A norma fornece equações e parâmetros específicos para essa avaliação, considerando fatores como a densidade de raios na área, características das estruturas e sistemas de proteção existentes;
- Comparação com o risco tolerável - comparar o risco calculado com os valores de risco tolerável definidos pela norma. O risco tolerável é o nível de risco que pode ser aceito sem a necessidade de medidas adicionais de mitigação;
- Tomada de decisão - determinar se as medidas de proteção existentes são suficientes ou se há necessidade de implementar um SPDA ou melhorar o sistema atual. Esta decisão é baseada na comparação entre o risco calculado e o risco tolerável.

2.3.4.1 Fonte de danos

A principal fonte de danos corresponde ao fluxo da corrente de uma descarga atmosférica, sendo a severidade desse dano diretamente influenciada pelo local de impacto da descarga.

- S1 - descarga atmosférica que atinge diretamente a estrutura;
- S2 - descarga atmosférica que atinge áreas próximas à estrutura;
- S3 - descarga atmosférica que atinge a linha de energia elétrica, linha telefônica e cabo de internet;
- S4 - descarga atmosférica que atinge as proximidades da linha de energia elétrica, linha telefônica e cabo de internet.

2.3.4.2 *Tipo de danos*

De acordo com (Mamede, 2023, p588), os danos decorrentes de uma descarga atmosférica estão diretamente ligados à natureza da construção, seja ela em concreto armado, estrutura de aço ou construída com materiais inflamáveis, ao tipo de atividade realizada em seu interior e às medidas de proteção implementadas, como a instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS).

Os danos a serem considerados são:

- D1 - ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
- D2 - danos físicos;
- D3 - falhas de sistemas eletroeletrônicos.


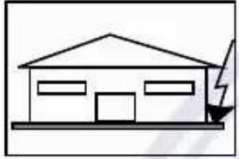
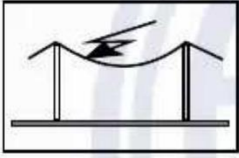
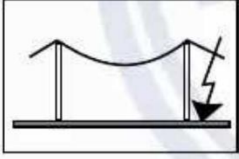
2.3.4.3 *Tipo de perdas*

Os tipos de perdas consideram o uso específico da estrutura e as atividades realizadas dentro dela.

- L1 - riscos de lesões em seres vivos devido a choques elétricos;
- L2 - possibilidade de interrupção de serviços públicos;
- L3 - potencial de danos ao patrimônio cultural;
- L4 - perdas econômicas, incluindo danos à estrutura e aos bens nela contidos.

Cada tipo de perda está vinculado a um tipo de dano originado de uma fonte específica. Contudo, nota-se que uma única fonte de descarga pode causar vários tipos de danos. Da mesma forma, um tipo de dano pode estar relacionado a diversos tipos de perdas. A Tabela 2 resume as correlações entre fontes de dano, tipos de dano e tipos de perdas.

Tabela 2 Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos. ^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.			

Fonte: (ABNT 5419, 2015b, p.15)

2.3.4.4 Tipos de riscos

Ao avaliar os riscos enfrentados pelas estruturas devido a eventos relacionados a descargas atmosféricas, há questões importantes que devem ser consideradas:

- R1 - risco de perda de vida humana, incluindo ferimentos;
- R2 - risco de perda de serviço público;
- R3 - risco de perda de patrimônio cultural (museus, monumentos históricos etc.);
- R4 - risco de perda de valores econômicos.

A Equação fundamental que avalia o nível de risco Equação (2.1), conforme detalhado na (ABNT 5419, 2015b, p. 24):

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \quad (2.1)$$

Onde:

R_x – componente de risco devido a um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica;

N_x – número de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas ocorridas no intervalo de um ano;

P_x – probabilidade de ocorrência de dano à estrutura;

L_x – perda consequente de um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica;

2.3.5 Dispositivo de proteção contra surtos – DPS

Os Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) são componentes essenciais em sistemas elétricos para proteger equipamentos sensíveis contra danos causados por picos de tensão repentinos, também conhecidos como surtos elétricos. Esses surtos podem ser originados por descargas atmosféricas, manobras na rede elétrica ou outras fontes de interferência (Niskier, 2020, p.41).

O DPS atua monitorando continuamente a tensão na rede elétrica e, quando detecta um surto de tensão, desvia a corrente excessiva para o solo, evitando que os equipamentos conectados ao sistema sejam danificados. Funciona como uma espécie de "válvula de segurança" que direciona a energia excessiva para fora do circuito, protegendo assim os dispositivos sensíveis.

Esses dispositivos são instalados em pontos estratégicos do sistema elétrico, como no painel de distribuição principal ou próximo aos equipamentos sensíveis, garantindo uma proteção abrangente. Além disso, os DPS precisam ser dimensionados corretamente de acordo com as características do sistema elétrico e os níveis de proteção necessários.

Em resumo, os DPS desempenham um papel fundamental na proteção dos equipamentos elétricos contra danos causados por surtos de tensão, contribuindo para a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos em diversos ambientes, desde residenciais até industriais.

Conforme descrito por Finder (2022, p. 5), os DPS são categorizados em três classes distintas: Classe I, destinada a conter surtos de tensão associados à totalidade ou parte da corrente de um raio; Classe II, projetada para proteger os equipamentos contra surtos de tensão; e Classe III, que desempenha um papel de terminação, mantendo uma baixa "tensão residual" (nível de proteção) suportada pelos equipamentos eletrônicos finais. Os termos "Classe" e "Tipo" são empregados sem distinção

A Figura 4 ilustra um DPS da marca *Clamper* sendo possível visualizar os parâmetros U_C , I_{MAX} , I_n e U_P que serão calculados posteriormente neste estudo.

Figura 4 Exemplo de DPS classe I/II da marca Clamper



Fonte: (Catalogo Clamper, p. 6)

Onde:

U_C – Refere-se à máxima tensão eficaz (RMS) ou contínua (CC) que pode ser aplicada continuamente ao DPS;

I_{MAX} – Este é o valor máximo de corrente que o DPS pode suportar sem ser danificado, segundo o fabricante (Margirius, p. 1) o DPS pode conduzir de uma ou duas vezes a corrente máxima ($I_{máx}$) sem se danificar;

I_n – Este é valor nominal da corrente que o DPS suporta, segundo o fabricante (Margirius, p. 1) um DPS pode conduzir entre 10 e 20 vezes a corrente nominal (I_n) sem se danificar;

I_{imp} – Valor referente a corrente de impulso, ou seja, a corrente conduzida pelo raio que o DPS suporta sem sofrer danos, está presente apenas nos DPS da classe I e da classe I/II;

U_P – Máxima tensão de impulso atingida nos terminais de um DPS antes que ele atue.

3 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido compreendeu basicamente três etapas: a primeira corresponde ao levantamento das características físicas, ambientais, estruturais e técnicas da empresa em estudo. Tal caracterização por sua vez permitiu o desenvolvimento da segunda etapa, correspondente a realização da análise de risco frente a descargas atmosféricas, com o objetivo de identificar a necessidade ou não da instalação de SPDA. A terceira etapa compreendeu o estudo e a proposição de uma proteção de surtos através de uma coordenação de Dispositivos Protetores de Surtos nas instalações da empresa.

3.1 Levantamento de dados

As informações sobre a densidade de descargas atmosféricas, conhecida como N_G , foram obtidas de acordo com a norma (ABNT 5419, 2015b, p.101). Este índice indica a quantidade anual de raios por quilômetro quadrado na região em análise. Na localização da empresa, o N_G é de aproximadamente 7 raios por quilômetro quadrado por ano.

As características elétricas e estruturais da empresa foram obtidas através de visitas e inspeções realizadas no local. A empresa é dividida em dois galpões onde são realizadas atividades de análise mineral. O galpão 1, com uma área construída de 1.778,47m², abriga os setores de laboratório químico, salas privadas para clientes, laboratório de mineralogia, laboratório de redução de amostras e vestiários.

O galpão 2, com uma área construída de 1.107,57m², é composto pela planta piloto, equipamentos destinados à separação e discriminação de partículas, sala de pesagem, restaurante, vestiário e setor administrativo.

Para realizar o levantamento do número de usuários nas dependências das instalações, foi realizada uma consulta ao departamento pessoal da empresa, que informou que o número atual de funcionários é 59. No entanto, a estrutura tem capacidade para abrigar até 179 funcionários, divididos em dois galpões. Para este trabalho, foi considerado a capacidade máxima de funcionários por estrutura, sendo 87 no galpão 1 e 92 no galpão 2, para a análise ser efetuada considerando o pior cenário.

3.2 Análise de risco

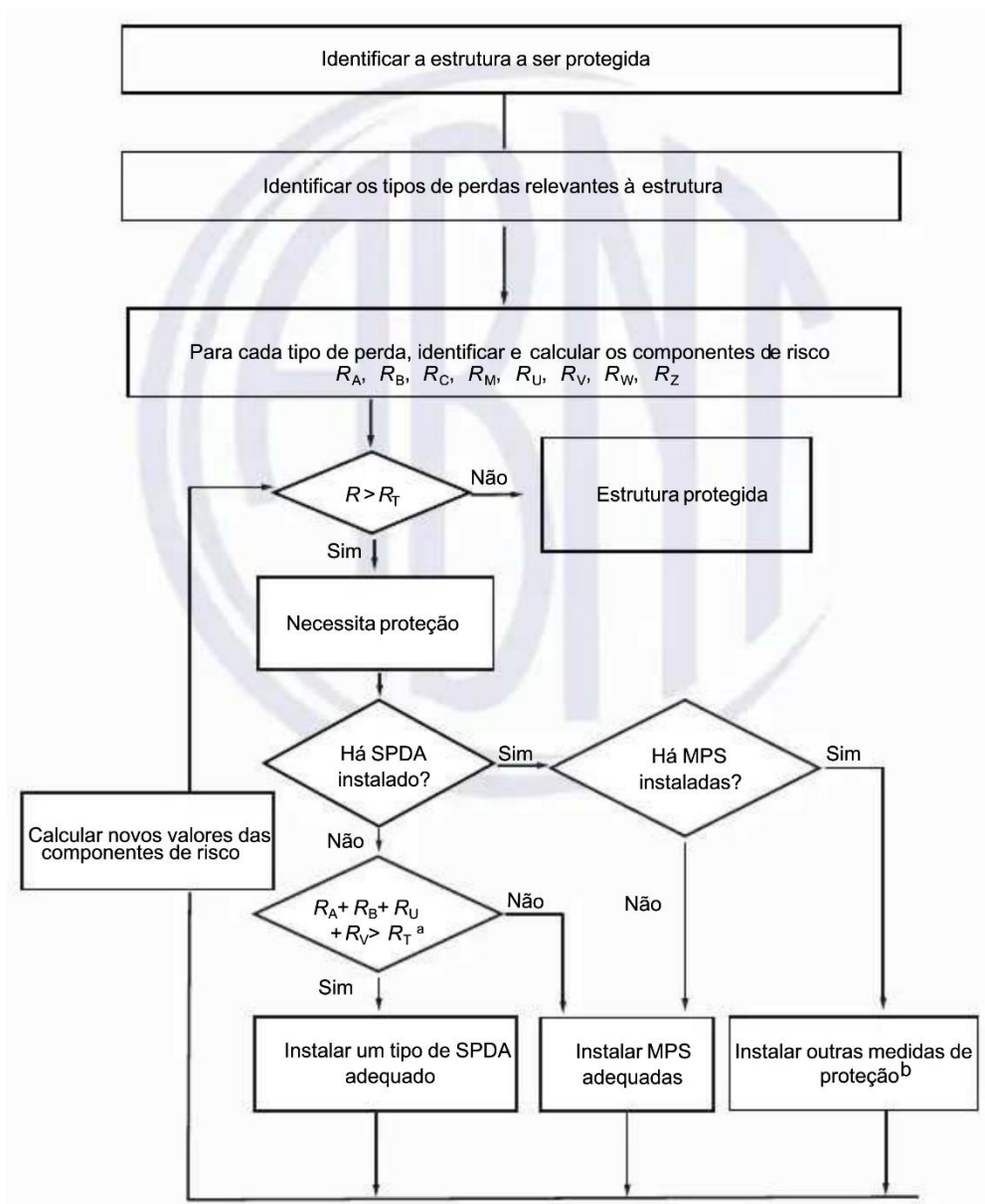
A análise de risco foi desenvolvida considerando diversos dados, como o número de pessoas que frequentam as instalações, o número médio de horas de permanência no local, a densidade de descargas atmosféricas na região, as dimensões das edificações, a caracterização da atividade laboral, o tipo de piso, a presença de extintores de incêndio e a existência de rotas de fuga.

Ao final do processo, é calculado o valor do risco denominado R1, que, ao ser comparado ao risco tolerável, permite determinar se a estrutura analisada necessita de medidas de proteções adicionais. Os procedimentos relativos à análise de risco estão ilustrados no

Fluxograma 1 conforme (ABNT 5419, 2015b, p.22), onde tem as principais etapas listadas a seguir:

1. Identificar a estrutura a ser protegida - O processo começa com a identificação da estrutura que precisa de proteção;
2. Identificar os tipos de perdas relevantes à estrutura - A próxima etapa é identificar os tipos de perdas que podem ocorrer na estrutura, como perdas físicas, econômicas, culturais, etc.;
3. Para cada tipo de perda, identificar e calcular os componentes de risco - Nesta etapa, são identificados e calculados os componentes de risco associados a cada tipo de perda. Estes componentes são representados por R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z ;
4. Comparação do risco total R com o risco tolerável R_T - O próximo passo é verificar se o risco total R (calculado somando os componentes de risco) é maior que o risco tolerável R_T . Se R for maior que R_T , a estrutura necessita de proteção, se for menor a estrutura é considerada protegida;
5. Verificação da instalação do SPDA - Se não houver SPDA instalado, é necessário somar os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V , se a soma for maior que R_T , é necessário instalar um tipo de SPDA adequado. Se o SPDA já estiver instalado, passa-se à próxima verificação;
6. Verificação da instalação de MPS (medida de proteção contra surtos) - Se as MPS não estiverem instaladas, e a soma dos riscos for ainda superior ao tolerável, deve-se instalar MPS adequadas. Se as MPS já estiverem instaladas, passa-se à etapa final.
7. Instalação de outras medidas de proteção - Se necessário, instalam-se outras medidas de proteção;
8. Cálculo de novos valores dos componentes de risco - Após a instalação das proteções necessárias, novos valores de risco são calculados para garantir que a proteção seja adequada.

Fluxograma 1 Análise da gestão de risco



Fonte: (ABNT 5419, 2015b, p.22).

3.3 Implementação e coordenação de DPS

A implementação e coordenação dos DPS são etapas cruciais para garantir a proteção dos equipamentos eletrônicos, redução dos custos e a melhoria da confiabilidade da instalação elétrica. A metodologia adotada segue uma sequência estruturada de passos, detalhada no Fluxograma 2. Segue abaixo a descrição detalhada das etapas do fluxo:

1. Coordenação de DPS - O processo começa com o objetivo de coordenar os DPS para proteger adequadamente a instalação elétrica;
2. Avaliação das características da instalação elétrica e identificação de pontos críticos - A primeira etapa envolve uma avaliação detalhada das características da instalação elétrica existente e a identificação de pontos críticos que necessitam de proteção;

3. Definição dos parâmetros do DPS classe 1 da linha de energia - Nesta etapa, são definidos os parâmetros do DPS classe 1, que são usados em locais de alta exposição a surtos, como na entrada do edifício. Devem ser definidos os seguintes parâmetros: tensão de operação contínua, tensão de impulso requerida, corrente de impulso e fusível de backup. Após definir esses parâmetros, é necessário escolher o modelo e o fabricante que atendam a esses requisitos;
4. Definição dos parâmetros do DPS classe 2 da linha de energia - Seguindo o mesmo processo, agora para o DPS classe 2, que é instalado na distribuição interna da instalação elétrica nos quadros secundários. Devem ser definidos os seguintes parâmetros: tensão de operação contínua, tensão de impulso requerida, corrente nominal e fusível de backup. Também se define o modelo e o fabricante que atendam aos parâmetros especificados;
5. Definição dos parâmetros do DPS classe 3 da linha de energia - o próximo passo é a definição dos parâmetros para o DPS classe 3, utilizado em circuitos finais e para proteção de equipamentos sensíveis. Devem ser definidos os seguintes parâmetros: tensão de operação contínua, tensão de impulso requerida, corrente de impulso e fusível de backup. Como nas etapas anteriores, define-se o modelo e o fabricante que atendam aos parâmetros;
6. Definição dos parâmetros do DPS da linha de sinal - além da linha de energia, é necessário definir os parâmetros do DPS para a linha de sinal, conforme as especificações de cada equipamento a ser protegido. Também se define o modelo e o fabricante que atendam a essas especificações;
7. Confeção do esquemático da disposição dos DPS - a última etapa envolve a criação do esquema que mostra a disposição dos DPS na instalação, garantindo que todos os pontos críticos identificados sejam adequadamente protegidos.

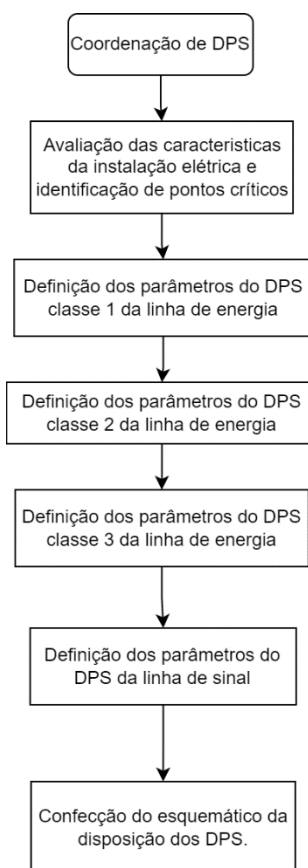
Para garantir a escolha dos DPS mais adequados, foram consultados três fabricantes: Clamper, Finder e Metaltex. Cada fabricante foi avaliado com base em diversos critérios, incluindo a conformidade com as normas nacionais, a reputação do fabricante, o suporte técnico oferecido e o custo-benefício dos produtos.

Os dispositivos selecionados foram escolhidos por sua capacidade de atender às especificações técnicas exigidas pelo sistema elétrico da instalação. Foram consideradas características como a capacidade de suportar surtos, a rapidez de resposta e a durabilidade dos dispositivos.

Durante o processo de seleção, foram seguidas todas as exigências dos fabricantes, garantindo que os dispositivos instalados não apenas atendam aos requisitos técnicos, mas também sejam compatíveis com os padrões de segurança e desempenho estabelecidos pelas normas nacionais.

A adoção dessa metodologia estruturada assegura que a instalação elétrica esteja adequadamente protegida contra surtos de tensão, melhorando a confiabilidade operacional e reduzindo os custos associados a falhas e manutenção de equipamentos.

Fluxograma 2 Análise da coordenação dos DPS



Fonte: Do autor.

4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO

A Empresa em estudo é composta por duas estruturas distintas. Para avaliar o nível de proteção necessária, é essencial conduzir a análise de cada uma delas de maneira separada. Na Figura 5, retirada do *software Google Earth*, é possível visualizar a estrutura da empresa.

Figura 5 Imagem de satélite Empresa em estudo



Fonte: (Google Earth, 2023 adaptado)

Conforme especificado na seção 2.4.4 deste estudo, existem quatro tipos de perda: L1, L2, L3 e L4, como apresentados na Tabela 3, cada um com seu respectivo valor de risco tolerável. No entanto, decidiu-se desconsiderar o item L4, relacionado a perdas econômicas, uma vez que a empresa em estudo não possui um histórico de danos e o valor calculado na seção 1.2.1 foi apenas estimado.

O levantamento realizado abrange exclusivamente o tipo L1, que está relacionado à perda de vidas humanas ou ferimentos permanentes. Caso o risco calculado ultrapasse o limite tolerável, torna-se necessário implementar medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

Tabela 3 Valores típicos de risco tolerável

Tipo 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 patrimônio cultural	10^{-4}
L4 Perdas de valor econômico	$*10^{-3}$

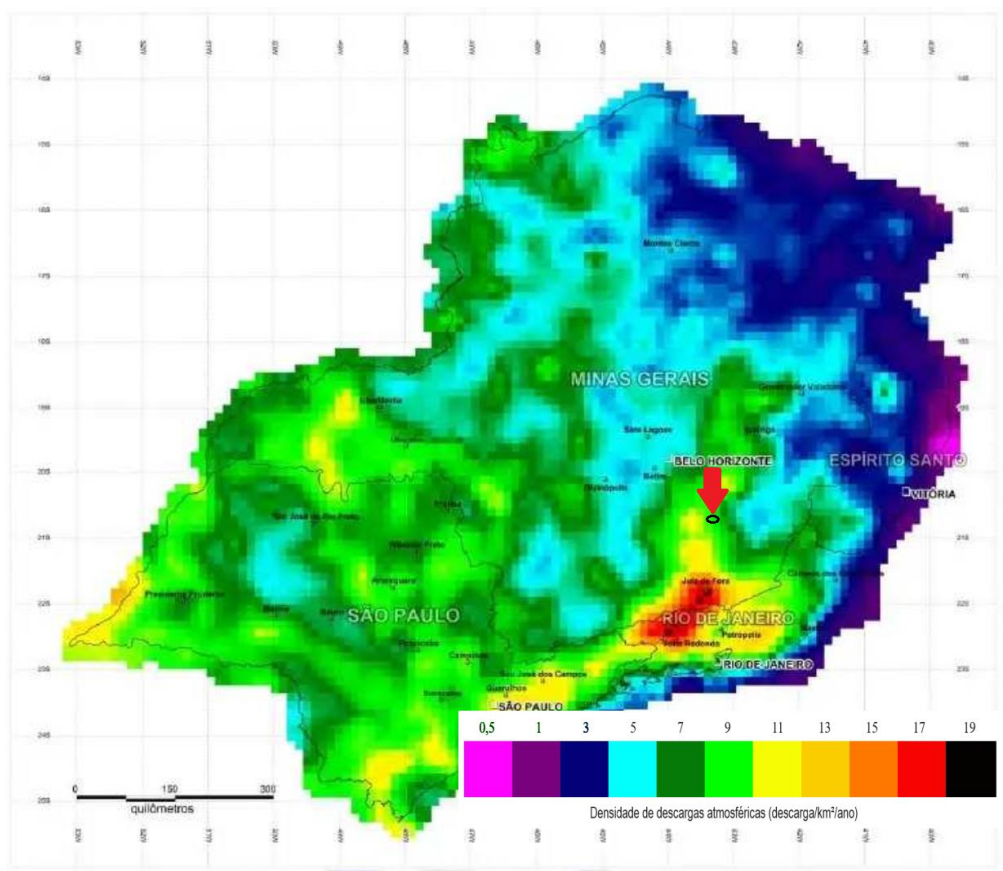
*Se os dados para esta análise não estiverem disponíveis, pode se usar o valor representativo $RT=10^{-3}$

Fonte: (ABNT 5419, 2015b, p.19 - Adaptado)

4.1 Número anual de eventos perigosos decorrentes de descarga atmosférica (N_G)

Para determinar esse valor, é possível consultar o site do INPE/ELAT (ELAT [...], 2019) ou referenciar as da norma NBR5419-2:2015 (ABNT 5419, 2015b, p. 96-102). Na região onde se localiza a empresa, o N_G é de 7 descargas/km²/ano, conforme Figura 6.

Figura 6 Densidade de descargas atmosféricas NG – Região Sudeste



Fonte: (ABNT 5419, 2015b, p.101 - Adaptado)

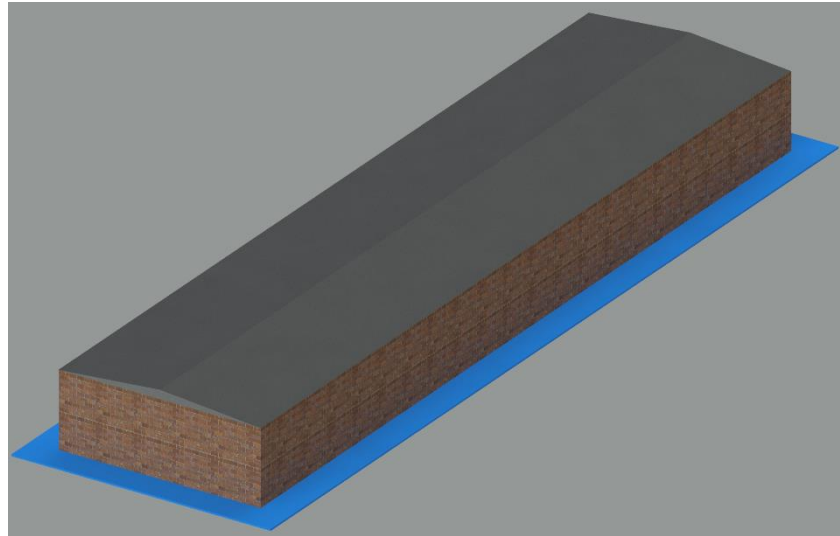
4.2 Avaliação Galpão 1

4.2.1 Dados do Projeto

As zonas para classificação dos riscos foram assim divididas:

- Zona Z1 - Corresponde à área externa em torno dos condutores de descida até 3m fora da edificação, conforme apresentado em cor azul na Figura 7;

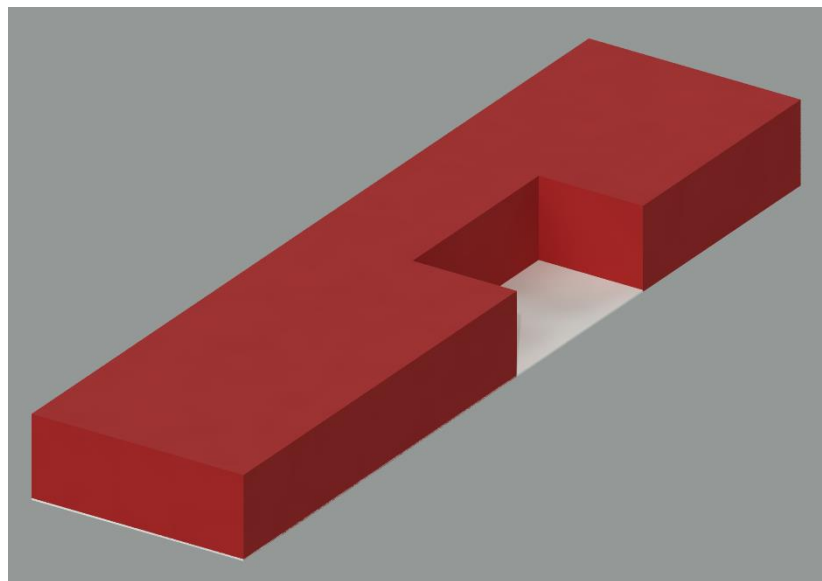
Figura 7 Zona 1 do Galpão 1



Fonte: Do autor.

- Zona Z2 - Corresponde à área interna do galpão onde tem os equipamentos industriais, conforme apresentado em vermelho na Figura 8;

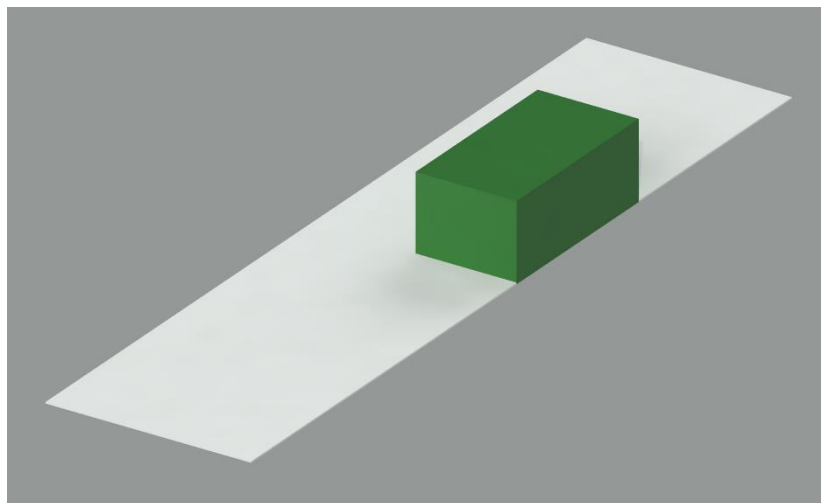
Figura 8 Zona 2 do Galpão 1



Fonte: Do autor.

- Zona Z3 - Corresponde à estrutura unida à edificação industrial, na qual funcionam os seguintes setores: (i) setor administrativo; (ii) setor comercial e (iii) setor gerencial, conforme apresentado em verde na Figura 9;

Figura 9 Zona 3 do Galpão 1



Fonte: Do autor.

Cada uma das zonas mencionadas passou por uma análise individual para identificar os riscos, com o objetivo de determinar a necessidade de implementar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

A Tabela 4 apresenta o número de funcionários em cada zona, acompanhado do respectivo tempo de presença anual. A empresa opera atualmente durante o horário administrativo, das 7h às 17h e na área externa tem a presença de 2 vigias 24h/dia.

Tabela 4 Distribuição de pessoas por zona Galpão 1

Zona	Número de pessoas	Tempo de presença anual
Z1 - Área externa até 3m da edificação.	2	8760h
Z2 - Área interna do galpão.	30	2304h
Z3 - Setor administrativo, comercial e restaurante	55	2304h
Total (N_t)	87	-

Fonte: Do autor.

4.2.2 Características da estrutura e do meio ambiente

A estrutura está situada em uma área onde as construções são cercadas por objetos de mesma altura ou mais baixo. A densidade de descargas atmosféricas na região, como mostrado na Figura 6, é de aproximadamente $N_G = 7$ descargas por km^2 ao ano. Mais informações sobre a edificação e seu entorno podem ser encontradas na Tabela 5.

Tabela 5 Características da Estrutura e Meio Ambiente

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Ocupação da estrutura	Indústria	-	-	-
Densidade de descargas atmosféricas para a terra [$1/(\text{km}^2/\text{ano})$]	Segundo NBR5419:2015 e http://www.inpe.br/webelat/homepage/	N_G	7	Figura F.5 NBR 5419-2:2015
Dimensão da estrutura (m)	-	L, W, H	85 X 21 X 8	

Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	C _D	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Fator tipo de linha - Energia	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	C _T	0,2	Tabela A.3 NBR 5419-2:2015
Fator tipo de linha - Sinal	Linha de energia em BT	C _{T2}	1	Tabela A.3 NBR 5419-2:2015
SPDA	Não há SPDA Instalado	P _B	1	Tabela B.2 NBR5419-2:2015
Nível de proteção - Linha energia	Sem DPS	P _{EB/P}	1	Tabela B.7 NBR5419-2:2015
Nível de proteção - Linha Sinal	Sem DPS	P _{EB/T}	1	Tabela B.7 NBR5419-2:2015
Blindagem espacial externa	Não há blindagem espacial	K _{S1} (1)	1	Equação B5 NBR5419-2:2015

(1) $K_{S1} = 0,12 \times L_{m1} = 1$ (valor máximo)

Fonte: Do autor.

4.2.3 Características relativas à linha de energia elétrica e sinais

Os comprimentos das linhas que entram na edificação, tanto para energia quanto para sinal, são definidos até o primeiro nó, partindo-se da estrutura. Embora as linhas de energia e sinal que entram na edificação tenham comprimentos inferiores a 1.000 metros, para fins de análise de risco, considerou-se o valor de 1.000m.

É importante destacar que essa abordagem foi adotada como uma medida de segurança nos cálculos, em conformidade com as diretrizes da ABNT 5419 (2015b, p. 37), que estipulam que, caso o comprimento de uma seção de linha seja desconhecido, pode-se assumir $L=1.000m$. Nas Tabelas 6 e 7 são mostradas as características relativas à linha e de energia e sinal.

Tabela 6 Características relativas à linha de energia elétrica

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)	Linha de energia	L _L	1000	-
Fator de instalação da linha	Aéreo	C _I	1	Tabela A.2
Fator de tipo de linha	Linha de média tensão	C _T	0,2	Tabela A.3
Fator Ambiental da linha	Suburbano	C _E	0,5	Tabela A.4
Blindagem de linha (Ω/km)	Linha aérea ou enterrada, não blindada	R _S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada	C _{LD}	1	Tabela B.4
		C _{LI}	1	
Estrutura adjacente (m ²)	Sim - Complexa	A _{DJ}	8496	
Fator de localização da estrutura adjacente	Não	C _{DJ}	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Tensão suportável dos sistemas internos	Parâmetros resultantes	U _w	2	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		K _{S4} (1)	0,5	Equação B.7 NBR 5419-2:2015
		P _{LD}	1	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		P _{LI}	0,6	Tabela B.9 NBR 5419-2:2015

$$(1) K_{S4} = \frac{1}{U_w} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Fonte: Do autor.

Tabela 7 Características relativas à linha de sinais

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)	Linha de sinal	L _L	1000	-
Fator de instalação da linha	Aéreo	C _I	1	Tabela A.2
Fator de tipo de linha	Linha de sinal	C _T	1	Tabela A.3
Fator Ambiental da linha	Suburbano	C _E	0,5	Tabela A.4
Blindagem de linha (Ω/km)	Linha aérea ou enterrada, não blindada	R _S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada	C _{LD}	1	Tabela B.4
		C _{LI}	1	
Estrutura adjacente	Sim	A _D	8496	
Fator de localização da estrutura adjacente	Não	C _{DJ}	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Tensão suportável dos sistemas internos	Parâmetros resultantes	U _w	1,5	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		K _{S4} (1)	0,667	Equação B.7 NBR 5419-2:2015
		P _{LD}	1	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		P _{LI}	0,5	Tabela B.9 NBR 5419-2:2015

$$(1) K_{S4} = \frac{1}{U_w} = \frac{1}{1,5} = 0,667$$

Fonte: Do autor.

4.2.4 Fatores relacionados com a zona Z1, Z2 e Z3

As zonas foram divididas levando em consideração:

- Os riscos de incêndio;
- Existência sistemas internos conectados à energia, assim como às linhas de sinais;
- Número de pessoas.

As características resultantes das zonas Z1, Z2 e Z3 estão detalhadas nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente.

Tabela 8 Características resultantes das zonas Z1

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Agricultura, concreto	r _i	0,01	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015
Risco de incêndio	Baixo	r _f	0,001	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015
Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.	r _p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015
Blindagem espacial	Nenhuma	K _{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015

Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/P}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/T}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L _T	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D2: devido a danos físicos	Outros	L _F	0,01	
	D3: devido a falhas de sistemas internos	-	L _O	0	
Número de pessoas na zona			nz	2	
Tempo de presença das pessoas na zona			tz	8760	

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

Tabela 9 Características resultantes das zonas Z2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência	
Tipo de piso	Agricultura, concreto	r _t	0,01	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015	
Risco de incêndio	Baixo	r _f	0,001	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.	r _p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015	
Blindagem espacial	Nenhuma	K _{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015	
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/P}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/T}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L _T	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D2: devido a danos físicos	Outros	L _F	0,01	

D3: devido a falhas de sistemas internos	-	Lo	0
Número de pessoas na zona		nz	30
Tempo de presença das pessoas na zona		tz	2304

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

Tabela 10 Características resultantes das zonas Z3

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	r _t	0,001	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015	
Risco de incêndio	Normal	r _f	0,01	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.	r _p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015	
Blindagem espacial	Nenhuma	K _{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015	
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/P}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/T}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L _T	0,01	
	D2: devido a danos físicos	Outros	L _F	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D3: devido a falhas de sistemas internos	-	Lo	0	
Número de pessoas na zona		nz	55		
Tempo de presença das pessoas na zona		tz	2304		

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

4.2.5 Determinação das áreas de exposição equivalentes da estrutura

A área de exposição equivalente é uma medida usada em análises de risco e proteção contra descargas atmosféricas. Refere-se à projeção plana de uma estrutura ou objeto, como um edifício ou uma torre, que representa a área efetivamente exposta aos raios diretos.

Esta área é utilizada para calcular o risco de uma estrutura ser atingida por um raio e para determinar a necessidade de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Quanto

maior a área de exposição equivalente, maior é a probabilidade de a estrutura ser atingida por um raio.

Conforme as orientações da ABNT 5419 (2015b, p. 32 - p.38), são empregadas Equações distintas para calcular a área de exposição equivalente, cada uma adequada a um tipo específico de linha e estrutura do edifício, vale ressaltar que a determinação da área de exposição equivalente também pode ser obtida graficamente.

Devido ao fato de o galpão 01 ser uma estrutura retangular, a área de exposição equivalente pode ser calculada matematicamente utilizando a Equação (4.2). Alternativamente, essa área também pode ser determinada através do *software* AutoCAD 2024, conforme Apêndice A1.

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (4.2)$$

Onde:

L – Comprimento;

W – Largura;

H -Altura.

Aplicando os valores na Equação (4.2), tem-se:

$$\begin{aligned} A_D &= 85 \times 21 + 2 \times (3 \times 8) \times (85 + 21) + \pi \times (3 \times 8)^2 \\ A_D &= 8.682m^2 \end{aligned}$$

A seguir calcula-se a área de exposição equivalente atingida por descarga atmosférica estendida a 500 m do perímetro da estrutura de acordo com a Equação (4.3).

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (4.3)$$

Aplicando os valores na Equação 4.3, tem-se:

$$\begin{aligned} A_M &= 2 \times 500 \times (85 + 21) + \pi \times 500^2 \\ A_M &= 891.398m^2 \end{aligned}$$

4.2.6 Determinação das áreas de exposição equivalentes da linha de energia

A próxima etapa consiste na determinação da área de exposição equivalente para as descargas atmosféricas que impactam diretamente a linha de distribuição encarregada de fornecer energia à fábrica. Este cálculo é realizado empregando a Equação (4.4).

$$A_L = 40 \times L_L \quad (4.4)$$

Onde:

L_L – Comprimento da linha.

Aplicando os valores na Equação 4.4, teremos:

$$\begin{aligned} A_{LP} &= 40 \times 1.000 \\ A_{LP} &= 4 \times 10^4m^2 \end{aligned}$$

A determinação da área de exposição equivalente para descargas atmosféricas que atingem um ponto próximo da linha de distribuição responsável por alimentar a fábrica é realizada pela Equação (4.5).

$$A_I = 4.000 \times L_L \quad (4.5)$$

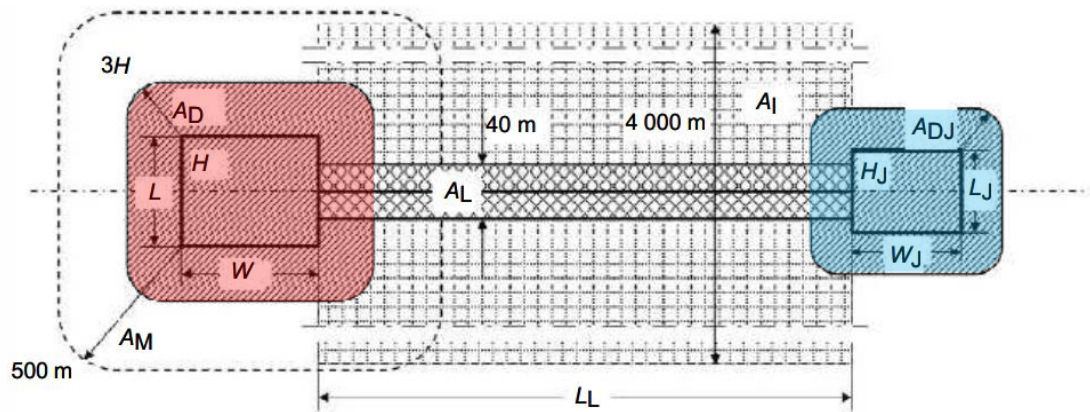
Por meio da inserção dos valores na Equação 4.5, obtém-se:

$$A_{IP} = 4.000 \times 1.000$$

$$A_{IP} = 4 \times 10^6 m^2$$

Para determinar a área de exposição equivalente às descargas atmosféricas que atingem diretamente a estrutura adjacente à linha de energia elétrica, pode-se recorrer à Equação 4.2 (A_{DJ}). Contudo, devido à complexidade da estrutura, foi escolhido o *software AutoCAD 2024* para gerar uma representação dessa área, tomando como referência a Figura 10 (ABNT 5419, 2015b, p. 39).

Figura 10 Áreas de exposição equivalentes



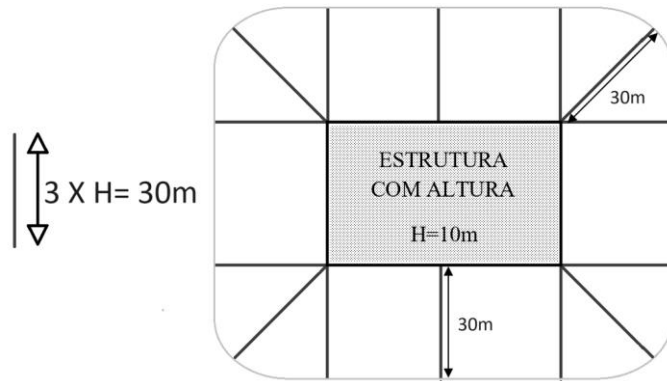
Fonte: (ABNT 5419, 2015b, p.39 Adaptado)

Na Figura 10, pode-se notar à esquerda da imagem a área de exposição equivalente da estrutura principal a ser analisada, destacada em vermelho, com comprimento L , largura W e altura H . O segmento A_L localizado no centro da imagem, representa a área de exposição equivalente S_3 , que pode ser ocupada pela linha de energia ou sinal, ou ainda por qualquer serviço metálico que entre na estrutura protegida a partir do meio externo.

No lado direito da imagem, uma estrutura em azul se destaca, definida como estrutura adjacente por estar conectada à estrutura principal através do serviço metálico de entrada. Para analisar essa estrutura, são considerados os comprimentos L_J , largura W_J e altura H_J , a fim de calcular sua própria área de exposição equivalente.

A planificação de uma estrutura complexa envolve traçar uma linha a uma distância igual a três vezes a altura da estrutura e percorrer o perímetro da mesma, adicionando essa linha. A área resultante da forma geométrica obtida é então calculada, como demonstrado no exemplo da Figura 11.

Figura 11 Exemplo de planificação de uma estrutura



Fonte: Do autor.

O valor obtido pela estrutura adjacente foi de:

$$A_{DJP} = 8.496m^2$$

A representação visual correspondente está disponível no Apêndice A2.

4.2.7 Determinação das áreas de exposição equivalentes da linha de sinais

Agora, procede-se ao cálculo da área de exposição equivalente para as descargas atmosféricas que atingem diretamente a linha de sinais. Nesse processo, emprega-se a Equação 4.4, substituindo o comprimento da linha de energia pelo comprimento da linha de sinais. O valor obtido é:

$$A_{LT} = 40 \times 1.000$$

$$A_{LT} = 4 \times 10^4 m^2$$

Para calcular a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas que atingem um ponto próximo da linha de sinais, utiliza-se a Equação 4.5, substituindo o comprimento da linha de energia pelo comprimento da linha de sinal.

Ao aplicar os valores na Equação 4.5, obtém-se:

$$A_{IT} = 4.000 \times 1.000$$

$$A_{IT} = 4 \times 10^6 m^2$$

A estrutura adjacente à linha de sinal é a mesma calculada no item 4.2.6 deste estudo, resultando em um valor de $A_{DJT} = 8.496m^2$.

Na Tabela 11, os dados calculados neste capítulo são apresentados para proporcionar uma visualização clara das informações. As referências das equações utilizadas foram retiradas da ABNT 5419 (2015b, p. 32 - 38), garantindo a adequada citação das fontes.

Tabela 11 Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência	Equação
Estrutura	A _D	8.682	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A _M	891.398	Equação A.7	$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	A _{LP}	40.000	Equação A.9	$A_L = 40 \times LL$
	A _{IP}	4.000.000	Equação A.11	$A_I = 4000 \times LL$
	A _{DJP}	8.496	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha de sinais	A _{LT}	40.000	Equação A.9	$A_L = 40 \times LL$
	A _{IT}	4.000.000	Equação A.11	$A_I = 4000 \times LL$
	A _{DJT}	8.496	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$

Fonte: Do autor.

4.2.8 Número anual de eventos perigosos esperados

Agora, procede-se à determinação dos números de eventos perigosos para a estrutura, linha de energia e linhas de sinais ocasionados pelas descargas atmosféricas, seguindo as diretrizes da ABNT 5419 (2015b, p.36-p.37). Para cada uma dessas situações, são aplicadas equações específicas.

Para calcular o número de eventos perigosos N_D para a estrutura, é utilizada a Equação (4.6):

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (4.6)$$

Onde:

N_G – Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano);

A_D – Área de exposição equivalente da estrutura (m²);

C_D – Fator de localização da estrutura (ver Tabela 5).

Ao aplicar os valores na Equação 4.6, obtém-se:

$$N_D = 7 \times 8.682 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$N_D = 3,04 \times 10^{-2}$$

O número médio anual de eventos perigosos resultantes de descargas atmosféricas diretas em uma estrutura conectada à extremidade de uma linha (chamada estrutura adjacente), representado por N_{DJ} , é determinada pela Equação (4.7):

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (4.7)$$

Onde:

N_G – Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano);

A_{DJ} – Área de exposição equivalente da estrutura adjacente (m²);

C_{DJ} – Fator de localização da estrutura adjacente (ver Tabela 6);

C_T – Fator tipo de linha (ver Tabelas 6).

Ao aplicar os valores na Equação 4.6, resulta-se em:

$$N_{DJP} = 7 \times 8.496 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJP} = 5,947 \times 10^{-3}$$

Para determinar o número médio anual de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura, emprega-se a Equação 4.8:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (4.8)$$

Onde:

A_M – Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura (m^2).

Ao aplicarmos os valores na Equação (4.8), obteremos:

$$N_M = 7 \times 891.398 \times 10^{-6}$$

$$N_M = 6,240$$

Agora, procede-se à avaliação do número médio anual de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas na linha de energia. Essa avaliação é realizada utilizando a Equação (4.9):

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (4.9)$$

Onde:

N_L – Número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kv/ano na seção da linha;

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

A_L – Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha;

C_I – Fator de instalação da linha (ver Tabelas 6);

C_T – Fator tipo de linha (ver Tabelas 6);

C_E – Fator ambiental (ver Tabelas 6).

Ao aplicarmos os valores na Equação (4.9), obteremos:

$$N_{LP} = 7 \times 40.000 \times 1 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{LP} = 2,8 \times 10^{-2}$$

Por fim, procede-se à avaliação do número médio anual de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas nas proximidades da linha de energia. Essa análise é conduzida por meio da Equação (4.10):

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (4.10)$$

Onde:

N_I – Número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kv/ano na seção da linha;

N_G – Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_I – Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha;

C_I – Fator de instalação da linha (ver Tabelas 6);

C_T – Fator tipo de linha (ver Tabelas 6);

C_E – Fator ambiental (ver Tabelas 6).

Ao inserir os valores na Equação (4.10), obtém-se:

$$N_{IP} = 7 \times 4 \times 10^6 \times 1 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{IP} = 2,8$$

Será conduzida a avaliação do número médio anual de eventos perigosos originados de descargas atmosféricas na linha de sinal. Para isso, utiliza-se a Equação (4.8), adaptando os parâmetros para a linha de sinal de acordo com a Tabela 7. Desta forma, obtém-se o número de sobretensões com amplitude igual ou superior a 1 kV/ano, conforme calculado a seguir:

$$N_{LT} = 7 \times 40.000 \times 1 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{LT} = 1,4 \times 10^{-1}$$

Para realizar a avaliação do número médio anual de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas próximas à linha de sinal, utiliza-se a Equação (4.10), alterando os dados obtidos para a linha de sinal:

$$N_{IT} = 7 \times 4 \times 10^6 \times 1 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{IT} = 14$$

Para calcular o número de eventos perigosos que atingem uma estrutura adjacente à linha de sinal, utiliza-se a Equação (4.7), alterando os valores para a linha de sinal.

$$N_{DJT} = 7 \times 8.496 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJT} = 2,98 \times 10^{-2}$$

Na Tabela 12, são apresentados os dados calculados relativos ao número anual de eventos perigosos esperados. As referências das equações utilizadas foram obtidas da ABNT 5419 (2015b, p. 32 - 38).

Tabela 12 Número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado	Referência	Equação
Estrutura	N_D	$3,042 \times 10^{-2}$	Equação A.4	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	6,24	Equação A.6	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Linha de energia	N_{LP}	$2,8 \times 10^{-2}$	Equação A.8	$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{IP}	2,8	Equação A.10	$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{DJP}	$5,947 \times 10^{-3}$	Equação A.5	$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$

Linha de sinais	N_{LT}	$1,4 \times 10^{-1}$	Equação A.8	$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{IT}	14	Equação A.10	$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{DJT}	$2,98 \times 10^{-2}$	Equação A.5	$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$

Fonte: Do autor.

4.2.9 Parâmetros resultantes

Os elementos que são empregados para calcular os riscos relacionados às descargas atmosféricas foram identificados após uma análise detalhada das características específicas da edificação, das linhas de energia e das condições ambientais circundantes.

Os valores de referência para a perda, conhecida como L_X , de uma estrutura, foram propostos pela IEC e incorporados à norma NBR 5419:2015. A perda L_X quantifica a média relativa de um tipo específico de dano causado por uma descarga atmosférica, considerando sua amplitude e impactos.

A variação da perda L_X depende do tipo de dano avaliado, conforme detalhado na Tabela 3. Segundo a ABNT 5419 (2015b, p. 50), a determinação da perda L_X deve ser feita para cada zona identificada na estrutura.

Nos tópicos a seguir, serão apresentados uma descrição das equações utilizadas nos cálculos associados às perdas.

Os valores da perda L_1 para cada zona são definidas em 4 equações de acordo com o dano, segundo a ABNT 5419 (2015b, p. 51).

Na Equação (4.11) de acordo com o tipo de dano D1, pode-se calcular a perda típica L_A como:

$$L_A = \frac{r_t \times L_T \times n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (4.11)$$

Onde:

L_T – É número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (Tabelas 8, 9 e 10);

r_t – É um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (Tabelas 8, 9 e 10);

n_z – É o número de pessoas na zona (Tabelas 8, 9 e 10);

n_t – É o número total de pessoas na estrutura (Tabela 4);

t_z – É o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano (Tabelas 8, 9 e 10).

Também para o tipo de dano D1, utiliza-se a Equação (4.12) para definir a perda L_U .

$$L_U = \frac{r_t \times L_T \times n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (4.12)$$

Para o tipo de dano D2, utiliza-se a Equação (4.13) a fim de identificar as perdas típicas L_B e L_V :

$$L_B = L_V = \frac{r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z}{n_t} \times \frac{t_Z}{8760} \quad (4.13)$$

Onde:

h_z – É um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (Tabelas 8, 9 e 10);

L_F – É o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (Tabelas 8, 9 e 10).

Para o tipo de dano D3, utilizamos a Equação (4.14) a fim de identificar as perdas típicas L_C , L_M , L_W e L_Z :

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \times n_Z}{n_t} \times \frac{t_Z}{8760} \quad (4.14)$$

Onde:

L_O – É número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (Tabelas 8, 9 e 10);

Nas Tabelas 13, 14 e 15, são mostrados os parâmetros específicos para o Galpão 01, levando em consideração a sua zona correspondente.

Zona 1

$$L_A = \frac{0,01 \times 0,01 \times 2}{87} \times \frac{8760}{8760} = 2,299 \times 10^{-6}$$

$$L_U = \frac{0,01 \times 0,01 \times 2}{87} \times \frac{8760}{8760} = 2,299 \times 10^{-6}$$

$$L_B = L_V = \frac{0,5 \times 0,001 \times 1 \times 0,01 \times 2}{87} \times \frac{8760}{8760} = 1,149 \times 10^{-7}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{0 \times 2}{87} \times \frac{8760}{8760} = 0$$

Zona 2

$$L_A = \frac{0,01 \times 0,01 \times 30}{87} \times \frac{2304}{8760} = 9,069 \times 10^{-6}$$

$$L_U = \frac{0,01 \times 0,01 \times 30}{87} \times \frac{2304}{8760} = 9,069 \times 10^{-6}$$

$$L_B = L_V = \frac{0,5 \times 0,001 \times 1 \times 0,01 \times 30}{87} \times \frac{2304}{8760} = 4,535 \times 10^{-7}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{0 \times 30}{87} \times \frac{2304}{8760} = 0$$

Zona 3

$$L_A = \frac{0,001 \times 0,01 \times 55}{87} \times \frac{2304}{8760} = 1,663 \times 10^{-6}$$

$$L_U = \frac{0,001 \times 0,01 \times 55}{87} \times \frac{2304}{8760} = 1,663 \times 10^{-6}$$

$$L_B = L_V = \frac{0,5 \times 0,01 \times 1 \times 0,01 \times 55}{87} \times \frac{2304}{8760} = 8,314 \times 10^{-6}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{0 \times 55}{87} \times \frac{2304}{8760} = 0$$

Tabela 13 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L _A	2,299 × 10 ⁻⁶	Equação 4.11
	L _U	2,299 × 10 ⁻⁶	Equação 4.12
	L _B =L _V	1,149 × 10 ⁻⁷	Equação 4.13
	L _C =L _M =L _W =L _Z	0	Equação 4.14

Fonte: Do autor.

Tabela 14 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z2

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L _A	9,069 × 10 ⁻⁶	Equação 4.11
	L _U	9,069 × 10 ⁻⁶	Equação 4.12
	L _B =L _V	4,535 × 10 ⁻⁷	Equação 4.13
	L _C =L _M =L _W =L _Z	0	Equação 4.14

Fonte: Do autor.

Tabela 15 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z3

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L _A	1,663 × 10 ⁻⁶	Equação 4.11
	L _U	1,663 × 10 ⁻⁶	Equação 4.12
	L _B =L _V	8,314 × 10 ⁻⁶	Equação 4.13

Fonte: Do autor.

4.2.10 Cálculo do risco R1

Ao calcular o risco R1, torna-se possível determinar a necessidade de projetar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para a edificação. Segundo a Tabela 3, o valor tolerável R_T para o risco L1 (perda de vida humana ou ferimentos permanentes) é de 10⁻⁵.

Se o valor de R1 exceder o R_T, indica que a instalação de um SPDA na edificação é necessária.

A Equação básica a ser utilizada é a (4.15), segundo ABNT 5419 (2015b, p. 24):

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (4.15)$$

Onde:

N_X – É o número de eventos perigosos por ano;

P_X – É a probabilidade de dano à estrutura;

L_X – É a perda consequente.

O número de eventos perigosos, N_X, resulta de uma combinação complexa de fatores, incluindo o N_G, as características físicas da estrutura em questão e sua vizinhança, bem como as linhas conectadas e as propriedades do solo circundante. Todos esses elementos desempenham um papel crucial na determinação do potencial de exposição a descargas atmosféricas.

Por outro lado, a probabilidade de dano, P_X, é influenciada não apenas pelas características intrínsecas da estrutura a ser protegida, mas também pela condição das linhas conectadas e pela presença de medidas de proteção já implementadas. Esses aspectos são fundamentais para avaliar a vulnerabilidade da estrutura e determinar a eficácia das medidas de proteção existentes.

Além disso, a perda consequente, L_X, está diretamente relacionada ao uso original da estrutura, à frequência de ocupação por pessoas, ao tipo de serviços oferecidos ao público e ao valor dos bens potencialmente afetados pelos danos. As medidas tomadas para limitar a quantidade de perdas desempenham um papel crucial na minimização dos impactos financeiros e operacionais resultantes de descargas atmosféricas. Portanto, a implementação de medidas preventivas adequadas é essencial para mitigar os riscos associados a eventos desse tipo.

Conforme a ABNT 5419 (2015b, p.24-p.26) será dado sequência aos cálculos dos riscos nas zonas 1, 2 e 3, considerando diferentes tipos de danos. Esses incluem D1, relacionado a ferimentos em seres vivos devido a choque elétrico, D2, que abrange danos físicos, e D3, que diz respeito a falhas em sistemas eletroeletrônicos.

Para cada uma dessas zonas e tipos de dano, são realizadas análises específicas, levando em conta as características distintas de cada área e os potenciais impactos associados a choques elétricos, danos físicos e falhas em sistemas eletroeletrônicos. Essa abordagem detalhada nos

permitirá identificar áreas de maior vulnerabilidade e direcionar as medidas de proteção de forma adequada.

Ao final deste processo, tem-se uma visão abrangente dos riscos envolvidos em cada zona da estrutura, fornecendo uma base sólida para a implementação de estratégias de mitigação de riscos eficazes e direcionadas. Essas medidas são essenciais para garantir a segurança das pessoas e a integridade dos sistemas e equipamentos em caso de eventos adversos relacionados a descargas atmosféricas.

Cálculos do tipo de dano D1 para a zona 1:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (4.16)$$

Onde:

N_D – É número anual de eventos perigosos esperados na estrutura (Tabela 12);

P_A – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

L_A – Perda devido a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (Tabelas 13, 14 e 15);

Para prosseguir com a resolução da Equação 4.16, é necessário determinar o valor de P_A utilizando a Equação (4.17):

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (4.17)$$

Onde:

P_{TA} – Proteção contra choques conforme Tabela 8;

P_B – Presença de SPDA na instalação conforme Tabela 5.

$$P_A = 1 \times 1 = 1$$

Com o valor de P_A calculado conseguimos encontrar o valor de R_A :

$$R_A = 3,042 \times 10^{-2} \times 1 \times 2,299 \times 10^{-6}$$

$$R_A = 0,00699 \times 10^{-5}$$

Para calcular o valor de R_U , é preciso recorrer a duas equações preliminares: a Equação (4.18), que determina o valor de P_U (Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico), e as equações (4.19) e (4.20), são responsáveis por definirem os valores de R_{UP} e R_{UT} (Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma linha de energia e sinal). Essas etapas são essenciais para obter todos os parâmetros necessários e, finalmente, calcular R_U .

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (4.18)$$

Onde:

P_{TU} – Se relaciona com as medidas adotadas para proteção contra tensões de toque, tais como barreiras físicas ou sinais visuais de alerta (Tabelas 8, 9 e 10);

P_{EB} – Varia conforme as conexões equipotenciais para descargas atmosféricas (EB), de acordo com a ABNT NBR 5419-3, e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi concebido (Tabela 5);

P_{LD} – Reflete a probabilidade de falha dos sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada, levando em consideração as características específicas dessa linha (Tabela 6);

C_{LD} – Representa um fator influenciado pela presença de blindagem, aterramento e qualidade da isolação da linha (Tabela 6).

$$R_{UP} = (N_{LP} + N_{DJP}) \times P_U \times L_U \quad (4.19)$$

$$R_{UT} = (N_{LT} + N_{DJT}) \times P_U \times L_U \quad (4.20)$$

Onde:

N_L – Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma linha de sinal ou de energia conectada à estrutura (Tabela 12);

N_{DJ} – Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente (Tabela 12);

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

L_U – Perda devido a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (Tabelas 13, 14 e 15).

Por fim, dispomos de todos os parâmetros necessários para calcular o valor de R_U utilizando a Equação (4.21):

$$R_U = R_{UP} + R_{UT} \quad (4.21)$$

Onde:

R_{UP} – Risco U da linha de energia;

R_{UT} – Risco U da linha de sinais.

Utilizando as equações (4.18), (4.19) e (4.20):

$$P_U = 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$R_{UP} = (2,8 \times 10^{-2} + 5,947 \times 10^{-3}) \times 1 \times 2,299 \times 10^{-6}$$

$$R_{UP} = 0,0078 \times 10^{-5}$$

$$R_{UT} = (1,4 \times 10^{-1} + 2,98 \times 10^{-2}) \times 1 \times 2,299 \times 10^{-6}$$

$$R_{UT} = 0,039 \times 10^{-5}$$

Por último, é realizado o cálculo de R_U por meio da Equação (4.21):

$$R_U = 0,0078 \times 10^{-5} + 0,039 \times 10^{-5}$$

$$R_U = 0,0468 \times 10^{-5}$$

Cálculos do tipo de dano D2 para a zona 1:

Para iniciar a análise de risco D2, calcula-se R_B , conforme demonstrado na Equação (4.22):

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (4.22)$$

Onde:

P_B – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos (Tabela 5);

L_B – Perda devido a danos físicos (Tabelas 13, 14 e 15);

Calculando R_B :

$$R_B = 3,042 \times 10^{-2} \times 1 \times 1,149 \times 10^{-7}$$

$$R_B = 0,00035 \times 10^{-5}$$

Para determinar o valor de R_V , é necessário seguir uma sequência de cálculos. Inicialmente, utiliza-se a Equação (4.23) para obter o valor de P_V , que representa a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos. Em seguida, empregamos as equações (4.24) e (4.25) para calcular os valores de R_{VP} e R_{VT} , que representam o número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em linhas de energia e sinal, respectivamente. Essas etapas são fundamentais para reunir todos os parâmetros necessários e, por fim, realizar o cálculo de R_V com a Equação (4.26).

O valor de P_V é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (4.23)$$

Calculando P_V :

$$P_V = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

Os valores de R_{VP} e R_{VT} é dado pelas equações 4.24 e 4.25, respectivamente.

$$R_{VP} = (N_{LP} + N_{DJP}) \times P_V \times L_B \quad (4.24)$$

$$R_{VT} = (N_{LT} + N_{DJT}) \times P_V \times L_B \quad (4.25)$$

Onde:

P_V – Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos;

L_V – Perda devido a danos físicos (Tabelas 13, 14 e 15).

Por último, aplica-se a Equação (4.26) para determinar o valor de R_V :

$$R_V = R_{VP} + R_{VT} \quad (4.26)$$

Aplicando valores nas equações (4.24), (4.25) e (4.26):

$$R_{VP} = (2,8 \times 10^{-2} + 5,947 \times 10^{-3}) \times 1 \times 1,149 \times 10^{-7}$$

$$R_{VP} = 0,00039 \times 10^{-5}$$

$$R_{VT} = (1,4 \times 10^{-1} + 2,98 \times 10^{-2}) \times 1 \times 1,149 \times 10^{-7}$$

$$R_{VT} = 0,00195 \times 10^{-5}$$

$$R_V = 0,00039 \times 10^{-5} + 0,00195 \times 10^{-5}$$

$$R_V = 0,00234 \times 10^{-5}$$

Cálculos do tipo de dano D3 para a zona 1:

Para o dano D3 (falha em sistemas eletroeletrônicos), determinamos que todos os valores das perdas típicas (L_C , L_M , L_W e L_Z) são iguais a zero, conforme calculado na seção 4.2.9. Isso se deve ao fato de que a instalação não apresenta risco de explosão devido a falhas no sistema interno, e também não realiza atividades relacionadas à saúde, como unidades de terapia, blocos cirúrgicos ou outras partes de hospitais, onde falhas nos sistemas internos podem resultar em danos significativos.

Nas equações utilizadas para calcular os componentes de risco devido a descarga atmosférica ABNT 5419 (2015b, p. 26 - p.43), levaremos em conta os valores das perdas típicas (L_C , L_M , L_W e L_Z). Inicialmente, calcula-se $P_{C/P}$ e $P_{C/T}$ para a linha de energia e sinal, suscetivelmente, de maneira que seja analisada a probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha nos sistemas internos, conforme as equações (4.27) e (4.28).

$$P_{C/P} = P_{SPD/P} \times C_{LD/P} \quad (4.27)$$

$$P_{C/T} = P_{SPD/T} \times C_{LD/T} \quad (4.28)$$

Onde:

$P_{C/P}$ – Probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha nos sistemas internos, de acordo com o parâmetro de energia;

$P_{SPD/P}$ – Valor referente ao sistema coordenado de DPS e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (N_P) para o qual os DPS foram projetados, de acordo com o parâmetro de energia (Tabela 8);

$C_{LD/P}$ – É um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado, de acordo com o parâmetro de energia (Tabela 6);

$P_{C/T}$ – Probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha nos sistemas internos, de acordo com o parâmetro de telecom (sinal);

$P_{SPD/T}$ – Valor referente ao sistema coordenado de DPS e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (N_P) para o qual os DPS foram projetados, de acordo com o parâmetro de telecom (Tabela 8);

$C_{LD/T}$ – É um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado, de acordo com o parâmetro de telecom (Tabela 7);

Quando há mais de um sistema interno envolvido em uma zona (sinal e energia) o valor de P_C é dado pela Equação (4.29):

$$P_c = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \dots \quad (4.29)$$

Onde:

P_{Ci} – São parâmetros relevantes ao sistema interno $i = 1, 2, 3, \dots$

Após aplicar a Equação (4.29), realiza-se o cálculo de RC, que avalia o componente de risco resultante das descargas atmosféricas na estrutura, conforme descrito na Equação (4.30):

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (4.30)$$

Onde:

P_C – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar falhas de sistemas internos;

L_C – Perda devido a falha de sistemas internos (Tabela 13).

Ao aplicarmos os valores conhecidos, obtemos:

$$P_{C/P} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_{C/T} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_C = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1) = 1$$

$$R_C = 3,042 \times 10^{-2} \times 1 \times 0 = 0$$

O próximo passo é avaliar o número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura, conforme a Equação (4.31):

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (4.31)$$

Onde:

N_G - Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano) (Tabela 5);

A_M – é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura (Tabela 11).

Ao aplicar os valores conhecidos, obtém-se:

$$N_M = 7 \times 891\,398 \times 10^{-6} = 6,24$$

Com o valor de N_M calculado, segue-se para o cálculo de $P_{M/P}$ e $P_{M/T}$, que representam a probabilidade de uma descarga atmosférica próxima a uma estrutura causar falha em sistemas internos na linha de energia e na linha de sinal, respectivamente.

De acordo com a ABNT 5419 (2015b, p. 43), quando não há um sistema coordenado de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) instalado conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4, os valores de $P_{M/P}$ e $P_{M/T}$ devem ser iguais ao valor de P_{MS} . Dado que a estrutura analisada não possui a coordenação de DPS. As fórmulas correspondentes são dadas pelas equações (4.32) e (4.33):

$$P_{M/P} = P_{MS/P} = (K_{S1/P} \times K_{S2/P} \times K_{S3/P} \times K_{S4/P})^2 \quad (4.32)$$

$$P_{M/T} = P_{MS/T} = (K_{S1/T} \times K_{S2/T} \times K_{S3/T} \times K_{S4/T})^2 \quad (4.33)$$

Onde:

$P_{M/P}$ – Probabilidade de uma descarga atmosférica próxima a uma estrutura causar falha em sistemas internos na linha de energia;

$P_{M/T}$ – Probabilidade de uma descarga atmosférica próxima a uma estrutura causar falha em sistemas internos na linha de sinal;

K_{S1} – Leva-se em consideração a eficiência da blindagem proporcionada pela malha da estrutura (Tabela 5).

K_{S2} – Leva-se em consideração a eficiência da blindagem proporcionada pela malha de blindagem interna a estrutura (Tabela 8).

K_{S3} – Leva-se em consideração as características da fiação interna (Tabela 8).

K_{S4} – Leva-se em consideração a tensão suportável de impulso no sistema protegido (Tabela 7).

Após a aplicação dos valores conhecidos, obtém-se:

$$P_{M/P} = P_{MS/P} = (1 \times 1 \times 1 \times 0,4)^2 = 0,16$$
$$P_{M/T} = P_{MS/T} = (1 \times 1 \times 1 \times 0,67)^2 = 0,449$$

Se múltiplos sistemas internos estão envolvidos em uma zona, como por exemplo, linhas de energia e sinal, é necessário utilizar a Equação (4.34) para determinar o valor final de P_M . Esta Equação leva em conta a interação entre os diferentes sistemas internos e fornece uma avaliação mais abrangente do risco de falha devido a descargas atmosféricas.

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \dots \quad (4.34)$$

Onde:

P_{Mi} – São parâmetros relevantes ao sistema interno $i = 1, 2, 3, \dots$

Após a aplicação dos valores conhecidos, obtém-se:

$$P_M = 1 - (1 - 0,16) \times (1 - 0,449) = 0,537$$

Para avaliar os componentes de risco decorrentes das descargas atmosféricas próximas à estrutura, utiliza-se a Equação 4.35:

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (4.35)$$

Após a aplicação dos valores conhecidos, obtém-se:

$$R_M = 6,24 \times 0,537 \times 0 = 0$$

Na Tabela 16, encontra-se todos os valores calculados para as zonas 1, 2 e 3. Para evitar redundâncias, os cálculos para as zonas 2 e 3 foram realizados com base nos mesmos parâmetros da zona 1. Isso foi feito para garantir que as informações permaneçam claras e concisas, sem a necessidade de repetir fórmulas ou equações.

De acordo com a norma ABNT 5419 (2015b, p. 20), o risco tolerável (R_T) para perda de vida humana ou ferimentos permanentes é estabelecido em 1×10^{-5} . Para determinar se a estrutura necessita de um sistema de SPDA, realizamos uma análise do risco total, representado por R_1 . Esse cálculo envolve a soma de todos os valores de risco associados às diferentes zonas da estrutura. Se o valor total de R_1 for menor ou igual a R_T , não é necessário implementar proteção contra descargas atmosféricas. No entanto, se for maior, a instalação de um SPDA é recomendada para garantir a segurança da estrutura.

Tabela 16 Risco R1 Galpão 1– sem medidas de proteção (valores x 10⁻⁵)

Tipos de Danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Estrutura
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	RA = ND x PA x LA	0,006993	0,027589	0,005058	0,039640
	RU = (NL + NDJ)x PU x LU	0,046840	0,184780	0,033883	0,265503
D2 Danos Físicos	RB = ND x PB x LB	0,000350	0,001379	0,025290	0,027019
	RV = (NL + NDJ)x PV x LV	0,002342	0,009239	0,169388	0,180969
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	RC = ND x PC x LC	0	0	0	0
	RM = NM x PM x LM	0	0	0	0
	RW = (NL + NDJ)x PW x LW	0	0	0	0
	RZ = NI x PZ x LZ	0	0	0	0
Total		0,056525	0,222988	0,233619	0,513132
Tolerável		R1<RT: a estrutura está protegida para este tipo de perda			1,00000

Fonte: Do autor.

Considerando que o risco R1 ficou abaixo do R_T, o que indica que a estrutura está protegida dentro dos parâmetros estabelecidos, conclui-se que a instalação de SPDA no Galpão 1 não é necessária. Essa determinação se baseia no fato de que a proteção abrange não apenas os perigos relacionados a ferimentos em seres vivos devido a choques elétricos, mas também a prevenção de danos físicos na estrutura.

4.3 Avaliação Galpão 2

Continuando a avaliação, procede-se com a análise da necessidade de implementar um sistema de SPDA na Empresa em estudo. Agora a análise se concentrará na avaliação da necessidade de instalação no Galpão 2, seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente no tópico 4.1.2.

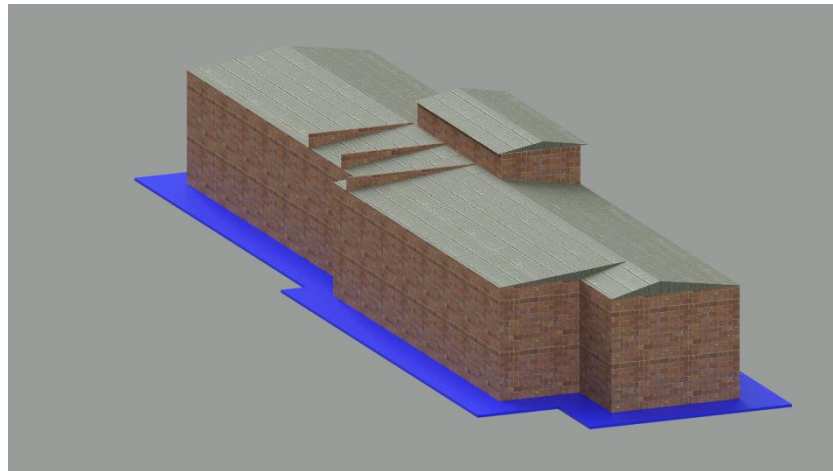
Com o objetivo de manter a clareza e a objetividade do trabalho, evitaremos a repetição de equações e explicações. Portanto, este tópico apresentará apenas os resultados e levantamentos pertinentes, conforme estabelecido pela NBR 5419:2015.

4.3.1 Dados do Projeto

As zonas para classificação dos riscos foram assim divididas:

- Zona Z1 - Corresponde à área externa em torno dos condutores de descida em até 3m fora da edificação, conforme demonstrado em azul na Figura 12;

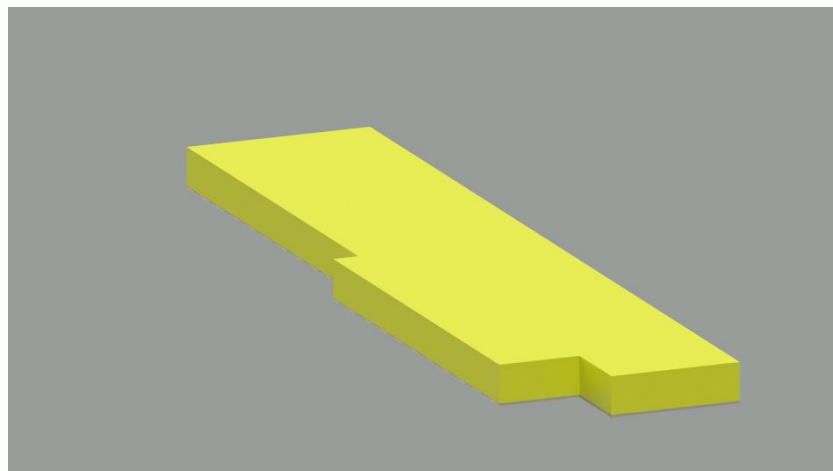
Figura 12 Zona 1 do Galpão 2



Fonte: Do autor.

- Zona Z2 - Corresponde à área interna do galpão onde se localiza o laboratório físico (1º andar), conforme demonstrado em amarelo na Figura 13;

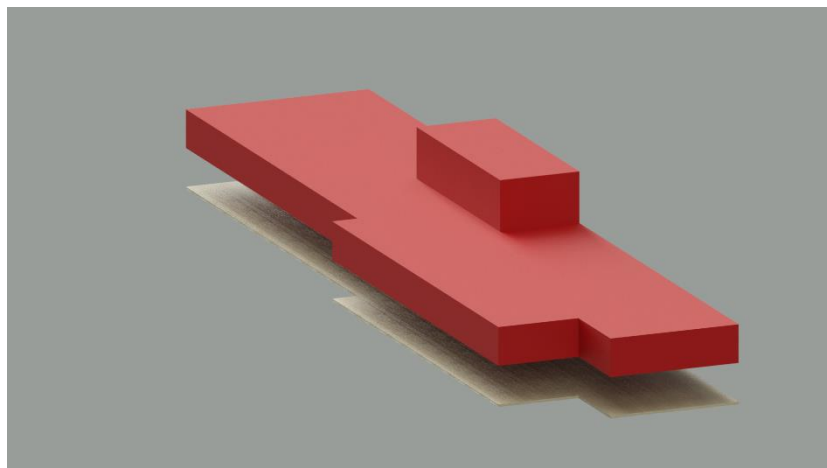
Figura 13 Zona 2 do Galpão 2



Fonte: Do autor.

- Zona Z3 - Corresponde à área interna do galpão onde se localiza o laboratório Químico e salas dos clientes (2º e 3º andares), conforme demonstrado em verde na Figura 14.

Figura 14 Zona 3 do Galpão 2



Fonte: Do autor.

A Tabela 17 apresenta o número de funcionários em cada zona, acompanhado do respectivo intervalo de tempo.

Tabela 17 Distribuição de pessoas por zona Galpão 2

Zona	Número de pessoas	Tempo de presença anual
Z1 - Área externa até 3m da edificação.	2	8760h
Z2 - Laboratório físico, salas de processos (1º andar).	37	2304h
Z3 - Laboratório Químico e salas dos clientes (2º andar)	53	2304h
Total (N_t)	92	-

Fonte: Do autor.

4.3.2 Características da estrutura e do meio ambiente

A estrutura está situada em uma área onde as construções são cercadas por objetos de mesma altura ou mais baixo. Mais informações sobre a edificação e seu entorno podem ser encontradas na Tabela 18.

Tabela 18 Características da Estrutura e Meio Ambiente Galpão 2

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Ocupação da estrutura	Indústria	-	-	-
Densidade de descargas atmosféricas para a terra [1/(km²/ano)]	Segundo NBR5419:2015 e http://www.inpe.br/webelat/homepage/	N_G	7	Figura F.5 NBR 5419-2:2015
Dimensão da estrutura (m²)	Estrutura Complexa	A_D	8496	Apêndice 2
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Fator tipo de linha - Energia	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	C_T	0,2	Tabela A.3 NBR 5419-2:2015
Fator tipo de linha - Sinal	Linha de energia em BT	C_{T2}	1	Tabela A.3 NBR 5419-2:2015
SPDA	Não há SPDA Instalado	P_B	1	Tabela B.2 NBR5419-2:2015
Nível de proteção - Linha energia	Sem DPS	$P_{EB/P}$	1	Tabela B.7 NBR5419-2:2015

Nível de proteção - Linha Sinal	Sem DPS	$P_{EB/T}$	1	Tabela B.7 NBR5419-2:2015
Blindagem espacial externa	Não há blindagem espacial	$K_{s1}(1)$	1	Equação B5 NBR5419-2:2015

(1) $K_{s1}=0,12 \times Lm1 = 1$ (valor máximo)

Fonte: Do autor.

4.3.3 Características relativas à linha de energia elétrica e sinais

As Tabelas 19 e 20 apresentam, respectivamente, as características relacionadas à linha de energia e ao sinal.

Tabela 19 Características relativas à linha de energia elétrica Galpão 2

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)	Linha de energia	L_L	1000	-
Fator de instalação da linha	Enterrado	C_i	0,5	Tabela A.2
Fator de tipo de linha	Linha de média tensão	C_T	0,2	Tabela A.3
Fator Ambiental da linha	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem de linha (Ω/km)	Linha aérea ou enterrada, não blindada	R_S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente (m^2)	Sim	L, W, H	85x21x8	
Fator de localização da estrutura adjacente	Não	C_{DJ}	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Tensão suportável dos sistemas internos	Parâmetros resultantes	U_W	2	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		$K_{s4}(1)$	0,05	Equação B.7 NBR 5419-2:2015
		P_{LD}	1	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		P_{LI}	0,6	Tabela B.9 NBR 5419-2:2015

$$(1) K_{s4} = \frac{1}{U_W} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Fonte: Do autor.

Tabela 20 Características relativas à linha de sinais Galpão 2

Parâmetro de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)	Linha de energia	L_L	1000	-
Fator de instalação da linha	Aéreo	C_i	1	Tabela A.2
Fator de tipo de linha	Linha de sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator Ambiental da linha	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem de linha (Ω/km)	Linha aérea ou enterrada, não blindada	R_S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Sim	L, W, H	85x21x8	

Fator de localização da estrutura adjacente	Não	C _{DJ}	0,5	Tabela A.1 NBR 5419-2:2015
Tensão suportável dos sistemas internos		U _w	1,5	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		K _{S4} (1)	0,67	Equação B.7 NBR 5419-2:2015
	Parâmetros resultantes	P _{LD}	1	Tabela B.8 NBR 5419-2:2015
		P _{LI}	0,5	Tabela B.9 NBR 5419-2:2015

$$(1) K_{S4} = \frac{1}{U_w} = \frac{1}{1,5} = 0,67$$

Fonte: Do autor.

4.3.4 Fatores relacionados com a zona Z1, Z2 e Z3

As Tabelas 21, 22 e 23 apresentam as características resultantes das zonas 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 21 Características resultantes das zonas Z1 Galpão 2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência	
Tipo de piso	Agricultura, concreto	r _i	0,01	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015	
Risco de incêndio	Normal	r _f	0,01	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.	r _p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015	
Blindagem espacial	Nenhuma	K _{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015	
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/P}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/T}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	h _z	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L _T	0,01	
	D2: devido a danos físicos	Outros	L _F	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D3: devido a falhas de sistemas internos	-	L _O	0	
Número de pessoas na zona		n _z	2		
Tempo de presença das pessoas na zona		t _z	8760		

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

Tabela 22 Características resultantes das zonas Z2 Galpão 2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	r _i	0,001	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015	
Risco de incêndio	Normal	r _f	0,01	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015	
Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.	r _p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015	
Blindagem espacial	Nenhuma	K _{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015	
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/P}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K _{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P _{SPD/T}	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L _T	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D2: devido a danos físicos	Outros	L _F	0,01	
	D3: devido a falhas de sistemas internos	-	L _O	0	
Número de pessoas na zona		nz	37		
Tempo de presença das pessoas na zona		tz	2304		

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

Tabela 23 Características resultantes das zonas Z3 Galpão 2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	r _i	0,001	Tabela C.3 NBR 5419-2:2015
Proteção contra choques (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1	Tabela B.1 NBR 5419-2:2015
Proteção contra choques (linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1	Tabela B.6 NBR 5419-2:2015
Risco de incêndio	Normal	r _f	0,01	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015
Risco de explosão	Nenhum	r _f	0	Tabela C.5 NBR 5419-2:2015

Proteção contra incêndio	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape.		r_p	0,5	Tabela C.4 NBR 5419-2:2015
Blindagem espacial	Nenhuma		K_{S2} (1)	1	Equação B.6 NBR 5419-2:2015
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD/P}$	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
Telecom	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Equação B.5 NBR 5419-2:2015
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD/T}$	1	Tabela B.3 NBR 5419-2:2015
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6 NBR 5419-2:2015
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L_T	0,01	Tabela C.2 NBR 5419-2:2015
	D2: devido a danos físicos	Outros	L_F	0,01	
	D3: devido a falhas de sistemas internos	-	L_O	0	
Número de pessoas na zona			n_z	53	
Tempo de presença das pessoas na zona			t_z	2304	

(1) Utilizado valor máximo conforme NOTA 2 da NBR 5419-2:2015 p. 44

Fonte: Do autor.

4.3.5 Determinação das áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

As ilustrações das áreas da estrutura equivalente do Galpão 2, AD e AM, estão disponíveis nos apêndices 2 e 3, respectivamente. Devido à complexidade da estrutura, foi necessário o uso do *software* AutoCAD 2024 para calcular essas áreas com precisão. Na Tabela 24 estão listadas as áreas de exposição equivalente calculadas.

Tabela 24 Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência	Equação
Estrutura	A_D	8.496	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	872.582	Equação A.7	$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	A_{LP}	40.000	Equação A.9	$A_L = 40 \times LL$
	A_{IP}	4.000.000	Equação A.11	$A_I = 4000 \times LL$
	A_{DJP}	8.682	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha de sinais	A_{LT}	40.000	Equação A.9	$A_L = 40 \times LL$
	A_{IT}	4.000.000	Equação A.11	$A_I = 4000 \times LL$
	A_{DJT}	8.682	Equação A.2	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$

Fonte: Do autor.

4.3.6 Número anual de eventos perigosos esperados

Na Tabela 25, são apresentados os dados calculados relativos ao número anual de eventos perigosos esperados na estrutura do Galpão 2.

Tabela 25 Número anual de eventos perigosos esperados Galpão 2

	Símbolo	Resultado	Referência	Equação
Estrutura	N_D	$2,974 \times 10^{-2}$	Equação A.4	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	6,108	Equação A.6	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Linha de energia	N_{LP}	$1,40 \times 10^{-2}$	Equação A.8	$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{IP}	1,4	Equação A.10	$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{DJP}	$6,078 \times 10^{-3}$	Equação A.5	$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$
Linha de sinais	N_{LT}	$1,4 \times 10^{-1}$	Equação A.8	$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{IT}	14	Equação A.10	$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$
	N_{DJT}	$3,039 \times 10^{-2}$	Equação A.5	$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$

Fonte: Do autor.

4.3.7 Parâmetros resultantes

Nas Tabelas 26, 27 e 28, encontram-se listados os parâmetros L_X das zonas 1, 2 e 3, respectivamente. Todas essas zonas estão relacionadas à estrutura denominada Galpão 2. Esses parâmetros desempenham um papel crucial no cálculo do índice de vulnerabilidade R1.

Tabela 26 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1 - Galpão 2

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L_A	$2,174 \times 10^{-6}$	Equação 4.11
	L_U	$2,174 \times 10^{-6}$	Equação 4.12
	$L_B=L_V$	$1,087 \times 10^{-6}$	Equação 4.13
	$L_C=L_M=L_W=L_Z$	0	Equação 4.14

Fonte: Do autor.

Tabela 27 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z2 - Galpão 2

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L_A	$1,058 \times 10^{-6}$	Equação 4.11
	L_U	$1,058 \times 10^{-6}$	Equação 4.12
	$L_B=L_V$	$5,289 \times 10^{-6}$	Equação 4.13
	$L_C=L_M=L_W=L_Z$	0	Equação 4.14

Fonte: Do autor.

Tabela 28 Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z3 - Galpão 2

	Perda típica	Resultado	Equação
Parâmetros resultantes	L_A	$1,515 \times 10^{-6}$	Equação 4.11
	L_U	$1,515 \times 10^{-6}$	Equação 4.12
	$L_B=L_V$	$7,576 \times 10^{-6}$	Equação 4.13
	$L_C=L_M=L_W=L_Z$	0	Equação 4.14

Fonte: Do autor.

4.3.8 Cálculo do risco R1

Ao analisar o risco R1 do Galpão 2, conforme destacado na Tabela 29, observa-se que a estrutura não requer a instalação de um SPDA. O valor obtido de R1 foi de $0,412 \times 10^{-5}$, abaixo

do limite tolerável para danos à vida, que é de 1×10^{-5} . Isso indica que a estrutura não necessita de proteção específica para mitigar esse tipo de perda.

Tabela 29 Risco R1 Galpão 2 – sem medidas de proteção (valores x 10-5)

Tipos de Danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Estrutura
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	RA = ND x PA x LA	0,006464	0,003145	0,004506	0,014115
	RU = (NL + NDJ)x PU x LU	0,041406	0,020147	0,028859	0,090412
D2 Danos Físicos	RB = ND x PB x LB	0,003232	0,015727	0,022528	0,041487
	RV = (NL + NDJ)x PV x LV	0,020703	0,100735	0,144296	0,265735
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	RC = ND x PC x LC	0	0	0	0
	RM = NM x PM x LM	0	0	0	0
	RW = (NL + NDJ)x PW x LW	0	0	0	0
	RZ = NI x PZ x LZ	0	0	0	0
Total		0,071805	0,139755	0,200189	0,411749
Tolerável		R1 < RT: a estrutura está protegida para este tipo de perda			1,00000

Fonte: Do autor.

5 COORDENAÇÃO DE DPS NA EMPRESA EM ESTUDO

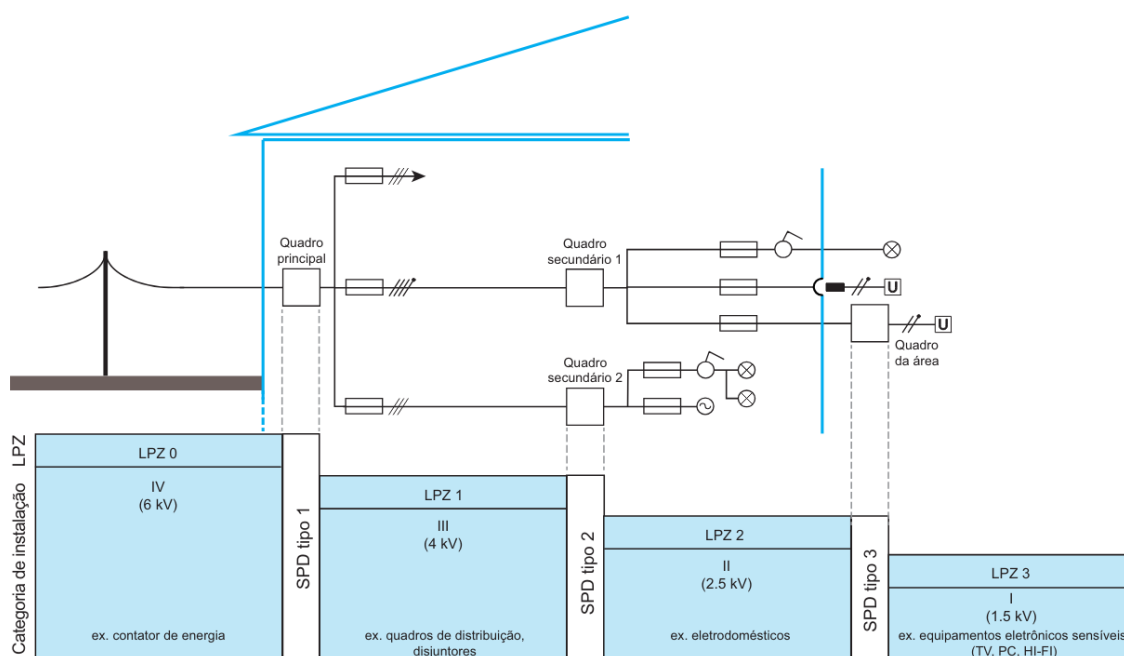
5.1 Parâmetros de um DPS

Conforme discutido no tópico 4.1 deste estudo, a empresa em estudo foi considerada protegida contra o risco de perda de vidas em suas estruturas. No entanto, é importante salientar que ao longo dos anos a empresa tem enfrentado prejuízos financeiros devido a danos em equipamentos causados por surtos de tensão em seu sistema, conforme foi apresentado no tópico 1.2.1 deste estudo.

Atualmente, a empresa em estudo não possui DPS em suas instalações, o que a expõe a surtos de tensão decorrentes de descargas atmosféricas e/ou do chaveamento de média tensão realizado pela concessionária de energia. Com o propósito de aprimorar a confiabilidade do sistema, foi conduzido um estudo de coordenação de DPS. Este esforço visa mitigar os impactos negativos de surtos elétricos e garantir a proteção adequada dos equipamentos da empresa.

Para assegurar a confiabilidade do sistema, foi realizada uma coordenação precisa dos DPS, abrangendo todas as classes disponíveis. Um exemplo ilustrativo dessa coordenação é apresentado na Figura 15 (Finder, 2022, p. 7), onde o quadro principal aloca os DPS tipo 1, enquanto os quadros secundários comportam os DPS tipo 2, e os quadros dos equipamentos, também conhecidos como quadros de área, acomodam os DPS tipo 3. Essa abordagem garante que a proteção seja mais eficaz à medida que se aproxima dos equipamentos mais sensíveis.

Figura 15 Exemplo de coordenação de DPS



Fonte: (Finder, 2022, p. 7)

Para dimensionar adequadamente o DPS, é crucial conhecer a tensão máxima de pulso suportada pelo equipamento a ser protegido, denominada U_w . Um equipamento presente na empresa em estudo que é suscetível a danos recorrentes é o inversor de frequência. No Quadro

1, mostra-se a tensão máxima de pulso monofásica suportada pelo inversor WEG CFW08, equipamento no qual a Empresa em estudo possui em maior quantidade.

Quadro 1 Descrição das categorias de EMC do inversor de frequência CFW08

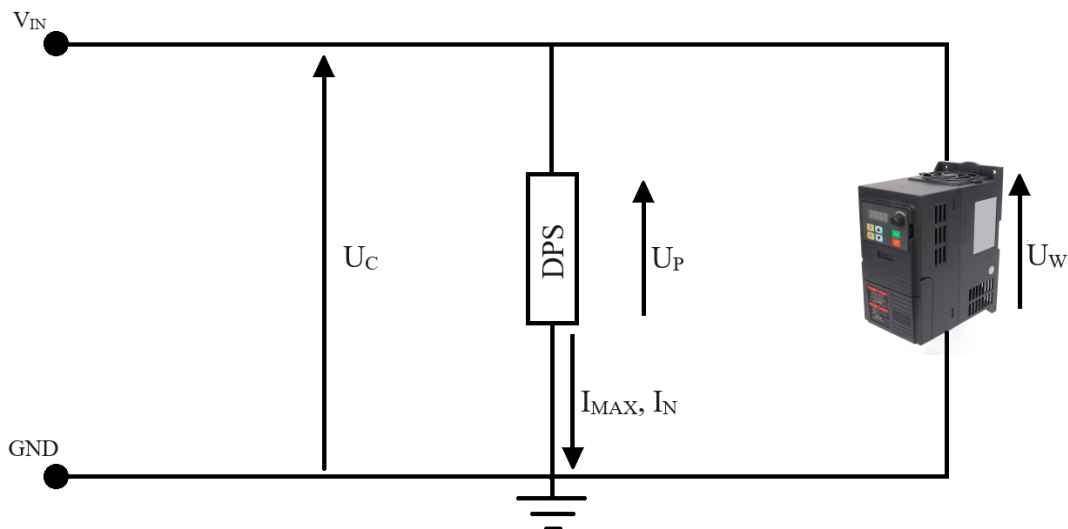
Fenômeno de EMC	Norma Básica para Método de Teste	Nível
Emissão:		
Emissão Conduzida ("Mains Terminal Disturbance Voltage" - Faixa de Frequência: de 150kHz a 30MHz)	IEC/EN61800-3	"First environment" (*1), distribuição restrita (*4, 5) - Classe A
Emissão Radiada ("Electromagnetic Radiation Disturbance" - Faixa de Frequência: 30MHz a 1000MHz)	IEC/EN61800-3	"Second environment" (*2), distribuição irrestrita (*3)
Imunidade:		
Descarga Eletrostática (ESD)	IEC 61000-4-2	6kV descarga por contato
Transientes Rápidos ("Fast Transient-Burst")	IEC 61000-4-4	4kV/2.5kHz (ponteira capacitiva) cabos de entrada; 2kV/5kHz cabos de controle; 2kV/5kHz (ponteira capacitiva) cabo do motor; 1kV/5kHz (ponteira capacitiva) cabo da HMI remota
Imunidade Conduzida ("Conducted Radio-Frequency Common Mode")	IEC 61000-4-6	0.15 a 80MHz; 10V; 80% AM (1kHz) - cabos do motor, de controle e da HMI remota
Surtos	IEC 61000-4-5	1.2/50µs, 8/20µs; 1kV acoplamento linha-linha; 2kV acoplamento linha-terra
Campo Eletromagnético de Rádio Frequência	IEC 61000-4-3	80 to 1000MHz; 10V/m; 80% AM (1kHz)

Fonte: (WEG, 2003, p. 46)

A coordenação eficiente do DPS permite ao sistema absorver essa tensão de pulso antes que o equipamento seja prejudicado. Para isso, o DPS localizado antes do equipamento deve ter uma tensão U_P menor que a U_W .

Na Figura 16, é apresentado um esboço ilustrativo que mostra como o DPS é integrado ao sistema a ser protegido, destacando os diversos parâmetros que influenciam o seu funcionamento. Esta representação visual oferece uma compreensão clara de como o DPS interage com o sistema e quais fatores são relevantes para o seu desempenho adequado.

Figura 16 Esquema do DPS inserido em um circuito



Fonte: Do autor.

5.2 Projeto de coordenação de DPS

O termo U_C denota a máxima tensão de operação contínua, representando o limite máximo que a tensão da rede pode atingir em um regime permanente antes de acionar o DPS. Na Tabela 31 retirada da (ABNT 5410, 2004, p. 133), são detalhados os valores mínimos de U_C exigidos para o DPS, variando conforme o tipo de aterramento.

Para dimensionar o U_C de acordo com a NBR 5410:2004, é fundamental considerar tanto o tipo de aterramento quanto o valor U_O (tensão fase-neutro) da instalação. Na empresa em estudo, o tipo de aterramento adotado é o TN-S, e o valor U_O é de 127V.

De acordo com a Resolução Normativa N° 956, de 7 de dezembro de 2021 (ANEEL 2021, p. 64), estabelece os valores de tensão em regime permanente para clientes faturados em baixa tensão (127/220V), são considerados adequados se a tensão fase-neutro estiver entre 117V e 133V. Esses valores são detalhados na Tabela 30.

Tabela 30 Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (220/127)

Tensão de atendimento	Faixa de variação da tensão de leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231)$ $(117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$ $(TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: ANEEL (2021, p. 64).

Para este dimensionamento, será aplicada a Equação 5.1, considerado o maior valor de tensão que pode ser entregue pela concessionária na condição adequada.

$$U_C = U_o \times 1,1 \quad (5.1)$$

Ao aplica a Equação:

$$U_C \geq 133 \times 1,1 \geq 146,30V$$

O valor comercial mais próximo ao calculado, utilizado pelos fabricantes de DPS, é de $U_C = 175V$.

Tabela 31 Valor mínimo de U_C exigível do DPS, em função do esquema de aterramento

DPS conectado entre				Esquema de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S	IT com neutro distribuído	IT sem neutro distribuído
X	X			$1,1 U_o$		$1,1 U_o$	$1,1 U_o$	
X		X		$1,1 U_o$		$1,1 U_o$	$\sqrt{3} U_o$	U
X			X		$1,1 U_o$			
	X	X		U_o		U_o	U_o	

NOTAS

- 1 Ausência de indicação significa que a conexão considerada não se aplica ao esquema de aterramento.
- 2 U_o é a tensão fase–neutro.
- 3 U é a tensão entre fases.
- 4 Os valores adequados de U_C podem ser significativamente superiores aos valores mínimos da tabela.

Fonte: (ABNT 5410, 2004, p. 133)

Para realizar o dimensionamento dos parâmetros restantes, o trabalho foi dividido em 3 subtópicos, sendo cada um responsável pelo dimensionamento de uma classe de DPS. Essa abordagem estruturada facilita a análise e o cálculo específico de cada classe de dispositivo, garantindo um processo de dimensionamento eficiente e organizado.

5.2.1 Dimensionamento DPS classe 1

Para realizar o dimensionamento do DPS classe 1, é fundamental conhecer a tensão de alimentação da estrutura. Na empresa em estudo, por exemplo, a tensão nominal da instalação é de 220V trifásicos. Com essa informação em mãos, consulta-se a Tabela 32, extraída da norma ABNT 5410 (2004, p. 71), onde são definidos os valores mínimos da tensão de proteção U_P .

É crucial destacar que quanto menor a tensão U_P de um DPS, maior será a proteção oferecida ao equipamento. Levando em consideração essa informação, o valor de U_P deve ser o menor possível, desde que não comprometa a tensão máxima de operação contínua U_C .

Tabela 32 Suportabilidade a impulso exigível dos componentes de instalação

Tensão nominal da instalação V		Tensão de impulso suportável requerida kV			
		Categoria de produto			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de suportabilidade a impulsos			
		IV	III	II	I
120/208 127/220	115-230 120-240 127-254	4	2,5	1,5	0,8
220/380, 230/400, 277/480	–	6	4	2,5	1,5
400/690	–	8	6	4	2,5

Fonte: (ABNT 5410, 2004, p. 71)

Conforme a Tabela 31, o valor máximo que pode ser utilizado na entrada da instalação é de:

$$U_p \leq 4kV$$

O próximo parâmetro a ser determinado é a corrente de impulso I_{imp} . Dado que a instalação não possui um sistema de SPDA para calcular diretamente a corrente proveniente de uma descarga atmosférica que possa atingir a estrutura, adotou-se o valor mediano de amplitude de correntes de descargas atmosféricas negativas registradas em Minas Gerais, na estação de pesquisa Morro do Cachimbo (Visacro et al, 2003). O valor mediano, pela própria definição indica que 50% das descargas possuem uma corrente superior a 45kA, enquanto os outros 50% têm uma corrente inferior a esse valor.

Com isso o valor da corrente de impulso será definido como a mediana das descargas atmosféricas em Minas Gerais, DPS no qual será responsável por surtos que venham adentrar a estrutura pela linha de energia:

$$I_{imp} \geq 45kA$$

Na Tabela 33 se encontram todas as informações encontradas sobre o DPS Classe 1

Tabela 33 Parâmetros mínimos para o DPS classe 1

Tipo DPS	I
U_C	$\geq 146V$
I_{imp}	$\geq 45kA$
U_p	$\leq 4kV$

Fonte: Do autor.

Antes de proceder com a instalação do DPS, é essencial verificar se há a necessidade de dispositivos de proteções adicionais. Conforme indicado pelo fabricante (Finder, 2022, p. 32),

os DPS podem ser instalados sem fusíveis de proteção, desde que o valor da proteção a montante seja menor do que o indicado no catálogo.

É crucial realizar o dimensionamento adequado do fusível, pois uma seleção inadequada pode levar à abertura precoce, comprometendo o desempenho do DPS. A Finder conduziu testes em seu laboratório, substituindo o fusível por disjuntores diferenciais e simples.

Durante esses experimentos (Finder, 2022, p. 32), vários disjuntores de curva C, foram acionados durante a passagem de surtos de tensão com forma de onda de $8/20\mu s^1$, indicando uma operação inadequada. Os valores de corrente de acionamento registrados foram consideravelmente inferiores à corrente nominal do DPS, evidenciando que a inclusão de um disjuntor automático a montante compromete o desempenho do DPS, que só operará corretamente sob correntes mais baixas.

Por isso, é aconselhável sempre consultar o fabricante para verificar a compatibilidade do DPS com o dispositivo de proteção a montante. No caso da Finder, recomenda-se utilizar fusíveis que não afetem a $U_{P/f}$ (nível de tensão de impulso resultante) e cuja operação seja padronizada. Outros fabricantes de DPS, como a Clamper (Catálogo Clamper, p. 8), também sugerem o uso de fusíveis. Enquanto isso, a fabricante Margirius (Margirius, p. 2) menciona que seus dispositivos podem ser utilizados com fusíveis ou disjuntores, conforme especificado no catálogo técnico.

O DPS selecionado é da marca Clamper, modelo SCL 275V 60kA. Trata-se de um DPS monopolar, Classe 1, do tipo comutador de tensão. Ele é composto por um Spark Gap com capacidade de dreno de correntes parciais de descargas atmosféricas de até 60 kA. De acordo com a Tabela 34, será necessário um fusível 315 gL/gG para proteção a montante. Todas as especificações detalhadas do DPS podem ser encontradas na Tabela 35.

¹ Forma de onda de 8/20 significa que a onda possui 8 microssegundos de frente e 20 microssegundos até alcançar 50% do valor de pico na calda da onda.

Tabela 34 Características DPS classe 1 Clamper

Classe	I	SCL	GCL N/PE			GCL SP	
CARACTERÍSTICAS	Unid.	60 kA	25 kA	50 kA	100 kA	25 kA	50 kA
Normas aplicáveis	-	ABNT NBR IEC 61643-1 / UL 1449 / ABNT NBR 5410					
Tempo de resposta típico	ns	100					
Máxima corrente de curto-circuito sem fusível backup	kA	80	5		80	10	
Fusível backup máximo	A	315 gL/gG	250 gL/gG				
Temperatura de operação	°C	-40 a +70					
Seção dos condutores de conexão	mm ²	35	4 a 25		35	25	
Fixação	-	Trilho DIN 35	Trilho DIN 35 ou garras (NEMA)		Trilho DIN 35	Trilho DIN 35 ou garras (NEMA)	
Torque	Nm	2,0					
Grau de proteção	-	IP 20					
Acondicionamento	-	Caixa Poliamida reforçada com fibra de vidro UL 94 V0					
Dimensão DIN 43880	MOD	2	1		2	1	
Dimensões (C x A x L)	mm	90 x 67 x 35	90 x 64 x 17,5		90 x 67 x 35	90,6 x 66 x 17,5	

Fonte: (Catalogo Clamper, p. 8)

Tabela 35 Características técnicas DPS classe 1 Clamper

Standard	SR	SCL GCL N/PE GCL SP Modelo	Tensão máxima de operação contínua		Corrente de descarga nominal @ 8/20µs	Corrente de descarga máxima @ 8/20µs	Corrente de impulso @ 10/350µs	Corrente subsequente de interrupção	Energia específica	Carga	Nível de Proteção	Peso Aproximado
			U _c AC	DC								
006012	-	SCL 275V 60kA	275V	350V	60 kA	120 kA	60 kA	20 kA	900 kJ/Ω	30 As	1,3 kV	225g
006685	-	SCL 460V 60kA	460V	615V	60 kA	120 kA	60 kA	3,5 kA	900 kJ/Ω	30 As	2,5 kV	225g
005124	-	GCL N/PE 275V 25kA Slim	275V	350V	20 kA	50 kA	25 kA	0,1 kA	156 kJ/Ω	12,5 As	1,3 kV	90g
008855	-	GCL N/PE 250V 50kA Slim	250V	350V	50 kA	120 kA	50 kA	0,1 kA	625 kJ/Ω	25 As	1,5 kV	105g
006111	-	GCL N/PE 275V 100kA	275V	350V	75 kA	150 kA	100 kA	0,1 kA	2500 kJ/Ω	50 As	1,3 kV	210g
-	-	GCL N/PE SP 250V 25 kA	250V	350V	20 kA	50 kA	25 kA	0,1 kA	156 kJ/Ω	12,5 As	1,3 kV	-
008186	-	GCL N/PE SP 250V 50 kA	250V	350V	50 kA	120 kA	50 kA	0,1 kA	625 kJ/Ω	25 As	1,3 kV	125g

Fonte: (Catalogo Clamper, p. 8)

Na Tabela 36, foram compiladas todas as informações referentes ao DPS classe I, incluindo o resultado dos cálculos realizados e os detalhes do dispositivo escolhido. Esta Tabela

serve como um recurso abrangente para visualizar de forma consolidada todos os aspectos relevantes do DPS e facilitar o acompanhamento e análise do dimensionamento realizado.

Tabela 36 Compilação das informações DPS classe 1

	Calculado	Escolhido
Tipo DPS	I	I
U_C	146V	275V
I_{imp}	45kA	60kA
U_P	4kV	1,3kV
Fusível backup máximo 315 gL/gG		

Fonte: Do autor.

5.2.2 Dimensionamento DPS classe 2

Para dimensionar a corrente nominal I_n do DPS classe 2, é fundamental consultar a NBR 5410:2004 (ABNT 5410, 2004, p. 133), especialmente porque a instalação não conta com SPDA e não é obrigatória a sua instalação. Conforme estabelecido na norma, os DPS destinados à proteção contra sobretensões de origem atmosférica e de manobra devem ter um valor mínimo de corrente nominal (I_n) de 5kA (8/20 μ s).

$$I_n \geq 5kA$$

Para determinar a máxima tensão de impulso U_P , é necessário consultar a NBR5419-4, que emprega a Equação (5.2) para calcular o nível resultante de tensão de impulso em circuitos com mais de 10m de comprimento. Vale destacar que o valor das sobretensões induzidas U_I foi considerado insignificante devido ao uso de uma estrutura em formato de grade, que anula a sobretensão induzida por descarga (ABNT 5419, 2015d, p. 77).

$$U_{P/F} \leq \frac{U_W - U_I}{2} \quad (5.2)$$

Onde:

$U_{P/F}$ – É o nível de tensão de impulso resultante;

U_w – É a tensão de impulso suportada pelo equipamento a ser protegido;

U_I – É a sobretensão induzida.

Aplicando a Equação, tem-se:

$$U_{P/F} \leq \frac{2kV - 0}{2} \leq 1kV$$

Em seguida aplica-se a Equação (5.3) (ABNT 5419, 2015d, p. 77) onde-se será definido a máxima tensão de impulso U_P :

$$U_{P/F} = 1,2 \times U_P \quad (5.3)$$

Reformulando a Equação:

$$U_P = \frac{U_{P/F}}{1,2}$$

Substituindo os valores:

$$U_P \leq \frac{1kV}{1,2} \leq 0,833kV$$

Na Tabela 37 se encontram todas as informações calculadas sobre o DPS Classe 2.

Tabela 37 Parâmetros mínimos para o DPS classe 2

Tipo DPS	II
U_C	$\geq 146V$
I_n	$\geq 5kA$
U_P	$\leq 0,833kV$

Fonte: Do autor.

O DPS escolhido pertence à marca Clamper, modelo VCL 175V 10kA. Trata-se de um DPS unipolar, de Classe 2, do tipo limitador de tensão, composto por Varistor de Óxido de Zinco (MOV), com capacidade de absorção de correntes de surto de até 30 kA na forma de onda 8/20 μs .

Conforme indicado na Tabela 38, é necessário um fusível 100 gL/gG para proteção a montante. Todas as especificações detalhadas do DPS podem ser encontradas na Tabela 39.

Tabela 38 Características DPS classe 2 Clamper

CLASSE	II	VCL Slim	VCL Slim/SR	VCL SP	VCL SP/SR
CARACTERÍSTICAS	Unid.	MONOBLOCO		PLUGÁVEL	
Normas aplicáveis	-	NBR IEC 61643-1 / UL 1449 / NBR 5410:2004			
Tempo de resposta típico	ns	25			
Proteção térmica	-	Sim			
Máxima corrente de curto-circuito sem fusível backup	kA	5			
Fusível backup máximo	A	100 gL/gG		125 gL/gG	
Temperatura de operação	°C	-40 a +70			
Seção dos condutores de conexão	mm ²	4 a 25			
Fixação	-	Trilho DIN 35 mm ou Garra (Nema)			
Torque	Nm	2,0			
Grau de proteção	-	IP 20			
Acondicionamento	-	Caixa Poliamida reforçada com fibra de vidro UL 94 V0			
Parâmetros elétricos dos contatos de sinalização remota	-	120VAC@1A / 24VCC@1A			
Dimensão DIN 43880	MOD	1			
Dimensões VCL Slim - VCL SP (C x A x L)	mm	90 x 64 x 17,5		90,6 x 66 x 17,5	
Dimensões VCL Slim SR (C x A x L)	mm	94 x 64 x 17,5		94,6 x 66 x 17,5	
Sinalização remota	-	Opcional			
Parâmetros elétricos dos contatos de sinalização remota	-	1A@120VCA/1A@24VCC			
Seção transversal do cabo dos contatos da indicação remota mm ²	mm ²	1,5			

Fonte: (Catalogo Clamper, p. 10)

Tabela 39 Características técnicas DPS classe 2 Clamper

CDI		VCL SLIM	Máxima tensão de operação contínua		Corrente de descarga nominal @ 8/20µs	Corrente de descarga máxima @8/20µs	Máxima energia absorvida em 10/1000µs	Máxima potência de dissipação	Tensão de refer. @ 1mA	Nível de Proteção	Tensão residual @ 5kA	Peso Aprox.
Standard	SR	Modelo	U _c		I _n	I _{máx}	W _{máx}	P _{máx}	U _{ref}	U _p	U _{res}	g
			AC	DC								
005276	005277	VCL 75V 12kA Slim	75V	100V	5 kA	12 kA	88 J	1,0 W	120V	0,4 kV	0,4 kV	80
004967	004972	VCL 75V 20kA Slim	75V	100V	10 kA	20 kA	145 J	1,0 W	120V	0,4 kV	0,3 kV	80
004075	004216	VCL 75V 30kA Slim	75V	100V	10 kA	30 kA	280 J	1,2 W	120V	0,5 kV	0,3 kV	85
004024	004217	VCL 75V 45kA Slim	75V	100V	20 kA	45 kA	340 J	1,4 W	120V	0,6 kV	0,3 kV	90
004076	004218	VCL 75V 90kA Slim	75V	100V	30 kA	90 kA	680 J	2,8 W	120V	0,4 kV	0,3 kV	95
006229	006230	VCL 175V 15kA Slim	175V	225V	5 kA	15 kA	235 J	1,0 W	270V	0,8 kV	0,7 kV	80
004968	004973	VCL 175V 20kA Slim	175V	225V	10 kA	20 kA	350 J	1,0 W	270V	0,8 kV	0,7 kV	80
004027	004261	VCL 175V 30kA Slim	175V	225V	10 kA	30 kA	700 J	1,2 W	270V	0,8 kV	0,6 kV	85
003984	004122	VCL 175V 45kA Slim	175V	225V	20 kA	45 kA	840 J	1,4 W	270V	1,2 kV	0,6 kV	90

Fonte: (Catalogo Clamper, p. 11)

A Tabela 40 foi elaborada para reunir de forma completa todas as informações relacionadas ao DPS classe 2, nela encontram-se não apenas os resultados dos cálculos efetuados, mas também os detalhes específicos do dispositivo selecionado. Essa Tabela proporciona uma visão global e organizada de todos os aspectos pertinentes ao DPS, facilitando a análise e o acompanhamento do dimensionamento realizado.

Tabela 40 Compilação das informações DPS classe 2

	Calculado	Escolhido
Tipo DPS	II	II
U_C	146V	175V
I_n	5kA	10kA
U_P	0,83kV	0,8kV
Fusível backup máximo 100 gL/gG		

Fonte: Do autor.

5.2.3 Dimensionamento DPS classe 3

Próximos aos equipamentos eletrônicos a serem protegidos, são empregados os DPS de classe 3, devido à sua rapidez e capacidade de eliminar os surtos de tensão residuais. De acordo com a norma IEC 61643-12, citada pelo (Paulino et al., 2016, p. 197) todos os dispositivos localizados a mais de 10 metros do quadro de distribuição secundário devem ser equipados com esse tipo de DPS.

Conforme estabelecido na NBR5410 (página 195), a máxima tensão de impulso do DPS deve ser inferior àquela suportada pelo equipamento e também deve atender aos critérios especificados na Tabela 31. Para um sistema trifásico de 127/220V alimentado por elementos especialmente protegidos, a máxima tensão permitida (U_P) no DPS é de 0,8kV.

De acordo com o manual do fabricante do inversor de frequência, conforme ilustrado no Quadro 1, a máxima tensão de surto suportada pelos equipamentos a serem protegidos é de 2kV. Portanto, a máxima tensão U_P deve satisfazer as condições estabelecidas tanto pelo

fabricante do equipamento quanto pela norma NBR5410-2004. Nesse contexto, a proteção mais sensível deve ser escolhida, no caso o limite de U_p deve ser de 0,8kV.

$$U_{P\ NBR5410} \leq 0,8kV$$

$$U_{P\ Equipam.} \leq 2kV$$

A Tabela 41 apresenta todos os dados calculados relativos ao DPS de Classe 3 respeitando o valor mínimo de I_n , conforme calculado no tópico 5.2.2 deste estudo.

Tabela 41 Parâmetros mínimos para o DPS classe 3

Tipo DPS	III
U_c	$\geq 146V$
I_n	$\geq 5kA$
U_p	$\leq 0,8kV$

Fonte: Do autor.

O DPS escolhido pertence à marca Metaltex, modelo DPS3-101-1 de 10kA. Trata-se de um DPS unipolar, de Classe 3, do tipo limitador de tensão, composto por Varistor de Óxido de Zinco (MOV), com capacidade de absorção de correntes de surto de até 20 kA na forma de onda 8/20 μs . As informações adicionais são encontradas na Tabela 42:

Tabela 42 Características DPS classe 3 Metaltex

Modelo / Model		DPS3-101-1	DPS3-102-1
Norma / Standard		IEC61643-1	
Pólos / Poles		1	
Classe / Class		III	
Máxima tensão de operação / Maximum continuous operating voltage	(U_c)	175VCA / VAC	275VCA / VAC
Corrente nominal de descarga (8/20 μs) / Nominal discharge current	(I_n)	10kA	
Máxima corrente de descarga (8/20 μs) / Maximum discharge current	(I_{max})	20kA	
Nível de tensão de proteção / Voltage protection level	(U_p)	0,8kV	1kV
Tempo de resposta / Response time		<25 ns	
Fio aplicável / Applicable wire	L/N	6mm ²	
	PE	10mm ²	
Temperatura ambiente / Ambient temperature		-40 ~ 85°C	
Umidade relativa / Relative humidity	(25°C)	$\leq 95\%$	
Grau de proteção / Protection degree		IP20	
Trilho para instalação / Mounting rail		TS35	

Fonte: (Metaltex).

Foi preparada a Tabela 43 para consolidar de forma abrangente todas as informações pertinentes ao DPS de Classe 3. Nesta Tabela, além dos resultados dos cálculos realizados, são apresentados também os detalhes específicos do dispositivo selecionado.

Tabela 43 Compilação das informações DPS classe 3

	Calculado	Escolhido
Tipo DPS	III	III
U_c	146V	175V
I_n	5kA	10kA
U_p	0,8kV	0,8kV
Fusível backup não informado		

Fonte: Do autor.

5.2.4 Disposição dos DPS de linha de energia elétrica na Empresa em estudo

No Apêndice A4 está representado o esquemático que ilustra a disposição dos DPS, sendo posicionados de acordo com sua respectiva classe de proteção. O DPS de classe 1, localizado no quadro de distribuição geral (QDG), tem como função principal neutralizar os surtos de descarga elétrica provenientes da rede da concessionária. Ele é projetado para suportar e conduzir eficientemente a corrente de impulso gerada por essas descargas.

Nos quadros secundários (QDS), encontram-se os DPS de classe 2, responsáveis por suprimir os surtos decorrentes de manobras na média tensão e as tensões induzidas por descargas próximas às estruturas.

Por fim, nos painéis dos equipamentos (QDE), são instalados os DPS de classe 3. Sua função é drenar qualquer tensão de impulso que ultrapasse o valor limite (U_w) do equipamento, protegendo assim os dispositivos sensíveis contra danos dos surtos de tensão.

5.2.5 Dimensionamento DPS linha de sinal

O dimensionamento da proteção contra surtos de tensão na linha de sinal foi dividido em setores distintos, abrangendo redes cabeadas, telefonia e antena. Em cada setor, a proteção foi elaborada considerando as características específicas do sistema, como a tensão nominal do circuito a ser alimentado e o nível de suporte contra surtos necessário. Essa abordagem permite uma proteção precisa e eficaz, adaptada às necessidades individuais de cada sistema e garantindo a segurança e integridade dos equipamentos e dispositivos conectados.

5.2.5.1 Dimensionamento do DPS de sinal de rede cabeada

Na infraestrutura de comunicação cabeada da Empresa em estudo, adota-se o protocolo Ethernet CAT 5e com capacidade de 1Gbps. Um aspecto primordial é garantir que os adaptadores suportem essa velocidade de comunicação sem restrições causadas pela proteção contra surtos elétricos.

Para proteger essa rede, foi selecionado o DPS da Série 800 CLAMPER Ethernet CAT5e, que emprega diodo Avalanche de Silício (SAD) e Centelhador a Gás (GDT) para sua proteção. Este dispositivo apresenta três valores distintos de U_C :

- U_C linha-linha - Suporta até 6V aplicados sobre os terminais responsáveis pela transferência de dados, acionando o DPS quando esse limite é excedido;
- U_C linha-terra - Permite uma tensão máxima de 150V entre o terra e os terminais do DPS;
- U_C PoE - Em redes que utilizam a tecnologia *Power over Ethernet* (PoE), o DPS tem uma U_C de 50V, uma vez que a transmissão de energia elétrica é combinada com os dados por meio dos cabos Ethernet padrão.

Detalhes específicos sobre essas características podem ser observados na Tabela 44, que apresenta as especificações do DPS escolhido para proteger os *hubs*, *switches* e roteadores da rede.

Tabela 44 Características DPS Ethernet Clamper

Características técnicas	Unid.	Série 800 - CLAMPER Ethernet CAT5e			
Norma aplicável	-	IEC 61643-21 Ato 1120 da ANATEL			
Código CLAMPER	-	013201	013202	017190	017198
Modelos	-	S800 CLAMPER Ethernet CAT5e	S800 CLAMPER Ethernet CAT5e + PoE	S800 CLAMPER Ethernet CAT5e*	S800 CLAMPER Ethernet CAT5e+PoE*
Conexão de terra	-	Parafuso M3		Parafuso M5	
Kit de aterramento	-	Não incluído		Incluído	
Tecnologia de proteção	-	Diodo de Avalanche de Silício (SAD) e Centelhador a Gás (GDT)			
Tempo de resposta típico	ps	1			
Corrente de carga nominal - I_L	A	1			
Número de condutores protegidos	-	8			
Máxima tensão de operação contínua (linha-linha) - U_C	V	6			
Máxima tensão de operação contínua (linha-terra) - U_C	V	150			
Máxima tensão de operação contínua (PoE) - U_C	V	-	50	-	50
Tensão residual (linha-linha) @ 100 A 8/20 μ s - U_{res}	V	20			
Tensão residual (linha-linha) @ 15 A 10/100 μ s - U_{res}	V	97			
Tensão de disparo sob impulso (linha-terra) @ 100 V/ μ s	V	< 600			
Corrente de descarga máxima (linha-linha) @ 8/20 μ s - I_{max}	A	100			
Corrente de descarga nominal (linha-terra) @ 8/20 μ s - I_n	kA	10			
Corrente total de descarga nominal (linha-terra) @ 8/20 μ s - I_n	kA	40			
Capacitância máxima (linha-linha) à 1 MHz	pF	12			
Capacitância máxima (linha-terra) à 1 MHz	pF	13,5			
Velocidade de transmissão	Gbps	1			
Temperatura de operação	°C	-40 ... +70			
Conexão de entrada e saída	-	Conector RJ45 CAT5e Fêmea blindado			
Acondicionamento	-	Materiais com características de não propagação e auto-extinção do fogo			
Grau de proteção	-	IP20			
Peso aproximado	g	42	47	50**	55**
Dimensões	mm	81 x 57 x 22,3 (C x L x A)			

*Versões acompanhadas com kit de aterramento.

** O peso apresentado não inclui o kit de aterramento

Fonte: (Clamper DPS ethernet, p. 1).

5.2.5.2 Dimensionamento do DPS de sinal de telefonia

A rede de telefone opera com uma tensão de -48VCC, conforme indicado por (Alencar 2011, p. 37). Considerando essa especificação, é crucial selecionar um DPS cuja U_C seja superior a 48VCC. Com base nessa exigência, foi escolhido o DPS modelo 823.B da Clamper.

Este dispositivo oferece uma proteção em três estágios em cascata, que inclui um Diodo de Avalanche - SAD, um Varistor de Óxido de Zinco - MOV e um Centelhador a Gás - GTD. Detalhes sobre as especificações do DPS podem ser encontrados na Tabela 45.

Tabela 45 Características DPS telefonia Clamper

Características Técnicas	Unid.	822.B		823.B	
Normas aplicáveis	-	IEC 61643-21 / Prática Telebrás 235-430-727 / ITU-TK.21 / UL 497			
Código Clamper	-	007260	007261	007262	007264
Aplicação	-	Linha / Terra ou Linha / Linha			
Tecnologia de proteção	-	Diodo de Avalanche (SAD) e Centelhador a Gás (GDT)		Diodo de Avalanche (SAD), Varistor de óxido de zinco (MOV) e Centelhador a Gás (GDT)	
Tempo de resposta típico	ps	01			
Número de condutores protegidos	-	02 (dois)			
Corrente máxima de operação - I_{op}	mA	100			
Tensão máxima de operação contínua - U_c	Vcc	20	130	20	130
Tensão de referência @ 100V/s (1 mA)	V	22,8 a 25,2	380 a 420	22,8 a 25,2	380 a 420
Tensão de referência @ 10/1000 μ A	-	33,2 V @ 45 A	548 V @ 2,8 A	33,2 V @ 45 A	548 V @ 2,8 A
Corrente de descarga máxima @ 8/20 μ s - $I_{m\acute{a}x}$	kA	10			
Nível de proteção - U_p	kV	0,6			
Resistência em série (por condutor)	Ω	< 10			
Sinalização do status de operação	-	Fim de vida útil em curto circuito			
Temperatura de operação	$^{\circ}$ C	-40 ... +70			
Conexão de entrada	-	Borne # 0,5 ... 4mm ²			
Conexão de saída	-	Borne # 0,5 ... 4mm ²			
Acondicionamento	-	Caixa plástica azul, não propagante à chama			
Grau de proteção	-	IP 20			
Peso aproximado	g	40		42	
Dimensões	mm	79,5 x 63,5 x 12 (C x A x L)			

Fonte: (Clamper DPS Telefonia, p. 1)

5.2.5.3 Dimensionamento do DPS de sinal antena

Na infraestrutura da Empresa em estudo, há uma antena via satélite que se comunica por meio de uma conexão coaxial. Para proteger essa antena, optou-se pelo uso do DPS Clamper 812.X.050/N FM-FM, que emprega a tecnologia de proteção com centelhador a gás. Esse DPS é especialmente projetado para proteger sinais VHF e UHF e possui conexões elétricas por meio de conectores tipo N. Todos os detalhes e especificações técnicas desse dispositivo podem ser encontrados na Tabela 46. Essa escolha visa garantir a segurança da antena e a integridade dos sinais de comunicação, proporcionando um funcionamento confiável e duradouro do sistema.

Tabela 46 Características DPS antenna Clamper

Características Técnicas	Unidade	812.X.050/N FM-FM	812.X.050/N FM-MC
Código CLAMPER		001089	003901
Normas aplicável	-	IEC 61643-21 [C2]	
Tecnologia de proteção	-	Centelhador a gás (GDT)	
Número de condutores protegidos	-	01 (um)	
Tempo de resposta típico	ns	100	
Corrente de descarga máxima @ 8/20 µs - I _{máx}	kA	10	
Nível de exposição	-	Moderado	
Nível de proteção - U _p	V	600	
Tensão máxima de serviço	V	50	
Tensão de referência @ 100 V/s (1 mA) - U _{ref}	V	90 ± 20%	
Impedância	Ω	50	
Perda por inserção (0,1 Ghz ~ 4,0 Ghz)	dB	< 0,7	
Temperatura máxima de operação	°C	-40 ... +70	
Conexão de entrada	-	Conector tipo N Fêmea	Conector tipo N Fêmea
Conexão de saída	-	Conector tipo N Fêmea	Conector tipo N Macho
Acondicionamento	-	Invólucro metálico	
Grau de proteção	-	IP20	
Peso aproximado	g	150	160
Dimensões	mm	54 x 50 x 25 (C x A x P)	57 x 50 x 25 (C x A x P)

Fonte: (Clamper Coaxial, p.1)

5.3 Custos dos protetores de surtos

Com base no levantamento dos Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), foi realizada uma cotação para determinar o custo de aquisição de todos os DPS listados na seção 5.2 deste estudo. A cotação foi conduzida junto as empresas Clamper e MCEIG no dia 19/06/2024. Conforme apresentado na Tabela 47, é possível verificar os preços individuais e o valor total necessário para a compra dos materiais.

Tabela 47 Custo dos DPS necessários para a empresa em estudo

Quantidade	Descrição	Valor unitário	Valor total
3	SCL 275V 60kA Clamper classe 1	R\$ 489,90	R\$ 1.469,70
24	VCL 175V 10kA Clamper classe 2	R\$ 61,49	R\$ 1.475,76
36	DPS3-101-1 Metaltex classe 3	R\$ 54,89	R\$ 1.976,04
28	CLAMPER Ethernet CAT 5e + PoE	R\$ 161,90	R\$ 4.533,20
4	DPS 823.B Clamper 130V	R\$ 95,00	R\$ 380,00
2	DPS S800 812.X.050/F FM-FM (ZAMAC)	R\$ 56,90	R\$ 113,80
Total			R\$ 9.948,50

Fonte: Do autor.

6 CONCLUSÃO

A conclusão do trabalho sobre SPDA mostra a complexidade e a importância do gerenciamento de risco em instalações elétricas industriais. Após um minucioso levantamento de riscos, constatou-se que a instalação de um SPDA não era necessária, pois o risco R1 ficou abaixo do R_T , critério do qual a NBR5419:2015 utiliza para a exigência de medidas de proteções adicionais. No entanto, a análise revelou que a empresa sofria frequentemente com perdas significativas atribuídas à má qualidade da energia elétrica, principalmente devido a surtos de tensão e descargas atmosféricas que penetravam pela linha de energia. Este cenário destaca a necessidade de uma abordagem abrangente para proteger os sistemas elétricos e eletrônicos sensíveis.

Para mitigar esses problemas, foi realizada uma investigação detalhada sobre a implementação de DPS. A instalação desses dispositivos em todos os quadros de distribuição e nos quadros dos equipamentos críticos foi identificada como uma solução eficaz. Essa medida protege os equipamentos contra surtos de tensão causados por descargas atmosféricas, melhora a qualidade da energia elétrica ao reduzir interrupções e eliminar tensões de surtos, além de prolongar a vida útil dos dispositivos.

A adoção de DPS em todos os pontos críticos da infraestrutura elétrica da empresa representa uma abordagem proativa para a proteção dos ativos e continuidade operacional. Além disso, esta solução é economicamente viável em comparação com as perdas potenciais e os custos de reparação de equipamentos danificados. A implementação de DPS também é compatível com as melhores práticas de engenharia elétrica e normas internacionais, garantindo a conformidade e segurança das instalações.

Em resumo, embora a instalação de um SPDA não tenha sido justificada pelo gerenciamento de risco inicial, a adoção de DPS se mostrou uma medida essencial para mitigar os impactos negativos do surto de tensão e descargas atmosféricas. Esta estratégia fortalece a resiliência da empresa contra eventos imprevisíveis e contribui significativamente para a estabilidade e eficiência das operações. Assim, este trabalho reforça a importância de uma análise detalhada e adaptativa das necessidades de proteção elétrica, garantindo a integridade e continuidade dos processos industriais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. [S. l.: s. n.], 2004.
- ABNT. NBR 5419-1:2015: **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais**. [S. l.: s. n.], 2015a.
- ABNT. NBR 5419-2:2015: **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco**. [S. l.: s. n.], 2015b.
- ABNT. NBR 5419-3:2015: **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida**. [S. l.: s. n.], 2015c.
- ABNT. NBR 5419-4:2015: **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**. [S. l.: s. n.], 2015d.
- ALENCAR, Marcelo. **Telefonia digital**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2011. ISBN 978-85-365-2212-8.
- BEZERRA, Gabriel. **Análise de Sistemas de Aterramento com Hastes Concretadas Submetidos a Correntes Impulsivas**. 2017. Dissertação de mestrado — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: [http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/492/GABRIEL%20VIDAL%20NEGREIROS%20BEZERRA%20-%20DISSERTAÇÃO%20\(PPGEE\)%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/492/GABRIEL%20VIDAL%20NEGREIROS%20BEZERRA%20-%20DISSERTAÇÃO%20(PPGEE)%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 26 out. 2023.
- CATALOGO CLAMPER. **Catalogo Dispositivos de Proteção contra Surtos elétricos DPS**. Lagoa Santa: Clamper.
- CLAMPER. [Imagem de DPS Clamper UC 275V 20kA in 10kA Up <1,2kV]. Imagem. Disponível em: https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/1199382/dps_clamper_front_275v_20ka_com_contato_de_monitoramento_protetor_c_telef_energ_173_2_7714b15aefd1aee62a59a3db718da641.png. Acesso em: 10 maio 2024.
- CLAMPER COAXIAL. **812.X.050/N**. [S. l.: s. n.]. E-book. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/nerit-cms/clamper/file/fil_0121-FT-812.X.050-N-port_02.pdf. Acesso em: 15 maio 2024.
- CLAMPER DPS ETHERNET. **Série 800 - CLAMPER Ethernet CAT5e**. [S. l.: s. n.]. E-book. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/nerit-cms/clamper/file/fil_0101-FT_S800_CLAMPER%20Ethernet%20CAT5e_04_portugues.pdf. Acesso em: 15 maio 2024.
- CLAMPER DPS TELEFONIA. **822.B/823.B**. [S. l.]: Clamper. E-book. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/nerit-cms/clamper/file/fil_0095-822.B%20-%20823.B%20-%20rev.01.pdf. Acesso em: 15 maio 2024.
- COSTA, Danilo de Melo. **Higher education and the effectiveness of public policy funding mechanisms in Canada**. Contextus: Revista Contemporânea de Economia e Gestão, Fortaleza, v.16, n.1, p. 210-240, jan/abr 2018.

COORAY, V.; **Lightning Protection in IET - Power and Energy Series 58** (editado por Vernoon Cooray), 2010.

ELAT - **Grupo de Eletricidade Atmosférica**. 2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em: 19 fev. 2024.

FINDER. **Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos - DPS**. [S. l.: s. n.], 2022. E-book. Disponível em: https://cdn.findernet.com/app/uploads/2020/09/15130941/Surge_protection_PT.pdf. Acesso em: 10 maio 2024.

GOOGLE. **Google Earth**. Versão 10.45.0.3. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

INPE. **Levantamento inédito sobre mortes por raios no Brasil resulta em segunda melhor matéria de divulgação científica em 2020**. [S. l.], 16 abr. 2021. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5770. Acesso em: 9 ago. 2023.

INPE. **Mapa do Biênio 2018/2019**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/incidencia.de.descargas.no.pais.php>. Acesso em: 9 ago. 2023.

INPE (org.). **Edificações/Pára-raios**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protECAO/protECAO.edificacoes.php>. Acesso em: 31 ago. 2023.

INPE. **VOCÊ sabia?**. [S. l.], [202-?]. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>. Acesso em: 18 out. 2023.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 10. ed. [S. l.]: Grupo GEN, 2023. ISBN 978-85-216-3864-3.

MARGIRIUS. **Datasheet: DPS - DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.margirius.com.br/catalogos/Port/Tecnico%20-%20Portugues%20-%20DPS.pdf>. Acesso em: 10 maio 2024.

METALTEX. **Dispositivo de Proteção contra Surtos DPS3**. Disponível em: <https://www.metaltex.com.br/assets/produtos/pdf/dps3.pdf>. Acesso em: 14 maio 2024.

NISKIER, Julio; MACINTYRE, Archibald. **Instalações Elétricas**. COSTA, Luiz (ed.). 7. ed. atual. Rio de Janeiro: LTC, 2020. ISBN 978-85-216-3730-1.

PAULINO, José et al. **Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações**. Lagoa Santa - MG: Clamper, 2016. E-book. ISBN 978-85-93065-00-2. Disponível em: <https://clamper.com.br/wp-content/uploads/2023/01/PROTECAO-DE-EQUIPAMENTOS-ELETRICOS-E-ELETRONICOS-CONTRA-SURTOS-ELETRICOS-EM-INSTALACOES-CLAMPER.pdf>. Acesso em: 11 maio 2024.

SOUZA, André Nunes et al. **SPDA sistema de proteção contra descargas atmosféricas: Teoria, prática e legislação**. 2. ed. Brasil: Érica, 2020. 217 p. ISBN 978-85-365-3293-6.

WEG. **Manual do inversor de frequência CFW08**. [S. l.: s. n.], 2003.

Visacro, S.: **Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem em Engenharia**, Artiliber Editora Ltda, São Paulo, SP, 2005.

ANEXO A1 – TABELAS DA NBR5419/2015-2

Tabela A.1 – 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

Tabela A.2 – 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

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

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

Tabela A.4 – 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

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

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

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

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

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual 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

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

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

Tabela B.4 (continuação)

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C _{LD}	C _{LI}
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

Tabela B.5 – Valor do fator K_{S3} dependendo da 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.

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

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

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

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

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

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

Tabela B.9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_W 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

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.4)

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

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

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

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.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

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

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f 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

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

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

Tabela C.7 – Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

Tabela C.8 – Tipo de perda L2: 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

Tabela C.9 – Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

Tabela C.10 – Tipo de perda L3: 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

Tabela C.11 – Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)

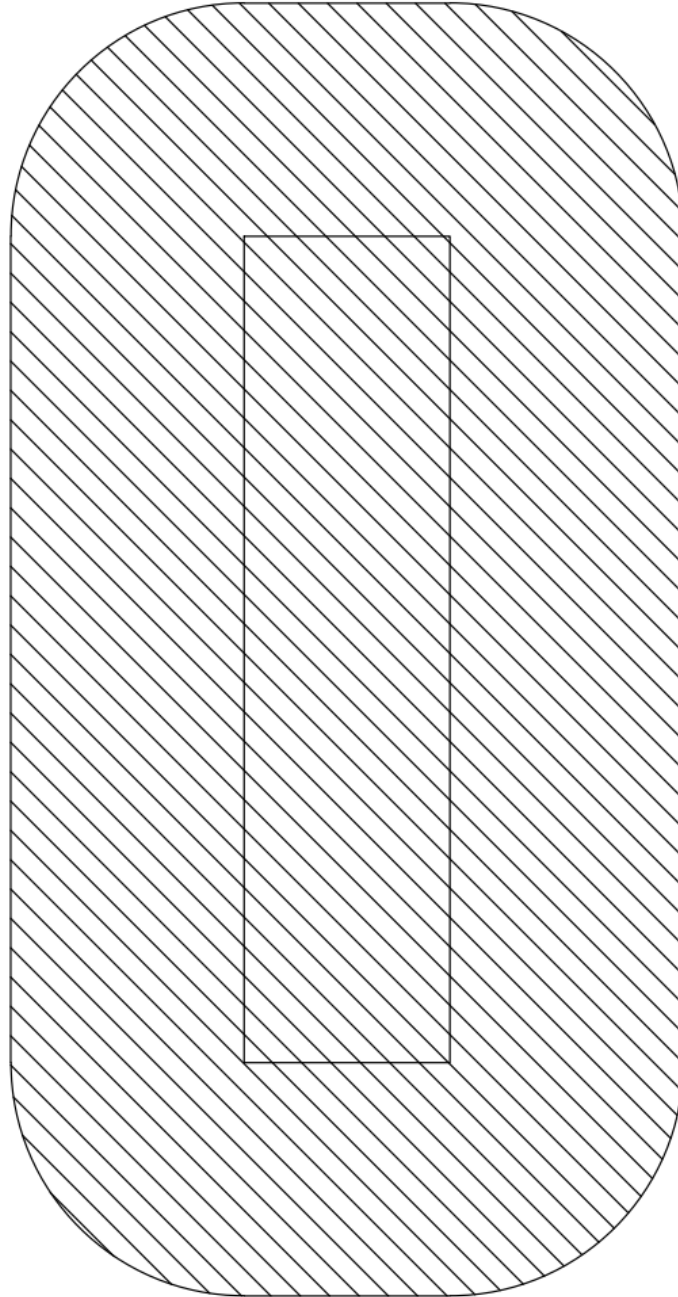
^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas nas equações (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 6.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.

Tabela C.12 – Tipo de perda L4: valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

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

APÊNDICES A1 – ÁREA Ad DO GALPÃO 1

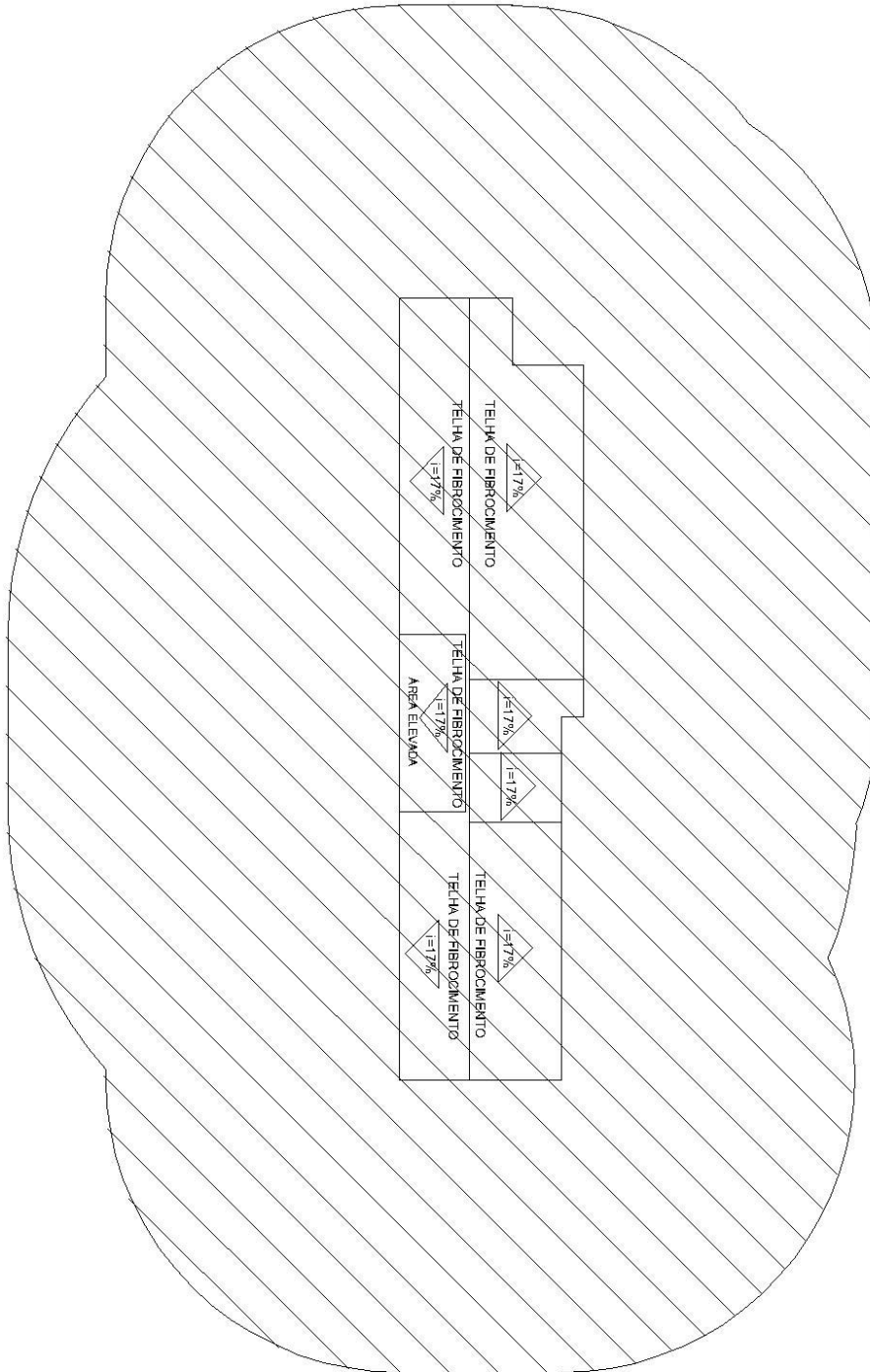
$$Ad = 8600,79\text{m}^2$$



Galpão 01
W= 84,52m
L= 21m
H= 7,95m

APÊNDICES A2 – ÁREA Ad DO GALPÃO 2

$$A_D = 8495,88\text{m}^2$$

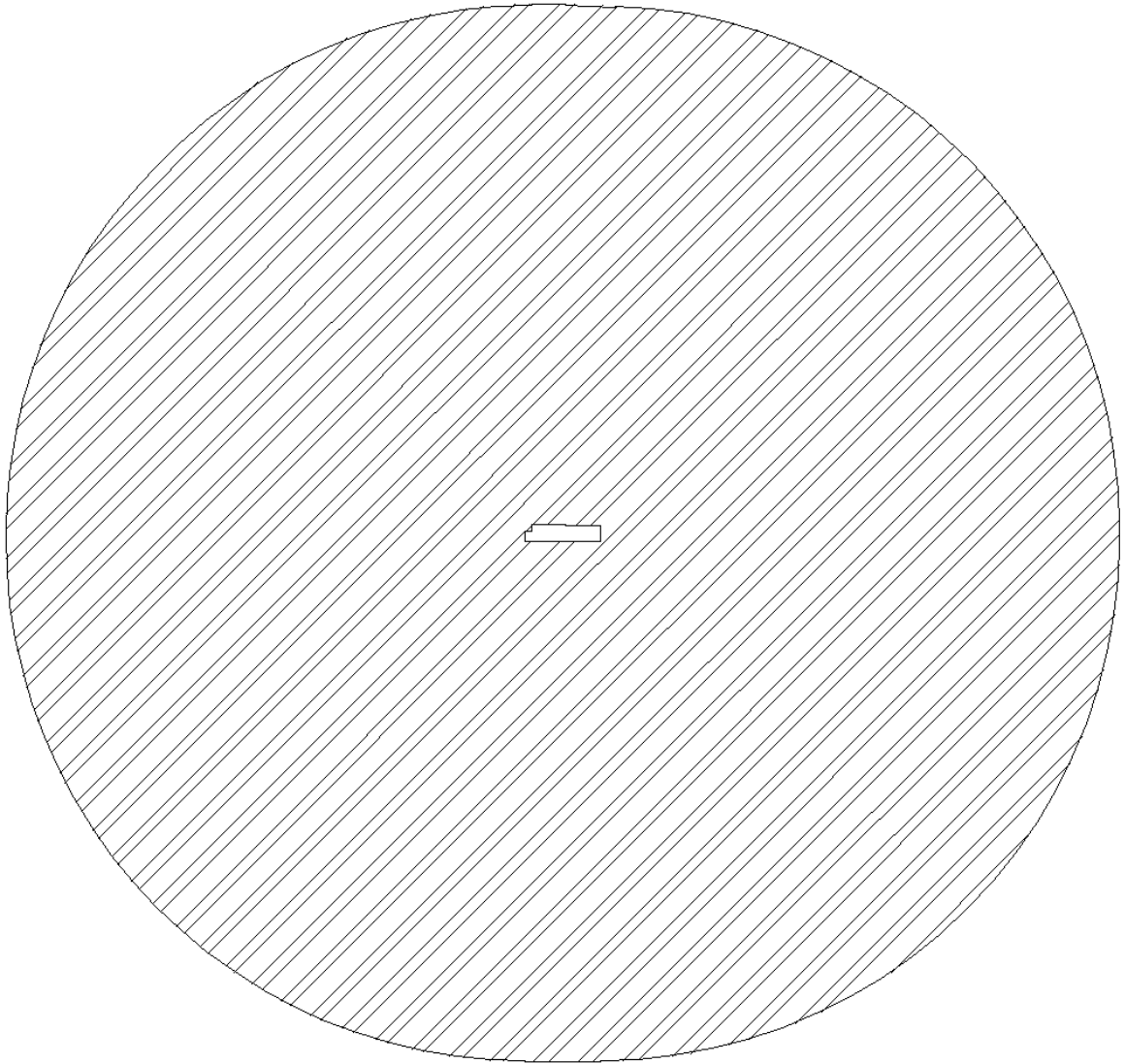


$$H_{\text{MIN}} = 9\text{m}$$

$$H_{\text{MAX}} = 12\text{m}$$

APÊNDICES A3 – ÁREA A_M DO GALPÃO 2

$$A_M = 872.581,66\text{m}^2$$



APÊNDICES A4 – ESQUEMÁTICO DA COORDENAÇÃO DOS DPS

