

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia Elétrica da UFMG
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Saulo Arruda de Faria

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA**

Belo Horizonte
2018

Saulo Arruda de Faria

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino

Belo Horizonte

2018

F224m	<p>Faria, Saulo Arruda de. Metodologia de análise de risco de implantação de sistema de proteção contra descarga atmosférica [recurso eletrônico] / Saulo Arruda de Faria. – 2018. 1 recurso online (122 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino.</p> <p>Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 119-122. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Raio - Teses. 3. Sistemas de energia elétrica - Proteção - Teses. I. Paulino, José Osvaldo Saldanha. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3(043)</p>
-------	---


"Metodologia de Análise de Risco de Implantação de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas"

Saulo Arruda de Faria


Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2018.

Por:



Prof. Dr. José Osvaldo Saldanha Paulino
DEE (UFMG) - Orientador



Prof. Dr. Rose Mary de Souza Batalha
Eng. Elétrica (PUC - MG)



Prof. Dr. Ronaldo Kascher Moreira
Eng. Eletrônica (PUC - MG)

RESUMO

Em 2015, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a nova versão da norma técnica NBR 5419, que orienta o projeto, instalação e manutenção dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) no país.

Entretanto, engenheiros estão tendo dificuldade em aplicar as recomendações da NBR 5419, principalmente porque essa nova versão apresenta conceitos mais complexos do que os apresentados pelas versões anteriores. A nova Norma é dividida em quatro partes:

- Parte 1: Princípios gerais
- Parte 2: Gerenciamento de risco
- Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida
- Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

Como auxílio para os profissionais projetistas, foi desenvolvida uma metodologia para ajuda-los a determinar a necessidade de sistema de proteção contra descargas atmosféricas e selecionar quais as medidas de proteção são preferíveis dependendo das prioridades da instalação. A grande novidade dessa metodologia é a seleção das medidas de proteção baseadas nas suas viabilidades econômicas, comparando os custos associados à adoção do SPDA e os custos associados aos danos causados por uma descarga atmosférica.

A metodologia é baseada na segunda parte da NBR 5419, que descreve o gerenciamento do risco de danos à vida, danos à edificação ou falhas de equipamentos devido a surtos eletromagnéticos oriundos de descargas atmosféricas. A dissertação explica quais são as componentes de risco mais importantes dependendo da prioridade da instalação em análise e quais os riscos podem ser alterados (e como eles podem ser alterados através de exemplos práticos) para reduzi-los aos níveis de referência.

Palavras-chave: análise de risco; sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA); NBR 5419; medidas de proteção; viabilidade econômica; compatibilidade eletromagnética; qualidade de energia; software de análise de risco.

ABSTRACT

In 2015, the Brazilian Technical Standard Association (ABNT) published the new version of the standard NBR 5419, which defines the rules about Lightning Protection Systems (LPS) in the country.

However, engineers are having trouble applying NBR 5419's recommendations, mainly because this new version presents much more complex concepts than the older versions. The new Standard is divided into four parts:

- Part 1: General principles.
- Part 2: Risk management.
- Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- Part 4: Electrical and electronic systems within structures.

A methodology was proposed to help Lightning Protection System (LPS) designers to determine a LPS necessity and to define the preferable protection measures depending on the priorities of the installation. The great novelty of this methodology is the selection of the protection measure based on their economic viability, making a comparison between the costs associated with each protection measure and their contribution for the risk's reduction.

The methodology is based on the second part of NBR 5419, which describes the risk management of an electromagnetic surge arising from a lightning causing life injury, damages to the building or equipment failures. The dissertation explains what risk components are more important depending on the priority of the installation under analysis and what risk components could be changed (and how they could be changed, giving practical solutions to the problem) to lower the risk below the recommended level.

Keywords: risk analysis; lightning protection system (LPS); NBR 5419; protection measures; economic feasibility; electromagnetic compatibility; power quality; risk analysis software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de um projeto de SPDA.....	46
Figura 2 – Elementos básicos de uma componente de risco.....	50
Figura 3 – Áreas de exposição equivalentes – A_D , A_{DJ} , A_M , A_I e A_L	55
Figura 4 – Subsistema de captação a) não isolado e b) isolado.....	58
Figura 5 – Subsistema de captação isolado: a) Método da esfera rolante e b) Método dos ângulos.....	58
Figura 6 – Zonas de proteção contra descargas atmosféricas (ZPR).....	61
Figura 7 – Influência de P_{TA} nas componentes de risco.	63
Figura 8 – Influência de r_p nas componentes de risco.	67
Figura 9 – Influência de P_B nas componentes de risco.....	68
Figura 10 – Influência de P_{TU} nas componentes de risco.....	70
Figura 11 – Influência de P_{LD} nas componentes de risco.	73
Figura 12 – Influência de P_{SPD} nas componentes de risco.	76
Figura 13 – Influência de P_{EB} nas componentes de risco.	77
Figura 14 – Influência de C_{LD} nas componentes de risco.	80
Figura 15 – Influência de C_{LI} nas componentes de risco.	81
Figura 16 – Influência de K_{S3} nas componentes de risco.	81
Figura 17 – Fluxograma da metodologia proposta de seleção das medidas de proteção.....	84
Figura 18 – Interface de entrada de dados: campo de configurações do cálculo.	85
Figura 19 – Interface de entrada de dados: campo de características gerais da estrutura.....	86
Figura 20 – Interface de entrada de dados: campo de características internas e monetárias da estrutura.	87
Figura 21 – Interface de entrada de dados: campo de medidas de proteção da estrutura.....	88
Figura 22 – Interface de entrada de dados: campo de características da região.	89
Figura 23 – Interface de entrada de dados: campo de características dos ocupantes da estrutura.....	89
Figura 24 – Interface de entrada de dados: campo de características da linha de energia conectada à estrutura.	90
Figura 25 – Interface de entrada de dados: campo de características da linha de telecomunicação conectada à estrutura.	91
Figura 26 – Exemplos de tabela de Medidas de Proteção Disponíveis para: a) Estrutura não protegida por SPDA e b) Estrutura protegida por SPDA Classe III.....	93

Figura 27 – Fluxograma da sub-rotina de listagem de medidas de proteção disponíveis.	94
Figura 28 – Características das linhas de serviço conectadas à estrutura do estudo de caso.....	112
Figura 29 – Características referentes a pessoas para a edificação do estudo de caso.....	112
Figura 30 – Características da estrutura do estudo de caso.	113
Figura 31 – Características da região onde se encontra a edificação do estudo de caso.....	114
Figura 32 – Resultado da análise de risco inicial de perda de vida humana (R1) da estrutura do estudo de caso.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os resultados do ALRISK e do SIRAC.	23
Tabela 2 – Comparação dos resultados do cálculo das componentes de risco através do RISK Multilingual e do SIRAC.....	24
Tabela 3 – Comparação dos resultados dos softwares NTC Online Tool, ALRISK e SIRAC.....	26
Tabela 4 – Comparação das características dos softwares Tupã 1.0.2 e SIRAC 1.0.3 NC.	28
Tabela 5 – Comparação dos resultados do software LIRA e do cálculo manual através da metodologia proposta pela IEC 62305-2:2010.....	30
Tabela 6 – Comparação entre os dados necessários para o cálculo do período de retorno para desastres relacionados a vento e a descargas atmosféricas.	33
Tabela 7 – Probabilidade da corrente de retorno de uma descarga atmosférica exceder o valor de I_{max} ou ser inferior a I_{min}	34
Tabela 8 – Valores típicos propostos para o tempo relacionado à presença de pessoas $t_e/8760$ em diferentes meios ambientes.	39
Tabela 9 – Valores típicos de L_{OE} , L_{FE} e da relação econômica típica c_e/c_t fora da estrutura.	39
Tabela 10 – Parâmetros das componentes de risco em ordem decrescente de importância.	41
Tabela 11 – Fatores absolutos da zona por tipo de dano e por tipo de perda.	43
Tabela 12 – Tipos de risco e seus componentes.....	48
Tabela 13 – Fontes de surtos eletromagnéticos, danos e perdas causadas por esses surtos.	49
Tabela 14 – Parâmetros que compõem o número de eventos perigosos das componentes de risco.	51
Tabela 15 – Parâmetros que compõem as probabilidades de dano das componentes de risco.	52
Tabela 16 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de vida humana ou de lesões permanentes.	53
Tabela 17 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de serviço ao público.	54
Tabela 18 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de patrimônio cultural.....	55
Tabela 19 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de valor econômico.....	56
Tabela 21 – Distância entre condutores da malha em um subsistema de captação não isolado.....	59
Tabela 22 – Distância entre condutores de descida.	60

Tabela 23 – Medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo perigosas (PTA): Características da estrutura e medidas de proteção.	64
Tabela 24 – Providências para reduzir as consequências de um incêndio (rp): Características da estrutura e medidas de proteção.	66
Tabela 25 – Valores da probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	69
Tabela 26 – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.	70
Tabela 27 – Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.	72
Tabela 28 – Valores das probabilidades PSPD e PEB em função do nível de proteção (NP) para o qual os DPS foram projetados.	75
Tabela 29 – Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento de linhas enterradas conectadas à estrutura.	78
Tabela 30 – Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento de linhas aéreas conectadas à estrutura.	79
Tabela 31 – Valor do fator KS3 dependendo das características da fiação interna.	82
Tabela 32 – Tabela de honorários de projetos de diferentes naturezas.	95
Tabela 33 – Cálculo do número de condutores de descida (ND), de condutores longitudinais (NClong) e latitudinais da malha de captação (NClat).	98
Tabela 34 – Lista de materiais de instalação de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.	99
Tabela 35 – Carga específica de incêndio a classe de risco de incêndio da estrutura.	101
Tabela 36 – Cálculo da densidade de chuveiros automáticos a partir da classificação de risco e da área de aplicação de chuveiros automáticos.	101
Tabela 37 – Área de cobertura e distância máxima entre chuveiros automáticos.	102
Tabela 38 – Dimensões mínimas de tubulação de aço galvanizado e a quantidade máxima de chuveiros permitida.	104
Tabela 39 – Quantidade de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS).	108
Tabela 40 – Valores típicos de risco tolerável RT.	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_C	Área construída da estrutura
A_{Cob}	Área de cobertura da estrutura
A_D	Área de exposição equivalente da estrutura
A_{DJ}	Área de exposição equivalente da estrutura adjacente
A_I	Área de exposição equivalente de descargas próximas à linha
A_L	Área de exposição equivalente da linha
A_M	Área de exposição equivalente de descargas próximas à estrutura
a_b	Ângulo da trama da malha de blindagem de cabos
A_S	Área de cada ambiente da estrutura (área de aplicação de chuveiros automáticos)
BEP	Barramento de Equipotencialização Principal
C	Coeficiente de atrito da tubulação do sistema de combate a incêndio através de chuveiros automáticos
C_D	Fator de localização da estrutura
C_{DJ}	Fator de localização da estrutura adjacente
C_E	Fator ambiental
C_I	Fator de instalação da linha
C_{LD}	Fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha
C_{LI}	Fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha
C_T	Fator tipo de linha
c_a	Valor dos animais em uma zona, em espécie
c_b	Valor do edifício relevante a zona, em espécie
c_c	Valor do conteúdo em uma zona, em espécie
c_e	Valor total dos bens em locais perigosos fora da estrutura, em espécie

c_s	Valor dos sistemas internos (incluindo suas atividades) em uma zona, em espécie
c_t	Valor total da estrutura, em espécie
c_z	Valor do patrimônio cultural em uma zona, em espécie
d_c	Distância entre chuveiros automáticos em um mesmo ramal
D_{CA}	Densidade de chuveiros automáticos em mm/min
d_r	Distância entre ramais de chuveiros automáticos em um mesmo ambiente
d_{max}	Distância máxima entre chuveiros automáticos
d_{xy}	Distância entre os chuveiros automáticos X e Y em um mesmo ramal
d_x	Diâmetro da tubulação do sistema de combate a incêndio através de chuveiros automáticos no trecho X
d_{VGA}	Diâmetro da tubulação do ramal de chuveiros automáticos até a válvula de governo e alarme (VGA)
D_1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
D_2	Danos físicos
D_3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos
hp_{xy}	Perda de carga no trecho de tubulação entre os chuveiros X e Y de um mesmo ramal
hp_{VGA}	Perda de carga na tubulação entre o ramal de chuveiros automáticos e a válvula de governo e alarme (VGA)
h_z	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
H	Altura da estrutura
I_{max}	Corrente máxima assumida que uma descarga atmosférica pode atingir no cálculo de risco através do conceito de período de retorno
I_{min}	Corrente mínima assumida que uma descarga atmosférica irá atingir no cálculo de risco através do conceito de período de retorno
I_n	Corrente de descarga nominal de dispositivos de proteção contra surtos elétricos

K	Fator relativo à descarga do chuveiro automático em função do diâmetro de seu orifício
K_{MS}	Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra pulso eletromagnético oriundo de descarga atmosférica
K_{S1}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
K_{S2}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura
K_{S3}	Fator relevante às características do cabeamento interno
K_{S4}	Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
L	Comprimento da estrutura
L_A	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na estrutura
L_{Amb}	Comprimento do ambiente (área de atuação dos chuveiros automáticos)
L_B	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura
L_{BE}	Perda externas a uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura
L_C	Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na estrutura
L_{CE}	Perda externa a uma estrutura relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na estrutura
L_E	Perda adicional quando os danos envolvem estruturas ao redor
L_F	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
L_{FE}	Perda devido a danos físicos fora da estrutura
L_{FT}	Perda total devido a danos físicos dentro e fora da estrutura
L_L	Comprimento de uma seção da linha
L_M	Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da estrutura

L_{ME}	Perda externa a uma estrutura relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura
L_O	Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos
L_{OE}	Perda externa a uma estrutura devido à falha de sistemas internos
L_T	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
L_U	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na linha
L_V	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha
L_{VE}	Perda externa a uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha
L_W	Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na linha
L_{WE}	Perda externa a uma estrutura relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na linha
L_X	Perda genérica (varia conforme a fonte e o tipo de dano analisado)
L_Z	Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da linha
L_{ZE}	Perda externa a uma estrutura relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da linha
L_1	Perda de vida humana
L_2	Perda de serviço ao público
L_3	Perda de patrimônio cultural
L_4	Perda de valor econômico
MPS_A	Valor atual do parâmetro alterado pela medida de proteção
MPS_N	Valor do parâmetro após a implantação da medida de proteção.
N_X	Número genérico de eventos perigosos por ano (varia conforme a fonte analisada de danos)
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_l	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha
N_{iR}	Número de descargas atmosféricas com corrente superior a I_{max} ou inferior a I_{min} em n_y anos
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_R	Número de descargas atmosféricas durante o período de retorno
n_a	Número de condutores de aterramento do SPDA
n_{amb}	Número de ambientes da estrutura
n_c	Número de condutores de descida do SPDA
n_{ca}	Número de chuveiros automáticos por ambiente
n_{cb}	Número de condutores por trama da malha de blindagem de cabos
n_{cr}	Número de chuveiros automáticos por ramal
n_{ct}	Número total de chuveiros automáticos para a estrutura
n_{long}	Número de condutores de longitudinais da malha do subsistema de captação do SPDA
n_{lat}	Número de condutores de latitudinais da malha do subsistema de captação do SPDA
n_p	Número de pavimentos da estrutura
n_r	Número de ramais de chuveiros automáticos por ambiente da estrutura
n_t	Número total de pessoas
n_{tb}	Número de tramas da malha de blindagem de cabos
n_{tom}	Número de tomadas em cada ambiente da estrutura
n_y	Período de retorno em anos

n_z	Número de possíveis pessoas em perigo
ρ_{amb}	Perímetro de cada ambiente da estrutura
P_A	Probabilidade de ferimentos a seres vivos devido a descargas na estrutura
P_B	Probabilidade de danos físicos à estrutura devido a descargas na mesma
P_C	Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas na estrutura
P_R	Pressão mínima exigida no ramal de chuveiros automáticos
P_S	Probabilidade da corrente de retorno de uma descarga atmosférica exceder o valor de I_{max} ou ser inferior a I_{min}
P_U	Probabilidade de ferimentos a seres vivos devido a descargas na linha
P_V	Probabilidade de danos físicos à estrutura devido a descargas na linha
P_{VGA}	Pressão requerida na válvula de governo e alarme (VGA)
P_W	Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas na linha
P_X	Probabilidade genérica de dano (varia conforme a fonte e o tipo de dano analisados)
P_Z	Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas próximas à linha
P_M	Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas próximas à estrutura
P_{EB}	Probabilidade relacionada às ligações equipotenciais
P_{LD}	Probabilidade relacionada às características da linha e dos equipamentos
P_{LI}	Probabilidade relacionada às características da linha e dos equipamentos
P_{SPD}	Probabilidade que depende do sistema de DPS
P_{TU}	Probabilidade que depende das medidas de proteção contra tensões de toque
P_1	Pressão mínima exigida no chuveiro automático 1 (o índice varia conforme numeração do chuveiro automático)
q_{cab}	Quantidade de cabos elétricos na estrutura

- Q_1 Vazão mínima exigida no chuveiro automático 1 (o índice varia conforme numeração do chuveiro automático)
- 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_D Risco devido a descargas diretas na estrutura (Loboda e Szewczyk, 2006)
- R_M Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)
- R_D Risco devido a descargas indiretas (Loboda e Szewczyk, 2006)
- r_{dc} Resistência em corrente contínua de um único fio da malha de blindagem de cabos
- R_{DC} Resistência em corrente contínua de blindagem tipo malha de cabos
- 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 genérica para uma estrutura (varia conforme a fonte, o tipo de dano e a perda correspondente)
- 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
r_p	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
r_t	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo
Q_x	Vazão
S_C	Área de cobertura efetiva de chuveiros automáticos
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_e	Tempo, em horas por ano, da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura
t_z	Tempo em que pessoas estão presentes em um local perigoso
U_P	Nível de proteção de dispositivos de proteção contra surtos elétricos
U_W	Tensão suportável nominal de impulso de um sistema
w_x	Largura da malha
W	Largura da estrutura
W_{Amb}	Largura do ambiente (área de atuação dos chuveiros automáticos)
X	Tempo mínimo de operação da bomba do sistema de combate a incêndio através de chuveiros automáticos
ZF_X	Valor absoluto genérico da zona (varia de acordo com o risco que se deseja calcular)
ZPR	Zona de proteção
$\Delta_R\%$	Percentual excedente da componente de risco em relação aos riscos toleráveis
$\Delta_{MPS}\%$	Redução percentual proporcionada pela medida de proteção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO	21
3. A ANÁLISE DE RISCO NO BRASIL E NO MUNDO	22
3.1. Software de cálculo de risco	22
3.2. Metodologias alternativas e simplificadas de análise de risco	32
3.3. Melhorias na metodologia de análise de risco vigente.....	36
3.4. Características esperadas de trabalhos futuros.....	43
4. ETAPAS DE UM PROJETO DE SPDA	45
4.1. Análise de Risco	47
4.2. Sistema Externo de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	57
4.3. Sistema de Proteção dos Sistemas Internos à Estrutura	60
5. MEDIDAS DE PROTEÇÃO.....	63
5.1. Parâmetro relacionado às providências contra tensão de passo e toque (P_{TA}).....	63
5.2. Parâmetro relacionado às providências para reduzir as consequências de um incêndio (r_p).....	65
5.3. Parâmetro relacionado às providências para reduzir danos físicos à estrutura (P_B)	67
5.4. Parâmetro relacionado às providências para redução das tensões de toque perigosas nas linhas conectadas à estrutura (P_{TU}).....	70
5.5. Parâmetro relacionado às providências de redução das tensões induzidas nos circuitos internos através de blindagem (P_{LD})	71
5.6. Parâmetros relacionados às providências para redução das consequências de sobretensões em linhas de serviços conectadas à estrutura (P_{SPD} e P_{EB}).....	74
5.7. Parâmetros relacionados às providências para redução de surtos elétricos conduzidos pelas linhas de serviço para a estrutura (C_{LD} e C_{LI}).....	77
5.8. Parâmetro relacionado às providências de redução das tensões induzidas nos circuitos internos através de roteamento de cabos (K_{S3})	81
6. METODOLOGIA DE SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO.....	83
6.1. Entrada de dados.....	85
6.2. Cálculo das componentes de risco	92
6.3. Levantamento das medidas de proteção disponíveis	92
6.4. Cálculo dos custos das medidas de proteção.....	95
6.5. Cálculo dos riscos.....	109
6.6. Comparação dos riscos calculados com os valores de referência.....	110

6.7.	Cálculo do percentual excedente das componentes de risco não conformes.....	110
6.8.	Cálculo da redução percentual promovida por cada medida.....	111
6.9.	Geração da lista final de medidas de proteção disponíveis.....	111
6.10.	Ordenação das medidas disponíveis por preço	111
7.	ESTUDO DE CASO.....	112
8.	CONCLUSÃO.....	116
	REFERÊNCIAS.....	118

1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – publicou em junho de 2015 a mais recente revisão da norma técnica de proteção contra descargas atmosféricas. Além de muito recente, a nova versão da NBR 5419 traz conceitos e medidas de proteção muito mais complexas do que as versões anteriores. A nova norma está dividida em quatro partes, sendo elas:

- Parte 1: Princípios gerais
- Parte 2: Gerenciamento de risco
- Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida
- Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

As Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, com destaque para a NR 10 que trata da Segurança no Trabalho com Eletricidade, conferiu poder de Lei às Normas Técnicas, que antes eram vistas pelos profissionais da área apenas como recomendações ou conjuntos de boas práticas de engenharia. Assim como as demais Normas Técnicas, as recomendações da NBR 5419 também não eram obedecidas rigorosamente antes da NR 10, fazendo com que haja atualmente inúmeras instalações sem proteção contra descargas atmosféricas ou com uma suposta proteção que não atende à Norma e, portanto, não garante de fato a proteção da estrutura e de seus ocupantes.

Existe hoje uma grande preocupação com a proteção contra descargas atmosféricas, principalmente devido às implicações legais do não atendimento à NBR 5419:2015 e consequentemente à NR 10. Como esse tipo de projeto foi negligenciado ou até mesmo ignorado por muitos anos, muitos engenheiros desconhecem o assunto e acabam tratando-o de uma forma bastante simplista. Essa realidade associada à recente publicação da NBR 5419:2015 dificulta ainda mais sua aplicação em um primeiro momento, tendo em vista que as versões anteriores tratavam apenas do sistema de proteção externo de estruturas, ou seja, não se fazia análise de risco para verificação da necessidade de SPDA e tampouco havia medidas de proteção adicionais detalhadas para os sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

A avaliação da necessidade de SPDA para uma estrutura, bem como a aplicação de medidas adicionais de proteção contra surtos, requer um bom conhecimento de projetos de SPDA, bem como da NBR 5419 de uma forma geral. A fim de tornar o projeto de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas menos intuitivo e atendendo ao máximo às recomendações da Norma, a utilização de uma metodologia simples e padronizada mostra-se uma boa alternativa para a minimização de erros no desenvolvimento da análise de riscos, bem como na escolha das medidas de proteção necessárias para reduzir o risco a níveis toleráveis.

O objetivo desta dissertação é, portanto, desenvolver uma metodologia para definir a necessidade de medidas de proteção contra descargas atmosféricas e quais as medidas técnica e financeiramente mais viáveis e eficientes para que o risco calculado fique abaixo do nível de referência. Para avaliar a viabilidade financeira das medidas de proteção, várias informações adicionais sobre a instalação que vão além das informações necessárias para a Análise de Risco devem ser obtidas. Outro diferencial da metodologia proposta é a escolha das medidas de proteção com base na prioridade estipulada, priorizando a manutenção da disponibilidade dos serviços oferecidos pela instalação ou a relação entre os custos da implementação das medidas de proteção e o prejuízo causado por uma descarga atmosférica.

3. A ANÁLISE DE RISCO NO BRASIL E NO MUNDO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se baseou na norma europeia IEC 62305:2010 para redigir a NBR 5419:2015 e promoveu poucas alterações técnicas em relação à original. As principais alterações foram realizadas na Parte 3 (Danos físicos a estruturas e perigos à vida), enquanto a Parte 2 (Gerenciamento de risco) manteve-se inalterada. Dessa forma, os trabalhos de pesquisa baseados na IEC 62305-2 aplicam-se plenamente à realidade normativa brasileira atual.

Dada a complexidade da análise de risco proposta na IEC 62305-2 e, conseqüentemente, na NBR 5419-2, foram desenvolvidas no Brasil e no mundo várias metodologias e softwares para facilitar a aplicação das Normas e reduzir os erros inerentes ao cálculo dos riscos. Foram realizadas também pesquisas de metodologias simplificadas de cálculo dos riscos, além de possíveis melhorias na metodologia da IEC 62305-2.

3.1. SOFTWARE DE CÁLCULO DE RISCO

Conforme apresentado por Loboda e Szewczyk (2006), a IEC 62305:2006 levou alguns anos para ser finalizada e ao longo da sua elaboração foram desenvolvidos softwares de análise de risco baseados nas versões preliminares da Norma. A IEC 62305-2 teve então sua primeira versão publicada em 2006 e propôs em seu Anexo J uma metodologia de cálculo de risco através do software SIRAC (IEC Risk Assessment Calculator), que permite o cálculo do risco de maneira bem intuitiva e sem a necessidade de conhecimento profundo de detalhes e da metodologia de cálculo proposto pela IEC 62305-2:2006. Todavia, o SIRAC é muito simples e limitado, não possibilitando a modificação de todos os sessenta e oito parâmetros que compõem as componentes de risco e também por ser aplicável apenas a estruturas de zona única, o que fez dele uma ferramenta informativa e não normativa. Para superar essas limitações, foi desenvolvido outro software na Universidade de Tecnologia de Warsaw (WUT) que atendesse plenamente a metodologia de cálculo da IEC 62305:2006, chamado *Alternative Lightning Risk Calculation Software* (ALRISK). Por permitir a manipulação de todos os parâmetros das componentes de risco, o ALRISK apresenta resultados muito mais assertivos do que o SIRAC, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre os resultados do ALRISK e do SIRAC.

	Casa de campo (L ₁ – Perda de vida humana)		Edifício comercial (L ₁ – Perda de vida humana)		Torre GSM (L ₂ – Perda de serviço ao público)			
	SIRAC	ALRISK	SIRAC	ALRISK	Caso 1: SPDA Nível 1		Caso 2: Sem SPDA	
					SIRAC	ALRISK	SIRAC	ALRISK
R _D	3,55 · 10 ⁻⁸	8,42 · 10 ⁻⁷	3,86 · 10 ⁻⁵	4,81 · 10 ⁻⁴	4,89 · 10 ⁻⁵	9,75 · 10 ⁻⁵	2,55 · 10 ⁻⁴	4,25 · 10 ⁻³
R _I	3,13 · 10 ⁻⁶	2,09 · 10 ⁻⁵	2,90 · 10 ⁻⁴	1,48 · 10 ⁻⁴	2,30 · 10 ⁻⁴	3,30 · 10 ⁻⁵	7,67 · 10 ⁻³	3,30 · 10 ⁻⁵
R _D + R _I	3,17 · 10 ⁻⁶	2,17 · 10 ⁻⁵	3,29 · 10 ⁻⁴	6,28 · 10 ⁻⁴	2,79 · 10 ⁻⁴	1,31 · 10 ⁻⁴	7,93 · 10 ⁻³	4,28 · 10 ⁻³
R _T	1,00 · 10 ⁻⁵		1,00 · 10 ⁻⁵		1,0 · 10 ⁻³			
Componentes de R _D (risco devido a descargas atmosféricas diretas na estrutura)								
R _A	1,69 · 10 ⁻⁹	1,68 · 10 ⁻¹²	3,86 · 10 ⁻⁸	3,85 · 10 ⁻¹²	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰
R _B	3,33 · 10 ⁻⁸	8,42 · 10 ⁻⁷	3,86 · 10 ⁻⁵	4,81 · 10 ⁻⁴	4,25 · 10 ⁻⁵	8,48 · 10 ⁻⁵	4,25 · 10 ⁻⁵	4,24 · 10 ⁻³
R _C	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	6,38 · 10 ⁻⁶	1,27 · 10 ⁻⁵	2,13 · 10 ⁻⁴	1,27 · 10 ⁻⁵
Componentes de R _I (risco devido a descargas atmosféricas indiretas)								
R _M	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	1,15 · 10 ⁻⁵	5,06 · 10 ⁻⁶	3,82 · 10 ⁻⁴	5,06 · 10 ⁻⁶
R _U	3,10 · 10 ⁻⁸	2,08 · 10 ⁻¹⁰	5,81 · 10 ⁻⁸	1,31 · 10 ⁻¹⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰
R _V	3,10 · 10 ⁻⁶	1,04 · 10 ⁻⁷	2,90 · 10 ⁻⁴	1,64 · 10 ⁻⁵	3,14 · 10 ⁻⁶	2,54 · 10 ⁻⁵	1,05 · 10 ⁻⁴	2,54 · 10 ⁻⁵
R _W	0,00 · 10 ⁺⁰	2,08 · 10 ⁻⁵	0,00 · 10 ⁺⁰	1,31 · 10 ⁻⁴	3,14 · 10 ⁻⁶	2,54 · 10 ⁻⁶	1,05 · 10 ⁻⁴	2,54 · 10 ⁻⁶
R _Z	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	0,00 · 10 ⁺⁰	2,12 · 10 ⁻⁴	4,20 · 10 ⁻⁶	7,08 · 10 ⁻³	4,20 · 10 ⁻⁶

Fonte: Adaptado de Loboda e Szewczyk, 2006, Tabela VIII.

Em paralelo ao desenvolvimento do ALRISK, foi desenvolvido por Bouquegneau *et al.* (2007) o software RISK Multilingual, que além de permitir a alteração de todos os parâmetros possíveis das componentes de risco, permite ainda o cálculo de risco para estruturas com até dez zonas de proteção. O software possui uma interface simples que permite a visualização de todos os parâmetros simultaneamente e apresenta resultados muito próximos aos da metodologia proposta pela IEC 62305-2, sendo inclusive mais assertivo que o SIRAC, como pode ser observado na Tabela 2. O software possui vários idiomas e mapas de densidade de descargas atmosféricas de vários países do mundo (além de permitir a inclusão de novos mapas dessa natureza de maneira muito simples), o que facilita a sua divulgação e a aderência à sua utilização. Apesar de todas as vantagens do RISK Multilingual, ele faz apenas o cálculo do risco da instalação, cabendo ao projetista a escolha das medidas de proteção necessárias para adequação aos níveis de referência.

Tabela 2 – Comparação dos resultados do cálculo das componentes de risco através do RISK Multilingual e do SIRAC.

	SIRAC ($r_u=10^{-2}$)	RISK Multil. ($r_u=10^{-2}$)	RISK Multil. ($r_u=10^{-5}$)	IEC 62305-2 ($r_u=10^{-5}$)
R _A	$1,03 \cdot 10^{-08}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$
R _B	$1,03 \cdot 10^{-06}$	$1,03 \cdot 10^{-06}$	$1,03 \cdot 10^{-06}$	$1,03 \cdot 10^{-06}$
R _C	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$
R _M	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$
R _U	$9,17 \cdot 10^{-8}$	$2,29 \cdot 10^{-07}$	$2,29 \cdot 10^{-07}$	$2,30 \cdot 10^{-07}$
R _V	$9,17 \cdot 10^{-6}$	$2,29 \cdot 10^{-05}$	$2,29 \cdot 10^{-05}$	$2,29 \cdot 10^{-05}$
R _W	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$
R _Z	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$	$0,00 \cdot 10^{+00}$
Total	$1,03 \cdot 10^{-05}$	$2,42 \cdot 10^{-05}$	$2,40 \cdot 10^{-05}$	$2,39 \cdot 10^{-05}$

Fonte: Bouquegneau et al., 2007, Tabela 3.

Godoy e Suárez (2007) desenvolveram um software de análise de risco de perdas devido a descargas atmosféricas baseado na IEC 62305-2 utilizando lógica difusa, que consiste em:

- Identificar a estrutura que se deseja proteger e suas características.
- Identificar todos os tipos de perda e o risco correspondente (R_1 , R_2 e R_3).
- Identificar as componentes de risco (R_x) para cada tipo de perda identificada.
- Realizar a avaliação qualitativa de R_x para cada tipo de perda identificada:
 - Calcular N_x .
 - Selecionar P_x .
 - Avaliar qualitativamente L_x .
- Obter as funções de associação de N_x , P_x e L_x .
- Obter a saída R_x .
- Avaliar a necessidade de proteção:
 - Se nenhuma componente de risco R_x for avaliada qualitativamente como não tolerável, então não há necessidade de adotar ou melhorar as medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

- Se alguma componente de risco R_x for avaliada qualitativamente como não tolerável, então há necessidade de adotar ou melhorar as medidas de proteção contra descargas atmosféricas.
- Identificar o tipo de proteção a ser adotada segundo a componente de risco avaliada como não tolerável.
- Reavaliar a necessidade de proteção variando P_x no R_x avaliado como não tolerável.

Como se pode notar, o procedimento adotado por Godoy e Suárez (2007) não difere muito da metodologia proposta pela IEC 62305-2 e tampouco aos dos softwares de análise de risco investigados, exceto pela substituição do cálculo numérico do risco pelos processos de avaliação qualitativa dos parâmetros e dos riscos. A avaliação dos riscos torna-se muito mais simples ao trabalhar com variações qualitativas (probabilidade alta, média ou baixa de danos; riscos toleráveis ou não toleráveis; etc.) ao invés de valores numéricos, conferindo maior sensibilidade à avaliação e facilitando a escolha das medidas de proteção. A metodologia proposta auxilia na escolha de medidas de proteção de forma direcionada, sugerindo medidas que alteram apenas as componentes de risco avaliadas como não toleráveis; porém, não há um direcionamento quanto à seleção entre duas alternativas de medida de proteção que alterem uma mesma componente de risco.

Sarmiento *et al.* (2007) também desenvolveram um software de análise de riscos baseado na IEC 62305:2006, porém adaptado à Colômbia e, portanto, também baseado na norma colombiana NTC 4552:2007. O software é uma ferramenta online de análise de risco desenvolvido em linguagem PHP. Chamado de NTC Online Tool, o software calcula o risco de uma instalação e, caso os valores estejam acima do nível de referência, são apresentadas medidas de proteção que poderiam ser adotadas para reduzir o risco. Ao selecionar alguma medida, o risco é recalculado e novas alternativas de medidas de proteção são apresentadas, caso ainda não tenha sido atingido o nível de referência. O software não calcula o risco particionando a estrutura em diferentes zonas de proteção ou as linhas de serviços em diferentes seções e tampouco realiza algum tipo de análise de viabilidade econômica, apesar de apresentar resultados muito próximos aos resultados obtidos através do ALRISK, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação dos resultados dos softwares NTC Online Tool, ALRISK e SIRAC.

Risco	NTC Online Tool	IEC ALRISK	IEC RAC
R _D	13,50	14,80	3,86
R _I	49,10	48,10	29,00
R₁	62,54	62,80	32,90

Fonte: Adaptado de Sarmiento *et al.*, 2007, Tabela 2.

Mesmo após o recente lançamento da IEC 62305:2010, foi desenvolvido por Suárez e Amor (2011) um software de análise de risco baseado na IEC 62305:2006. Apesar de seu lançamento tardio, o software denominado GRiesgos v.1, desenvolvido em Visual Basic, possui características avançadas e que merecem destaque:

- Permite a divisão da instalação em até dez zonas de proteção.
- Permite considerar a existência de até dez linhas de serviços conectadas à estrutura para cada zona (cem no total).
- Permite considerar uma estrutura adjacente para cada linha de serviço (cem no total).
- Permite considerar até dez sistemas internos para cada serviço conectado à estrutura (mil no total).

Por concentrar informações básicas da instalação utilizada no cálculo de diferentes componentes de risco e por possuir interface amigável, o GRiesgos permite o início da análise de risco *in loco*, reduzindo a probabilidade de falhas durante o levantamento de dados. Outro benefício do programa é o auxílio no preenchimento dos dados através do destaque de campos preenchidos incorretamente.

O fluxograma do software mostra que após o cálculo dos riscos são identificados aqueles que mais contribuem para o risco total da instalação. Em seguida, identificam-se as zonas de proteção e as seções ou pontos de transição de um serviço que são responsáveis pela maior contribuição na componente de risco identificada na etapa anterior. Finalmente, identificam-se as características passíveis de alteração para redução dos riscos, orientando assim a escolha correta das medidas de proteção. Para validar a aplicação, os autores realizaram a análise de riscos devido a descargas atmosféricas de uma instalação e compararam com o cálculo feito à mão segundo a IEC 62305-2:2006 e os resultados foram compatíveis.

Apesar de se basear em uma versão obsoleta da IEC 62305, o GRiescos v.1 possui características avançadas que permitem a análise de riscos para estruturas complexas, além de orientar o usuário na escolha das medidas de proteção, principal objetivo deste trabalho.

Alguns anos depois, Sánchez *et al.* (2014) compararam as normas NTC 4552:2008 e IEC 62305:2010 para análise de riscos. Como a NTC 4552:2008 foi elaborada com base na IEC 62305:2006 e por terem sido feitas alterações na metodologia de análise de riscos da versão de 2006 para a versão de 2010, era evidente que haveria discrepâncias entre os resultados. A primeira diferença destacada foi com relação à forma de se calcular o número de eventos perigosos para uma instalação. No exemplo dado, o resultado variou de 1,54 (norma colombiana) para 8,00 (norma internacional), fazendo com que o risco de perda de vida humana atendesse aos níveis de referência para uma e não atendesse para a outra. Com relação à probabilidade de danos, houve variações maiores para as componentes de risco relacionadas a descargas diretas ou indiretas na estrutura devido às diferentes formas de estimar o número de descargas nuvem-solo em ambas as Normas. Porém, para as componentes de risco relacionadas aos serviços conectados à estrutura, a disparidade entre os valores de probabilidade de danos foi pequena. Apesar de haver diferenças nos cálculos de perdas associadas aos danos, observou-se que a causa principal da discrepância entre os valores de risco obtidos através das diferentes metodologias é a forma de se calcular o número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano, uma vez que esse parâmetro tem grande influência sobre todas as componentes de risco. Como conclusão, os autores entenderam que existe a necessidade de se revisar a metodologia de análise de risco da NTC 4552, porém não se deve desconsiderar a metodologia de cálculo do número de eventos perigosos atual, uma vez que ele foi fruto de muitas pesquisas direcionadas para países de clima tropical, mais especificamente para a Colômbia.

Apesar de à época estar vigente no Brasil a NBR 5419:2005, que não tinha uma parte dedicada à análise de risco, foi desenvolvido um software chamado Tupã (tempestade em tupi-guarani) baseado na IEC 62305-2:2006 com esse intuito, como explica Sueta *et al.* (2009). O Tupã foi desenvolvido em linguagem C# por ser orientada a objeto e utiliza a plataforma *.net*, o que lhe confere boa interface gráfica e facilita a sua utilização. O Tupã permite a manipulação de todos os parâmetros envolvidos nos

cálculos e a escolha das fontes de danos que deverão ser consideradas. Os resultados são apresentados em verde caso estejam abaixo dos valores de referência e em vermelho caso estejam acima e, assim, o usuário é capaz de avaliar a necessidade ou não de adoção de uma medida de proteção. Apesar da boa interface, da liberdade de manipulação de parâmetros e da simplicidade de avaliação dos resultados, o Tupã não realiza o cálculo de instalações com múltiplas zonas e não auxilia na escolha das medidas de proteção.

Vernieri e Soibelzon (2011) compararam os softwares de análise de risco Tupã Versão 1.0.2, desenvolvido pela IEE-USP, e SIRAC Versão 1.0.3 NC, desenvolvido pelo grupo de estudo 9 da IEC TC81. Quando o estudo foi realizado, acabava de ser lançada a mais recente versão do Tupã, então os autores também fizeram alguns comentários sobre as melhorias percebidas em relação à versão anterior. Vários aspectos de ambas as aplicações foram comparados pelos autores e encontram-se resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação das características dos softwares Tupã 1.0.2 e SIRAC 1.0.3 NC.

Característica	Tupã 1.0.2	SIRAC 1.0.3 NC
Norma técnica de base	IEC 62305-2:2006	IEC 62305-2:2006
Instalação com múltiplas zonas	Não	Não
Apresentação dos dados	Três telas: Dados Técnicos, Outros Dados e Resultados	Tela única
Parâmetros necessários para a Análise de Risco	Parâmetros limitados ou fixos	Parâmetros limitados ou fixos
Correlação entre informação de entrada e parâmetro da Norma	Difícil: títulos em português e não intuitivos	Direta e simples
Cálculo da Área de Coleção	Considera-se estrutura simples. Entrada direta do valor da área de coleção.	Considera-se estrutura simples. Entrada do ponto mais alto do telhado.
Altura da linha de serviços para cálculo do risco	Altura do ponto de derivação para a estrutura	Altura do ponto de entrada na estrutura
Nº de linhas de serviços	Infinito	Única
Parâmetros H_A, H_C e L_C	Variáveis	Fixos
Parâmetros L_{f1} e L_{f3}	L_{f1} variável e L_{f3} fixo	Ambos variáveis
Estrutura adjacente	Não considerado	Considerado

Fonte: Adaptado de Vernieri e Soibelzon (2011).

No estudo de Vernieri e Soibelzon (2011), foi realizada a análise de riscos de uma instalação real utilizando os dois softwares e os resultados diferiram em mais de 50%,

mas como os resultados não foram comparados ao cálculo manual, não é possível julgar a precisão de cada um.

A UTE (*Union Technique de l'Électricité*), órgão francês responsável pela elaboração e publicação de normas técnicas na França, publicou em janeiro de 2005 a norma equivalente à IEC 62305 no país, além de desenvolver e publicar o software Jupiter para auxiliar na análise de risco de estruturas diversas. O intuito do órgão foi possibilitar que os franceses se familiarizassem com a Norma e com a metodologia de cálculo do risco, possibilitando a aplicação imediata da IEC 62305 tão logo ela fosse publicada. Em sua pesquisa, Rousseau (2007) apresentou o software Jupiter, que tem como destaque o cálculo preciso da área de coleção da estrutura em análise, apresentação gráfica dos resultados e diferenciação dos valores acima do nível de referência (apresentados em vermelho) daqueles abaixo do nível de referência (apresentados em verde). O autor descreve ainda a necessidade de esclarecimentos acerca dos valores de parâmetros relacionados à instalação de DPS, do conceito de coordenação de DPS, da resistência elétrica da blindagem de cabos, do número de pessoas feridas dentro de uma estrutura atingida por uma descarga atmosférica (tendo em vista que nem sempre os valores de referência poderão ser alcançados, o que na França implicaria na interrupção dos serviços na instalação em caso de detecção de tempestade), de riscos adicionais em áreas externas e da imprecisão no cálculo do risco por não considerar detectores de tempestade. Apesar de se basear em uma versão anterior da IEC 62305, o estudo faz questionamentos importantes que não foram respondidos na versão mais recente da Norma, além de apresentar uma interface distinta de software para análise de risco.

Mata e Bonilla (2012) desenvolveram um software de análise de risco baseado na IEC 62305-2:2010 nomeado LIRA utilizando o MatLab e sua ferramenta de interface gráfica GUI (*Graphic User Interface*). A aplicação permite a divisão da estrutura em infinitas zonas, assim como permite a consideração de infinitas linhas de serviços entrantes. Outro destaque é a possibilidade de calcular o número de eventos perigosos por ano através de uma ferramenta estatística, baseada no método de Monte Carlo, desenvolvida pelo Kennedy Space Center (KSC). Apesar de apresentar resultados muito próximos dos cálculos manuais realizados segundo a metodologia da Norma (como pode ser observado na Tabela 5), o software não auxilia de nenhuma

forma a escolha das medidas de proteção, caso o risco calculado ultrapasse os valores de referência.

Tabela 5 – Comparação dos resultados do software LIRA e do cálculo manual através da metodologia proposta pela IEC 62305-2:2010.

	IEC 62305-2:2010	LIRA
Total R _A	$10,0000 \cdot 10^{-8}$	$9,8152 \cdot 10^{-8}$
Total R _B	$4,2600 \cdot 10^{-4}$	$4,2601 \cdot 10^{-4}$
Total R _U	≈ 0	$1,0296 \cdot 10^{-9}$
Total R _V	$9,2450 \cdot 10^{-5}$	$9,2452 \cdot 10^{-5}$
Total R _C	$1,2057 \cdot 10^{-4}$	$1,2057 \cdot 10^{-4}$
Total R _M	$3,4290 \cdot 10^{-5}$	$3,4293 \cdot 10^{-5}$
Total R _W	$2,6160 \cdot 10^{-5}$	$2,6166 \cdot 10^{-5}$
R₁	$6,9960 \cdot 10^{-4}$	$6,9959 \cdot 10^{-4}$

Fonte: Adaptado de Mata e Bonilla, 2012, Tabela 1.

Mounir e Mahmoud (2013) desenvolveram um sofisticado software para análise de riscos de acordo com a IEC 62305-2:2010, chamado *Lightning Risk Assessment*. O software destaca-se por possuir interface amigável, com diferentes abas para cada assunto específico; por possibilitar a divisão da estrutura analisada em múltiplas zonas de proteção; por ser capaz de realizar a análise de risco com bastante assertividade de estruturas complexas e diversificadas, considerando inúmeras linhas de serviços entrantes. A interface de entrada divide-se basicamente em dados da estrutura, dados das linhas de serviços entrantes, dados das zonas de proteção e dados referentes às possíveis perdas. Após o preenchimento correto das informações, o software apresenta os valores de risco em vermelho, caso estejam acima dos valores de referência da Norma; ou em verde, caso estejam abaixo. É possível visualizar os valores de cada componente de risco separadamente e, em uma aba adicional que replica os resultados da análise de risco, é possível analisar as possíveis medidas de proteção adicionais que alteram aquela componente de risco através de uma nova janela aberta com um clique sobre a componente de risco que extrapolou o valor de referência. O usuário pode selecionar através dessa mesma janela a medida de proteção que desejar, fazendo com que o cálculo do risco seja refeito, considerando a nova medida de proteção adotada. Outro destaque dessa aplicação é a interface de desenho da edificação, possibilitado o cálculo da área de coleção de estruturas complexas de forma mais precisa. O *Lightning Risk Assessment* foi utilizado para análise de risco de uma grande edificação e apresentou melhores resultados do que

o software *Strike Risk* v5.0 da Furse e do cálculo manual utilizando a metodologia proposta pela IEC 62305 em um caso real. Embora o *Lightning Risk Assessment* apresente poderosas ferramentas de cálculo e uma interface extremamente amigável, a escolha das medidas de proteção ainda fica a cargo do projetista, que pode fazê-la de forma aleatória.

Rousseau e Gruet (2008) avaliaram a metodologia de análise de viabilidade econômica proposta pela IEC 62305-2:2010 utilizando o software Jupiter. A avaliação foi realizada para dois casos reais e a análise de riscos de ambos indicou a necessidade de instalação de medidas de proteção, uma vez que o risco de perda de vida humana ou lesões permanentes estavam acima do valor de referência. Mesmo sendo mandatória a instalação das medidas de proteção nestes casos, os autores realizaram o cálculo do risco de perda de valor econômico e avaliaram a viabilidade de implementar as medidas de proteção necessárias. Para ambas as edificações a instalação das medidas foi considerada economicamente viável, uma vez que as perdas eram superiores à soma dos custos de manutenção das medidas dos custos das perdas residuais após a instalação das medidas. Os autores encontraram muitos problemas para chegar aos valores de perda, o que comprova a dificuldade de se realizar tal avaliação e justifica a sua pouca utilização. A metodologia proposta no presente trabalho também compartilha dessa dificuldade, uma vez que não propõe alternativas para tal; porém introduz uma forma de escolher as medidas de proteção com base em seus custos.

Em sua pesquisa, Rodrigues (2015) desenvolveu o software LPS 2008 para auxiliar na seleção de medidas de proteção contra descargas atmosféricas de parques eólicos. Desenvolvido em Visual Basic, o software é capaz de interagir com o software de desenho tridimensional AutoCAD, realizar o estudo dos pontos críticos em termos de risco de incidência de descargas atmosféricas através do método das esferas rolantes e indicar qual o nível de SPDA deve ser adotado através da análise de risco realizada conforme a IEC 62305-2. Apesar de ter sido inicialmente concebido para parques eólicos, o LPS pode ser utilizado em aplicações diversas, porém tem como foco o sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas, não sendo, portanto, adequado para a escolha de outras medidas de proteção.

Foram desenvolvidos por SUETA *et al* (2015) uma planilha em Visual Basic utilizando o software Microsoft Excel para análise de risco conforme a ABNT NBR 5419-2:2015

e um aplicativo para sistema operacional Android para cálculo da área de coleção de estruturas. Apesar da interface gráfica amigável obtida graças aos recursos do VBA e da possibilidade de divisão da instalação em até cinco zonas distintas, a planilha basicamente realiza o cálculo dos riscos de perdas relacionadas a descargas atmosféricas e alerta para a necessidade de adoção de medidas de proteção. Por outro lado, o aplicativo desenvolvido realiza o cálculo da área de coleção de uma estrutura basicamente a partir do seu comprimento, largura e altura. Seu grande diferencial, porém, está na possibilidade de obtenção das dimensões a partir de uma medição facilmente realizável e de uma foto da mesma fachada com a indicação do ponto da medição.

Santos (2017) também propõe uma interessante metodologia de automação do cálculo do risco, porém baseado na NBR 5419:2015. A metodologia foi desenvolvida para fins acadêmicos, visando facilitar a visualização da influência de cada parâmetro no valor final do risco e reduzir o tempo dispendido no cálculo. Apesar de facilitar o cálculo do risco, a metodologia proposta não extrapola seu objetivo principal e deixa a cargo do projetista a escolha das medidas de proteção.

3.2. METODOLOGIAS ALTERNATIVAS E SIMPLIFICADAS DE ANÁLISE DE RISCO

Fiamingo *et al.* (2008) propuseram uma forma simplificada de verificar a necessidade de instalação de dispositivo de proteção contra surtos no ponto de entrada de uma linha de serviço conectada à estrutura, além de avaliar a sua viabilidade econômica. O trabalho se baseou na IEC 62305-2:2006 e faz uma série de simplificações na metodologia proposta pela Norma evitando o grande volume de informações necessárias para a análise de risco completa. Concluiu-se que para as instalações classificadas como complexas (estruturas com risco de explosão, de emissão química ou radioativa, de perda de serviços essenciais ao público ou de falha de sistema interno que coloque em risco a vida de pessoas) não é possível realizar o cálculo simplificado proposto. Para instalações comuns, é possível realizar o cálculo simplificado e facilmente verificar a necessidade de instalação de DPS por questões de segurança e/ou por conveniência econômico-financeira. Apesar de simplificar a validação da necessidade de instalação de DPS, a metodologia proposta não abrange instalações complexas onde as perdas são muito mais elevadas.

Foi proposta por Morii e Sato (2010) outra metodologia simplificada, não para a elaboração de análise de risco completa segundo a IEC 62305, porém suficiente para determinar a necessidade de sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas e o nível da proteção.

A metodologia consiste em selecionar o nível de proteção do sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas de acordo com o “período de retorno” da instalação, que é o período médio para que a magnitude de um desastre natural como tremor de terra, vento ou neve ultrapasse determinado valor. Os autores mostraram a semelhança entre a forma de se calcular o número de eventos perigosos relacionados a descargas atmosféricas proposta pelas normas IEC 61024-1-1:1993, IEC 62305-2:2006 e IEC 62305-2:2010 e como as propostas também se assemelham ao cálculo do período de retorno de desastres relacionados a vento, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação entre os dados necessários para o cálculo do período de retorno para desastres relacionados a vento e a descargas atmosféricas.

	Projeto de proteção contra ventos fortes	Projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas
Objeto do projeto	Carga de vento em plano horizontal/telhado	Subsistema de captação baseado no método da esfera rolante/método do ângulo de proteção
Valor básico	Limite de velocidade de vento Uma vez a cada n_y anos (Valor máximo)	Limite de corrente Uma vez a cada n_y anos (Valor mínimo/máximo)
Caráter regional	Mapa de velocidade de vento	Mapa de nível isoceráunico
Ambiente circundante	Presença de obstáculos e áreas rurais ou urbanas	Presença de edificações/árvores e montanhas ou área urbana (C_E)
Dimensões da estrutura	Direção do vento Área de projeção vertical	Área de exposição equivalente da estrutura (A_D)

Fonte: Adaptado de Morii e Sato, 2010, Tabela V.

Após analisar as fórmulas de cálculo propostas pelas três normas técnicas citadas, concluiu-se que é possível calcular o período de retorno de eventos relacionados a descargas atmosféricas da seguinte maneira:

- Calcula-se o número de descargas atmosféricas na estrutura por ano:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$$

- Calcula-se o número de descargas atmosféricas durante o período de retorno R :

$$N_R = n_y \cdot N_D$$

- Determina-se a probabilidade de a corrente elétrica da descarga atmosférica exceder o valor de I_{max} (corrente que determina a distância de separação) ou ser inferior a I_{min} (corrente que determina a distância entre os condutores da malha de captação) através da Tabela 7.

Tabela 7 – Probabilidade da corrente de retorno de uma descarga atmosférica exceder o valor de I_{max} ou ser inferior a I_{min} .

Nível de proteção	P_s
I	$0,02 \leq P_s < 0,05$
II	$0,05 \leq P_s < 0,1$
III	$0,1 \leq P_s < 0,2$
IV	$0,2 \leq P_s < 1$

Fonte: Morii e Sato, 2010, Tabela VI.

- Cálculo do número de descargas atmosféricas com corrente superior a I_{max} ou inferior a I_{min} em n_y anos:

$$N_{iR} = n_y \cdot N_D \cdot P_s$$

- Definição do nível de proteção a partir de N_{iR} . Pela definição de período de retorno, apenas um evento fora dos limites definidos pode ocorrer em R anos, logo:

$$N_{iR} = 1 \rightarrow R \cdot N_D \cdot P = 1 \rightarrow P = \frac{1}{n_y \cdot N_D}$$

Apesar de não ter sido feito nenhum tipo de validação por parte dos autores, a metodologia proposta é bastante interessante por simplificar demasiadamente a definição da necessidade de sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas, bem como seu nível de proteção.

Baseado no estudo de Farkas *et al.* (2013), foi desenvolvida por Szedenik *et al.* (2014) uma metodologia alternativa para definir as medidas de proteção para casas de campo ou apartamentos sem a necessidade de obter as informações para todos os sessenta e oito parâmetros. Os parâmetros foram divididos em três grupos: parâmetros perenes, parâmetros menos importantes e parâmetros importantes. Os

parâmetros perenes são fixos e estão relacionados ao tipo de estrutura para o qual a metodologia foi desenvolvida. A classificação dos demais parâmetros em menos importantes ou em importantes foi baseada na Tabela 10. Ao final, o resultado da metodologia desenvolvida foi comparado ao resultado da metodologia proposta pela IEC 62305-2 e, enquanto a primeira sugeriu a instalação de SPDA nível IV, a segunda não demandou a instalação de nenhuma medida de proteção. A metodologia proposta de fato reduz significativamente o volume de informações necessárias para a análise de risco e consequente definição das medidas de proteção para o grupo de estruturas, porém os resultados apresentados não atendem à expectativa deste trabalho que é justamente aumentar a eficiência dos gastos com medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

Dando sequência ao estudo de Szedenik, N. *et al.* (2014), a metodologia desenvolvida foi aprimorada por Szedenik, N. *et al.* (2016). A metodologia proposta considera apenas o risco de perda de vida humana (R_1) e limita-se a estruturas não hospitalares e/ou explosivas, com carga de incêndio inferior a 800 MJ/m^2 e cuja falha de sistemas internos não coloca em risco a vida de pessoas. Apesar de todas essas limitações, ao invés de necessitar configurar sessenta e oito parâmetros, é necessário saber apenas o tipo de edificação, a existência de perigos especiais relacionados à dificuldade de evacuação de pessoas na estrutura, o seu risco de incêndio, a densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano e a altura da estrutura para determinar a necessidade e o nível de proteção externa contra descargas atmosféricas.

Foram desenvolvidas três tabelas para a definição da necessidade e do nível de proteção do SPDA que dependem do tipo da estrutura (outras, industrial/comercial ou entretenimento público/igreja/museu). Definida qual a tabela de consulta a partir do tipo da edificação, define-se qual coluna consultar a partir do valor do fator relacionado à dificuldade de evacuação de pessoas e do fator relacionado ao risco de incêndio na estrutura (baixo ou ordinário). Seleciona-se a linha a partir da densidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano da região. Verifica-se se a altura indicada na célula correspondente ao cruzamento da coluna e da linha selecionadas é menor ou igual à altura da edificação; caso seja, verifica-se se a estrutura analisada possui SPDA de nível igual ou superior ao indicado na mesma célula e, caso não tenha, sabe-se que deve ser instalado na estrutura SPDA com o nível indicado para

que o risco de perda de vida humana devido a descargas atmosféricas fique abaixo do nível de referência. Caso a altura da edificação exceda até quarenta por cento da altura indicada na célula, sabe-se que é necessário instalar SPDA com um nível acima do indicado na célula. E caso a altura da edificação seja superior a quarenta por cento da altura indicada na célula, a análise completa segundo a IEC 62305-2 é necessária. A metodologia proposta foi aplicada a dois exemplos e teve seus resultados comparados ao cálculo manual segundo a IEC 62305-2. Os resultados foram satisfatórios e, apesar de limitar-se a edificações específicas e prever como medida de proteção apenas sistemas externos de proteção contra descargas atmosféricas, a metodologia se mostrou uma boa alternativa para evitar o levantamento de grandes volumes de dados para edificações simples.

3.3. MELHORIAS NA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO VIGENTE

A segunda edição da IEC 62305-2, assim como a NBR 5419-2, consideram os riscos de dano ao meio ambiente que circunda a instalação em análise. Na primeira edição da IEC 62305 (2006), esse risco também era considerado, porém através de um fator que multiplicava o risco existente para a edificação. Na segunda edição (2010), esse fator passou a ser somado ao risco existente para a instalação, tornando-os independentes. Apesar dessa melhoria significativa na precisão da quantificação dos riscos de danos devido a descargas atmosféricas, os valores dos parâmetros relacionados aos riscos adicionais fora da estrutura ainda são nebulosos, uma vez que tanto a IEC 62305 quanto a NBR 5419 não apresentam valores de referência. Para contornar esse impasse, foram desenvolvidos dois trabalhos, um de Rousseau e Kern (2014) e outro de Rousseau, Sainte-Rose-Fanchinee Guthrie (2015), que propõem valores típicos para os parâmetros relacionados a danos fora da estrutura.

A primeira consideração importante feita em ambos os trabalhos foi o cômputo apenas das perdas relacionadas aos danos físicos à estrutura (D_2) e os danos devido à falha de sistemas internos (D_3), uma vez que danos a seres vivos não são capazes de gerar perdas a estruturas próximas ou ao meio ambiente. Desta forma, segundo a IEC 62305-2 e a NBR 5419-2, existem duas fórmulas para calcular a perda de vida humana devido a descargas atmosféricas, uma devido a danos físicos à estrutura (D_2), outra devido à falha de sistemas internos (D_3):

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot [n_z/n_t] \cdot [t_e/8.760]$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot [n_z/n_t] \cdot [t_e/8.760]$$

Sendo

- L_B perda devido a danos físicos causados por descarga atmosférica direta na estrutura;
- L_V perda devido a danos físicos causados por descarga atmosférica direta em linha de serviço conectada à estrutura;
- L_C perda devido à falha de sistemas internos causados por descarga atmosférica direta na estrutura;
- L_M perda devido à falha de sistemas internos causados por descarga atmosférica próxima à estrutura;
- L_W perda devido à falha de sistemas internos causados por descarga atmosférica direta em linha de serviço conectada à estrutura;
- L_Z perda devido à falha de sistemas internos causados por descarga atmosférica próxima a linha de serviço conectada à estrutura;
- L_F número relativo médio de vítimas por danos físicos devido a um evento perigoso;
- L_O número relativo médio de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso;
- r_p fator de redução da perda em função das providências para redução das consequências de incêndio;
- r_f fator de redução devido ao risco de incêndio ou explosão da estrutura;
- h_z fator que aumenta o valor da perda quando há presença de perigo especial na estrutura (dificuldade de evacuação);
- n_z número de pessoas na zona;
- n_t número total de pessoas na estrutura;
- t_z tempo em horas por ano em que pessoas estão presentes na zona.

No caso de perda de bens materiais, as fórmulas são muito semelhantes, retirando alguns fatores de redução e substituindo os termos relacionados ao número de

peças e ao seu tempo de permanência na estrutura por termos relacionados a custo:

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \left[(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t \right]$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \left[c_s / c_t \right]$$

Sendo

c_a valor dos animais na zona;

c_b valor da edificação na zona;

c_c valor do conteúdo da zona;

c_s valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;

c_t valor total da estrutura.

Considerando a estrutura como uma única zona:

$$n_z = n_t \rightarrow n_z / n_t = 1$$

Quando o dano envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente, deve-se considerar L_{FT} ao invés de apenas L_F :

$$L_{FT} = L_F + L_E$$

Onde

$$L_E = L_{FE} \cdot \left[t_e / 8.760 \right]$$

Sendo

L_{FE} perda devido a danos físicos fora da estrutura;

t_e tempo da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura.

Como a intenção era analisar as perdas fora da estrutura, os autores também desconsideraram o fator relacionado à dificuldade de evacuação da estrutura (h_z). Desta forma, eles concluíram que o cálculo de perda de vida humana devido a danos causados na vizinhança da estrutura deveria ser feito segundo as fórmulas a seguir.

$$L_{BE} = L_{VE} = r_p \cdot r_f \cdot L_{FE} \cdot t_e / 8.760$$

$$L_{CE} = L_{ME} = L_{WE} = L_{ZE} = L_{OE} \cdot \left[t_e / 8.760 \right]$$

Para o cálculo das perdas econômicas nas áreas externas, foram feitas as mesmas considerações anteriores e ainda houve a substituição dos parâmetros relacionados a valores econômicos das fórmulas pelo parâmetro de valor econômico de bens localizados na área externa da estrutura. As fórmulas a seguir foram então consideradas no cálculo das perdas econômicas em áreas externas.

$$L_{BE} = L_{VE} = r_p \cdot r_f \cdot L_{FE} \cdot \left[(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t \right]$$

$$L_{CE} = L_{ME} = L_{WE} = L_{ZE} = L_{OE} \cdot [c_s / c_t]$$

Os valores considerados estão apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8 – Valores típicos propostos para o tempo relacionado à presença de pessoas $t_e/8760$ em diferentes meios ambientes.

Tipo de circunvizinhança	$t_e/8.760$
Pessoas trabalhando dentro dos limites territoriais da estrutura	0,25
Necessidade de área controlada nos limites territoriais Operação da planta com mais de um turno	1,00
Estabelecimento com visita pública	0,50
Zonas de atividade (industriais a outras não ligadas à visita pública)	0,75
Residências	1,00
Vias de tráfego de veículos automotores	1,00
Linha férrea	0,25
Vias navegáveis	0,10
Vias de tráfego de pedestres e ciclistas	0,75
Áreas não construídas e pouco frequentadas (campos, prados, florestas, terrenos baldios, pântanos, etc.)	0,25
Áreas não construídas de uso limitado (jardins e zonas hortícolas, vinhas, zonas de pesca, etc.)	0,25
Áreas não construídas de razoável a muita utilização (parques de estacionamento, parques e parques, zonas de banhos supervisionados, terrenos esportivos)	0,50
Casos especiais (ocupações extremamente temporárias)	0,10

Fonte: Adaptado de Rousseau e Kern (2014) e Rousseau *et al.* (2015).

Tabela 9 – Valores típicos de L_{OE} , L_{FE} e da relação econômica típica c_e/c_t fora da estrutura.

Valores de L_{FE} e L_{OE}	Risco ambiental Limitado dentro dos limites territoriais da instalação		Risco ambiental Espalhado para fora dos limites territoriais da instalação		Relação econômica típica c_e/c_t
	L_{FE}	L_{OE}	L_{FE}	L_{OE}	
Cenário					
Explosão e sobrepressão ⁽¹⁾	0,25	0,025	0,5	0,05	1

Fluxo térmico ⁽²⁾	0,05	0,005	0,1	0,01	1
Vapores tóxicos ⁽³⁾	0,1	0,01	1,0	0,1	5
Poluição do solo ⁽³⁾	0,1	0,01	0,5	0,05	10
Poluição da água ⁽³⁾	0,25 ⁽⁴⁾	0,025	2,5	0,25	50
Material radioativo ^{(3), (5), (6)}	0,5	0,05	5	0,05	100
<ol style="list-style-type: none"> 1. A sobrepressão excede o valor de 50 hPa. 2. A potência térmica por área excede um valor de 3 kW/m². 3. Estes valores máximos podem ser reduzidos com base na quantidade de poluente, perigo do poluente e sensibilidade do meio ambiente. 4. Somente se a poluição puder atingir o lençol freático ou água doce ou mar/oceanos. 5. Pode não ser aplicável se um estudo específico incluindo todo o cenário for desenvolvido. 6. Não aplicável a fontes seladas, como as usadas em dispositivos de medição ou em equipamentos médicos. 					

Fonte: Adaptado de Rousseau e Kern (2014) e Rousseau, Sainte-Rose-Fanchine e Guthrie (2015).

Foi conduzido por Farkaset *al.* (2013) um interessante estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros envolvidos na análise de riscos proposta pela IEC 62305, tanto para a versão de 2006 quanto para a versão de 2010. Apesar de não proporem uma metodologia simplificada de análise de risco, os autores foram capazes de colocar em ordem descendente de importância os parâmetros das componentes de risco, como mostra a Tabela 10, e, assim, auxiliar na escolha das medidas de proteção para uma instalação.

Tabela 10 – Parâmetros das componentes de risco em ordem descendente de importância.

1	2	3	4	5	6	7
N_G	A_I^t	A_I^p	A_D^h	r_t^h	P_{TU}^h	P_{TA}^h
r_p^h	C_T^t	C_T^p	C_D^h	L_T^h		
h_z^h	C_E^t	C_E^p	P_B^h			
r_f^h	C_I^t	C_I^p				
L_F^h	C_{LD}^t	C_{LD}^p				
P_{EB}^h	P_{LD}^t	P_{LD}^p				
x_y^h	parâmetro x_y relacionado à estrutura;					
x_y^p	parâmetro x_y relacionado à linha de energia;					
x_y^t	parâmetro x_y relacionado à linha de telecomunicações.					

Fonte: Adaptado de FARKAS *et al.* (2013), Tabela 4.

Foi verificada a assertividade da análise de riscos de perdas devido a descargas atmosféricas aplicada a pequenas edificações segundo a IEC 62305-2 por Gomes *et al.* (2016). Para isso, os autores selecionaram cinco casos reais de pequenas edificações atingidas por descargas atmosféricas em diferentes regiões da Zâmbia, Uganda e Mongólia que levaram à perda de vida humana e realizaram a análise de riscos dessas instalações conforme a IEC 62305-2. A análise de risco de quatro das cinco estruturas analisadas (quatro casas e uma escola), indicaram que não seria necessário SPDA nas estruturas; no caso da escola, o risco de perda de vida humana ficou acima do valor de referência, porém a instalação de DPS era suficiente para reduzir o risco a níveis aceitáveis, o que também não era coerente, pois edificações semelhantes à analisada não possuem energia elétrica e muitas delas são casas, o que faria com que nem essa medida de proteção fosse necessária. Os autores não propuseram nenhum tipo de melhoria à metodologia de análise de risco proposta na IEC 62305, mas levantaram um alerta sobre a deficiência do estudo e sobre a eficácia das medidas de proteção dele derivadas.

Landers e Kern (2011) propuseram mudanças significativas na metodologia de cálculo do risco de perdas devido a descargas atmosféricas proposta na IEC 62305-2:2010. Segundo os autores, a IEC comete erros desde a definição de parâmetros até a forma de calcular o risco de estruturas, o que pode levar a erros consideráveis, principalmente para estruturas pouco complexas. O primeiro erro de definição apontado pelos autores está na unidade dos valores de cada tipo de perda;

segundo eles, a unidade dos valores de perda de vida humana (L_1) e de serviço ao público (L_2) é número de pessoas (vítimas ou usuários não atendidos), enquanto a unidade dos valores de perda de patrimônio cultural (L_3) e de bens materiais (L_4) é monetária. Essa diferenciação é imprescindível na avaliação da viabilidade de implantação das medidas de proteção que, segundo a IEC 62305-2, considera apenas valores econômicos (L_4).

Outras definições errôneas da IEC 62305 às vistas dos autores são as de “risco ponderado” e de “perdas ponderadas”. No cálculo de cada tipo de perda, existe um fator que faz a relação da perda na zona com a perda total na estrutura, o que é feito de forma semelhante com o risco de cada zona, cuja contribuição é uma parte do todo. Isso é feito para que ao final seja possível somar o risco de todas as zonas e então obter o risco total de perdas para a instalação; porém, conceitualmente isso não faz sentido, pois a divisão da instalação em zonas é sugerida justamente porque diferentes volumes da instalação apresentam características particulares e distintas entre si, de tal forma que tratá-las individualmente possibilita definir melhor as medidas de proteção necessárias.

Os autores também não concordaram com a forma como se calcula o risco externo à estrutura segundo a IEC 62305-2. De acordo com a Norma, para se considerar perdas externas à estrutura, substitui-se o parâmetro L_F (valor médio típico dos valores atingidos por danos físicos à estrutura (D_3) devido a um evento perigoso) pelo parâmetro L_{FT} , que é a soma de L_F e de L_E , parâmetro relacionado às perdas externas devido a um evento perigoso. Porém, ao substituir L_F por L_{FT} , as perdas externas também são multiplicadas pela relação que pondera as perdas internas, cujas características não têm relação com o ambiente externo.

Para corrigir todos esses erros de cálculo, os autores sugerem não aplicar fatores para ponderar a contribuição das perdas em cada zona; as perdas seriam então o produto do risco por unidade (R_x) pelo fator absoluto da zona (ZF_x). A Tabela 11 apresenta os fatores absolutos por zona dependendo do tipo de perda em consideração. Além disso, eles sugerem também que os riscos não sejam mais ponderados para, ao final, serem somados e, assim, encontrar o valor de risco da instalação como um todo. Eles propõem comparar o risco de cada zona separadamente aos níveis de referência correspondentes. Desta forma, parâmetros que segundo a IEC 62305-2 multiplicavam os parâmetros relacionados a perdas, passaram a multiplicar os parâmetros

relacionados à probabilidade de danos. Finalmente, os autores sugerem também a consideração de todos os tipos de perda na avaliação da viabilidade das medidas de proteção, agrupando as perdas L₁ e L₂, já que sua unidade de medida é pessoas por ano, e as perdas L₃ e L₄, cujas unidades de medida são valor monetário por ano.

Tabela 11 – Fatores absolutos da zona por tipo de dano e por tipo de perda.

Dano	Fator absoluto da zona	Perda L ₁	Perda L ₂	Perda L ₃	Perda L ₄
D ₁	ZF ₁	$n_z \cdot t_z / 8760$	0	0	C _a
D ₂	ZF ₂	$n_z \cdot t_z / 8760$	n_z	C _b + C _c	C _a + C _b + C _c + C _s
D ₃	ZF ₃	$n_z \cdot t_z / 8760$	n_z	0	C _s

Fonte: Adaptado de Landers e Kern (2011), Tabela 2.

Todas as colocações feitas por Landers e Kern (2011) parecem muito coerentes e sensatas, mas infelizmente elas ainda não foram formalmente acatadas através da consolidação de nova metodologia de análise de risco em norma técnica. Desta forma, fica inviável a sua utilização no presente trabalho e em análises de risco para projetos legalizados de proteção contra descargas atmosféricas.

3.4. CARACTERÍSTICAS ESPERADAS DE TRABALHOS FUTUROS

O estudo bibliográfico deste capítulo mostrou a existência de muitas pesquisas no Brasil e no mundo sobre os métodos de análise de risco, suas implantações em projetos reais e sobre a assertividade desses métodos. Mostrou também a existência de três vieses de pesquisa: o desenvolvimento de ferramentas, aplicações ou softwares de automação do cálculo do risco; métodos alternativos de análise de risco para facilitar a seleção do nível de proteção externa contra descargas atmosféricas; e propostas de melhoria da metodologia proposta pela IEC 62305-2, que conseqüentemente se aplicam à NBR 5419-2. Após avaliar as publicações que abordam os três subconjuntos, podemos concluir que as seguintes características são esperadas de novas ferramentas de análise de riscos:

- Possibilidade de divisão da instalação em múltiplas zonas de proteção.
- Possibilidade de consideração de múltiplas linhas de serviços conectadas à estrutura em análise.

- Alta precisão dos resultados se comparados ao cálculo manual conforme metodologia proposta pela IEC 62305-2 ou pela NBR 5419-2.
 - Possibilidade de manipulação de todos os sessenta e oito parâmetros, dando maior flexibilidade à ferramenta e abrangendo o maior número possível de instalações.
 - Aumento na precisão do cálculo da área de exposição equivalente da estrutura.
- Auxílio na escolha das medidas de proteção necessárias para adequação da instalação em análise.
 - Apresentação apenas de medidas de proteção capazes de adequar a instalação em análise.
 - Avaliação prévia da viabilidade econômica das medidas de proteção para posterior sugestão ao usuário.
 - Apresentação das medidas de proteção em ordem de eficiência técnico econômica.

4. ETAPAS DE UM PROJETO DE SPDA

A NBR 5419:2015 é dividida em quatro partes e cada uma trata de assuntos específicos relacionados à proteção contra descargas atmosféricas. A primeira parte da norma, intitulada “Princípios gerais”, traz uma série de definições e características elétricas das descargas atmosféricas estudadas e observadas ao longo dos anos. Dentre essas características estão parâmetros elétricos típicos de descargas atmosféricas, seus efeitos sobre uma estrutura (bem como os danos por elas causados), as fontes de danos e os tipos de perda, medidas de proteção, as definições de níveis de proteção e de zonas de proteção, etc. A NBR 5419-1 é a base para as recomendações feitas nas outras partes da Norma e, portanto, não é diretamente utilizada na elaboração de um projeto de SPDA, mas traz importantes definições para a compreensão da relevância das medidas adotadas e em casos em que se busca soluções alternativas para as soluções propostas nas outras partes da NBR 5419.

A segunda parte da NBR 5419 é necessariamente utilizada em todos os projetos de SPDA, uma vez que trata do gerenciamento do risco oriundo de descargas atmosféricas. Através da metodologia proposta na Norma, calculam-se os riscos de perda de vida humana e ferimentos permanentes, de perda de serviço ao público, de perda de patrimônio cultural e de perda de valores econômicos causados por descargas atmosféricas. Além disso, é possível verificar o atendimento a níveis de referência recomendados e ainda verificar a necessidade de um sistema de proteção ou de outras medidas de proteção adicionais.

A terceira parte trata do sistema externo de proteção, definindo os níveis de proteção, as características dos subsistemas de captação, de descida e de aterramento, os materiais permitidos em cada subsistema, as formas de instalação, etc. Esta parte não é necessariamente utilizada em todo projeto de SPDA; dependendo do valor de risco calculado segundo a NBR 5419-2, pode-se constatar que o risco de perda devido a descargas atmosféricas de uma estrutura está abaixo do valor de risco tolerável e, assim, não há necessidade de se instalar SPDA externo na estrutura. Desta forma, a NBR 5419-3 não seria utilizada, mas apenas a NBR 5410-2.

A quarta e última parte trata da proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos internos à estrutura e, assim como a terceira parte da norma, não necessariamente será

utilizada em um projeto de SPDA. Tudo dependerá da Análise de Risco elaborada de acordo com a NBR 5419-2. O fluxograma da Figura 1 mostra as etapas básicas de um projeto de SPDA. Observe a aplicação de cada parte da Norma (as etapas em laranja estão relacionadas à NBR 5419-2, em verde à NBR 5419-3 e em azul à NBR 5419-4) e como é possível se elaborar um projeto de SPDA sem necessariamente utilizar todas as partes.

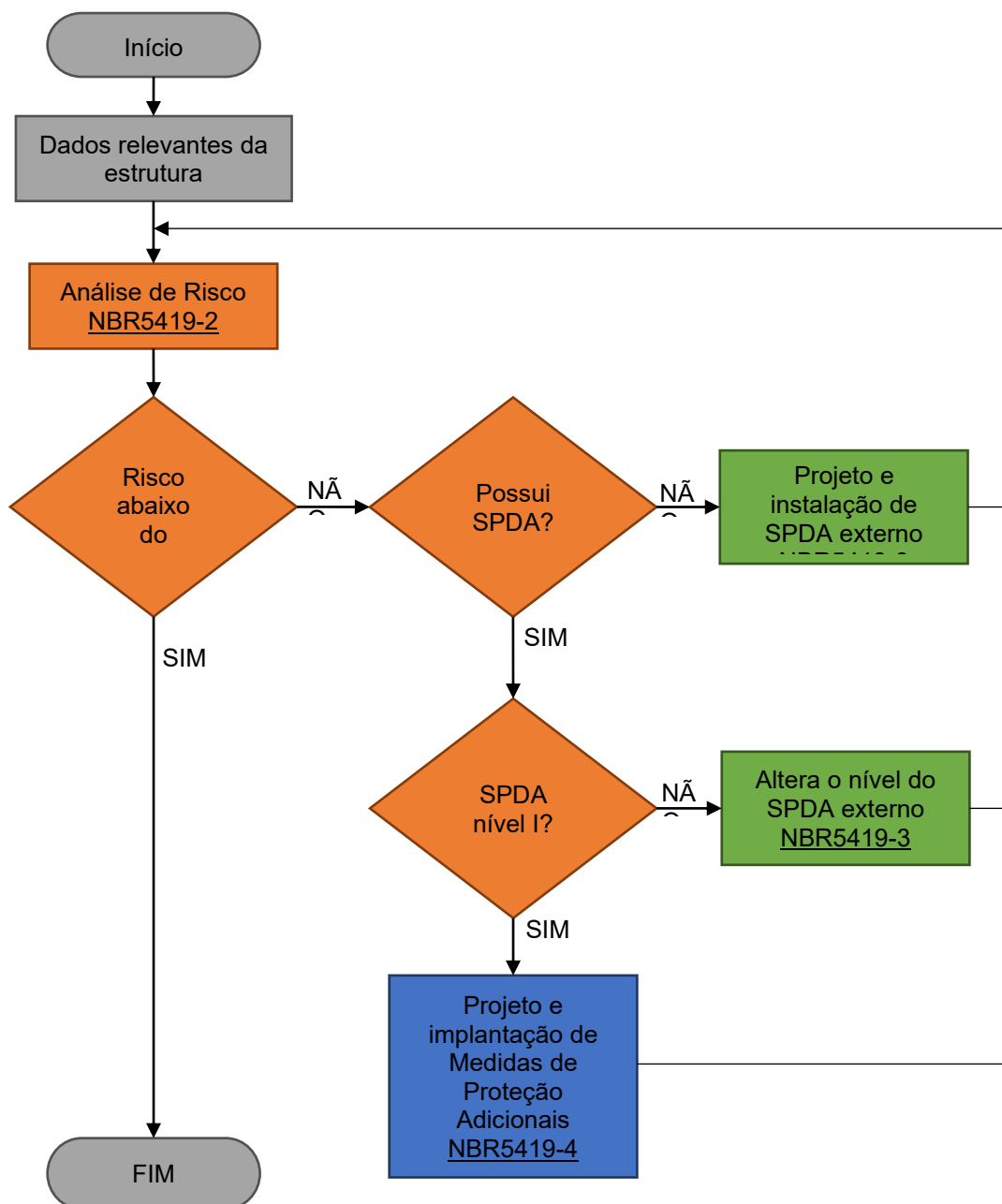


Figura 1 – Etapas de um projeto de SPDA.

4.1. ANÁLISE DE RISCO

A Análise de Risco é o passo inicial para qualquer projeto de SPDA, segundo a NBR 5419:2015. Além de determinar a necessidade ou não de um sistema de proteção, a Análise de Risco fornece informação suficiente para definir quais são as medidas de proteção que devem ser adotadas. Portanto, a metodologia proposta neste trabalho tem como cerne a NBR 5419-2, tornando imprescindível a sua compreensão prévia.

4.1.1. TIPOS DE RISCO E COMPONENTES DE RISCO

A NBR 5419-2 define quatro tipos de risco, ou seja, quatro valores relativos a algum tipo de perda anual média devido à ocorrência de descargas atmosféricas:

- R₁: Risco de perda de vida humana ou de ferimentos permanentes;
- R₂: Risco de perda de serviço ao público;
- R₃: Risco de perda de patrimônio cultural;
- R₄: Risco de perda de valores econômicos.

São reconhecidas quatro fontes distintas de surtos eletromagnéticos oriundos de descargas atmosféricas:

- Descarga atmosférica direta na estrutura (S₁);
- Descarga atmosférica próxima à estrutura (S₂);
- Descarga atmosférica direta em linha de serviços conectada à estrutura (S₃);
- Descarga atmosférica próxima a linha de serviços conectada à estrutura (S₄).

Os danos causados pelos surtos eletromagnéticos, independentes da fonte que os originou, também foram classificados em:

- Danos a seres vivos (D₁);
- Danos à estrutura (D₂);
- Danos causadores de falhas em equipamentos eletroeletrônicos (D₃).

Cada um desses danos pode acarretar perdas, sendo elas:

- Perda de vida humana (L₁);
- Perda de serviço ao público (L₂);

- Perda de bens culturais (L₃);
- Perda de valores econômicos (L₄).

A Tabela 13 resume os conceitos de fonte, dano e perda, além de associá-los.

Cada tipo de risco definido na NBR 5419-2 é formado por vários componentes de risco, associados a uma determinada fonte de surto eletromagnético, que venha a causar um determinado dano. A Tabela 12 apresenta a composição de cada tipo de risco. O risco de perda de vida humana e lesões permanentes (R₁), por exemplo, é formado por oito componentes de risco, tendo em vista que na Tabela 12 há oito diferentes associações de fonte de surtos e danos que levam à perda de vida humana ou lesões permanentes (basta observar as linhas da tabela que contêm perda do tipo L₁, neste caso). Desta forma, o risco de perda de vida humana ou lesões permanentes (R₁) é composto por oito diferentes componentes de risco; o risco de perda de serviço ao público (R₂) é composto por seis componentes de risco; o risco de perda de patrimônio cultural (R₃) é composto de dois componentes de risco; e o risco de perda de valor econômico (R₄) é composto por oito componentes de risco.

Tabela 12 – Tipos de risco e seus componentes.





























































Fonte de danos	S ₁			S ₂	S ₃			S ₄
	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
R ₁								
R ₂								
R ₃								
R ₄								

Tabela 13 – Fontes de surtos eletromagnéticos, danos e perdas causadas por esses surtos.

FONTE	DANO	PERDA			
S ₁ 	D ₁ 	L ₁ 			L ₄ 
	D ₂ 	L ₁ 	L ₂ 	L ₃ 	L ₄ 
	D ₃ 	L ₁ 	L ₂ 		L ₄ 
S ₂ 	D ₃ 	L ₁ 	L ₂ 		L ₄ 
S ₃ 	D ₁ 	L ₁ 			L ₄ 
	D ₂ 	L ₁ 	L ₂ 	L ₃ 	L ₄ 
	D ₃ 	L ₁ 	L ₂ 		L ₄ 
S ₄ 	D ₃ 	L ₁ 	L ₂ 		L ₄ 

4.1.2. CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO

Cada tipo de risco é a soma das suas respectivas componentes de risco. As componentes de risco (R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z) são valores de probabilidade de ocorrer um determinado tipo de perda e, portanto, são o produto de três elementos básicos, como mostra a Figura 2:

- N_X : Número de eventos perigosos por ano;

- P_x : Probabilidade de dano devido a um evento perigoso;
- L_x : Perda consequente de um dano.

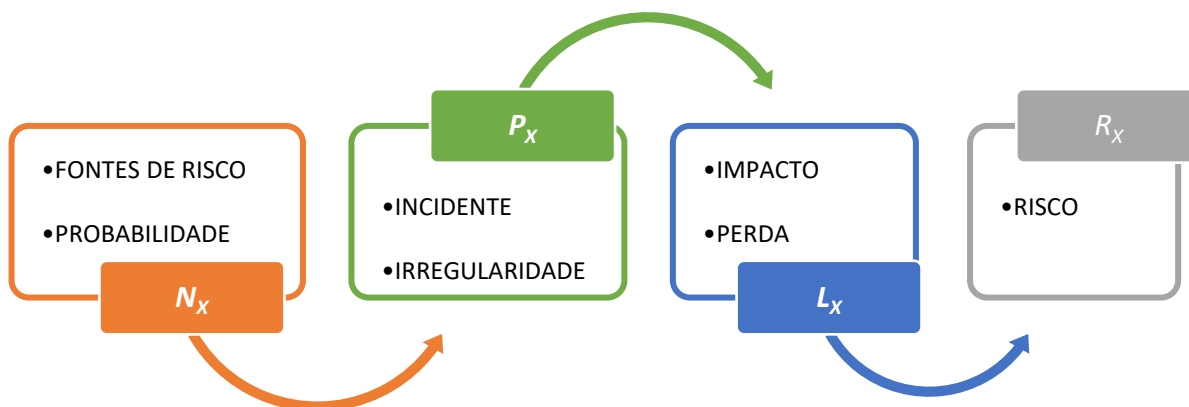


Figura 2 – Elementos básicos de uma componente de risco.

Cada um desses elementos é também o produto de outros parâmetros que dependem das características da instalação em análise. O número de eventos perigosos por ano é afetado pelo número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano, pelas características físicas da estrutura e das linhas conectadas à estrutura e pelo tipo de solo local. A probabilidade de dano depende das características físicas da estrutura e das linhas de energia e/ou telecomunicações conectadas a ela. As perdas consequentes de um dano dependem do tipo de uso da estrutura, da quantidade de pessoas e do seu tempo de permanência na estrutura, do tipo de serviço prestado ao público, do valor da própria estrutura e de seu conteúdo e, por fim, das medidas de proteção adotadas para minimizar a quantidade de perdas. Da Tabela 14 à Tabela 19 são apresentadas as composições das componentes de risco: a Tabela 14 apresenta os parâmetros que compõem o número de eventos perigosos das componentes de risco; a Tabela 15 apresenta os parâmetros que compõem as probabilidades de dano; e da Tabela 16 à Tabela 19 são apresentados os parâmetros relacionados às perdas de vida humana, de serviço ao público, de patrimônio cultural e de valores econômicos, respectivamente.

Tabela 14 – Parâmetros que compõem o número de eventos perigosos das componentes de risco.













N_x – Número de eventos perigosos		
	R_A 	$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$
	R_B 	
	R_C 	
	R_M 	$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6}$
	R_U 	$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$
	R_V 	$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$
	R_W 	$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6}$
	R_Z 	$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$
<p>A_D Área de exposição equivalente da estrutura (vide Figura 3);</p> <p>A_{DJ} Área de exposição equivalente da estrutura adjacente (vide Figura 3);</p> <p>A_I Área de exposição equivalente de descargas próximas à linha (vide Figura 3);</p> <p>A_L Área de exposição equivalente da linha (vide Figura 3);</p> <p>A_M Área de exposição equivalente de descargas próximas à estrutura (vide Figura 3);</p> <p>C_E Fator ambiental;</p> <p>C_D Fator de localização da estrutura;</p> <p>C_{DJ} Fator de localização da estrutura adjacente;</p> <p>C_I Fator de instalação da linha;</p> <p>C_T Fator tipo de linha;</p> <p>N_L N° de sobretensões não inferiores a 1 kV (1/ano) na linha;</p> <p>N_G Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano).</p>		

Tabela 15 – Parâmetros que compõem as probabilidades de dano das componentes de risco.













P _x – Probabilidade de dano		
	R _A 	$P_A = P_{TA} \cdot P_B$
	R _B 	P_B
	R _C 	$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD}$
	R _M 	$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}$ $P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2$ $K_{S1} = 0,12 \cdot w_{m1}$ $K_{S2} = 0,12 \cdot w_{m2}$ $K_{S4} = 1/U_W$
	R _U 	$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	R _V 	$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	R _W 	$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	R _Z 	$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI}$
<p>P_A Probabilidade de ferimentos a seres vivos devido a descargas na estrutura;</p> <p>P_B Probabilidade de danos físicos à estrutura devido a descargas na mesma;</p> <p>P_C Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas na estrutura;</p> <p>P_M Probab. de falha de equipamentos internos devido a descargas próximas à estrutura;</p> <p>P_U Probabilidade de ferimentos a seres vivos devido a descargas na linha;</p> <p>P_V Probabilidade de danos físicos à estrutura devido a descargas na linha;</p> <p>P_W Probabilidade de falha de equipamentos internos devido a descargas na linha;</p> <p>P_Z Probab. de falha de equipamentos internos devido a descargas próximas à linha;</p> <p>C_{LD} Fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha;</p> <p>C_{LI} Fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha;</p> <p>P_{EB} Probabilidade relacionada às ligações equipotenciais;</p> <p>P_{LD} Probabilidade relacionada às características da linha e dos equipamentos;</p> <p>P_{LI} Probabilidade relacionada às características da linha e dos equipamentos;</p> <p>P_{SPD} Probabilidade que depende do sistema de DPS;</p> <p>P_{TU} Probabilidade que depende das medidas de proteção contra tensões de toque.</p>		

Tabela 16 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de vida humana ou de lesões permanentes.























L _x – Perda de vida humana ou de lesões permanentes		
	R _A 	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _B 	$L_B = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot [L_F + (L_{FE} \cdot t_e/8.760)] \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _C 	$L_C = L_O \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _M 	$L_M = L_O \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _U 	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _V 	$L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot [L_F + (L_{FE} \cdot t_e/8.760)] \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _W 	$L_W = L_O \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
	R _Z 	$L_Z = L_O \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8.760)$
<p> <i>L_A</i> Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na estrutura; <i>L_B</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura; <i>L_C</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na estrutura; <i>L_M</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da estrutura; <i>L_U</i> Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na linha; <i>L_V</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha; <i>L_W</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na linha; <i>L_Z</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da linha; <i>L_F</i> Perda em uma estrutura devido a danos físicos; <i>L_O</i> Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos; <i>L_T</i> Perda devido a ferimentos por choque elétrico; <i>h_z</i> Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente; <i>n_t</i> Número total de pessoas; <i>n_z</i> Número de possíveis pessoas em perigo; <i>r_f</i> Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio; <i>r_p</i> Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio; <i>r_t</i> Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo; <i>t_z</i> Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso. </p>		

Tabela 17 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de serviço ao público.

L _x – Perda de Serviço ao Público		
	R _B 	$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (n_z/n_t)$
	R _C 	$L_C = L_O \cdot (n_z/n_t)$
	R _M 	$L_M = L_O \cdot (n_z/n_t)$
	R _V 	$L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (n_z/n_t)$
	R _W 	$L_W = L_O \cdot (n_z/n_t)$
	R _Z 	$L_Z = L_O \cdot (n_z/n_t)$
<p><i>L_B</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura; <i>L_C</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na estrutura; <i>L_M</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da estrutura; <i>L_V</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha; <i>L_W</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na linha; <i>L_Z</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da linha; <i>L_F</i> Perda em uma estrutura devido a danos físicos; <i>L_O</i> Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos; <i>n_t</i> Número total de pessoas; <i>n_z</i> Número de possíveis pessoas em perigo; <i>r_f</i> Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio; <i>r_p</i> Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio; <i>r_t</i> Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo.</p>		

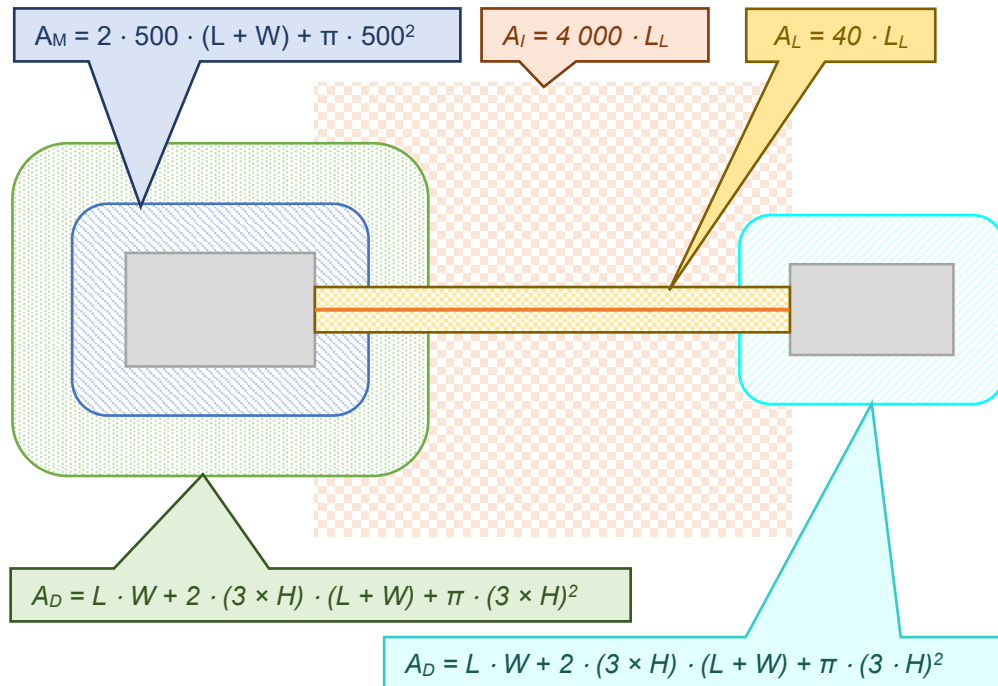














Figura 3 – Áreas de exposição equivalentes – A_D , A_{DJ} , A_M , A_I e A_L .

Tabela 18 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de patrimônio cultural.

L_x – Perda de patrimônio cultural		
	R_B 	$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (c_z/c_t)$
	R_V 	$L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (c_z/c_t)$
L_B	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura;	
L_V	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha;	
L_F	Perda em uma estrutura devido a danos físicos;	
c_t	Valor total da estrutura, em espécie;	
c_z	Valor do patrimônio cultural em uma zona, em espécie;	
r_f	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio;	
r_p	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio.	

Tabela 19 – Parâmetros que compõem as perdas das componentes de risco de perda de valor econômico.

L _X – Perda de valor econômico		
	RA 	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot (c_a/c_t)$
	RB 	$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot [(c_a + c_b + c_c + c_s)/c_t]$
	RC 	$L_C = L_O \cdot (c_s/c_t)$
	RM 	$L_M = L_O \cdot (c_s/c_t)$
	RU 	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot (c_a/c_t)$
	RV 	$L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_{FX} [(c_a + c_b + c_c + c_s)/c_t]$
	RW 	$L_W = L_O \cdot (c_s/c_t)$
	RZ 	$L_Z = r_t \cdot L_T \cdot (c_a/c_t)$
<p><i>L_A</i> Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na estrutura; <i>L_B</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na estrutura; <i>L_C</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na estrutura; <i>L_M</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da estrutura; <i>L_U</i> Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos devido a descargas na linha; <i>L_V</i> Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos devido a descargas na linha; <i>L_W</i> Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas na linha; <i>L_Z</i> Perda relacionada à falha de sistemas internos devido a descargas perto da linha; <i>L_F</i> Perda em uma estrutura devido a danos físicos; <i>L_O</i> Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos; <i>L_T</i> Perda devido a ferimentos por choque elétrico; <i>c_a</i> Valor dos animais em uma zona, em espécie; <i>c_b</i> Valor do edifício relevante a zona, em espécie; <i>c_c</i> Valor do conteúdo em uma zona, em espécie; <i>c_s</i> Valor total dos bens em locais perigosos fora da estrutura, em espécie; <i>c_t</i> Valor total da estrutura, em espécie; <i>r_f</i> Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio; <i>r_p</i> Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio; <i>r_t</i> Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo.</p>		

4.2. SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas divide-se em:

- Subsistema de captação: conjunto de condutores instalados sobre a cobertura da estrutura, responsável por “receber” a incidência de descargas atmosféricas, sem danificar a estrutura protegida.
- Subsistema de descida: conjunto de condutores responsável por conduzir a corrente elétrica da descarga atmosférica do subsistema de captação até o subsistema de aterramento de forma segura.
- Subsistema de aterramento: conjunto de condutores enterrados responsável por dissipar a corrente elétrica trazida pelos condutores de descida para o solo.

Os subsistemas de captação, descida e aterramento podem ser naturais ou não naturais, dependendo dos elementos que os compõem. O subsistema natural utiliza elementos metálicos da própria estrutura como subsistema de captação, descida ou aterramento, sem a necessidade de instalação de condutores adicionais para algum desses fins. Quando não existem elementos metálicos na estrutura; quando esses elementos não atendem às exigências de material ou de espessura da NBR 5419-3; ou quando os elementos naturais não são suficientes para promover a proteção da estrutura, é necessária a instalação de condutores adicionais, constituindo o chamado subsistema não natural.

4.2.1. SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

Existe uma segunda classificação do subsistema de captação: isolado e não isolado. O subsistema de captação não isolado é geralmente composto por condutores horizontais e/ou inclinados instalados rentes à cobertura e tem a finalidade de proteger apenas a estrutura contra descargas diretas; não existe uma preocupação em proteger equipamentos ou pessoas que estiverem no nível da cobertura. O subsistema de captação isolado é composto por condutores verticais e horizontais e tem por objetivo proteger não apenas a estrutura, como também equipamentos e/ou pessoas no nível da cobertura, através da criação de um volume de proteção.



Figura 4 – Subsistema de captação a) não isolado e b) isolado.

Apesar de existirem os dois tipos de subsistema de captação, o projeto de um subsistema isolado não é simples e deve ser analisado caso a caso. Como pode ser observado na Figura 4b, o subsistema de captação isolado é composto de mastros verticais isolados uns dos outros ou ligados por uma catenária aérea que formam certo volume de proteção (representado pela área colorida entre os mastros) e tudo que estiver dentro deste volume está protegido contra descargas atmosféricas diretas com amplitude a partir de um determinado.



Figura 5 – Subsistema de captação isolado:

a) Método da esfera rolante e b) Método dos ângulos.

O volume de proteção produzido por um SPDA isolado pode ser definido através do método das esferas rolantes ou do método dos ângulos. O método das esferas rolantes consiste em rolar uma esfera imaginária, de raio definido, tocando o solo e os captadores e o volume abaixo da esfera é o volume protegido produzido pelo sistema de proteção. O método dos ângulos, por sua vez, consiste em traçar retas de pontos da estrutura até o solo ou até outro ponto da estrutura, com um ângulo de inclinação

específico, que depende do nível de proteção do SPDA. A Figura 5 ilustra a forma de determinar o volume de proteção promovido pelo subsistema de captação através dos dois métodos. Através do estudo, determinam-se quantos e onde devem ser posicionados os condutores que compõem o sistema para proteger a estrutura.

A definição da quantidade e conseqüente posição de condutores no subsistema de captação não isolado é mais simples e é feita através da consulta à Tabela 2 da NBR 5419-3, parcialmente reproduzida na Tabela 21.

Tabela 21 – Distância entre condutores da malha em um subsistema de captação não isolado.

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores da malha [m]
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Fonte: Tabela 2 da NBR 5419-3:2015.

É também possível (e preferível) utilizar elementos metálicos da instalação para desempenhar o papel do subsistema de captação. A NBR 5419-3 prevê e recomenda essa prática, denominada de subsistema natural de captação, desde que sejam respeitados materiais e espessuras mínimas.

4.2.2. SUBSISTEMA DE CONDUTORES DE DESCIDA

O subsistema de condutores de descida pode ser natural, quando utiliza elementos metálicos da estrutura para conduzir a corrente elétrica da descarga atmosférica até o subsistema de aterramento, como também pode ser não natural, quando utiliza condutores específicos para essa finalidade. Os elementos metálicos que normalmente compõem os subsistemas de descida naturais são pilares metálicos, vergalhões de ferro de pilares de concreto armado ou vergalhões de ferro inseridos nos pilares durante a sua construção unicamente para compor o SPDA.

O número de condutores de descida depende da classe do sistema de proteção, conforme mostra a Tabela 22, e o posicionamento de cada condutor é feito de forma que eles fiquem o mais afastado uns dos outros.

Tabela 22 – Distância entre condutores de descida.

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores de descida [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Tabela 4 da NBR 5419-3:2015.

4.2.3. SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

O subsistema de aterramento é basicamente composto por um condutor de cobre enterrado formando um anel em torno de todo o perímetro da estrutura protegida. O cabo deve estar enterrado a uma profundidade mínima de meio metro, mas sua profundidade exata de instalação depende de possíveis interferências no trajeto e da resistividade do solo no local.

A NBR 5419 aconselha que o condutor de aterramento seja instalado a uma distância de aproximadamente um metro das paredes externas da edificação e que sejam previstos meios de se inspecionar o sistema, o que pode ser proporcionado através da instalação de poços de inspeção ao longo do sistema. Apesar de não ser uma exigência normativa, é recomendável também a instalação de eletrodos verticais nos pontos de conexão dos condutores de descida, a fim de aumentar a profundidade de injeção da corrente elétrica no solo e, assim, reduzir as tensões de passo perigosas na superfície.

Assim como a captação e os condutores de descida, o subsistema de aterramento também pode ser natural, ou seja, utilizar-se de elementos metálicos da própria estrutura para cumprir o papel de dispersar a corrente elétrica para o solo. É imprescindível que o condutor de aterramento forme um anel contínuo e, portanto, a utilização de elementos exclusivamente naturais se dá geralmente quando a fundação da edificação possui vigas de cinto feitas de concreto armado.

4.3. SISTEMA DE PROTEÇÃO DOS SISTEMAS INTERNOS À ESTRUTURA

A NBR 5419-4 trata da proteção contra descargas atmosféricas de sistemas elétricos e eletrônicos internos e faz importantes definições que norteiam todas as medidas de

proteção nela sugeridas. A primeira definição importante é a de Zonas de Proteção (ZPR). Diferentes zonas de proteção implicam em diferentes níveis de exposição a agressões eletromagnéticas e, portanto, deve-se separar a instalação em diferentes ZPR caso os equipamentos instalados em diferentes pontos possuam diferentes suportabilidades. As zonas de proteção podem ser classificadas como:

- ZPR0_A – Zona de proteção onde os equipamentos estão sujeitos à corrente de surto total e não há atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica.
- ZPR0_B – Zona de proteção onde os equipamentos estão sujeitos à corrente de surto parcial e não há atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica.
- ZPR1...n – Zona de proteção onde a corrente de surto é distribuída ou atenuada por interfaces isolantes e/ou DPS e o campo eletromagnético da descarga atmosférica pode ser atenuado pela ferragem estrutural da instalação ou por blindagem espacial do ambiente.

A Figura 6 representa de forma ilustrativa o conceito das zonas de proteção definidas na NBR 5419-4.

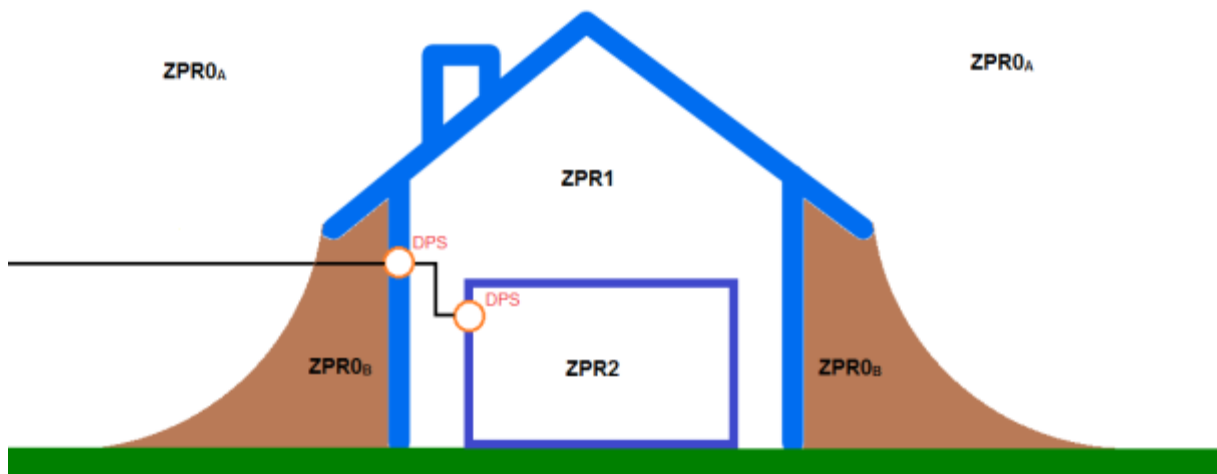


Figura 6 – Zonas de proteção contra descargas atmosféricas (ZPR).

Outra definição muito importante feita na NBR 5419-4 é a de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), que são um conjunto de medidas tomadas para proteger sistemas internos dos efeitos de surtos eletromagnéticos causados por descargas atmosféricas. Segundo a Norma, há quatro tipos básicos de MPS:

- Aterramento e equipotencialização;
- Blindagem magnética e roteamento das linhas;
- Coordenação de DPS;
- Interfaces isolantes.

5. MEDIDAS DE PROTEÇÃO

No cômputo do cálculo do risco, é possível mudar seu valor de várias formas, alterando quaisquer parâmetros que influenciam no número de eventos perigosos, na probabilidade de danos ou na perda consequente de um dano. Quando avaliamos a prática dessas alterações fica evidente, porém, que apenas alguns parâmetros são passíveis de mudança. Por exemplo, um parâmetro que reduz significativamente o risco de uma estrutura é o número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano da região. Esse parâmetro depende apenas do local da instalação e, portanto, reduzir esse parâmetro implicaria na mudança do local da estrutura, o que é inviável (pelo menos para uma instalação já existente).

Os subcapítulos seguintes apresentam os parâmetros passíveis de alteração. As tabelas de medidas de proteção de cada subcapítulo apresentam em estilo negrito as possibilidades de situação atual da estrutura analisada e em estilo normal as medidas de proteção disponíveis em cada situação, bem como a redução percentual provocada em relação ao valor atual do parâmetro alterado pela medida de proteção.

5.1. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS CONTRA TENSÃO DE PASSO E TOQUE (P_{TA})

O P_{TA} é um parâmetro que altera o P_A , ou seja, a probabilidade de dano da componente de risco R_A , que é a componente do risco R_1 – risco de perda de vida humana ou de ferimentos permanentes – e do risco R_4 – risco de perda econômica – relacionada às descargas atmosféricas diretas na estrutura, que podem provocar choque elétrico nos ocupantes dessa estrutura, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes. A Figura 7 mostra a influência do parâmetro P_{TA} na componente de risco R_A .

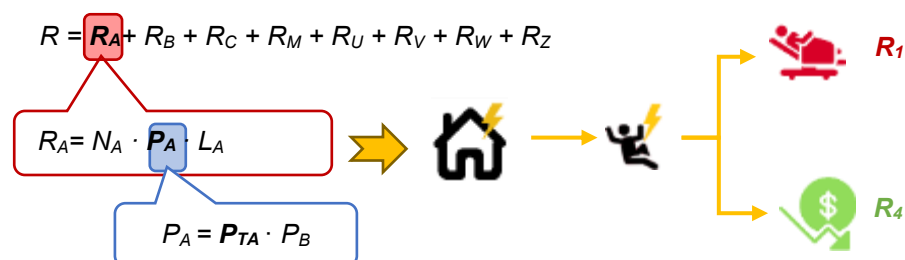


Figura 7 – Influência de P_{TA} nas componentes de risco.

Tabela 23 – Medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo perigosas (P_{TA}):
Características da estrutura e medidas de proteção.

Característica da Instalação / Medidas de Proteção	P_{TA} / $\Delta\%$
Nenhuma medida de proteção	$1,00 \cdot 10^0$
Instalar avisos de alerta próximo aos condutores de descida	90,00%
Aumentar a isolamento elétrica dos condutores de descida	99,00%
Providenciar equipotencialização efetiva do solo	99,00%
Providenciar restrições físicas de acesso aos condutores de descida	100,00%
Avisos de alerta	$1,00 \cdot 10^{-1}$
Aumentar a isolamento elétrica dos condutores de descida	90,00%
Providenciar equipotencialização efetiva do solo	90,00%
Providenciar restrições físicas de acesso aos condutores de descida	100,00%
Isolação elétrica	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Providenciar restrições físicas de acesso aos condutores de descida	100,00%
Equipotencialização efetiva do solo	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Providenciar restrições físicas de acesso aos condutores de descida	100,00%
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.1.

A Tabela 23 apresenta as possíveis medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e de passo perigosas existentes em uma instalação (no caso de uma Análise de Risco inicial) e os respectivos valores de P_{TA} . Além disso, a tabela apresenta as possíveis medidas de proteção a adotar caso o risco calculado esteja acima do nível de referência mesmo com a medida de proteção já instalada e o percentual de redução causado por cada medida com relação ao valor atual de P_{TA} .

A primeira medida de proteção prevista na Tabela 23 é a colocação de avisos de alerta próximo aos condutores de descida e está prevista na NBR 5419-3 em seus itens 8.1.2.b – para proteção contra tensão de toque – e 8.2.a – para proteção contra tensão de passo. Esses avisos de alerta apenas surtirão efeito, ou seja, reduzirão o risco de choque elétrico devido a tensões de passo e de toque, se estiverem visíveis e em locais onde esses riscos realmente existam. A colocação de avisos de alerta na entrada da estrutura, por exemplo, não é suficiente para que uma pessoa tome as precauções necessárias para evitar esse tipo de acidente; os avisos devem ser fixados próximos aos locais de maior probabilidade de ocorrência do incidente, ou seja, próximo aos condutores de descida e, assim, reduzir o risco de perda de vida humana.

A segunda medida de proteção prevista é a instalação de isolamento extra nos condutores de descida, condição prevista no item 8.1.2.a da NBR 5419-3, que exige uma cobertura com espessura mínima de três milímetros e cuja isolamento suporte uma tensão de ensaio de 100 kV para onda de impulso de 1,2/50 μ s. Essa condição pode ser satisfeita utilizando-se um eletroduto de PVC de meia polegada embutido em outro eletroduto de PVC de três quartos de polegada, ambos com comprimento mínimo de três metros para garantir que partes não isoladas do condutor de descida sejam acessadas.

A equalização efetiva do solo é a terceira medida prevista na Tabela 23e também no item 8.2.b da NBR 5419-3 e tem como objetivo a proteção contra tensões de passo. Assim como previsto na Norma, a medida consiste em instalar uma malha reticulada de eletrodos de aterramento e, portanto, enterradas, no entorno do condutor de descida.

A quarta e última medida de proteção da Tabela 23 consiste em restringir o acesso ao entorno dos condutores de descida através de barreiras físicas, o que está previsto nos itens 8.1.2.b e 8.2.b da NBR 5419-3.

5.2. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS PARA REDUZIR AS CONSEQUÊNCIAS DE UM INCÊNDIO (R_p)

O parâmetro r_p altera L_B e L_V , ou seja, as perdas consequentes de dano das componentes de risco R_B e R_V , respectivamente. Essas são as componentes relacionadas às descargas atmosféricas diretas na estrutura e na linha conectada à estrutura, respectivamente, e que provocam danos à estrutura, levando à perda de vida humana, de serviço ao público, de patrimônio cultural e de valores econômicos. A Figura 8 mostra a influência do parâmetro r_p nas componentes de risco R_B e R_V .

A Tabela 24 apresenta as possíveis providências existentes para reduzir as consequências de um incêndio na instalação e os respectivos valores de r_p , além das possíveis medidas de proteção a se adotar dependendo das providências já tomadas e a redução percentual promovida por cada uma.

Tabela 24 – Providências para reduzir as consequências de um incêndio (r_p):
Características da estrutura e medidas de proteção.

Característica da Instalação / Medidas de Proteção	r_p / $\Delta\%$
Nenhuma providência	1,0
Instalar sistema de combate a incêndio através de extintores	50,00%
Instalar sistema de combate a incêndio através chuveiros automáticos	60,00%
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarmes manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape.	0,5
Instalar sistema de combate a incêndio através chuveiros automáticos	60,00%
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático (somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min).	0,2

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela C.4.

A variância de r_p é pequena e o parâmetro assume um mesmo valor para diferentes providências. Desta forma, para fins da análise de risco, não há distinção entre a adoção de diferentes medidas dentro de um rol de providências. É muito importante lembrar que o fato de o risco calculado segundo a NBR 5419-2 estar abaixo do nível tolerável não exime o responsável técnico pela estrutura do cumprimento das exigências da autoridade pública local, normalmente o corpo de bombeiros. Desta forma, mesmo que duas providências de redução das consequências de incêndio, uma mais simples e menos onerosa e outra mais complexa e mais onerosa, produzam o mesmo efeito com relação à análise de risco segundo a NBR 5419-2, deve-se atentar para a impossibilidade de adoção da providência mais onerosa devido a alguma característica proibitiva da estrutura em análise.

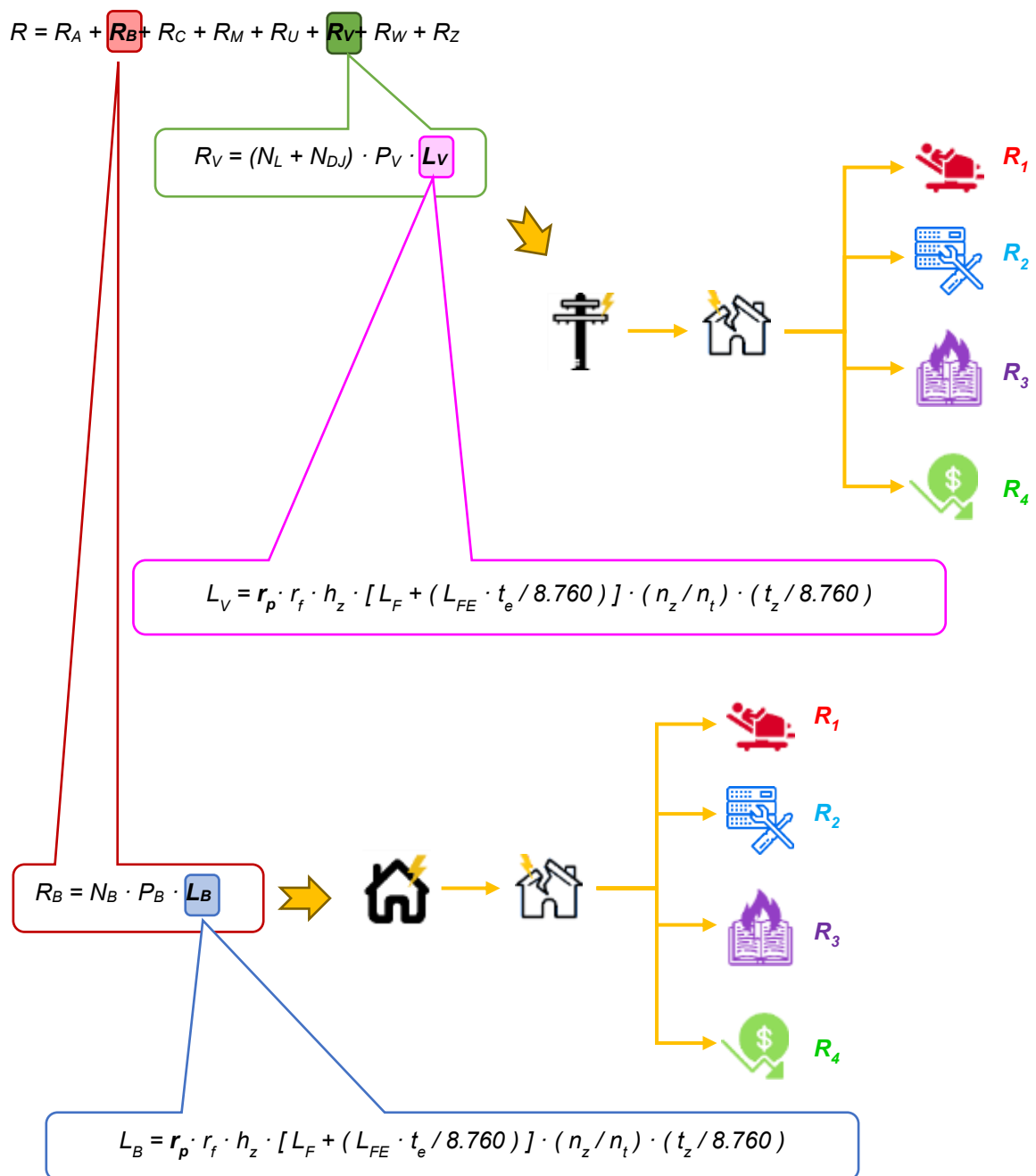


Figura 8 – Influência de r_p nas componentes de risco.

5.3. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS PARA REDUZIR DANOS FÍSICOS À ESTRUTURA (P_B)

Além de alterar P_A (probabilidade de dano da componente de risco R_A), P_B é também a probabilidade de dano da componente de risco R_B . Como vimos, essas são as componentes de risco relacionadas às descargas atmosféricas diretas na estrutura, que provocam choque elétrico nos seus ocupantes e danos à própria estrutura,

levando à perda de vida humana, de serviço ao público, de patrimônio cultural e de valor econômico. A Figura 9 mostra a influência dos parâmetros P_A e P_B nas componentes de risco R_A e R_B . A Tabela 25 apresenta as diferentes medidas de proteção contra descargas atmosféricas com seus respectivos valores de P_B e as alternativas para cada situação com seus respectivos percentuais de redução do valor de P_B . As medidas de proteção que visam reduzir os danos físicos à estrutura são basicamente as medidas recomendadas na NBR 5419-3, explicada de forma sucinta no Capítulo 4.

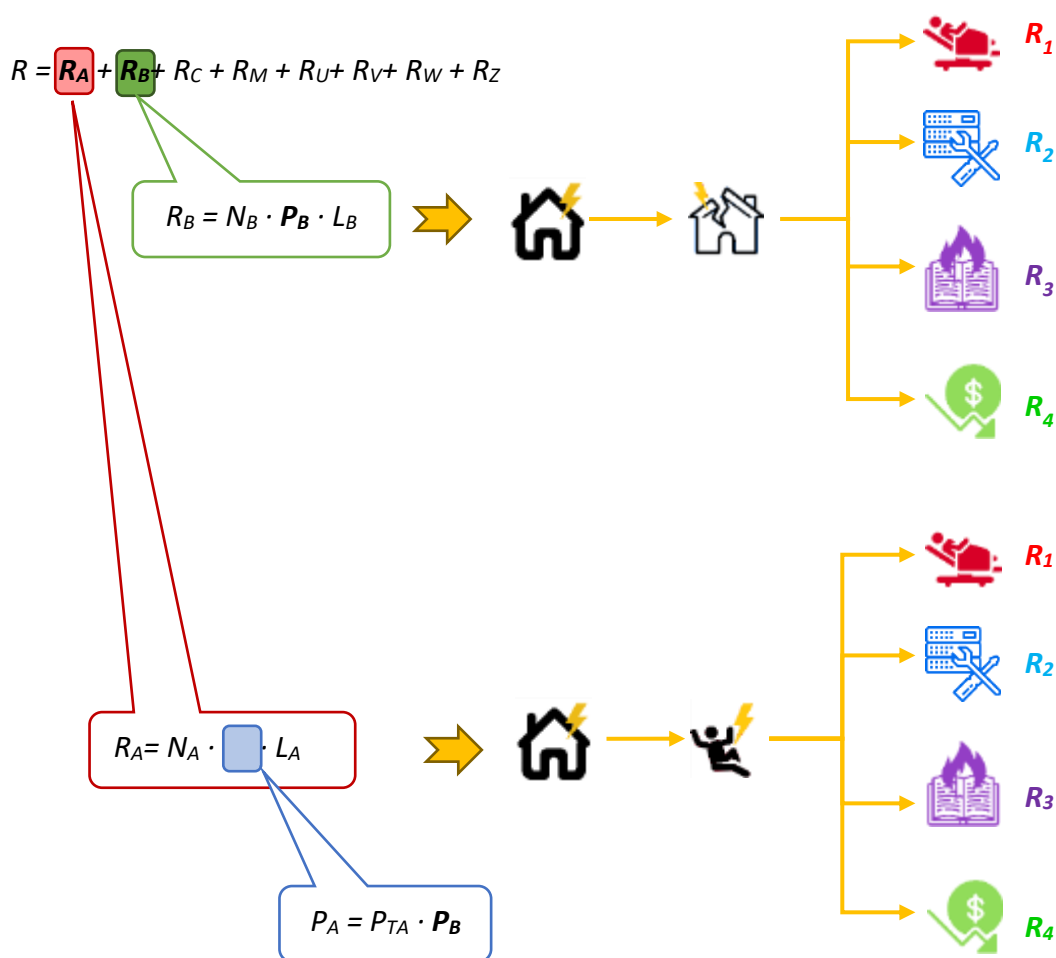


Figura 9 – Influência de P_B nas componentes de risco.

Tabela 25 – Valores da probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Característica da Instalação / Medidas de Proteção	$r_p / \Delta\%$
Estrutura não protegida por SPDA	1,0
Instalar SPDA Classe IV	80,00%
Instalar SPDA Classe III	90,00%
Instalar SPDA Classe II	95,00%
Instalar SPDA Classe I	98,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistema natural de descida'''	99,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistemas de descida e de captação naturais e proteção completa na cobertura	99,90%
Estrutura protegida por SPDA Classe IV	0,2
Instalar SPDA Classe III	90,00%
Instalar SPDA Classe II	95,00%
Instalar SPDA Classe I	98,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistema natural de descida	99,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	99,90%
Estrutura protegida por SPDA Classe III	0,1
Instalar SPDA Classe II	50,00%
Instalar SPDA Classe I	80,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistema natural de descida	90,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	99,00%
Estrutura protegida por SPDA Classe II	0,05
Instalar SPDA Classe I	60,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistema natural de descida	80,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	98,00%
Estrutura protegida por SPDA Classe I	0,02
Instalar SPDA Classe I com subsistema natural de descida	50,00%
Instalar SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	95,00%
Estrutura protegida por SPDA Classe I com subsistema natural de descida	0,01
Instalar SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	90,00%
Estrutura protegida por SPDA Classe I com subsistemas naturais de descida e de captação e proteção completa na cobertura	0,001

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.2.

5.4. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS PARA REDUÇÃO DAS TENSÕES DE TOQUE PERIGOSAS NAS LINHAS CONECTADAS À ESTRUTURA (P_{TU})

P_{TU} é um parâmetro que altera P_U , ou seja, a probabilidade de dano da componente de risco R_U . Como vimos, essa é a componente de risco relacionada às descargas atmosféricas diretas nas linhas conectadas à estrutura, que provocam choque elétrico nos ocupantes da estrutura, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes e à perda de valor econômico. A Figura 10 mostra a influência do parâmetro P_{TU} na componente de risco R_U .

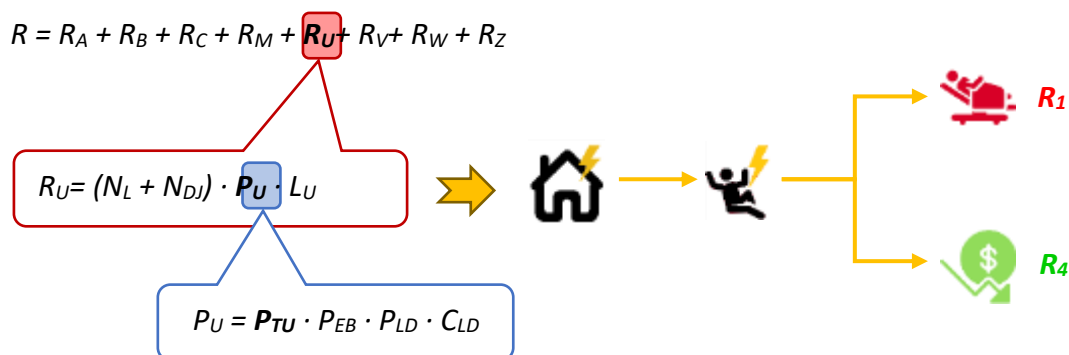


Figura 10 – Influência de P_{TU} nas componentes de risco.

A Tabela 26 apresenta as diferentes medidas de proteção contra tensões de toque perigosas oriundas de uma descarga atmosférica que adentre a estrutura via uma linha de serviços e os respectivos valores de P_{TU} , bem como as medidas de proteção alternativas para cada situação e a redução percentual promovida por elas.

Tabela 26 – 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.

Característica da Instalação / Medidas de Proteção	P_{TU} / $\Delta\%$
Nenhuma medida de proteção	1
Instalar avisos de alerta próximo a pontos acessíveis da linha	90,00%
Aumentar a isolamento elétrica da linha em pontos acessíveis	99,00%
Providenciar restrições físicas de acesso à linha	100,00%
Estrutura com avisos visíveis de alerta próximo a linhas de serviços	0,1
Aumentar a isolamento elétrica da linha em pontos acessíveis	90,00%
Providenciar restrições físicas de acesso à linha	100,00%
Isolação elétrica das linhas de serviços	0,01
Providenciar restrições físicas de acesso à linha	100,00%
Restrições físicas de acesso à linha	0

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.6.

Apesar de o dano – choque elétrico em seres vivos devido a tensões de toque perigosas – ser o mesmo já tratado no subcapítulo que trata das medidas de proteção relacionadas ao parâmetro P_{TA} , algumas considerações são necessárias. Para a proteção contra tensões de toque perigosas causadas por um surto eletromagnético conduzido por uma linha de serviço, os avisos de alerta devem ser instalados próximos a pontos de acesso à linha e têm os mesmos objetivos de proteção quando instalados próximos a condutores de descida, assim como a restrição física de acesso a esses pontos. Por outro lado, o aumento da isolamento elétrica da linha não é tão simples de ser obtida como nos condutores de descida porque não há necessariamente uma divisão da corrente de descarga em diversos condutores, como ocorre no sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas da estrutura. Em caso de linhas de serviços, esse desvio parcial de corrente pode ser obtido através do aterramento da blindagem ou, em caso de cabos coaxiais, da sua malha no ponto de entrada da linha na estrutura ou através do uso de DPS. A circulação de valores menores de corrente produz elevações também menores de potencial elétrico ao longo da linha, tornando possível um efetivo isolamento elétrico em pontos acessíveis através do uso de eletrodutos concêntricos.

5.5. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS DE REDUÇÃO DAS TENSÕES INDUZIDAS NOS CIRCUITOS INTERNOS ATRAVÉS DE BLINDAGEM (P_{LD})

P_{LD} é um parâmetro que altera P_U , P_V e P_W , probabilidades de dano das componentes de risco R_U , R_V e R_W , respectivamente. Essas são as componentes de risco relacionadas às descargas atmosféricas diretas nas linhas conectadas à estrutura, que provocam choque elétrico em seus ocupantes, danos físicos à estrutura e danos aos equipamentos internos, levando à perda de vida humana ou ferimentos permanentes, perda de serviço ao público, perda de patrimônio cultural e perda de valor econômico. A Figura 11 mostra a influência do parâmetro P_{LD} nas componentes de risco R_U , R_V e R_W . A Tabela 27 apresenta as condições de blindagem do cabeamento interno, bem como da interligação da blindagem, e os respectivos valores de P_{LD} . Pode-se observar que o parâmetro depende não apenas da resistência distribuída da blindagem, mas também da sua interligação ao barramento de equalização principal e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento a ser protegido.

A explicação para a resistência distribuída da blindagem do cabeamento interno está relacionada à distribuição da corrente de surto. Segundo o Anexo E da NBR 5419-1, a parcela da corrente de surto I_F que circula por uma parte condutora é igual ao produto de um fator de divisão k_e e da corrente da descarga atmosférica I pertinente ao nível de proteção considerado para a estrutura e esse fator de divisão depende, em uma análise simplista, do valor da resistência distribuída da blindagem e dos condutores internos.

Tabela 27 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.

Característica da Blindagem da Fiação Interna / Medidas de Proteção	$P_{LD} / \Delta\%$				
	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linha não blindada	1	1	1	1	1
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%	20,00%
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	10,00%	20,00%	40,00%	70,00%	90,00%
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	40,00%	60,00%	80,00%	96,00%	98,00%
Blindagem não interligada ao mesmo BEP	1	1	1	1	1
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%	20,00%
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	10,00%	20,00%	40,00%	70,00%	90,00%
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	40,00%	60,00%	80,00%	96,00%	98,00%
Blindagem interligada ao mesmo BEP e resistência de $5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	10,00%	20,00%	36,84%	66,67%	87,50%
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	40,00%	60,00%	78,95%	95,56%	97,50%
Blindagem interligada ao mesmo BEP e resistência de $1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	33,33%	50,00%	66,67%	86,67%	80,00%
Blindagem interligada ao mesmo BEP e resistência de $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.8.

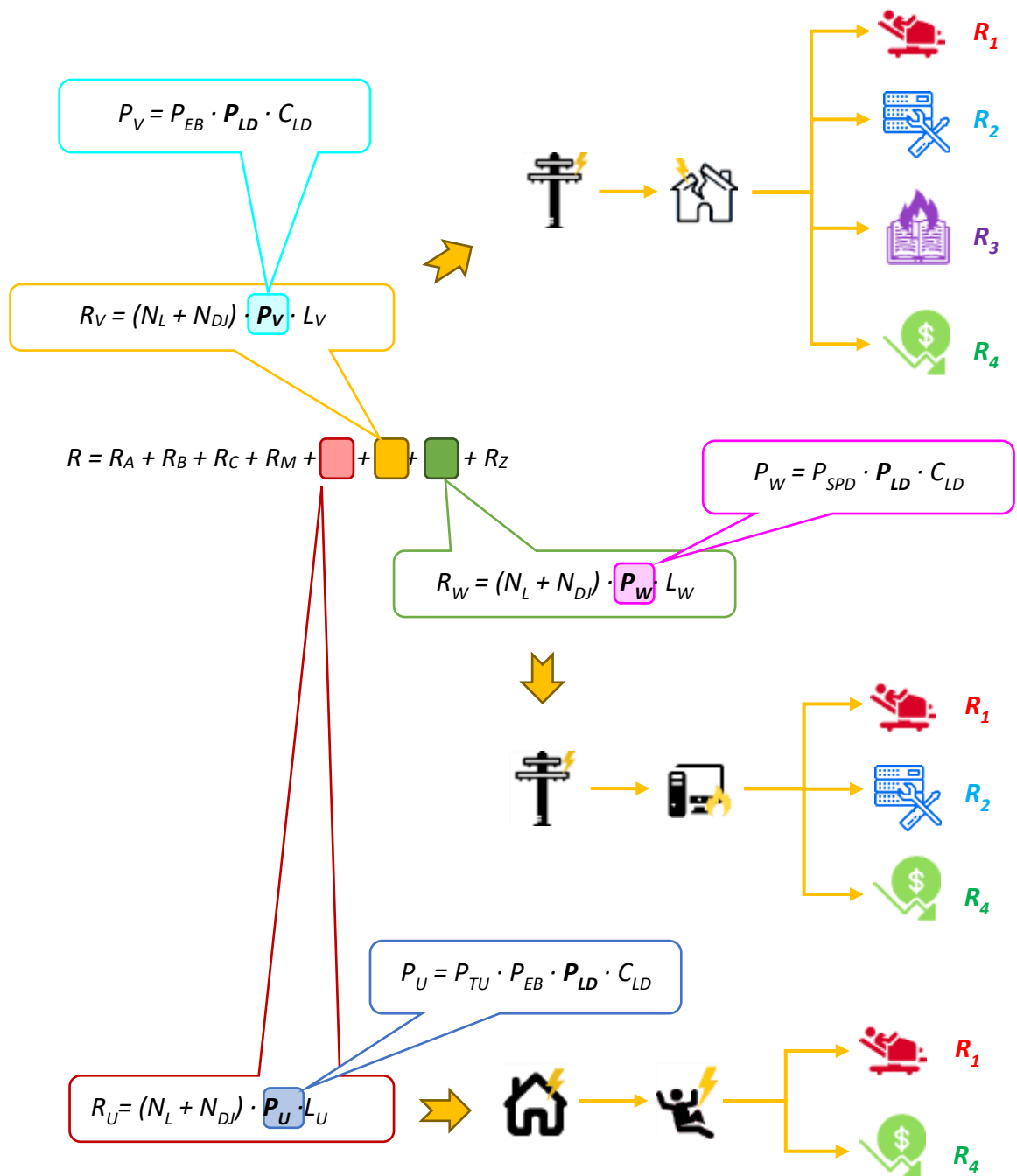


Figura 11 – Influência de P_{LD} nas componentes de risco.

5.6. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS PROVIDÊNCIAS PARA REDUÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DE SOBRETENSÕES EM LINHAS DE SERVIÇOS CONECTADAS À ESTRUTURA (P_{SPD} E P_{EB})

Existem dois parâmetros distintos relacionados à proteção contra sobretensões das linhas conectadas à estrutura, P_{SPD} e P_{EB} . Ambos possuem a mesma variação; o que os difere é o fato de que P_{SPD} só pode assumir valores diferentes de um quando a estrutura possuir sistema de proteção externo contra descargas atmosféricas.

Outra diferença entre os parâmetros reside nas componentes de risco alteradas por eles. O parâmetro P_{SPD} altera P_C , P_M , P_W e P_Z , probabilidades de dano das componentes de risco R_C , R_M , R_W e R_Z , respectivamente. Essas são as componentes de risco relacionadas às descargas atmosféricas que provocam falha de equipamentos internos, levando à perda de vida humana ou ferimentos permanentes, perda de serviço ao público e perda de valor econômico. A Figura 13 mostra a influência do parâmetro P_{SPD} nas componentes de risco R_C , R_M , R_W e R_Z .

O parâmetro P_{EB} altera P_U e P_V , probabilidades de dano das componentes de risco R_U e R_V . Essas são as componentes de risco relacionadas às descargas atmosféricas diretas na estrutura ou nas linhas conectadas a ela e que provocam choque elétrico nos ocupantes e danos físicos à estrutura, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes, perda de serviço ao público, perda de patrimônio cultural e perda de valor econômico. A Figura 13 mostra a influência do parâmetro P_{EB} nas componentes de risco R_U e R_V .

A Tabela 28 apresenta os valores de P_{SPD} e de P_{EB} em função do nível de proteção do sistema de DPS instalado na estrutura e a redução percentual provocada pela instalação dos diferentes sistemas de DPS para cada situação.

Tabela 28 – Valores das probabilidades P_{SPD} e P_{EB} em função do nível de proteção (U_P) para o qual os DPS foram projetados.

Classe de Teste do Sistema de DPS / Medidas de Proteção	$P_{SPD}/P_{EB}\Delta\%$
Estrutura sem sistema coordenado de DPS	1
Instalar DPS de Classe de Teste III	95,00%
Instalar DPS de Classe de Teste II	98,00%
Instalar DPS de Classe de Teste I	99,00%
Instalar DPS com corrente nominal I_N maior e nível de proteção U_P menor do que um DPS Classe de Teste I	99,50%
Estrutura com sistema coordenado de DPS Classe de Teste III-IV	0,05
Instalar DPS de Classe de Teste II	60,00%
Instalar DPS de Classe de Teste I	80,00%
Instalar DPS com corrente nominal I_N maior e nível de proteção U_P menor do que um DPS Classe de Teste I	90,00%
Estrutura com sistema coordenado de DPS Classe de Teste II	0,02
Instalar DPS de Classe de Teste I	50,00%
Instalar DPS com corrente nominal I_N maior e nível de proteção U_P menor do que um DPS Classe de Teste I	75,00%
Estrutura com sistema coordenado de DPS Classe de Teste I	0,01
Instalar DPS com corrente nominal I_N maior e nível de proteção U_P menor do que um DPS Classe de Teste I	50,00%
Estrutura com sistema coordenado de DPS superior à Classe de Teste I	0,005

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabelas B.3 e B.7.

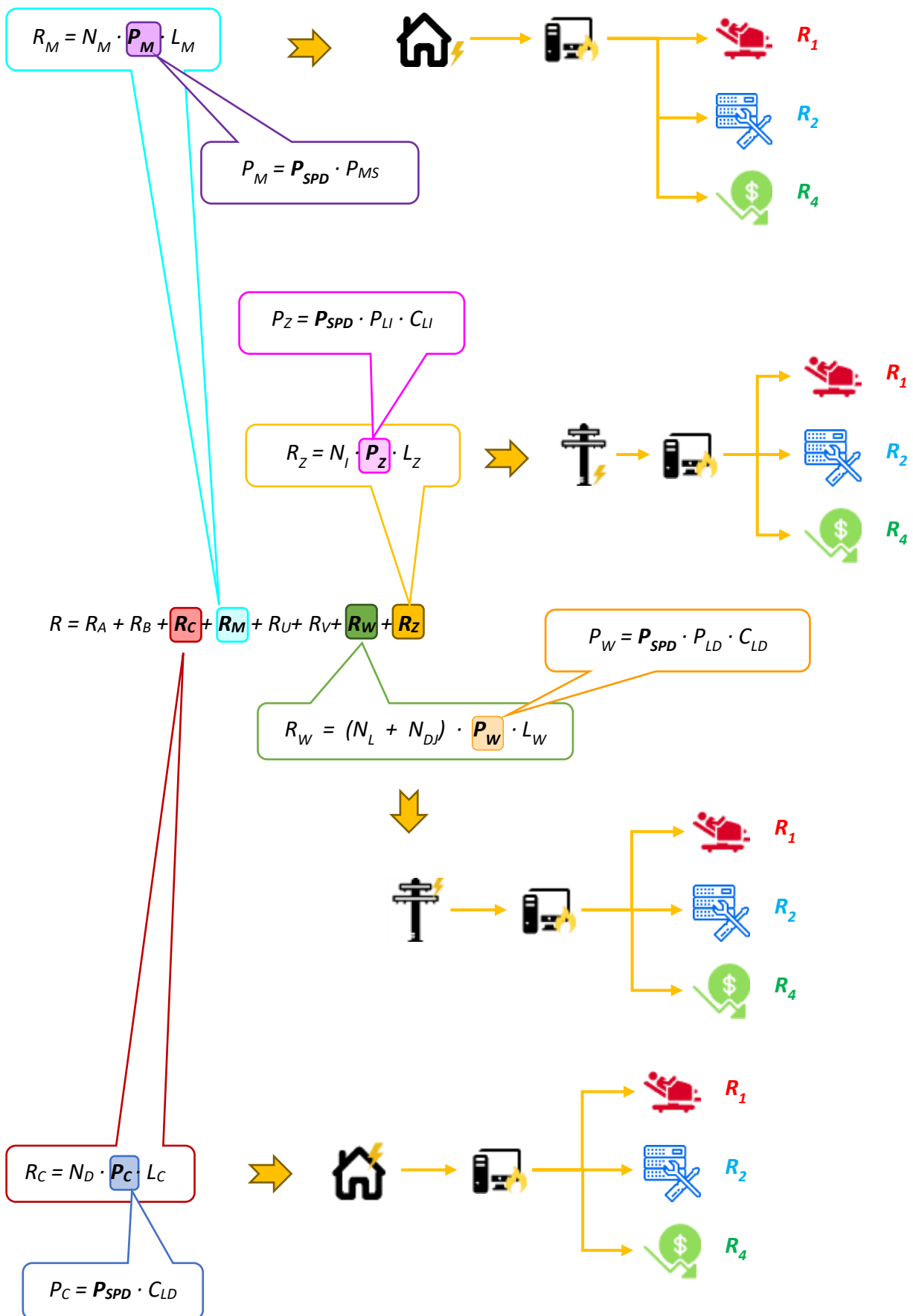


Figura 12 – Influência de P_{SPD} nas componentes de risco.

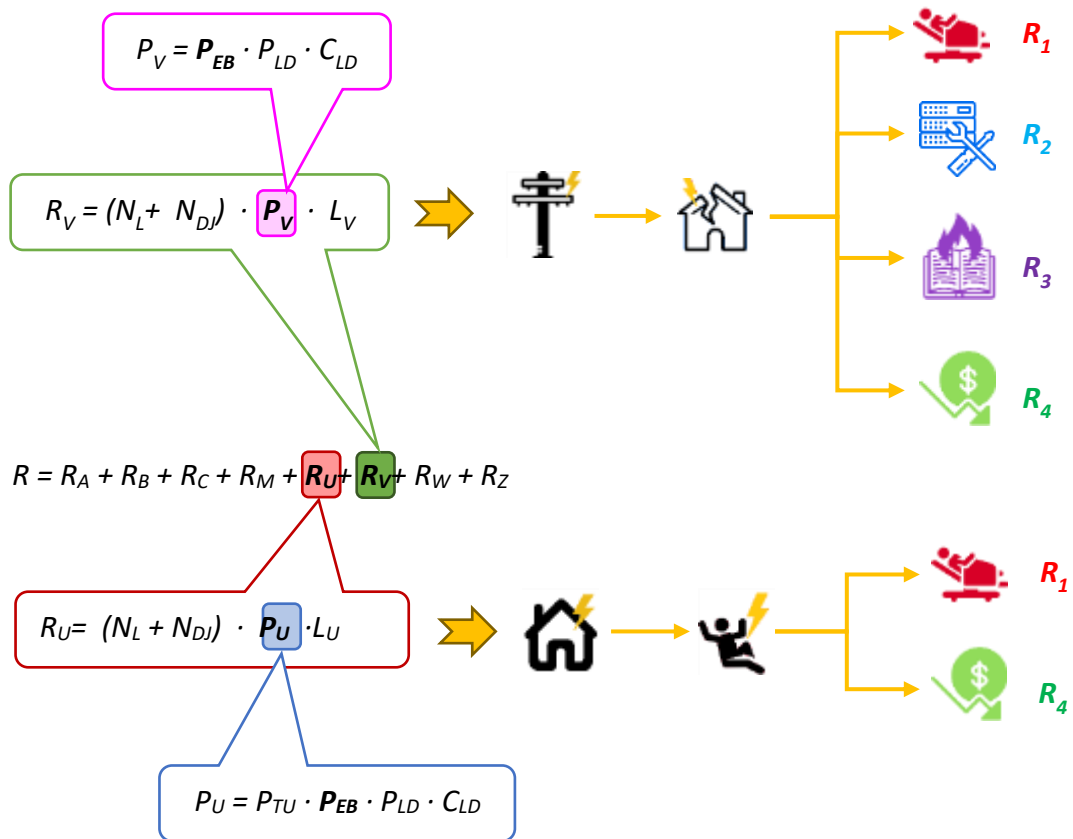


Figura 13 – Influência de P_{EB} nas componentes de risco.

5.7. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS PROVIDÊNCIAS PARA REDUÇÃO DE SURTOS ELÉTRICOS CONDUZIDOS PELAS LINHAS DE SERVIÇO PARA A ESTRUTURA (C_{LD} E C_{LI})

Existem dois parâmetros distintos relacionados às condições de blindagem, aterramento e isolamento das linhas conectadas à estrutura: C_{LD} e C_{LI} . Cada um desses parâmetros altera diferentes componentes de risco. C_{LD} altera P_C , P_U , P_V e P_W , probabilidades de dano das componentes de risco R_C , R_U , R_V e R_W , respectivamente. Essas são as componentes de risco relacionadas às descargas atmosféricas diretas na estrutura ou na linha conectada à estrutura, que provocam choque elétrico nos ocupantes, danos físicos à estrutura e falha de equipamentos internos, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes, perda de serviço ao público, perda de patrimônio cultural e perda de valor econômico. A Figura 14 mostra a influência do parâmetro C_{LD} nas componentes de risco R_C , R_U , R_V e R_W .

C_{LI} altera apenas P_Z , ou seja, a probabilidade de dano da componente de risco R_Z . A componente de risco R_Z está relacionada às descargas atmosféricas próximas às linhas conectadas à estrutura, que provocam falha de equipamentos internos, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes, perda de serviço ao público e perda de valor econômico. A Figura 15 mostra a influência do parâmetro C_{LI} na componente de risco R_Z e a Tabela 29 e a Tabela 30 apresentam as condições de blindagem, aterramento e isolamento das linhas conectadas à estrutura e os respectivos valores de C_{LD} e de C_{LI} , além das medidas de proteção para cada situação e o percentual de redução provocado por cada medida.

Tabela 29 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento de linhas enterradas conectadas à estrutura.

Blindagem, Aterramento e Isolamento de Linhas / Medidas de Proteção	C_{LD} / $\Delta\%$	C_{LI} / $\Delta\%$
Linha Enterrada		
Linha não blindada sem neutro multiaterrado	1	1
Utilizar cabeamento blindado sem conectar a blindagem ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	70,00%
Utilizar cabeamento blindado com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha não blindada com neutro multiaterrado	1	0,2
Utilizar cabeamento blindado com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha blindada com blindagem não conectada ao mesmo BEP do equipamento	1	0,3
Interligar a blindagem da linha ao mesmo BEP do equipamento protegido	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha blindada com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	1	0
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	0,00%
Linha instalada em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento	0	0
Não há linha externa	0	0

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.4.

Tabela 30 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento de linhas aéreas conectadas à estrutura.

Blindagem, Aterramento e Isolamento de Linhas / Medidas de Proteção	C_{LD} / $\Delta\%$	C_{LI} / $\Delta\%$
Linha aérea		
Linha não blindada sem neutro multiterrado	1	1
Utilizar cabeamento blindado sem conectar a blindagem ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	70,00%
Utilizar cabeamento blindado com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha não blindada com neutro multiterrado	1	0,2
Utilizar cabeamento blindado com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha blindada com blindagem não conectada ao mesmo BEP do equipamento	1	0,1
Interligar a blindagem da linha ao mesmo BEP do equipamento protegido	0,00%	100,00%
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	100,00%
Linha blindada com blindagem conectada ao mesmo BEP do equipamento	1	0
Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido	100,00%	0,00%
Linha instalada em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento	0	0
Não há linha externa	0	0

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2:2015, Tabela B.4.

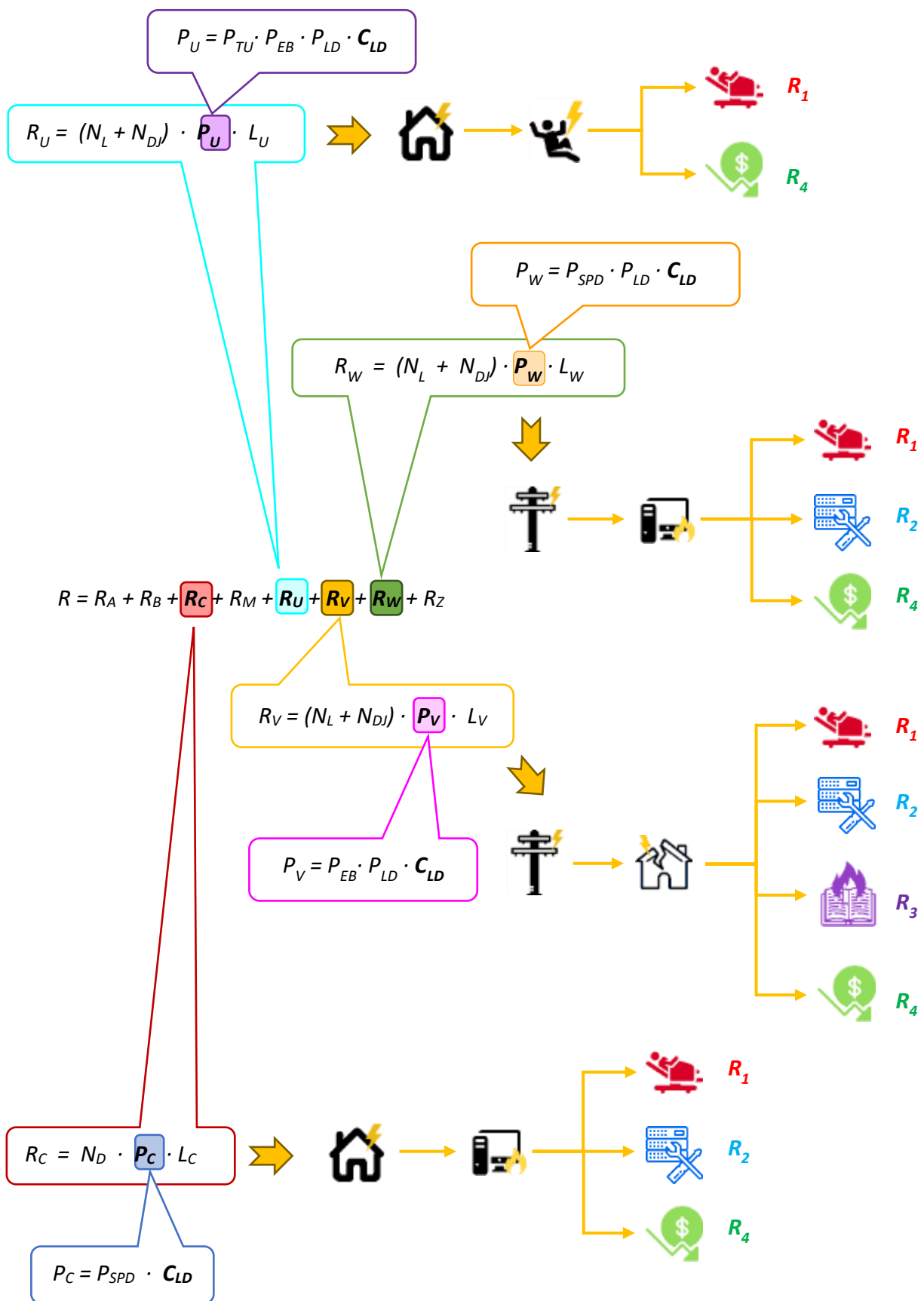


Figura 14 – Influência de C_{LD} nas componentes de risco.

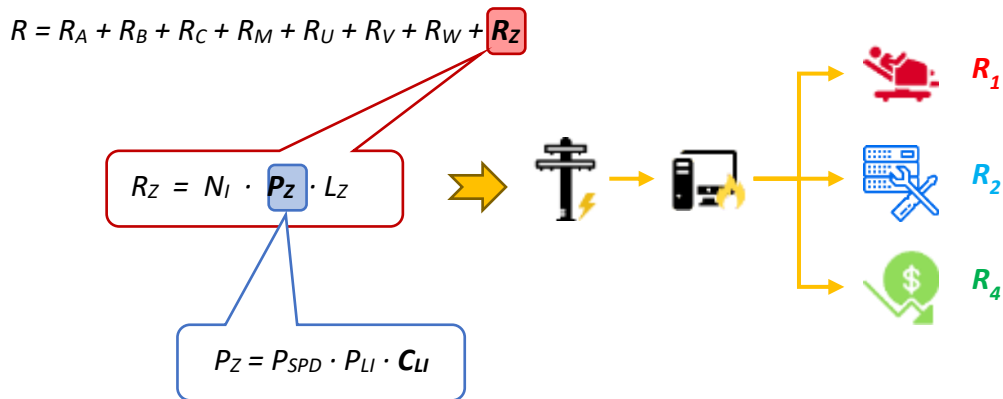


Figura 15 – Influência de C_{LI} nas componentes de risco.

5.8. PARÂMETRO RELACIONADO ÀS PROVIDÊNCIAS DE REDUÇÃO DAS TENSÕES INDUZIDAS NOS CIRCUITOS INTERNOS ATRAVÉS DE ROTEAMENTO DE CABOS (K_{S3})

O parâmetro K_{S3} altera P_M , ou seja, a probabilidade de dano da componente de risco R_M . Essa é a componente de risco relacionada às descargas atmosféricas próximas à estrutura, que provocam falha de equipamentos internos, levando à perda de vida humana ou a ferimentos permanentes, à perda de serviço ao público e à perda de valor econômico. A Figura 16 mostra a influência do parâmetro K_{S3} na componente de risco R_M e a Tabela 31 apresenta as características da fiação interna, como blindagem, roteamento e tipo de infraestrutura, e os respectivos valores de K_{S3} .

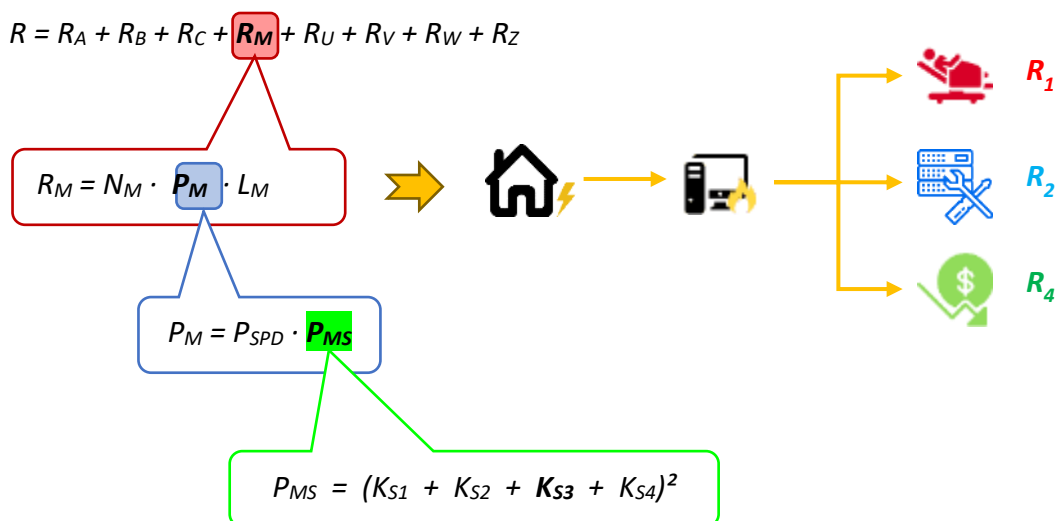


Figura 16 – Influência de K_{S3} nas componentes de risco.

Tabela 31 – Valor do fator K_{S3} dependendo das características da fiação interna.

Blindagem, Roteamento e Tipo de Infraestrutura da Fiação Interna / Medidas de Proteção	K_{S3} / $\Delta\%$
Rotas diferentes (Área do laço de aprox. 50 m²)	1
Refazer a instalação, passando os cabos pela mesma rota. (Área do laço de aprox. 10 m ²)	80,00%
Refazer a instalação, utilizando cabos multipolares. (Área do laço de aprox. 0,5 m ²)	99,00%
Utilizar cabos blindados	99,99%
Rotas iguais em diferentes eletrodutos(Área do laço de aprox. 10 m²)	0,2
Refazer a instalação, utilizando cabos multipolares. (Área do laço de aprox. 0,5 m ²)	95,00%
Utilizar cabos blindados	99,95%
Roteamento a fim de evitar laços (Área do laço de aprox. 0,5 m²)	0,01
Utilizar cabos blindados	99,00%
Cabos blindados ou instalados em eletrodutos metálicos	0,0001

Fonte: Tabela B.5 da NBR 5419-2.

6. METODOLOGIA DE SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A grande contribuição deste trabalho é a proposta de uma metodologia de seleção das medidas de proteção, tornando essa escolha mais assertiva e embasada não apenas em critérios técnicos, mas também econômicos. A Figura 17 apresenta o fluxograma da metodologia proposta de seleção das medidas de proteção e, na sequência, cada atividade é explicada em subcapítulos referenciados ao lado de cada bloco do fluxograma.

A seleção das medidas de proteção inicia-se com a coleta de dados da estrutura em análise, como qualquer análise de risco. A partir desses dados, três atividades podem ser executadas em paralelo: cálculo dos parâmetros de risco da instalação, levantamento das medidas de proteção disponíveis e cálculo dos custos das medidas de proteção. Com os parâmetros de risco calculados, calcula-se os riscos de interesse e, em seguida, compara-os aos níveis toleráveis de risco. Caso os riscos calculados estejam abaixo dos níveis toleráveis, não são necessárias medidas de proteção e, portanto, encerra-se a análise. Caso contrário, novas atividades são executadas.

Constatado que o risco de perdas na estrutura é superior ao risco tolerável, calcula-se percentualmente o quanto os parâmetros de risco excederam os valores de referência. Em paralelo, calcula-se também o percentual de redução promovido por cada medida de proteção a partir do levantamento das medidas de proteção disponíveis para a estrutura. Sabendo-se o percentual excedente de cada parâmetro de risco e o percentual de redução promovido por cada medida de proteção, gera-se uma lista de medidas de proteção disponíveis e capazes de reduzir o valor de cada parâmetro de risco para os níveis toleráveis através de uma simples comparação dos percentuais excedentes com a redução percentual.

Como o intuito da metodologia é tornar a escolha das medidas de proteção mais eficiente economicamente, a lista de medidas de proteção disponíveis e tecnicamente efetivas gerada na etapa anterior é organizada em ordem crescente de custo de implantação graças ao cálculo dos custos das medidas de proteção realizado anteriormente. Finalmente, escolhe-se o primeiro ou os primeiros itens da lista, o que garante que os riscos de perdas na instalação serão reduzidos aos níveis de referência gastando-se o menor montante possível.

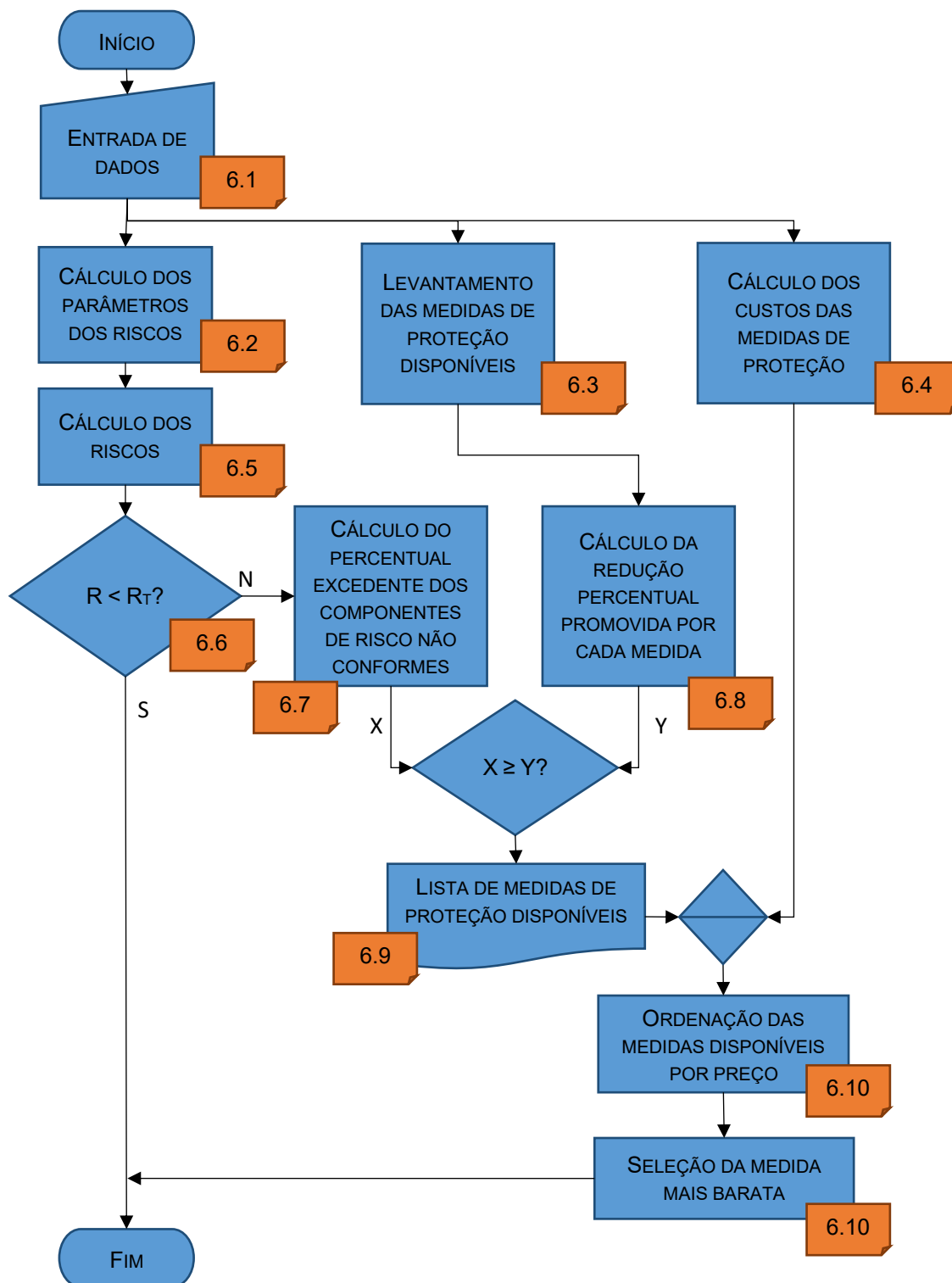


Figura 17 – Fluxograma da metodologia proposta de seleção das medidas de proteção.

6.1. ENTRADA DE DADOS

Muitas informações acerca da instalação em análise são necessárias para a realização da análise de risco. Ao longo do desenvolvimento do cálculo proposto pela NBR 5419-2, podemos perceber que muitas informações são utilizadas mais de uma vez, para o cálculo de diferentes parâmetros de risco. Além disso, percebemos também que informações de mesma natureza são utilizadas em momentos muito distintos do cálculo, dificultando o levantamento de dados. Para facilitar a aquisição de dados e evitar o levantamento duplicado de informações, foi proposto um formulário dividido em temas, concentrando informações de mesma natureza e facilitando assim a aquisição dos dados. Da Figura 18 a Figura 25 são apresentadas partes da interface proposta e a aplicação de cada campo.

Configurações do CÁLCULO				
Tipo				
1				
Valores de Referência	Perda de Vida - R_1	Perda Serviço - R_2	Perda Cultural - R_3	Tempo mínimo entre falhas
	2	3	4	5

- 1.** Escolha a metodologia de seleção das medidas de proteção prioritária:
 - a. Atendimento à NBR 5419 com análise de viabilidade econômica*
 - b. Garantia do serviço independente dos custos inerentes*
- 2.** Insira o valor tolerável para o risco de perda de vida humana.
- 3.** Insira o valor tolerável para o risco de perda de serviço ao público.
- 4.** Insira o valor tolerável para o risco de perda de patrimônio cultural.

Figura 18 – Interface de entrada de dados: campo de configurações do cálculo.

Características relevantes da ESTRUTURA					
Características gerais					
Ocupação / Uso 1		Descrição 2			
Comercial varejista, Loja Educacional e cultura física Industrial Locais de reunião de público Residencial Serviços automotivos e assemelh...		Velas de cera Verduras frescas Vidros ou espelhos Vinagres Vinhos Vulcanização			
Estrutura Principal	Comprimento [m] 3	Largura [m] 4	Altura [m] 5	Nº Andares 6	Nº Ambientes 7
Estrutura Adjacente	Comprimento [m] 8	Largura [m] 9	Altura [m] 10	Perdas adicionais	11

1. Escolha o tipo de ocupação/uso da estrutura.
2. Escolha a descrição mais adequada à estrutura.
3. Insira o comprimento da estrutura principal em metros.
4. Insira a largura da estrutura principal em metros.
5. Insira a altura da estrutura principal em metros.
6. Insira o número de pavimentos da estrutura principal.
7. Insira o número de ambientes internos da estrutura principal.
8. Insira o comprimento da estrutura adjacente em metros, caso exista.
9. Insira a largura da estrutura da estrutura adjacente em metros, caso exista.
10. Insira a altura da estrutura da estrutura adjacente em metros, caso exista.
11. Insira o valor de perdas adicionais, caso haja exista.

Figura 19 – Interface de entrada de dados: campo de características gerais da estrutura.

Características internas						
Geral	Menor Rigidez Dielétrica de Equipamentos Interno [kV]	Blindagem estrutural [m]		Risco de incêndio ou explosão		
		w_{m1}	w_{m2}			
	1	2	3			4
Fiação (ELÉTRICA)	Blindagem	Roteamento				
	5	6				
Fiação (TELECOM)	Blindagem	Roteamento				
	7	8				
Características monetárias						
Valor dos animais	Valor da edificação	Valor do conteúdo	Sistemas internos	Valor total da estrutura	Patrimônio cultural	Valor total geral
9	10	11	12	13	14	15

1. Insira a rigidez dielétrica do equipamento interno que tiver a menor.
2. Insira o espaçamento vertical entre os condutores de blindagem estrutural.
3. Insira o espaçamento horizontal entre os condutores de blindagem estrutural.
4. Escolha o grau de risco de incêndio ou explosão da estrutura:
 - a. Explosão - Zonas 0, 20 e explosivos sólidos
 - b. Explosão - Zonas 1, 21
 - c. Explosão - Zonas 2, 22
 - d. Alto risco de incêndio
 - e. Risco médio de incêndio
 - f. Baixo risco de incêndio
 - g. Risco de explosão ou incêndio irrelevante
5. Declare se a fiação interna de alimentação elétrica possui blindagem (Sim/Não).
6. Caso a fiação interna não seja blindada, escolha como é feito seu roteamento:
 - a. Rotas diferentes - Área do laço de aprox. 50 m²
 - b. Rotas iguais em diferentes eletrodutos - Área do laço de aprox. 10 m²
 - c. Roteamento a fim de evitar laços - Área do laço de aprox. 0,5 m²
7. Declare se a fiação interna de telecomunicações possui blindagem (Sim/Não).
8. Caso a fiação interna não seja blindada, escolha como é feito seu roteamento.
9. Insira o valor dos animais presentes na zona de proteção sob análise.
10. Insira o valor da edificação sob análise.
11. Insira o valor do conteúdo da zona de proteção da estrutura sob análise.
12. Insira o valor dos sistemas internos e dos serviços por eles prestados da zona de proteção sob análise.
13. Valor total da estrutura, considerando todos os valores declarados anteriormente (cálculo automático).
14. Insira o valor do patrimônio cultural da estrutura e/ou de seu conteúdo.
15. Valor total da estrutura e do patrimônio cultural da estrutura.

Figura 20 – Interface de entrada de dados: campo de características internas e monetárias da estrutura.

Medidas de Proteção	
Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas	Medidas de proteção adicionais
1	2
Sistema de combate a incêndio	
3	

- 1.** Escolha o tipo de sistema de proteção contra descargas atmosféricas da estrutura:
 - a. *Estrutura não protegida por SPDA*
 - b. *Estrutura protegida por SPDA classe VI*
 - c. *Estrutura protegida por SPDA classe III*
 - d. *Estrutura protegida por SPDA classe II*
 - e. *Estrutura protegida por SPDA classe I*
 - f. *Estrutura com captação conforme SPDA classe I e subsistema de descida natural*
 - g. *Estrutura com captação e descidas naturais e proteção completa na cobertura*
- 2.** Escolha as medidas de proteção adicionais contra tensões de passo e toque perigosas:
 - a. *Nenhuma medida de proteção adicional*
 - b. *Avisos de alerta próximo aos condutores de descida*
 - c. *Isolação elétrica dos condutores de descida*
 - d. *Equipotencialização efetiva do solo próximo aos condutores de descida*
 - e. *Restrições físicas de acesso aos condutores de descida*
- 3.** Escolha o tipo de sistema de combate a incêndio existente na estrutura:
 - a. *Nenhuma providência*
 - b. *Extintores de incêndio*
 - c. *Instalações fixas operadas manualmente*
 - d. *Instalações de alarmes manuais*
 - e. *Hidrantes*
 - f. *Compartimentos à prova de fogo*
 - g. *Rotas de escape*
 - h. *Instalações fixas operadas automaticamente*
 - i. *Instalações de alarme automático e garantia de chegada dos bombeiros em menos de 10 min*

Figura 21 – Interface de entrada de dados: campo de medidas de proteção da estrutura.

Características relevantes da REGIÃO		
Município	Fator de localização da estrutura	
1	2	
Fator ambiental da estrutura	Tipo de solo ou piso	Resistividade do solo [$\Omega.m$]
3	4	5

1. Insira o nome do município onde se localiza a estrutura (é também possível buscar o nome em uma lista suspensa).
2. Escolha o fator de localização da estrutura:
 - a. *Estrutura cercada por objetos mais altos*
 - b. *Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos*
 - c. *Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças*
 - d. *Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte*
3. Escolha o fator ambiental da estrutura:
 - a. *Rural*
 - b. *Suburbano*
 - c. *Urbano*
 - d. *Urbano c/ edifícios maiores que 20 m*
4. Escolha o tipo de solo do local:
 - a. *Agricultura, concreto*
 - b. *Mármore, cerâmica*
 - c. *Cascalho, tapete, carpete*
 - d. *Asfalto, linóleo, madeira*
5. Insira a resistividade do solo do local.

Figura 22 – Interface de entrada de dados: campo de características da região.

Características relevantes das PESSOAS				
Nº pessoas na zona	Nº pessoas na estrutura	Tempo dentro da estrutura [horas/ano]	Tempo em risco fora da estrutura [horas/ano]	Perigo especial na estrutura
1	2	3	4	5

1. Insira o número de pessoas na zona de proteção sob análise.
2. Insira o número total de pessoas na estrutura.
3. Insira o tempo em horas por ano de pessoas dentro da estrutura.
4. Insira o tempo em horas por ano de pessoas em risco fora da estrutura.
5. Escolha o grau de perigo especial na estrutura:
 - a. *Sem perigo especial*
 - b. *Baixo nível de pânico*
 - c. *Nível médio de pânico*
 - d. *Dificuldade de evacuação*

Figura 23 – Interface de entrada de dados: campo de características dos ocupantes da estrutura.

Características relevantes das LINHAS DE SERVIÇOS ENTRANTES			
Linha de Energia			
Características gerais	Há linha?	Comprimento [m]	Instalação
	1	2	3
	Tipo	Tensão Nominal	Neutro multiterrado?
	4	5	6
Blindagem	Linha blindada?	Interligada ao mesmo BEP do equipamento?	Tipo de blindagem
	7	8	9
Proteção	Proteção contra tensões de toque		Proteção contra sobretensões
	10		11

1. Declare se há linha de energia conectada à estrutura (Sim/Não).
2. Insira o comprimento da linha de energia em metros.
3. Escolha a forma de instalação da linha de energia:
 - a. Aérea
 - b. Enterrada
 - c. Enterrada dentro de malha aterramento
 - d. Instalada em eletroduto metálico
4. Escolha o tipo de linha de energia:
 - a. Baixa Tensão
 - b. Baixa Tensão com Neutro multiterrado
 - c. Alta Tensão (com transformador AT/BT)
5. Insira a tensão nominal da linha de energia.
6. Declare se a linha de energia possui neutro multiterrado (Sim/Não).
7. Declare se a linha de energia é blindada (Sim/Não).
8. Declare se a blindagem da linha está interligada ao mesmo Barramento de Equalização Principal ao qual também está conectado o equipamento a ser protegido (Sim/Não).
9. Escolha o tipo de blindagem da linha de energia:
 - a. Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $5 \Omega/\text{km} < RS \leq 20 \Omega/\text{km}$
 - b. Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $1 \Omega/\text{km} < RS \leq 5 \Omega/\text{km}$
 - c. Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência de $RS \leq 1 \Omega/\text{km}$
10. Escolha o tipo de proteção contra possível tensão de toque perigosa desenvolvida na linha de energia:
 - a. Nenhuma medida de proteção
 - b. Avisos visíveis de alerta
 - c. Isolação elétrica
 - d. Restrições físicas
11. Escolha o tipo de proteção contra sobretensão da linha de energia:
 - a. Nenhum sistema de DPS coordenado
 - b. Sistema de DPS Classe III-IV
 - c. Sistema de DPS Classe II
 - d. Sistema de DPS Classe I
 - e. Sistema de DPS superior à Classe I

Figura 24 – Interface de entrada de dados: campo de características da linha de energia conectada à estrutura.

Linha de Telecomunicações			
Características gerais	Há linha?	Comprimento [m]	Instalação
	1	2	3
	Tipo de serviço		Tipo de Conexão
	4		5
Blindagem	Linha blindada?	Interligada ao mesmo BEP do equipamento?	Tipo de blindagem
	6	7	8
Proteção	Proteção contra tensões de toque		Proteção contra sobretensões
	9		10

1. Declare se há linha de telecomunicação conectada à estrutura (Sim/Não).
2. Insira o comprimento da linha de telecomunicação em metros.
3. Escolha a forma de instalação da linha de telecomunicação (opções iguais às da linha de energia).
 - a. Aérea
 - b. Enterrada
 - c. Enterrada dentro de malha aterramento
 - d. Instalada em eletroduto metálico
4. Escolha o tipo de serviço prestado através da linha de telecomunicação:
 - a. Telefonia
 - b. TV a cabo
 - c. Ethernet
 - d. Ethernet + PoE
 - e. CFTV
5. Escolha o tipo de conexão da linha de telecomunicação:
 - a. Coaxial BNC Macho 50 Ohms
 - b. Coaxial BNC Fêmea 50 Ohms
 - c. Coaxial BNC Macho 75 Ohms
 - d. Coaxial BNC Fêmea 75 Ohms
 - e. Coaxial Tipo N Macho 50 Ohms
 - f. Coaxial Tipo N Fêmea 50 Ohms
 - g. Coaxial Tipo N Macho 75 Ohms
 - h. Coaxial Tipo N Fêmea 75 Ohms
 - i. RJ11
 - j. RJ45
6. Declare se a linha de telecomunicação é blindada (Sim/Não).
7. Declare se a blindagem da linha está interligada ao mesmo Barramento de Equalização Principal ao qual também está conectado o equipamento a ser protegido (Sim/Não).
8. Escolha o tipo de blindagem da linha de telecomunicação
9. Escolha o tipo de proteção contra possível tensão de toque perigosa desenvolvida na linha de energia (opções iguais às da linha de energia).
10. Escolha o tipo de proteção contra sobretensão da linha de energia (opções iguais às da linha de energia).

Figura 25 – Interface de entrada de dados: campo de características da linha de telecomunicação conectada à estrutura.

Preenchidos todos os devidos campos do formulário de entrada de dados, iniciam-se três etapas simultâneas: cálculo dos parâmetros de risco, levantamento das medidas de proteção disponíveis e cálculo dos custos das medidas de proteção.

6.2. CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO

Como mostra a Tabela 12, os riscos R_1 , R_2 , R_3 e R_4 são a soma de diferentes componentes de risco, que por sua vez são o produto de um número de eventos perigosos por ano, uma probabilidade de dano e uma perda específica (dependendo de qual tipo de risco calculado), como mostra a Figura 2. Da Tabela 14 à Tabela 19 é apresentada a composição de cada componente de risco e o significado de cada parâmetro, bem como as fórmulas de cálculo.

6.3. LEVANTAMENTO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO DISPONÍVEIS

Conforme descrito no Capítulo 0, foram eleitas medidas de proteção possíveis de serem implementadas na prática (até mesmo em uma instalação existente), que alteram nove parâmetros distintos das componentes de risco. Cada medida de proteção atribui um valor específico para o parâmetro ao qual está relacionado e, conseqüentemente, reduz proporcionalmente o valor do parâmetro a ele relacionado. Se a instalação em análise já possuir alguma medida de proteção que altere qualquer um dos nove parâmetros, apenas as medidas relacionadas ao mesmo parâmetro cujos valores são inferiores ao valor da medida já implementada são de interesse, pois apenas tais medidas poderiam reduzir as componentes de risco para que elas fiquem abaixo dos valores de referência. Nesta etapa inicia-se, portanto, a seleção das medidas de proteção e a Figura 27 apresenta o fluxograma da sub-rotina encarregada da tarefa e a Figura 26 exemplifica como esse processo ocorre.

Ordem	Descrição	Valor
PB0	Estrutura não protegida por SPDA	1
PB1	Instalar SPDA Classe IV	0,2
PB2	Instalar SPDA Classe III	0,1
PB3	Instalar SPDA Classe II	0,05
PB4	Instalar SPDA Classe I	0,02
PB5	Instalar SPDA Classe I com subsistema de descida natural	0,01
PB6	Instalar SPDA Classe I com subsistemas de descida e de captação naturais e proteção completa na cobertura	0,001

(a)

Ordem	Descrição	Valor
PB0	Estrutura protegida por SPDA Classe III	0,1
PB1	Instalar SPDA Classe II	0,05
PB2	Instalar SPDA Classe I	0,02
PB3	Instalar SPDA Classe I com subsistema de descida natural	0,01
PB4	Instalar SPDA Classe I com subsistemas de descida e de captação naturais e proteção completa na cobertura	0,001
FALSO	FALSO	FALSO
FALSO	FALSO	FALSO

(b)

Figura 26 – Exemplos de tabela de Medidas de Proteção Disponíveis para:
a) Estrutura não protegida por SPDA e b) Estrutura protegida por SPDA Classe III.

Se a estrutura não está protegida por SPDA (Figura 26.a), $P_B = 1$ e a instalação de SPDA de qualquer nível é plausível; por outro lado, se a estrutura está protegida por SPDA Nível III (Figura 26.b), $P_B = 0,1$ e apenas a instalação de SPDA Classe II ou superior é plausível.

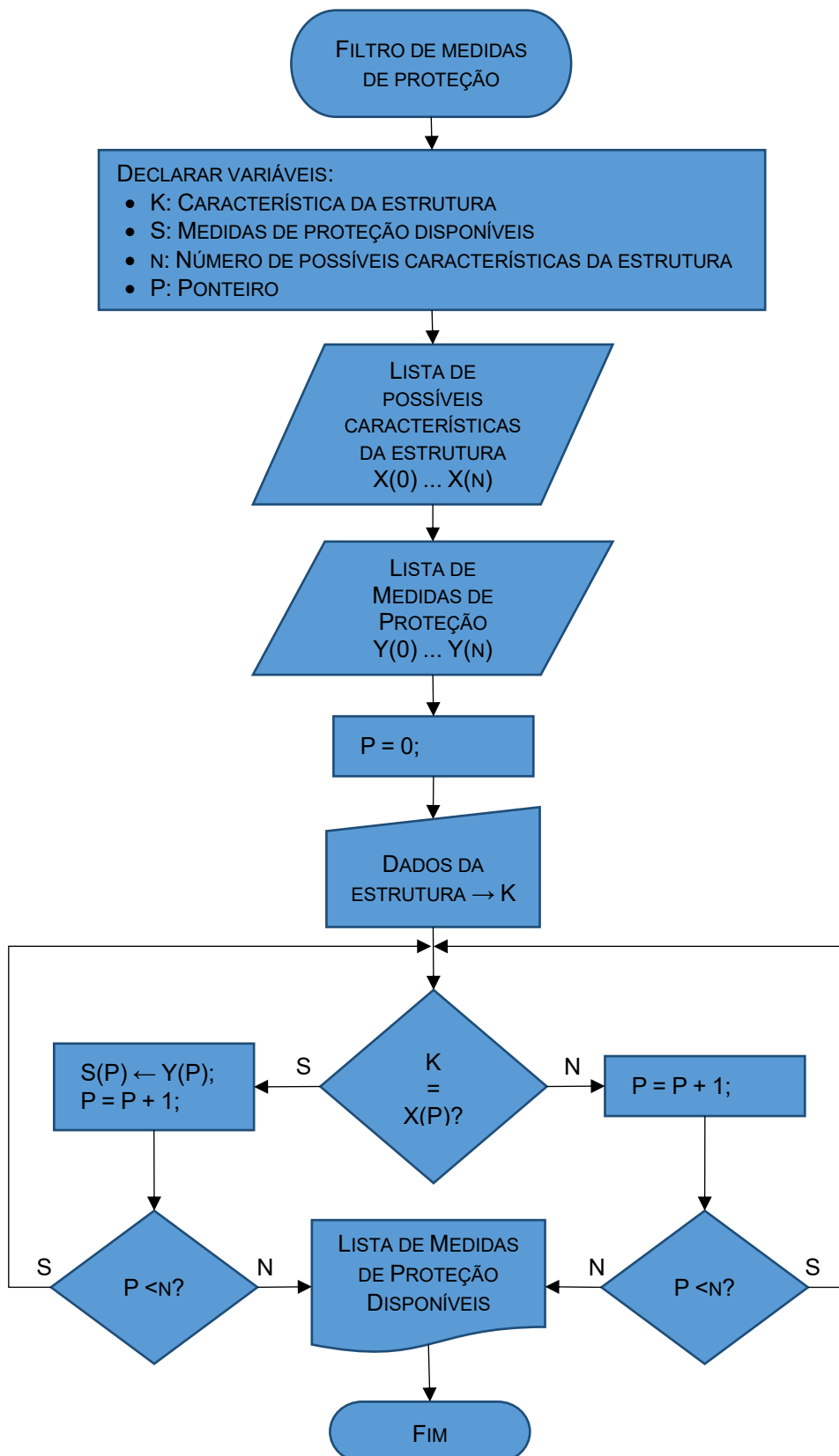


Figura 27 – Fluxograma da sub-rotina de listagem de medidas de proteção disponíveis.

6.4. CÁLCULO DOS CUSTOS DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Os custos das medidas de proteção foram segmentados em custos de material, custos de projeto e custos de implantação. Para determinar os custos de projeto de cada medida de proteção foram considerados os honorários de serviços de engenharia definidos pelo Instituto Mineiro de Engenharia Civil (IMEC), oficialmente registrado pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais em 2013. A Tabela 32 apresenta os valores de honorários de projetos de diferentes naturezas. A partir dela é possível determinar o custo de projeto das medidas de proteção, sendo necessário apenas determinar a área construída da estrutura em estudo.

Tabela 32 – Tabela de honorários de projetos de diferentes naturezas.

Item	Serviço	Valor para obras até 400 m ²	Valor para obras acima de 400 m ²
1	Projeto de Instalações Elétricas de Baixa Tensão	R\$ 7,50/m ²	R\$ 6,50/m ²
2	Projeto de Instalação de Comunicação	R\$ 4,50/m ²	R\$ 4,00/m ²
3	Projeto de Instalação de Prevenção e Combate a Incêndio	Extintor: R\$ 2.000,00 Sprinkler: R\$ 3,00/m ²	
4	Projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas*	R\$ 3,00/m ² *	
*Serviço não contemplado em [8]. Valor extrapolado dos demais valores da tabela. **Os honorários de implantação dos projetos equivalem a um terço dos valores declarados acima.			

Fonte: Adaptado de Referência [8].

Não foram encontradas tabelas oficiais de honorários para execução de projetos de engenharia. Foi considerado, portanto, que os custos de implantação das medidas equivalem a um terço dos custos de projeto, tendo em vista que o projeto deve ser executado por profissional de nível superior e a instalação pode ser executada por profissional de nível técnico e que o salário de técnico corresponde a aproximadamente um terço do salário de engenheiro no Brasil no presente momento. Para facilitar a associação das referências às medidas de proteção, foi atribuído a cada medida um código composto pela sigla do parâmetro por ela alterado seguido de um numeral que ordena as medidas em termos da redução percentual por elas provocado. Os subcapítulos a seguir explicam como calcular os custos de projeto, de implantação e de materiais de cada medida.

6.4.1. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM P_{TA}

São previstas as seguintes alternativas para alterar o valor do parâmetro P_{TA} :

- PTA1: Instalação de avisos de alerta próximo aos condutores de descida (redução de até 90,00%).
- PTA2: Aumento da isolação elétrica dos condutores de descida (redução de até 99,00%).
- PTA3: Equipotencialização efetiva do solo (redução de até 99,00%).
- PTA4: Restrições físicas de acesso aos condutores de descida (redução de 100%).

Todas as medidas de proteção relacionadas ao P_{TA} dependem do número de condutores de descida e são complementares ao sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas e, portanto, não necessitam de nenhum tipo de projeto. Para calcular o custo de implantação das medidas de proteção PTA1 a PTA4, devemos:

- Calcular a área construída da edificação:

$$A_c = L \cdot W \cdot n_p$$

Onde A_c área construída da edificação;

L comprimento da edificação;

W largura da edificação;

n_p número de pavimentos da edificação.

- Calcular o custo de projeto da medida de proteção, conforme item 4 da Tabela 32.
- Calcular o custo de implantação da medida de proteção, que equivale a um terço do custo de projeto.
- Calcular o número de condutores de descida (n_c), conforme a Tabela 33.
- Calcular o custo de material multiplicando o número de condutores de descida pela quantidade unitária de material para cada condutor.
- Calcular o custo total da medida de proteção, somando os custos de projeto, de implantação e de materiais.

6.4.2. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM P_B

São previstas as seguintes alternativas para alterar o valor do parâmetro P_B :

- PB1: Instalar SPDA Nível IV (redução de até 80,00%).
- PB2: Instalar SPDA Nível III (redução de até 90,00%).
- PB3: Instalar SPDA Nível II (redução de até 95,00%).
- PB4: Instalar SPDA Nível I (redução de até 98,00%).
- PB5: Instalar SPDA Nível I com subsistema de descida natural (redução de até 99,00%).
- PB6: Instalar SPDA Nível I com subsistemas de descida e de captação naturais e proteção completa na cobertura (redução de até 99,90%).

Foi considerada apenas a adoção de subsistemas não isolados devido à simplicidade de se estimar sua lista de materiais. O subsistema de aterramento é basicamente composto por um anel condutor enterrado a cinquenta centímetros de profundidade em torno do perímetro da edificação, a uma distância máxima de um metro de suas paredes externas, e de outros elementos para cada condutor de descida. Portanto, para calcular o custo de implantação das medidas de proteção PB1 a PB6, devemos:

- Calcular a área construída da edificação:

$$A_c = L \cdot W \cdot n_p$$

- Calcular o custo de projeto da medida de proteção, conforme item 4 da Tabela 32.
- Calcular o custo de implantação da medida de proteção, que equivale a um terço do custo de projeto.
- Calcular o número de condutores de descida (n_c), conforme a Tabela 33.
- Calcular a quantidade de condutores longitudinais (n_{long}) que formam a malha de captação do SPDA, conforme a Tabela 33.
- Calcular a quantidade de condutores latitudinais (n_{lat}) que formam a malha de captação do SPDA, conforme a Tabela 33.

Tabela 33 – Cálculo do número de condutores de descida (n_c), de condutores longitudinais (n_{long}) e latitudinais da malha de captação (n_{lat}).

Classe de Proteção do SPDA	Descidas	Captação	
	Número de Condutores	Número de Condutores Longitudinais	Número de Condutores Latitudinais
IV	$n_c = \frac{2 \cdot L + 2 \cdot W}{20}$	$n_{long} = \frac{L}{20}$	$n_{lat} = \frac{W}{20}$
III	$n_c = \frac{2 \cdot L + 2 \cdot W}{15}$	$n_{long} = \frac{L}{15}$	$n_{lat} = \frac{W}{15}$
II	$n_c = \frac{2 \cdot L + 2 \cdot W}{10}$	$n_{long} = \frac{L}{10}$	$n_{lat} = \frac{W}{10}$
I	$n_c = \frac{2 \cdot L + 2 \cdot W}{10}$	$n_{long} = \frac{L}{5}$	$n_{lat} = \frac{W}{5}$
1) N_D é obrigatoriamente maior ou igual a 2. 2) No cálculo de n_{long} e n_{lat} deve-se arredondar o quociente da razão entre o comprimento/largura da edificação e a distância máxima entre condutores da malha de captação.			
Fonte: Adaptado da NBR 5419-3:2015, Tabela 2 e Tabela 4.			

- Calcular a quantidade de condutores de aterramento:

$$n_A = 2 \cdot L + 2 \cdot W + 4$$

Onde n_a número de condutores de aterramento, em metros;

L comprimento da edificação;

W largura da edificação.

- Calcular o custo de material utilizando a Tabela 34.

Tabela 34 – Lista de materiais de instalação de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Material	Qtd. Unit.
Subsistema de Aterramento	
Cabo de cobre nu, têmpera mole, 7 fios #50 mm ²	-
Cartucho nº 115 para solda exotérmica cabo-cabo #50 mm ² (SS-50.B)	1
Cartucho nº 150 para solda exotérmica cabo #50 mm ² e haste Ø5/8" com derivação T	1
Molde cabo-cabo para solda cabo-cabo #50 mm ²	1
Molde cabo-haste para solda exotérmica cabo #50 mm ² e haste Ø5/8" com derivação T	1
Alicate grande para solda cabo-haste	1
Alicate pequeno para solda cabo-cabo	1
Tampa simples em ferro fundido Ø30 cm para caixa de inspeção de aterramento.	1
Subsistema de Condutores de Descida	
Cabo de cobre nu, têmpera mole, 7 fios #35 mm ²	5
Eletroduto Rígido de PVC com rosca Ø3/4" x 3,00 m	1
Abraçadeira Tipo D com cunha em aço carbono com acabamento zincado Ø3/4"	5
Parafuso rosca soberba cabeça chata fenda tipo Philips em aço inoxidável Ø4,2 x 32 mm	15
Bucha de nylon S6	15
Conector de emenda e medição em cobre com quatro parafusos	1
Condutele tipo C de PVC com rosca e tampa Ø3/4"	1
Fixadores Ômega em Latão com dois furos para cabo #5 mm ² a 35 mm ²	5
Conectores de pressão tipo Split-Bolt p/ cabo #50 mm ²	1
Subsistema de Captação	
Cabo de cobre nu, têmpera mole, 7 fios #35 mm ²	-
Fixadores Ômega em Latão com dois furos para cabo #5 mm ² a 35 mm ²	-
Parafuso rosca soberba cabeça chata fenda tipo Philips em aço inoxidável Ø4,2 x 32 mm	-
Bucha de nylon S6	-
Terminal de pressão em cruz para dois cabos #35mm ²	-

- Calcular o custo total da medida de proteção, somando os custos de projeto, de implantação e de materiais.

6.4.3. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM R_p

São previstas as seguintes alternativas para alterar o valor do parâmetro r_p :

- RP1: Instalar sistema de combate a incêndio através de extintores (redução de até 50,00%).
- RP2: Instalar sistema de combate a incêndio através chuveiros automáticos (redução de até 80,00%).

Os custos de projeto das medidas de proteção RP1 e RP2 podem ser calculados a partir dos respectivos valores do item 3 da Tabela 32 e o custo de implantação equivale a um terço desses valores. O cálculo dos custos de materiais, porém, é mais complexa e para isso foram consultadas as normas NBR 12693 e NBR 10897.

A NBR 12693 de 13 de outubro de 2013 define os critérios de seleção e posicionamento dos elementos que compõem um sistema de proteção por extintor de incêndios. Existem três tipos de extintores de incêndios, classificados em A, B ou C, sendo cada classe própria para um princípio específico de incêndio. Para facilitar o levantamento de custos de materiais da medida RP1, foi considerada a utilização apenas de extintores classe ABC, desenvolvidos para atender quaisquer princípios de incêndio.

Para calcular a quantidade de unidades extintoras e estimar o custo de materiais da medida de proteção RP1, devemos:

- Calcular a área construída da edificação:

$$A_c = L \cdot W \cdot n_p$$

Onde A_c área construída da edificação;

L comprimento da edificação;

W largura da edificação;

n_p número de pavimentos da edificação.

- Calcular a qual classe de risco de incêndio a instalação pertence, segundo o Anexo A da NBR 12693, que apresenta as cargas de incêndio específicas de acordo com o tipo de ocupação/uso da instalação.
- Determinar a classe de risco de incêndio da edificação conforme a Tabela 35.

Tabela 35 – Carga específica de incêndio a classe de risco de incêndio da estrutura.

Classe de risco de incêndio	Carga de incêndio específica
Baixo	Até 300 MJ/m ²
Médio	De 300 a 1200 MJ/m ²
Alto	Acima de 1200 MJ/m ²

Fonte: NBR 12639:2013.

- Determinar a quantidade e a classe das unidades extintoras que devem ser instaladas a partir das Tabelas 1 e 2 da NBR 12693:2013, que apresentam a capacidade extintora mínima e a distância máxima a ser percorrida para as classes de incêndio A e B. Como foi considerado o uso de extintores tipo ABC, foi considerada a menor entre as distâncias definidas para Classe A e para Classe B, ou seja, quinze metros.

Para estimar o custo de materiais da medida de proteção RP2, devemos:

- Classificar a edificação de acordo com seu tipo de uso, conforme Anexo A da NBR 10897:2014.
- Calcular a área de aplicação de chuveiros automáticos (área de cada ambiente da edificação) conforme a fórmula a seguir.

$$A_S = \frac{L \cdot W}{n_{Amb}}$$

- Determinar a densidade dos chuveiros automáticos a partir da Tabela 36.

Tabela 36 – Cálculo da densidade de chuveiros automáticos a partir da classificação de risco e da área de aplicação de chuveiros automáticos.

Classificação de Risco	Densidade [mm/min]
Leve	$D_{CA} \cong 280 - 155,56 \cdot (A_S - 3,2)$
Ordinário I	$D_{CA} \cong 370 - 115 \cdot (A_S - 4,1)$
Ordinário II	$D_{CA} \cong 280 - 115 \cdot (A_S - 6,1)$
Extraordinário I	$D_{CA} \cong 280 - 45,12 \cdot (A_S - 8,1)$
Extraordinário II	$D_{CA} \cong 280 - 45,12 \cdot (A_S - 12,1)$

Fonte: Figura 43 da NBR 10897:2014.

- Calcular o número de chuveiros automáticos por ambiente a partir da fórmula a seguir e da Tabela 37:

$$n_{ca} = \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA} \left[\frac{A_S}{A_{Cob}} \right]$$

- Determinara distância máxima entre chuveiros automáticos a partir da Tabela 37.

Tabela 37 – Área de cobertura e distância máxima entre chuveiros automáticos.

Classificação de Risco	Área de Cobertura [A _{Cob}]	Distância máxima entre chuveiros automáticos [d _{max}]
Leve	20,9	4,6
Ordinário	12,1	4,6
Extraordinário	9,3	3,7

Fonte: Tabela 10 da NBR 10897:2014.

- Definir o formato da área de atuação:

$$L_{Amb} = 1,2 \times \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA} [\sqrt{A_S}]$$

$$W_{Amb} = \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA} \left[\frac{A_S}{C_{Amb}} \right]$$

- Calcular o número de chuveiros automáticos por ramal (consultar Tabela 36):

$$n_{cr} = \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA} \left[\frac{L_{Amb}}{d_{max}} \right]$$

- Calcular o número de ramais por ambiente:

$$n_{ramal} = \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA} \left[\frac{W_{Amb}}{d_{max}} \right]$$

- Calcular novamente o número de chuveiros automáticos por ambiente através de outra fórmula:

$$n_{ca} = n_r \cdot n_{cr}$$

- Definir o número total de chuveiros automáticos por ambiente, escolhendo o maior valor entre o cálculo feito a partir da área de cobertura e o cálculo feito pelo número de ramais e de chuveiros por ramal.
- Calcular o número total de chuveiros automáticos a ser instalado na edificação:

$$n_{ct} = n_{amb} \cdot n_{ca}$$

- Calcular as distâncias entre chuveiros e entre ramais:

$$d_c = \frac{L_{Amb}}{n_{cr}}$$

$$d_r = \frac{W_{Amb}}{n_r}$$

- Calcular a área de cobertura efetiva dos chuveiros:

$$S_C = d_c \cdot d_r$$

- Definir a vazão mínima exigida para o primeiro chuveiro a partir da área de cobertura efetiva e da densidade mínima:

$$Q_1 = D_{CA} \cdot S$$

- Definir a pressão mínima exigida para o primeiro chuveiro a partir da vazão mínima e do fator $K = 80$ (segundo Tabela 1 de [5]) do chuveiro:

$$P_1 = \left(10 \cdot \frac{Q_1}{K}\right)^2$$

- Calcular o diâmetro mínimo da tubulação entre o primeiro e o segundo chuveiro, considerando a θ e o fator $K = 80$ (segundo Tabela 18 de [5]).

$$d_{12} = 1,3 \cdot \sqrt{Q_1} \cdot \sqrt[4]{X}$$

Sendo X o tempo mínimo de operação da bomba (Tabela 24 de [5]).

- Calcular a perda de carga entre o primeiro e o segundo chuveiro, considerando o coeficiente de atrito $C = 120$, conforme a Tabela 19 de [5], e $d_1 = 20$, conforme 0.

$$hp_{12} = \frac{10,65 \cdot d_{ca} \cdot Q_1^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d_1}$$

Sendo d_1 o diâmetro da tubulação nesse trecho.

Tabela 38 – Dimensões mínimas de tubulação de aço galvanizado e a quantidade máxima de chuveiros permitida.

Diâmetro da tubulação	Nº de chuveiros
DN 20	-
DN 25	2
DN 32	3
DN 40	5
DN 50	10
DN 65	30
DN 80	60
DN 90	100

Fonte: Tabela 26 da NBR 10897:2014.

- Calcular a pressão necessária no segundo chuveiro:

$$P_2 = P_1 + hp_{12}$$

- Calcular a vazão no segundo chuveiro:

$$Q_2 = \frac{K}{10} \cdot \sqrt{P_2}$$

- Calcular a pressão e a vazão dos chuveiros subsequentes do ramal conforme feito para o segundo chuveiro, definindo assim os diâmetros das tubulações para atender às exigências normativas.
- Calcular a pressão requerida por ramal, somando a pressão necessária no último chuveiro do ramal e a perda de carga no último trecho de tubulação:

$$P_R = \sum_1^{n_{ca}} P_n + \sum_1^{n_{ca}-1} hp_n$$

- Definir o diâmetro da tubulação do ramal até a válvula de governo e alarme (d_{VGA}) considerando a quantidade total de chuveiros, baseado na 0.
- Calcular a perda de carga do ramal até a válvula de governo e alarme:

$$hp_{VGA} = \frac{10,65 \cdot d_{VGA} \cdot Q_1^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d_{VGA}}$$

- Calcular a pressão requerida na válvula de governo e alarme:

$$P_{VGA} = \sum_1^{n_r} P_n + hp_{VGA}$$

- Ajustar o diâmetro da tubulação entre a VGA e os ramais para que a pressão não ultrapasse 1.200 kPa.
- Calcular a perda de carga na tubulação entre a VGA e a bomba de recalque.
- Calcular a perda de carga na tubulação entre a bomba de recalque e o reservatório.
- Calcular a pressão necessária para a bomba de recalque.
- Calcular a vazão mínima para o último ramal e definir a capacidade do reservatório, multiplicando a vazão mínima calculada pelo tempo mínimo de atuação, conforme Tabela 24 da NBR 10897:2014.

6.4.4. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM P_{TU}

São previstas as seguintes alternativas para alterar o valor do parâmetro P_{TU} :

- PTU1: Instalar avisos de alerta próximo a pontos acessíveis da linha (redução de até 90,00%).
- PTU2: Aumentar a isolamento elétrica da linha em pontos acessíveis (redução de até 99,00%).
- PTU3: Providenciar restrições físicas de acesso à linha (redução de 100,00%).

Devido à simplicidade das medidas de proteção, os custos de projeto e de implantação das medidas PTU1 a PTU3 foram considerados nulos. Foi considerado que o custo de materiais equivale ao produto do número de linhas de serviços pelas quantidades unitárias de cada medida de proteção.

6.4.5. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM P_{LD}

São previstas as seguintes alternativas para alterar o valor do parâmetro P_{LD} :

- PLD1: Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência elétrica entre 5 Ω /km e 20 Ω /km (redução de até 20,00%).

- PLD2: Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência elétrica entre 1 Ω /km e 5 Ω /km (redução de até 90,00%).
- PLD3: Substituir o cabeamento por cabo com blindagem com resistência elétrica de até 1 Ω /km (redução de até 98,00%).

Existem basicamente três tipos de blindagem de cabos de baixa tensão segundo o Guia IEEE de Práticas em Blindagem de Cabos de Baixa Tensão: folha metálica, malha metálica ou a associação de duas ou mais camadas dos tipos anteriores. A blindagem através de folha metálica é constituída por um filme plástico coberto por uma camada metálica geralmente de alumínio. Este tipo de blindagem provê proteção contra acoplamento capacitivo (blindagem de campo elétrico) e é recomendado para situações em que a capacidade de cobertura é prioritária à resistência elétrica da blindagem, ou seja, para blindagem de interferências eletromagnéticas de alta frequência. A blindagem através de malha metálica é composta por uma trama de fios dispostos em ângulos diferentes e é recomendada para situações em que se necessita de baixa resistência DC da blindagem e proteção contra interferências eletromagnéticas de baixa frequência, mitigando acoplamento capacitivo e indutivo. Por sua vez, a blindagem mista combina as características de baixa resistência DC da blindagem da malha e a área de cobertura da folha metálica, provendo proteção contra interferências eletromagnéticas de alta frequência irradiadas, acoplamento capacitivo e descargas eletrostáticas.

A resistência elétrica da blindagem influencia a divisão de corrente de surtos eletromagnéticos nos condutores da linha conectada à estrutura segundo o Anexo E da NBR 5419-1. Como a NBR 5419-2 leva em consideração apenas a resistência elétrica para diferenciar a influência da blindagem dos cabos na redução dos riscos inerentes a descargas atmosféricas, é recomendado que sejam considerados apenas cabos com blindagem em malha metálica ou blindagem mista e, para auxiliar na sua especificação, segue abaixo a fórmula de cálculo da resistência elétrica da blindagem por malha:

$$R_{DC} = \frac{r_{dc}}{n_{cb} \cdot n_{tb} \cdot \cos \alpha_b}$$

Onde R_{DC} resistência DC da blindagem por malha;

r_{dc} resistência DC da blindagem de um único fio da malha;

- a_b ângulo da trama da malha;
- n_{cb} número de condutores por trama da malha;
- n_{tb} número de tramas.

O custo das medidas PLD1, PLD2 e PLD3 vão depender do preço por metro do cabo especificado e do comprimento da linha de serviços. Não foi considerado custo de projeto para essas medidas, mas foi considerado um custo de implantação de R\$ 7,50 para cada metro de cabo instalado.

6.4.6. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM P_{SPD} E P_{EB}

São previstas as seguintes alternativas para alterar os valores dos parâmetros P_{SPD} e P_{EB} :

- PSPD1/PEB1: Instalar DPS de Classe de Teste III (redução de até 95,00%).
- PSPD2/PEB2: Instalar DPS de Classe de Teste II (redução de até 98,00%).
- PSPD3/PEB3: Instalar DPS de Classe de Teste I (redução de até 99,00%).
- PSPD4/PEB4: Instalar DPS com corrente nominal I_N e nível de proteção U_P menores do que um DPS Classe de Teste I (redução de até 99,50%).

O custo das medidas que alteram P_{SPD} e P_{EB} é composto apenas pelos custos de materiais e de instalação do DPS. Para especificar um DPS para a proteção de equipamentos ligados à linha de energia são necessárias as seguintes informações:

- Sistema de aterramento (TN-S, TN-C, IT ou TT).
- Tensão nominal do sistema.
- Nível de isolamento do equipamento (U_W).

Devido à simplicidade da especificação e instalação dos dispositivos de proteção, os custos inerentes a projeto e instalação foram considerados nulos. A quantidade de dispositivos irá depender do sistema de distribuição de energia ao qual o equipamento está conectado, como mostra a Tabela 39.

De forma semelhante, para especificar um DPS para a proteção de equipamentos ligados à linha de telecomunicações, são necessárias as seguintes informações:

- Tipo de serviço de telecomunicações.

- Tipo de conexão do equipamento à rede.
- Tensão nominal do sistema.
- Nível de isolamento do equipamento (U_w).

Tabela 39 – Quantidade de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS).

Nº de DPS	Sistema de distribuição
1	F + N
	F + PEN
	F + F
2	F + N + PE
	F + F + PE
3	3F + PE
	3F + PEN
4	3F + N + PE

Os custos inerentes a projeto e instalação de DPS para linhas de telecomunicação também foram considerados nulos, porém, diferente dos DPS para linhas de energia, é necessário apenas um dispositivo por linha.

6.4.7. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM C_{LD} E C_{LI}

São previstas as seguintes alternativas para alterar os valores dos parâmetros C_{LD} e C_{LI} :

- CLD1/CLI1: Utilizar cabeamento blindado (redução de 100,00%)
- CLD2/CLI2: Interligar a blindagem da linha ao mesmo BEP do equipamento protegido (redução de 100,00%)
- CLD3/CLI3: Instalar a linha em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido (redução de 100,00%)

Todas as medidas de proteção que alteram os parâmetros C_{LD} e C_{LI} possuem a mesma influência sobre esses parâmetros e reduzem eles a zero. Portanto, a diferença entre eles é apenas a situação em que cada medida pode ser adotada e seu custo de implantação. Foram considerados nulos os custos de projeto e de implantação para essas medidas devido às suas simplicidades.

6.4.8. MEDIDAS DE PROTEÇÃO QUE ALTERAM K_{S3}

São previstas as seguintes alternativas para alterar os valores do parâmetro K_{S3} :

- KS3.1: Refazer a instalação, passando os cabos pela mesma rota (Área do laço de aprox. 10 m²) (redução de até 80,00%)
- KS3.2: Refazer a instalação, utilizando cabos multipolares (Área do laço de aprox. 0,5 m²) (redução de até 99,00%)
- KS3.3: Utilizar cabos blindados (redução de até 99,99%)

O custo de projeto das medidas de proteção KS3.1 e KS3.2 podem ser obtidos através da Tabela 32, sendo que os custos de implementação são iguais a um terço desse valor. Por sua vez, foi considerado que a medida KS3.3 possui apenas custos de implementação. Para calcular o custo de material, foi estimada a quantidade de material conforme metodologia a seguir:

- Cálculo da área construída:

$$A_C = L \cdot W \cdot n_p$$

- Cálculo da área por ambiente:

$$A_S = \frac{A_C}{n_{Amb}}$$

- Estimativa do perímetro de cada ambiente:

$$p_{amb} = 4 \cdot ARREDONDAR.PARA.CIMA[\sqrt{A_S}]$$

- Estimativa do número de tomadas, segundo Mamede (2012):

$$n_{Tom} = ARREDONDAR.PARA.CIMA\left[\frac{p_{amb}}{5}\right]$$

- Estimativa da quantidade de cabos elétricos, segundo Neto (2009):

$$q_{cab} = 5 \cdot n_{tom}$$

6.5. CÁLCULO DOS RISCOS

O cálculo dos riscos de perda de vida humana ou de lesões permanentes (R_1), de perda de serviço ao público (R_2), de perda de patrimônio cultural (R_3) e de perda de

bens materiais (R_4) consiste apenas na soma das corretas componentes de risco (vide Tabela 12) calculadas em etapa anterior da metodologia:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$$

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

$$R_3 = R_B + R_V$$

$$R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$$

6.6. COMPARAÇÃO DOS RISCOS CALCULADOS COM OS VALORES DE REFERÊNCIA

Os valores de risco calculados para cada tipo de perda devem ser comparados a valor de risco tolerável para a edificação para que seu responsável técnico tenha consciência da sua adequação ou da necessidade de instalar medidas de proteção. A NBR 5419-2 sugere valores de referência para os riscos R_1 , R_2 e R_3 , apresentados na Tabela 40. Caso o responsável técnico pela instalação não assuma como referência outros valores de risco mediante declaração formal no memorial descritivo do projeto de SPDA, os valores de risco devem ser inferiores aos respectivos valores da Tabela 40; caso contrário, medidas de proteção devem ser adotadas.

Tabela 40 – Valores típicos de risco tolerável R_T .

Tipo de perda		R_T (1/Ano)
R_1	Perda de vida humana ou de ferimentos permanentes	10^{-5}
R_2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
R_3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: Tabela 4 da NBR 5419-2.

6.7. CÁLCULO DO PERCENTUAL EXCEDENTE DAS COMPONENTES DE RISCO NÃO CONFORMES

Caso os valores de risco calculados sejam superiores aos valores de risco toleráveis, medidas de proteção devem ser adotadas. Para tornar mais assertiva a escolha das medidas de proteção, propõe-se o cálculo do percentual excedente de cada componente de risco em relação ao valor de referência, através da seguinte fórmula:

$$\Delta_{R\%} = \frac{R_X - R_T}{R_X}$$

Onde $\Delta R\%$ percentual excedente da componente de risco;

R_X valor calculado da componente de risco;

R_T valorem de risco tolerável.

6.8. CÁLCULO DA REDUÇÃO PERCENTUAL PROMOVIDA POR CADA MEDIDA

Para selecionar as medidas de proteção capazes de reduzir os valores das componentes de risco fazendo com que fiquem abaixo dos valores toleráveis é preciso conhecer qual a redução percentual promovida por cada uma, previamente filtrada no levantamento de medidas de proteção disponíveis. Desta forma, evita-se considerar medidas de proteção incapazes de trazer as componentes de risco para níveis toleráveis, garantindo a eficiência almejada na escolha das medidas.

O percentual de redução proporcionada por cada medida de proteção disponível é calculado através da seguinte fórmula:

$$\Delta_{MPS\%} = \frac{MPS_A - MPS_N}{MPS_N}$$

Onde $\Delta_{MPS\%}$ redução percentual proporcionada pela medida de proteção;

MPS_A valor atual do parâmetro alterado pela medida de proteção;

MPS_N valor do parâmetro após a implantação da medida de proteção.

6.9. GERAÇÃO DA LISTA FINAL DE MEDIDAS DE PROTEÇÃO DISPONÍVEIS

O valor percentual de redução proporcionada por cada medida de proteção (MPS) ou associação de medidas de proteção é finalmente comparado ao valor percentual excedente das componentes de risco compostas pelo parâmetro alterado pela MPS, gerando uma lista de alternativas eficientes de adequação daquela componente de risco específica.

6.10. ORDENAÇÃO DAS MEDIDAS DISPONÍVEIS POR PREÇO

Para selecionar a medida de proteção da forma mais eficiente possível, a lista final de medidas de proteção disponíveis deve ser colocada em ordem crescente de custos geral de implantação, o que é possível graças ao cálculo dos custos realizados em 6.4.

7. ESTUDO DE CASO

A metodologia proposta foi aplicada na análise de risco de uma subestação elétrica de uma refinaria de petróleo. As figuras a seguir apresentam os dados da edificação analisada. A Figura 28 apresenta os dados das linhas de serviço conectadas à edificação; a Figura 29 apresenta os dados referentes a pessoas; a Figura 30 apresenta os dados da própria estrutura; e a Figura 31 apresenta os dados da região onde se encontra a edificação.

Características relevantes das LINHAS DE SERVIÇOS ENTRANTES			
Linha de Energia			
Características gerais	Há linha?	Comprimento [m]	Instalação
	SIM	1.000	Aérea
	Tipo	Tensão Nominal	Neutro multiterrado?
	3F+N+PE	> 1.000 V	SIM
Blindagem	Linha blindada?	Interligada ao mesmo BEP do equipamento?	Resistência elétrica da blindagem
	NÃO		
Proteção	Proteção contra tensões de toque		Proteção contra sobretensões
	Nenhuma medida de proteção		Nenhum sistema de DPS coordenado
Linha de Telecomunicações			
Características gerais	Há linha?	Comprimento [m]	Instalação
	SIM	1.000	Aérea
	Tipo de serviço		Tipo de Conexão
	Telefonia		RJ11
Blindagem	Linha blindada?	Interligada ao mesmo BEP do equipamento?	Resistência elétrica da blindagem
	SIM	NÃO	
Proteção	Proteção contra tensões de toque		Proteção contra sobretensões
	Nenhuma medida de proteção		Nenhum sistema de DPS coordenado

Figura 28 – Características das linhas de serviço conectadas à estrutura do estudo de caso.

Características relevantes das PESSOAS				
Nº pessoas na zona	Nº pessoas na estrutura	Tempo dentro da estrutura [horas/ano]	Tempo em risco fora da estrutura [horas/ano]	Perigo especial na estrutura
15	15	8.760	0	Baixo nível de pânico

Figura 29 – Características referentes a pessoas para a edificação do estudo de caso.

Características relevantes da ESTRUTURA						
Características gerais						
Ocupação / Uso		Descrição				
Industrial		Óleos comestíveis e óleos em geral				
		Padarias				
		Papéis (acabamento)				
		Papéis (preparo de celulose)				
		Papéis (procedimento)				
		Papelões betuminados				
Estrutura Principal	Comprimento [m]	Largura [m]	Altura [m]	Nº Andares	Nº Ambientes	
	181,00	105,00	6,30	1	10	
Estrutura Adjacente	Comprimento [m]	Largura [m]	Altura [m]	Perdas adicionais		
Características internas						
Geral	Menor Rigidez Dielétrica de Equipamentos Interno [kV]	Blindagem estrutural [m]		Risco de incêndio ou explosão		
		W_{m1}	W_{m2}			
	2,5	10,00	10,00	Baixo risco de incêndio		
Fiação (ELÉTRICA)	Blindagem	Roteamento				
	NÃO	Rotas diferentes - Área do laço de aprox. 50 m ²				
Fiação (TELECOM)	Blindagem	Roteamento				
	NÃO	Rotas diferentes - Área do laço de aprox. 50 m ²				
Características monetárias						
Valor dos animais	Valor da edificação	Valor do conteúdo	Sistemas internos	Valor total da estrutura	Patrimônio cultural	Valor total geral
R\$ -	R\$ 100.000	R\$ 10.000	R\$ 1.000.000	R\$ 1.110.000	R\$ -	R\$ 1.110.000
Medidas de Proteção						
Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas			Medidas de proteção adicionais			
Estrutura protegida por SPDA classe III			Nenhuma medida de proteção adicional			
Sistema de combate a incêndio						
Extintores de incêndio						

Figura 30 – Características da estrutura do estudo de caso.

Características relevantes da REGIÃO		
Município	Fator de localização da estrutura	
Lagoa Grande do Maranhão MA	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	
Fator ambiental da estrutura	Tipo de solo ou piso	Resistividade do solo [$\Omega.m$]
Rural	Agricultura, concreto	400

Figura 31 – Características da região onde se encontra a edificação do estudo de caso.

A análise de riscos da instalação mostrou que o risco de perda de vida humana ou lesões permanentes (R_1) e o risco de perda de serviço ao público (R_2) estavam acima do tolerável. O risco de perda de patrimônio cultural (R_3) não foi analisado, pois não era aplicável à estrutura. Como a prioridade da análise era a redução do risco de perda de vida humana, foram priorizadas as medidas para redução do risco R_1 . Como pode ser observado na Figura 32, que apresenta o resultado da análise do risco R_1 para a estrutura, as componentes de risco que mais excederam o valor de referência foram aquelas relacionadas a falhas de sistemas internos.

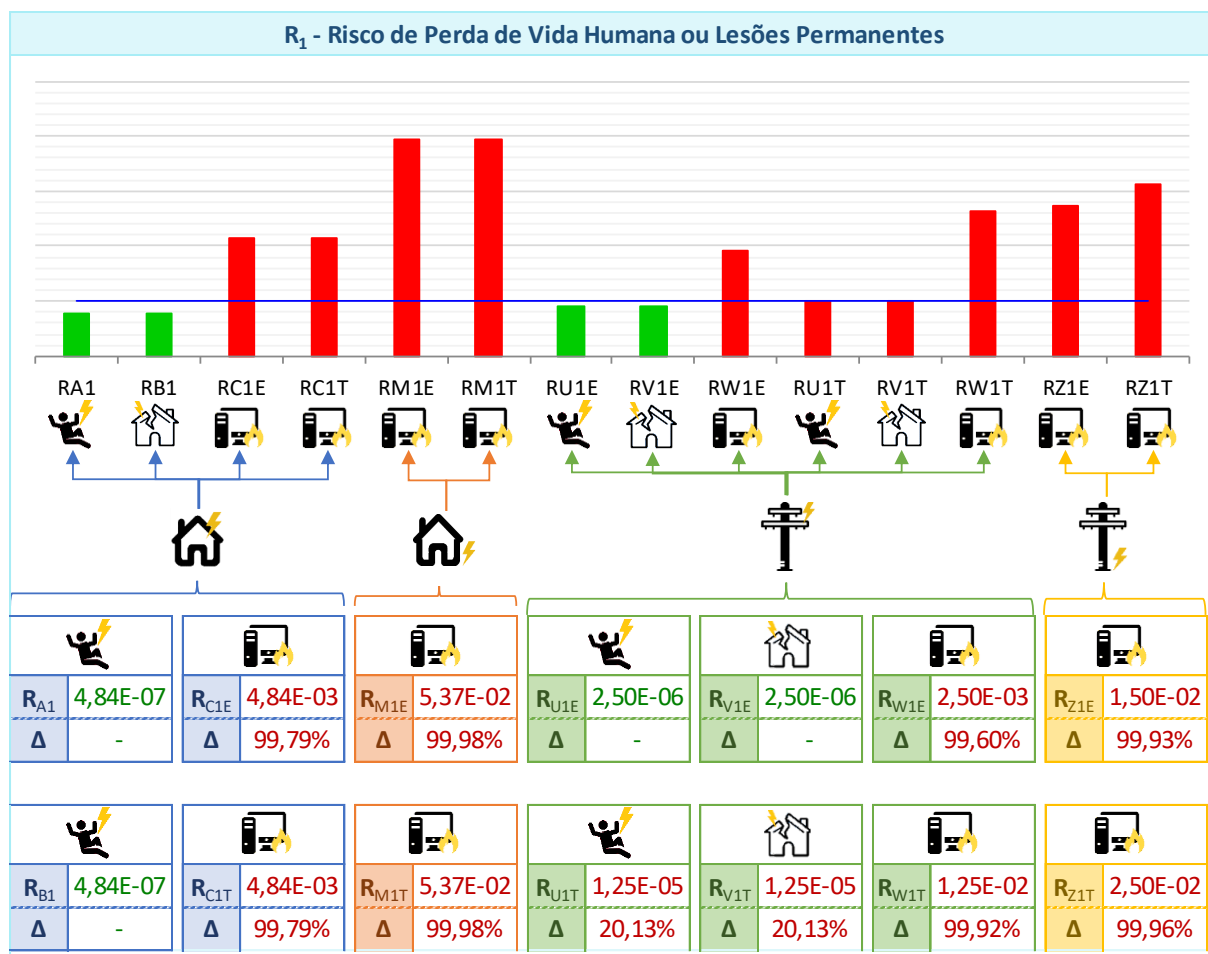


Figura 32 – Resultado da análise de risco inicial de perda de vida humana (R_1) da estrutura do estudo de caso.

Através da metodologia proposta no Capítulo 6, foram selecionadas as seguintes medidas de proteção para redução do risco de perda de vida humana devido a descargas atmosféricas da instalação:

- Instalar a linha de energia em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido.
 - Redução de 100% dos parâmetros $R_{C1.E}$, $R_{W1.E}$ e $R_{Z1.E}$.
- Instalar a linha de telecomunicações em eletroduto metálico interligado ao mesmo BEP do equipamento protegido.
 - Redução de 100% dos parâmetros $R_{C1.T}$, $R_{U1.T}$, $R_{V1.T}$, $R_{W1.T}$ e $R_{Z1.E}$.
- Utilizar cabos blindados para a rede interna de distribuição de energia.
 - Redução de 99,99% do parâmetro $K_{S3.1.E}$.
- Utilizar cabos blindados para a rede interna de telecomunicações.
 - Redução de 99,99% do parâmetro $K_{S3.1.T}$.

8. CONCLUSÃO

A pesquisa por trabalhos relacionados à análise de riscos de perdas devido a descargas atmosféricas mostrou o quanto o tema ainda é pouco explorado e, conseqüentemente, pouco conhecido pela sociedade técnica e acadêmica. Entretanto, os trabalhos encontrados mostram que existe uma preocupação neste sentido e que existem estudos em três vieses distintos: desenvolvimento de software e ferramentas de cálculo de risco; metodologias alternativas e simplificadas de análise de risco; e melhorias na metodologia de análise de risco atual.

Vários estudos, dentre eles o de Gomes et al. (2016), mostraram que a metodologia de análise de riscos proposta pela NBR 5419 e pela IEC 62305 ainda não atingiu a assertividade necessária para evitar que acidentes devido a descargas atmosféricas ocorram. Para melhorar essa assertividade, Rousseau e Kern (2014) e Rousseau *et al.* (2015) propuseram valores típicos para os parâmetros relacionados a danos fora da estrutura. Outra grande contribuição foi feita por Landers e Kern (2011), que teceram críticas ao que chamaram de “risco ponderado” e de “perdas ponderadas” e ao cálculo de risco externo à estrutura.

Foram apresentadas as características, os benefícios e os pontos a melhorar dos softwares/ferramentas: SIRAC, ALRISK, RISK Multilingual, ferramenta de cálculo através de lógica difusa de Godoy e Suárez (2007), NTC Online Tool, GRiesgos, Tupã, Jupiter, LIRA, Lightning Risk Assesment e planilhas de análise de riscos desenvolvidas por Sueta (2015) e Santos (2017). Apesar da grande quantidade de softwares e ferramentas encontradas, nenhuma apresentou uma solução para o problema de escolha das medidas de proteção, o que comprova a relevância deste trabalho.

A complexidade das análises somadas ao desconhecimento da técnica pode ocasionar má especificação de medidas de proteção, colocando em risco a saúde de pessoas, a continuidade de serviços e o patrimônio cultural, sem mencionar a perda de valores econômicos. A metodologia proposta é a maior contribuição de todo o trabalho e tem como objetivo facilitar a escolha de medidas de proteção através da consideração dos custos inerentes à implementação, tornando essa escolha economicamente mais eficiente, evitando gastos desnecessários com medidas de proteção que não contribuem para a adequação do risco. Este trabalho é a

continuação do artigo *Methodology to select Lightning Protection Measures based on Brazilian Standards and Technology*, também de minha autoria, exposto no XIV Simpósio Internacional de Proteção contra Descargas Atmosférica (XIV SIPDA), que ocorreu em Natal/RN, em outubro de 2017.

A metodologia proposta neste trabalho foi parcialmente automatizada através do software Excel e facilitou consideravelmente a escolha das medidas de proteção em uma análise real de risco. O estudo de caso apresentado mostrou como medidas comumente adotadas (como os projetos de proteção contra descargas atmosféricas e a instalação de dispositivos de proteção contra surtos) nem sempre são necessárias e/ou adequadas para a redução do risco. Para trabalhos futuros, recomenda-se que a metodologia seja implementada por completo e que todas as funcionalidades esperadas de novos programas de cálculo descritas em 3.4. sejam também contempladas.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-1. **Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais**. Rio de Janeiro, 2015. 67 p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-2. **Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco**. Rio de Janeiro, 2015. 104 p.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-3. **Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida**. Rio de Janeiro, 2015. 51 p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-4. **Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**. Rio de Janeiro, 2015. 87 p.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10897. **Sistemas de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014. 130 p.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12693. **Sistemas de proteção por extintor de incêndio**. Rio de Janeiro, 2013. 22 p.
- [7] BOUQUEGNEAU, C.; LECOMTE, P.; REMMERIE, L. Risk multilingual, a complete software to calculate the lightning risk for structures. In: IX International Symposium on Lightning Protection, nov. 2007, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6799905/>>. Acesso em: 13 nov. 2017.
- [8] CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS. **Registro de Tabela de Honorários Profissionais**, de 30 de ago. de 2013. Estipula referências confiáveis de tabelas de preços de serviços de engenharia. Belo Horizonte, 2013. 7 p.
- [9] FARIA, Saulo. Methodology to select Lightning Protection Measures based on Brazilian Standards and Technology. In: XIV International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), set. 2017, Natal.
- [10] FARKAS, T. D.; SZEDENIK, N.; KISS, I. Sensitivity analysis in lightning protection risk management. **Journal of Electrostatics**, Boston, v. 71, ed. 3, p.582(4), jun. 2013.
- [11] FIAMINGO, F. *et al.* A method to determine the need of SPD for the protection against lightning overvoltages of electrical installation supplied by power lines. In: 29th International Conference on Lightning Protection, jun. 2008, Uppsala. Disponível em <http://seftim.com/wp-content/uploads/2015/11/ICLP_2008_A-mehod-to-

- [determine-the-need-of-SPD-for-the-protection-against-lightning-overvoltages-of-electrical-installation-supplied-by-power-lines.pdf](#)>. Acesso em 15 nov. 2017.
- [12] GODOY Y.; SUÁREZ, O. S. Aplicación de la lógica difusa al análisis de riesgo por rayo. Parte I. **Ingeniería Energética**. v. XXVIII, n. 1, p. 20-26, 2007.
- [13] GOMES, C. *et al.* Concerns of the Application of Lightning Protection Risk Assessment for Small Structures. In: 33rd International Conference on Lightning Protection (ICLP), set. 2016, Estoril. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7791384/>>. Acesso em 21 nov. 2017.
- [14] LANDERS, E. U.; KERN, A. Future Evolution of Risk Management for Structures: Advancement for the future IEC 62305-2 Ed3. In: XI International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), out. 2011, Fortaleza. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6088415/>>. Acesso em 21 nov. 2017.
- [15] LOBODA, M.; SZEWCZYK, M. Comparison of Lightning Risk Calculation Results Using Different Software Based on New Standard IEC 62305-2. In: 28th International Conference on Lightning Protection (ICLP), set. 2006, Kanazawa. **Anais eletrônicos**. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/282650206_Comparison_of_Lightning_Risk_Calculation_Results_Using_Different_Software_Based_on_New_Standard_IEC_62305-2>. Acesso em: 14 nov. 2017.
- [16] MAMEDE, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 666 p.
- [17] MATA, C. T.; BONILLA, T. Lightning Risk Assessment Tool, Implementation of the IEC 62305-2 Standard on Lightning Protection. In: International Conference on Lightning Protection (ICLP), set. 2012, Viena. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6633928/>>. Acesso em: 16 nov. 2017.
- [18] MORII, N.; SATO, H. A method for selecting lightning protection level. In: 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP), set. 2010, Cagliari. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7845764/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- [19] MOUNIR, M. M.; MAHMOUD, A. E. Development of Lightning Risk Assessment Software in Accordance with IEC 62305-2. In: International Conference on Computing, Electrical and Electronic Engineering (ICCEEE), ago. 2013, Khartoum. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6633928/>>. Acesso em 16 nov. 2017.
- [20] NETO, B. C. Como orçar instalações elétricas. **Construção Mercado**, São Paulo, ed. 100, nov. 2009. Disponível em <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/100/artigo299279-1.aspx>>. Acesso em 06 jan. 2018.

- [21] POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO – CORPO DE BOMBEIROS. INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 23/2011. **Sistemas de chuveiros automáticos**. São Paulo, 2011. 6 p.
- [22] RODRIGUES, R. B.; MENDES, V. M. F.; CATALÃO, J. P. S. Simulação em computador para protecção de parques eólicos contra descargas eléctricas atmosféricas. **Research Gate**, Portugal, jan. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Vmf_Mendes/publication/267251224_SIMULACAO_EM_COMPUTADOR_PAR_A_PROTECCAO_DE_PARQUES_EOLICOS_CONTRA_DESCARGAS_ELECTRICAS_ATMOSFERICAS/links/54cbb17c0cf24601c088cbf4.pdf>. Acesso em: 13nov. 2017.
- [23] ROUSSEAU, A.; GRUET, P. Application of IEL 62305-2 risk analysis standard in France. In: XI International Symposium on Lightning Protection, nov 2007, Foz do Iguaçu. **Anais do congresso**: pp.433-438, 2007.
- [24] ROUSSEAU, A.; GRUET, P. Practical approach for economic losses lightning risk evaluation. In: 29th International Conference on Lightning Protection, jun. 2008, Uppsala. Disponível em <http://seftim.com/wp-content/uploads/2015/11/ICLP_2008_PRACTICAL-APPROACH-FOR-ECONOMIC-LOSSES-LIGHTNING-RISK-EVALUATION.pdf>. Acesso em 15 nov. 2017.
- [25] ROUSSEAU, A.; KERN, A. How to deal with environmental risk in IEC 62305-2. In: International Conference on Lightning Protection (ICLP), out. 2014, Shanghai. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6973180/>>. Acesso em 21 nov. 2017.
- [26] ROUSSEAU, A.; SAINTE-ROSE-FANCHINE, C.; GUTHRIE, M. Application of environmental risk according to IEC 62305-2 Edition 2. In: XIII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), set. 2015, Balneário Camboriú. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7339327/>>. Acesso em 21 nov. 2017.
- [27] SÁNCHEZ, O. I.; TORRES, C. A.; SANTAMARÍA, F. Comparación de las normas NTC 4552 de 2008 e IEC 62305 de 2010 para el análisis de riesgo. **Tecnura**, Bogotá, v. 18, n. 40, abr./jun. 2014.
- [28] SANTOS, Douglas Caetano dos. **Automatização do cálculo e da análise de risco da norma ABNT NBR 5419:2015**. 2017. 82 f. Monografia (Especialização em Engenharia elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- [29] SARMIENTO, A.; TORRES, H.; YOUNES, C. Risk assessment software using lightning parameters in tropical zone. In: IX International Symposium on Lightning Protection, nov. 2007, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos**. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/237119501_RISK_ASSESSMENT_SOFTWARE_USING_LIGHTNING_PARAMETERS_IN_TROPICAL_ZONE>. Acesso em: 15 nov. 2017.

- [30] SUÁREZ, O. S.; A.; AMOR, A. M. Sistema Automatizado GRiesgo v.1 para la Gestión de Riesgo por impacto de rayos en estructuras y servicios. **Ingeniería Energética**. v. XXXII, n. 3, p. 55-64, ago./nov. 2011.
- [31] SUETA, H. *et al.* Development of a risk analysis computer program according to the IEC 62305-2. In: X International Symposium on Lightning Protection, nov. 2009, Curitiba. **Anais do congresso**: USP, 2009. vol. Extended Abstracts, p. 131.
- [32] SUETA, H. E. *et al.* Developing a worksheet for Risk Analysis according to ABNT NBR 5419-2. In: XIII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), set. 2015, Balneário Camboriú. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7339321/>>. Acesso em 16 nov. 2017.
- [33] SZEDENIK, N.; BODÓCS, T.; BERTA, I. Simplified risk assessment of lightning protection. In: International Conference on Lightning Protection (ICLP), out. 2014, Shanghai. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6973262/>>. Acesso em 17 nov. 2017.
- [34] SZEDENIK, N. *et al.* Developed Simplification of the Risk Assessment. In: 33rd International Conference on Lightning Protection (ICLP), set. 2016, Estoril. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7791378/>>. Acesso em 17 nov. 2017.
- [35] VERNIERI, J. Z.; SOIBELZON, H. L. Comparison of TUPÃ Risk Assessment Software with SIRAC Software Applied to a Heritage Building in Argentina. In: XI International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), out. 2011, Fortaleza. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6088448/>>. Acesso em 17 nov. 2017.