

**MEMORIAL DE CÁLCULO E DESCRITIVO – SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
SUPERVIZA ATACADISTA**

1 DADOS DA INSTALAÇÃO

Obra:

Razão Social: **SUPERVIZA ATACADISTA**
Endereço da instalação: AV. Pref. Waldemar Grubba, SN, 89256-900
Cidade - Estado: Jaraguá do Sul - SC

Proprietário:

Razão Social: **SUPERVIZA ATACADISTA**
Endereço da instalação: AV. Pref. Waldemar Grubba, SN, 89256-900
Cidade - Estado: Jaraguá do Sul - SC
CNPJ:

Responsável Técnico:

Nome: Sidnei de Pelegrin
Registro: 097127-5
Endereço: Rua Leonardo Granemann 443 - Alto Bonito – Caçador - SC
Bairro - Cidade: Industrial – Caçador - SC
Telefone: (49) 9.99813228
E-mail: sidnei@engemase.com.br

2 DISPOSIÇÕES GERAIS

O presente Memorial Descritivo faz parte do projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) da edificação comercial **SUPERVIZA ATACADISTA** a ser construída na cidade de Jaraguá do Sul/SC. São detalhados:

- a análise de risco realizada para determinar o nível de proteção necessário;
- os parâmetros de projeto e componentes do SPDA.

Também são apresentadas as condições técnicas e operacionais a serem respeitadas na execução do presente projeto.

3 COMPOSIÇÃO DO PROJETO

Junto a este memorial, serão entregues os seguintes documentos:

- Prancha 01: localização de descidas e hastes de aterramento e distribuição de hastes captoras nos telhados da edificação;
- Prancha 02: detalhes de conexão e fixação de elementos do projeto;
- Lista de materiais;
- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

4 NORMATIZAÇÃO

Na elaboração do projeto foram observadas as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Onde as especificações forem omissas, prevalecerá o que preconizam as normas:

- ABNT NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas, composta por 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 à estrutura.
- ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- NR-10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade.

5 ANÁLISE DE RISCO

Não há dispositivos ou métodos que sejam capazes de prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas. Quando atingem estruturas, ou linhas e tubulações a ela conectadas, as descargas podem resultar em:

- danos à estrutura e ao seu conteúdo;
- falhas aos sistemas eletroeletrônicos associados;
- ferimentos a seres vivos dentro ou perto das estruturas.

Para reduzir as perdas devido às descargas atmosféricas, podem ser necessárias medidas de proteção. Quando estas são necessárias, e em qual medida, deve ser determinado por uma análise de risco, definida pela norma ABNT NBR 5419-2.

6 INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS

6.1 Danos e perdas

A principal fonte de danos tem origem na corrente gerada pela descarga atmosférica. A norma relaciona quatro fontes de dano, relacionadas ao ponto de impacto:

- a) S1: descarga atmosférica na estrutura;
- b) S2: descarga atmosférica perto da estrutura;
- c) S3: descarga atmosférica na linha;
- d) S4: descarga atmosférica perto da linha.

Os danos causados por descargas atmosféricas dependem das características da estrutura atingida: tipo de construção, conteúdo e aplicações, tipo de serviço executado em seu interior e medidas de proteção existentes. A norma distingue três tipos de danos:

- a) D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- b) D2: danos físicos;
- c) D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação, pode produzir diferentes perdas consequentes. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da estrutura protegida e do seu conteúdo. São levados em consideração quatro tipos de perda:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;

d) L4: perda econômica.

6.2 Riscos

O risco R é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda, o risco correspondente deve ser avaliado:

- a) R_1 : risco de perda de vida humana;
- b) R_2 : risco de perda de serviço ao público;
- c) R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R_4 : risco de perda econômica.

Avaliados separadamente, cada um dos riscos é a soma de componentes parciais de risco, que dependem da fonte e do tipo de dano. A ABNT NBR 5419-2 elenca oito componentes:

- a) devido a descargas atmosféricas na estrutura:
 - i. R_A : ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de toque e de passo, nas partes interna e externa da estrutura e a até 3 m em torno dos condutores de descida;
 - ii. R_B : danos físicos causados por centelhamentos perigosos, na parte interna da estrutura, causando incêndio ou explosão;
 - iii. R_C : falhas de sistemas internos causados por pulsos eletromagnéticos (LEMP, do inglês *Lightning Electromagnetic Pulse*).
- b) devido a descargas atmosféricas perto da estrutura:
 - i. R_M : falhas de sistemas internos causados por LEMP.
- c) devido a descargas atmosféricas na linha:
 - i. R_U : ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de toque e de passo na parte interna da estrutura;
 - ii. R_V : danos físicos decorrentes de incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas, geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura, devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ao longo das linhas.
 - iii. R_W : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.
- d) devido a descargas atmosféricas perto da linha:

- i. R_z : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

Na Tabela 1, as componentes de risco são agrupadas de acordo com a fonte de danos, tipos de dano e tipo de perda/risco a que se aplicam.

Tabela 1 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.
Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-2:2015.

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
Tipo de dano	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
Componente de risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	*b	*	*	*	*b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana.

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Adicionalmente, as características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco são dadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores que influenciam os componentes de risco.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndio		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X

^a Somente para SPDA tipo malha externa.

^b Devido a ligações equipotenciais.

^c Somente se eles pertencem ao equipamento.

Cada componente de risco R_x pode ser calculada através da equação

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x,$$

onde N_x é o número de eventos perigosos por ano; P_x é a probabilidade de dano à estrutura; e L_x é a perda consequente.

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

A probabilidade de dano P_x é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

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

Detalhes sobre o cálculo de cada componente podem ser encontrados nos Anexos A, B e C da norma ABNT NBR 5419-2.

Na avaliação de cada componente de risco, pode-se dividir a edificação em zonas diferentes quando houver diferenças de características construtivas, de atividade, de número de funcionários, entre outras.

6.3 Procedimento básico

- Identificação da estrutura a ser protegida e suas características – tipo, instalações, conteúdo, pessoas nas zonas e o meio ambiente afetado por danos na estrutura.
- Identificação dos tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R_1 a R_4 .
- Avaliação do risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 .
- Avaliação da necessidade de proteção por meio da comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com riscos toleráveis R_T .
- Avaliação da eficiência do custo da proteção se comparada com o custo total das perdas (com ou sem medidas de proteção). Isto é feito a partir da avaliação dos componentes de risco R_4 .

6.4 Riscos toleráveis

Autoridades que tenham jurisdição têm a responsabilidade de identificar o valor do risco tolerável R_T . A norma ABNT NBR 5419-2 fornece valores típicos de riscos toleráveis, são exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores típicos de risco tolerável R_T .

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

A rotina a ser seguida para a perda L4 é a comparação custo/benefício dada no Anexo D da norma.

7 GERENCIAMENTO DE RISCO

7.1 Dados do projeto

O supermercado ficará localizado em uma região ligeiramente afastada do centro de Lages/SC. Há construções da mesma altura e mais baixas nas proximidades, mas não mais altas. A edificação será conectada à rede elétrica em média tensão por um alimentador subterrâneo blindado. A linha de telecomunicações será de fibra óptica, portanto não será considerada na análise.

A estrutura foi dividida em cinco zonas que serão avaliadas individualmente para a composição de riscos. O critério de divisão foi baseado em características em comum:

- Zona Z1: corresponde às áreas externas à estrutura, como acessos e estacionamentos sem cobertura.
- Zona Z2: corresponde à área de estacionamento coberto;
- Zona Z3: corresponde à área de vendas do supermercado;
- Zona Z4: corresponde à área de depósito e salas administrativas.

Na Tabela 4 são fornecidos o número estimado de pessoas por zona e o tempo de permanência anual nas diferentes zonas. Considerou-se um horário de funcionamento das 8h às 22h todos os dias da semana.

Tabela 4 - Distribuição de pessoas nas zonas.

Zona	Número de pessoas	Tempo de presença
Z1: área externa	20	5040
Z2: estacionamento coberto	20	5040
Z3: área de vendas	150	5040
Z4: depósito e administrativo	30	5040
Total (n_t)	220	-

Para esse empreendimento, há risco de perda de vida humana (R_1) e de perda econômica (R_4). Essa análise de risco englobará apenas as componentes para o risco R_1 , já que nessa etapa do projeto não há informações suficientes para a análise das perdas econômicas. Serão considerados os seguintes procedimentos:

- a) Para zona Z1:
 - i. Dano D1 (ferimentos por choque elétrico): cálculo de R_A
- b) Para zona Z2:
 - i. Dano D1 (ferimentos por choque elétrico): cálculo de R_A e R_U

- ii. Dano D2 (danos físicos): cálculo de R_B e R_V
- c) Para zona Z3:
 - i. Dano D1 (ferimentos por choque elétrico): cálculo de R_A e R_U
 - ii. Dano D2 (danos físicos): cálculo de R_B e R_V
- d) Para zona Z4:
 - i. Dano D1 (ferimentos por choque elétrico): cálculo de R_A e R_U
 - ii. Dano D2 (danos físicos): cálculo de R_B e R_V

7.2 Características da estrutura e do meio ambiente

Na Tabela 5 são apresentadas as características relevantes sobre a edificação, sua localização e os tipos de proteção existentes. Todas as Equações, Figuras e Tabelas referenciadas, nesta e nas próximas seções, são da norma ABNT NBR 5419-2, a não ser que seja de outra forma explicitado.

Tabela 5 - Características da estrutura e do meio ambiente.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra	Lages/SC	NG	8,9894	INPE/Figura F.6
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CD	0,5	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

7.3 Características das linhas de energia e sinal conectadas à edificação

São apresentadas na Tabela 6 as características relevantes da linha de energia que alimenta a edificação. O comprimento exato da linha é desconhecido, portanto foi utilizado um valor padrão de 1000 m. A resistência de blindagem também é desconhecida no momento dessa análise, e por esse motivo foi considerado o pior caso.

Tabela 6 - Características da linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)	Desconhecido	L_L	1000	Item A.4
Fator de instalação	Enterrado	C_i	0,5	Tabela A.2

Fator tipo de linha	Linha AT (com transformador AT/BT)	C_T	0,2	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S	$5 < R_S \leq 20$	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	0	
Área da estrutura adjacente	Nenhuma	A_{DJ}	-	
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	1,5	
Parâmetros resultantes		K_{S4}	0,6667	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,6	Tabela B.9

7.4 Fatores relacionados às zonas da edificação

Nas Tabelas Tabela 7 a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são descritos os parâmetros de entrada referentes às cinco zonas anteriormente definidas. Foram consideradas na análise medidas comuns de proteção contra incêndio.

Tabela 7 - Fatores válidos para a zona Z1 (área externa).

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso	Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	-	
	D3: devido a falha dos sistemas internos	L_O	-	
Fator de pessoas na zona	$n_z/nt \times t_z/8760$	-	0,04603	

Tabela 8 - Fatores válidos para a zona Z2 (estacionamento coberto).

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso		Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Extintores	r_p	0,5	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
		Perigo especial: baixo nível de pânico	h_z	2	Tabela C.6
L1: perda de vida humana	D1: devido à tensão de toque e de passo		L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos		L_F	2×10^{-2}	
	D3: devido a falha dos sistemas internos		L_O	-	
Fator de pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8760$	-	0,04603	

Tabela 9 - Fatores válidos para a zona Z3 (área de vendas).

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso		Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Alto	r_f	10^{-1}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Extintores, alarmes automáticos	r_p	0,5*	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
		Perigo especial: médio nível de pânico	h_z	5	Tabela C.6
L1: perda de vida humana	D1: devido à tensão de toque e de passo		L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos		L_F	2×10^{-2}	

* É incerto se o Corpo de Bombeiros pode ou não chegar em menos de dez minutos no local (verificado via [Google Maps](#)). Nesse caso, foi considerada a pior possibilidade.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
	D3: devido a falha dos sistemas internos	L_O	-	
Fator de pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8760$	-	0,34521	
Tabela 10 - Fatores válidos para a zona Z (depósito e administrativo).				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso	Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	Alto	r_f	10^{-1}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Extintores, alarmes automáticos	r_p	0,5	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	P_{SPD}	1	Tabela B.3
	Perigo especial: baixo nível de pânico	h_z	2	Tabela C.6
L1: perda de vida humana	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	2×10^{-2}	
	D3: devido a falha dos sistemas internos	L_O	-	
Fator de pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8760$	-	0,06904	

7.5 Determinação das áreas de exposição equivalente da estrutura e das linhas de energia e sinal

As áreas de exposição equivalente da estrutura e da linha de energia são exibidas na Tabela 11. Por se tratar de uma edificação de forma complexa, as áreas de exposição da estrutura foram obtidas a partir da planta da construção em *software* de desenho técnico, como demonstrado na Figura 1.

Tabela 11 - Áreas de exposição equivalente: estrutura, linha de energia e sinal.

	Símbolo	Resultado (m²)	Referência (Equação)	Equação
Estrutura	A_D	14314	-	Método gráfico (desenho)
	A_M	995000	-	Método gráfico (desenho)

	Símbolo	Resultado (m²)	Referência (Equação)	Equação
Linha de energia	$A_{L/E}$	40.000	(A.9)	$A_{L/E} = 40 \times L_L$
	$A_{I/E}$	4.000.000	(A.11)	$A_{I/E} = 4.000 \times L_L$
	$A_{DJ/E}$	0	-	Sem estrutura adjacente

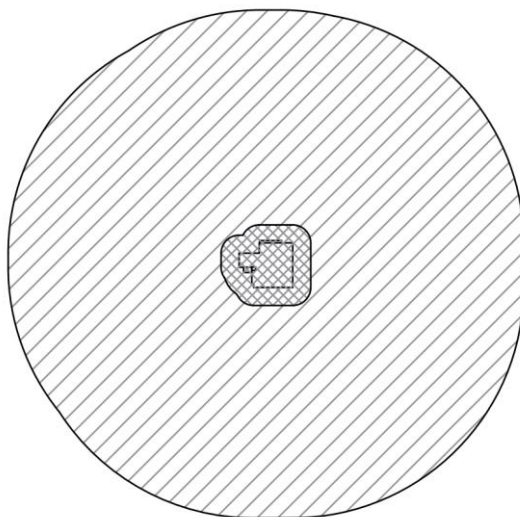


Figura 1 – Áreas de exposição equivalente A_D e A_M da estrutura.

7.6 Número anual de eventos perigosos esperados

Na Tabela 12 é apresentado o número esperado de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas que podem atingir a estrutura, as linhas de energia e sinal e as proximidades.

Tabela 12 - Número anual de eventos perigosos esperados.

	Símbolo	Resultado (1/ano)	Referência (Equação)	Equação
Estrutura	N_D	0,143	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	9,95	(A.6)	$N_M = N_G \times A_I \times C_D \times 10^{-6}$
Linha de energia	$N_{L/E}$	0,2	(A.8)	$N_{L/E} = N_G \times A_{L/E} \times C_{I/E} \times C_{E/E} \times C_{T/E} \times 10^{-6}$
	$N_{I/E}$	20	(A.10)	$N_{I/E} = N_G \times A_{I/E} \times C_{I/E} \times C_{E/E} \times C_{T/E} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/E}$	0	-	Sem estrutura adjacente

7.7 Risco R_1 – avaliação da necessidade de proteção

Utilizando os parâmetros apresentados nas seções anteriores, pode-se enfim calcular o valor do risco R_1 para a estrutura sem proteção contra descargas atmosféricas.

Para o componente R_A , relacionado a ferimentos a seres vivos causados por descargas atmosféricas que atingem a estrutura, utilizam-se: o número anual de eventos perigosos esperados para a estrutura, N_D ; a probabilidade P_A de danos por choque a seres vivos causados por tensões de toque e de passo, que depende do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais; e a quantidade de perda L_A que, assim como as outras quantidades de perda, varia de acordo com as características da zona, a quantidade de pessoas e tempo de permanência delas na zona. R_A é calculado da seguinte forma:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$$

$$R_A = N_D \cdot (P_{TA} \cdot P_B) \cdot \left(r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \right)$$

Para o componente R_U , relacionado a ferimentos a seres vivos causados por descargas atmosféricas que atingem uma linha conectada à estrutura, utilizam-se: o número anual de eventos perigosos esperados para a linha, N_L , e para uma estrutura adjacente a ela conectada, N_{DJ} ; a probabilidade P_U de ferimentos a seres vivos devido à tensão de toque dentro da estrutura por uma descarga atmosférica em uma linha, que depende das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e interfaces isolantes ou DPS utilizados para ligação equipotencial na entrada da linha; e da quantidade estimada de perda L_U . O cálculo de R_U é:

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

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot (P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}) \cdot \left(r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \right)$$

Para o componente R_B , relacionado a danos físicos devido a descargas atmosféricas que atingem a estrutura, utilizam-se: o número anual de eventos perigosos N_D ; a probabilidade P_B , que depende do nível de proteção para o qual o SPDA foi projetado; e a quantidade de perda L_B . R_B é calculado como:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$$

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot \left(r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \right)$$

Por fim, para o componente R_V , relacionado a danos físicos devido a descargas atmosféricas que atingem uma linha conectada à estrutura, utilizam-se: os números anuais de eventos perigosos N_L e N_{DJ} ; a probabilidade de dano P_V , que depende de características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha; e a quantidade de perda L_V . R_V é calculado da seguinte maneira:

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

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot (P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}) \cdot \left(r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \right)$$

Na Tabela 13 são apresentados os valores de risco R_1 , composto pela soma dos quatro componentes citados, para cada zona e para a estrutura como um todo. O risco tolerável é de $R_1 = 1 \times 10^{-5}$, como especificado em norma (Tabela 3).

Tabela 13 - Risco R_1 para a estrutura não protegida contra descargas atmosféricas (valores $\times 10^{-5}$).

Zona	D1: ferimentos		D2: danos físicos		Total R_1
	R_A	R_U ($R_{U/E} + R_{U/S}$)	R_B	$R_V =$ ($R_{V/E} + R_{V/S}$)	
Z1	0,04504				0,04504
Z2	0,04504	0,00603	0,00901	0,00121	0,06128
Z3	0,33778	0,04520	16,88885	2,26023	19,53206
Z4	0,06756	0,00904	1,35111	0,18082	1,60852
Estrutura	0,56296	0,06931	18,38407	2,46034	21,47669

Como R_1 resultou ser maior do que o valor tolerável, conclui-se que a edificação precisa de medidas de proteção contra descargas atmosféricas. São necessárias a instalação de um SPDA, para reduzir os componentes P_B e R_B , e a adoção de uma interligação equipotencial de descargas atmosféricas com DPS na entrada, para reduzir P_V e R_V .

7.8 Risco R_1 – seleção das medidas de proteção

Uma solução é utilizar um sistema de proteção com SPDA Classe II, reduzindo o componente P_B (Tabela 5) para 0,05, e adotar uma interligação equipotencial com DPS Classe II, reduzindo o fator P_{EB} (Tabela 5) para 0,02. O risco resultante para essa solução é dado na Tabela 14.

Tabela 14 - Risco R_1 para a estrutura protegida contra descargas atmosféricas (valores $\times 10^{-5}$).

Zona	D1: ferimentos		D2: danos físicos		Total R_1
	R_A	R_U ($R_{U/E} + R_{U/S}$)	R_B	$R_V =$ ($R_{V/E} + R_{V/S}$)	
Z1	0,00225				0,00225
Z2	0,00225	0,00012	0,00045	0,00002	0,00285
Z3	0,01689	0,00090	0,84444	0,04520	0,90744
Z4	0,00338	0,00018	0,06756	0,00362	0,07473
Estrutura	0,02477	0,0012	1,52049	0,04884	0,98727

A solução apresentada reduz o valor de risco R_1 para um valor abaixo do tolerável. Será, portanto, a solução adotada neste projeto.

8 PROJETO DO SPDA

A norma ABNT NBR 5419-3 separa o projeto do SPDA externo de uma estrutura em três subsistemas: captação, descida e aterramento. Cada subsistema tem características próprias que dependem do nível de proteção necessário. Como foi determinado na análise de risco, o SPDA da estrutura é um de Classe II.

8.1 Subsistema de captação

O subsistema de captação é constituído por uma rede de condutores disposta sobre a cobertura da edificação, formando uma malha contínua destinada à interceptação direta das descargas atmosféricas.

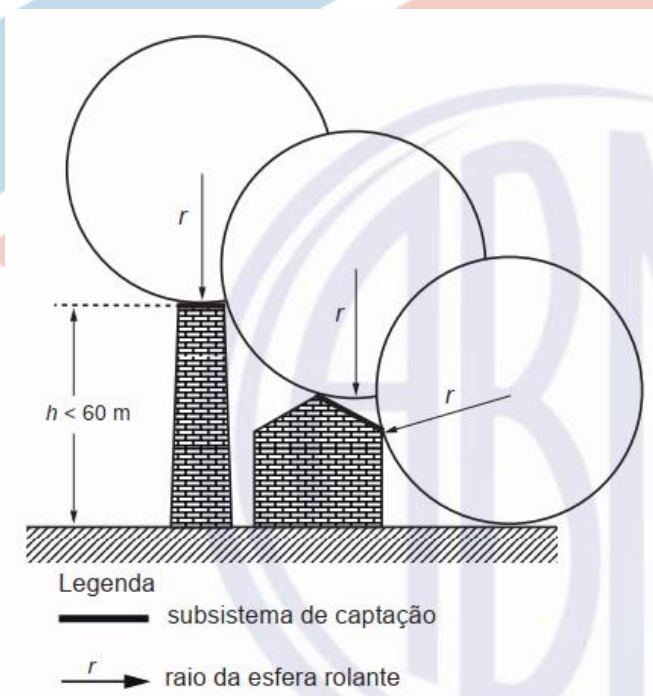


Figura 2 - Representação da esfera rolante fictícia no método da esfera rolante. Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015.

A norma ABNT NBR 5419-3 prevê três métodos de dimensionamento desse sistema: malhas (ou gaiola de Faraday), esfera rolante (ou eletrogeométrico) e ângulo de proteção (ou método de Franklin). Nesse projeto foi utilizado o método da esfera rolante.

Para um SPDA Classe II, considera-se uma esfera rolante fictícia com 30 m de raio rolando pelo solo e pelo telhado da edificação. Se essa esfera toca apenas o solo e os captosres, sem encostar em qualquer parte da estrutura, ela é considerada protegida contra descargas atmosféricas.

A fim de garantir a proteção, foram distribuídos aproximadamente 123 captosres em haste a longo dos telhados da estrutura, na forma de terminais aéreos de alumínio 3/8" x 600 mm dispostos em malha. O posicionamento foi conferido através de métodos gráficos. As partes metálicas do telhado servirão como elemento de interligação.

8.2 Subsistema de descida

O subsistema de descida é composto por condutores, expostos ou não, responsáveis por conduzir a descarga atmosférica da captação ao subsistema de aterramento.

As descidas serão internas, pelos pilares da estrutura, utilizando condutores de cobre nu de seção transversal 35 mm² interligados às ferragens dos pilares. Eles serão conectados ao subsistema de captação através de cabo de cobre nu com seção 35mm² e conectores apropriados para as fixações nas treliças metálicas e nos pilares, conforme detalhes na Prancha 02.

8.3 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento tem a função de dispersar as correntes da descarga atmosférica no solo, e é composto por condutores enterrados ou embutidos na fundação das edificações.

Ele será formado por aproximadamente 23 eletrodos de aço 5/8" x 2400 mm revestidos de cobre com alta camada (254 µm) interligados em anel por um cabo de cobre nu de 50 mm². Tanto os eletrodos quanto o condutor devem ser enterrados a uma profundidade mínima de 50 cm e, onde for possível, ficar posicionados a uma distância de 1 m ao redor das paredes externas.

A interligação das hastes com o subsistema de descida será feita com cabo de cobre nu com seção transversal 50mm² através de conectores apropriados, conforme detalhes na Prancha 02. O sistema terá uma haste de aterramento por descida.

Nos locais em que há circulação de pessoas, deverá ser posicionado um anel de aterramento contra tensão de passo com raio mínimo de 1 m circundando os eletrodos. Assim como o anel principal, ele também deve ser montado com cabo de cobre nu de 50 mm².

A resistência de aterramento deverá ser menor que 10 Ω em todas as épocas do ano. Se essa resistência não for atingida, deverão ser acrescentados ao sistema tantos eletrodos quanto forem necessários.

9. EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

O sistema de SPDA será interligado ao sistema de aterramento geral da edificação, por meio de barramentos de equipotencialização em cobre, com dimensões de 50 x 8 mm, garantindo a equalização de potenciais entre as diversas partes metálicas da instalação.

Serão interligados a este sistema a estrutura metálica da edificação, a subestação elétrica, o quadro de transferência automática (QTA) e demais partes metálicas expostas, assegurando a redução de diferenças de potencial perigosas durante a ocorrência de descargas atmosféricas.

10. CRITÉRIOS EXECUTIVOS

A execução do sistema deverá obedecer a critérios rigorosos de qualidade, garantindo a continuidade elétrica e a robustez mecânica de todos os componentes. Todos os materiais empregados deverão apresentar resistência adequada à corrosão, sendo priorizado o uso de aço inoxidável, cobre e alumínio.

As fixações deverão ser compatíveis com o tipo de cobertura existente, evitando danos à estrutura e comprometimento da vedação. Os condutores deverão seguir trajetos preferencialmente retilíneos, evitando laços e curvas desnecessárias, e o sistema deverá ser concebido de forma a permitir fácil acesso para inspeções e manutenções futuras.

11. DESEMPENHO DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento deverá apresentar resistência elétrica inferior a 10 ohms em qualquer época do ano. Caso este valor não seja atingido após a execução, deverão ser adotadas medidas corretivas, tais como a ampliação da malha de aterramento ou a adição de novos eletrodos, até que o desempenho especificado seja alcançado.

12. MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO

A confiabilidade do sistema de SPDA está diretamente relacionada à sua correta manutenção e inspeção periódica. Deverão ser realizadas inspeções após a conclusão da instalação, bem como inspeções periódicas com intervalo máximo de três anos, além de verificações adicionais após a ocorrência de descargas atmosféricas na estrutura.

Durante as inspeções, deverão ser verificados a continuidade elétrica do sistema, o estado das conexões, a presença de corrosão nos componentes e a integridade do sistema de aterramento, sendo todas as irregularidades devidamente registradas em relatório técnico.

13. CONCLUSÃO

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas projetado atende aos requisitos técnicos e normativos aplicáveis, proporcionando proteção adequada à edificação do Superviza Atacadista.

A correta execução, aliada à manutenção periódica do sistema, é essencial para garantir sua eficiência e a segurança das instalações, equipamentos e pessoas.



Sidnei de Pelegrin
Eng.º Eletricista
CREA-SC 097127-5

14. ANEXO 1 - LISTA DE MATERIAIS

	Descrição	Qtde	Unid.
1	Terminal aéreo 7/8" x 1/8" x 600mm	130	pç
2	Parafuso auto brocante 5,5x25mm com vedação	140	pç
3	Parafuso auto atarraxante 25x7/32" Inox	140	pç
4	Parafuso em inox M12x20mm + porca, arruela lisa e arruela de pressão	140	pç
5	Caixa inspeção de terra cônica 300 x 250mm	23	pç
6	Tampa para caixa de inspeção 300mm POLIPROPILENO	23	pç
7	Massa de vedação asfáltica	1	pç
8	Haste de aterramento de alta camada 5/8" x 2400mm	23	pç
9	Conector cabo haste (95mmx5/8") ferramenta - AY-96/CY-96 - Matriz - IU-997	30	pç
10	Conector Cabo - Cabo - 95-120mm ² para 95-120mm ²	23	pç
11	Conector cabo haste (35mmx5/8") ferramenta - AY-96/CY-96 - Matriz - IU-998	30	pç
12	Conector cabo cabo (16x70mm") ferramenta - AY-96/CY-96 - Matriz - IU-997	26	pç
13	Conector cabo cabo (35mmx5/8") ferramenta - AY-96/CY-96 - Matriz - IU-O	40	pç
14	Cabo de Cobre 95mm ² NU	600	m
15	Terminal de compressão de cobre tipo olhal 50mm	25	pç
16	Cabo de cobre 35mm ² Nu	100	m
17	Terminal de compressão de cobre tipo olhal 35mm	25	pç
18	PFRS - CONECTOR PARAFUSO FENDIDO COM ROSCA SOBERBA 6-6mm e 35-35mm	70	pç
19	PF - CONECTOR PARAFUSO FENDIDO (SPLIT BOLT) 35mm ² principal - 2,5-35mm ² derivação	40	pç
20	Barramento de cobre chato 1 1/2"x3/16" (40x5mm) 952A	1	mt
21	Conector Cabo - Cabo - 25-35mm ² para 16-70mm ²	70	pç
22	PF SEXTAVADO MA RI M-08 X 30 ZB	60	pç
23	ARRUELA LISA DIM-125 08MM ZB	120	pç
24	ARRUELA PRESSAO M-08 ZB	60	pç
25	PORCA SEXTAVADA CLASSE 6 M-08 MA ZB	60	pç
26	PF SEXTAVADO MA RI M-08 X 40 ZB	60	pç
27	ARRUELA LISA DIM-125 08MM ZB	120	pç
28	ARRUELA PRESSAO M-08 ZB	60	pç
29	PORCA SEXTAVADA CLASSE 6 M-08 MA ZB	60	pç
30	PF SEXTAVADO MA RI M-10 X 50 ZB	80	pç
31	ARRUELA LISA DIM-125 10MM ZB	160	pç
32	ARRUELA PRESSAO M-10 ZB	80	pç
33	PORCA SEXTAVADA CLASSE 6 M-10 MA ZB	80	pç
34	PF SEXTAVADO MA RI M-10 X 70 ZB	40	pç
35	ARRUELA LISA DIM-125 10MM ZB	80	pç
36	ARRUELA PRESSAO M-10 ZB	40	pç
37	PORCA SEXTAVADA CLASSE 6 M-10 MA ZB	40	pç
38	Presilha tipo latão para cabo 35mm ²	100	pç
39	Parafuso Philips GE 50x4,8mm	200	pç
40	Bucha de PVC S8	200	pç
41	Abraçadeira Helerman T120	300	pç