

**PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
APLICADA A CENTRO DE EDUCAÇÃO INFANTIL EM CURITIBA**

Eduardo Rodrigues Karpinski

Murilo Henrique De Oliveira

Orientador: MSc. Tiago Gutierrez

Departamento De Engenharia Centro Universitário Unicuritiba

Trabalho De Conclusão de Curso TCC

**RESUMO**

Com esse trabalho apresentaremos os conceitos para um projeto de Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Mostrando os métodos de proteção a ser definido a proteção a cada classe de edificação, com a mais adequada a ser instalada, parâmetros como área e altura serão decisivos a chegar a um sistema.

Nesta abordagem vamos analisar a geração de uma descarga Atmosférica até a dissipação da mesma a terra, essa onde temos que acarretar a maior segurança possível a e equipamentos e principalmente seres vivos, esse sistema define segurança em primeiro lugar, em questão de raios gerados a partir de um temporal.

Chegamos a um projeto de SPDA a partir de uma estrutura onde definimos classificação de risco que a submete esse local escolhido, região essa também diretamente ligada ao seu potencial de risco ou incidência de raios.

O Presente documento tem como o objetivo de apresentar o projeto de SPDA, Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas, de uma escola, apresentado nas figuras 7 e 8, com a finalidade de verificar a necessidade de instalação do mesmo, com isso seguimos com o gerenciamento de risco descritos na NBR 5419-2:2015.

## **PALAVRAS CHAVE**

SPDA, edificações, raios.

## **INTRODUÇÃO**

Presente trabalho desenvolvido sobre Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), apresentando noções de geração de Raios até a sua dissipação a terra, mostrando conceitos e métodos que são seguidos para a proteção da vida animal, humana e de equipamentos eletroeletrônicos. Fenômeno esse da natureza que pode ser encontrado em qualquer local, porém com alguns fatores que podem tornar mais recorrentes ao o acontecimento, fatores esse que serão vistos e analisados a sua proteção determinante a uma estrutura, para isso segue uma norma regulamentadora para estabelecer regras e os procedimentos desse sistema a NBR 5419:2015. Com a mesma função de conduzir a terra as descargas atmosféricas temos em projetos de edificações três tipos de métodos a dimensionamento a ser seguido que são eles: Haste de Franklin, Gaiola de Faraday ou Malha e o Método De Esfera Rolante.

As descargas atmosféricas são fenômenos existentes da natureza imprevisíveis e que sempre podem causar danos a vida e também material, se prevenir e buscar recursos para manter um sistema protegido sempre e a melhor maneira de manter a vida e economizar em futuros gastos que serão desnecessários.

Analisaremos uma determinada estrutura a apresentaremos os cálculos gerado a partir dessa, informações e metodologias serão embasadas a NBR que seguindo conforme norma estarão todos conceitos em contingência ao que é exigido e determinados a uma proteção correta.

Essa norma está presente para analisar e servir como base de estudos, retirando informações que levem a sua determinada instalação de sua estrutura, principais pontos a serem analisados em uma instalação, informações quanto a sua classificação de risco por exemplo, que será apresentado quanto a sua estrutura que pode ser apresentado um risco onde concedido um método de proteção a essa estrutura terá um risco amenizado.

## CONCEITOS TEORICOS

Para nós poder chegar ao conceito de proteção das descargas atmosféricas primeiro precisamos entender o que são essas descargas e como elas são geradas.

*Descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade (picos de intensidade de corrente acima de um quilo ampère), que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro de tempestades. A descarga inicia quando o campo elétrico produzido por estas cargas excede a capacidade isolante, também conhecida como rigidez dielétrica, do ar em um dado local na atmosfera, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Quebrada a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas. (INPE 2016).*



Figura 01 (inovarium 2017)

## METODOS DE PROTEÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFERICAS

Agora que temos um conceito do que seria a descarga atmosférica, vamos ver quais os métodos existentes para proteção dessas descargas, métodos esses estudados e analisados em cada situação a ser executado, existente hoje em dia três principais métodos seguindo a NBR-5419:2015 são eles.

### METODO GAIOLA DE FARADAY

*O princípio de funcionamento de uma Gaiola de Faraday consiste em dividir o maior número de vezes possível a corrente resultante de uma descarga atmosférica por meio de uma rede de condutores. Este tipo de*

*sistemas assegura uma dissipação eficiente da corrente associada ao processo da descarga. (INFOCONTROL).*

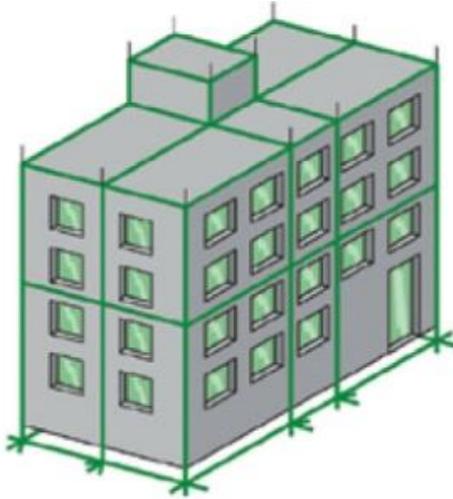


Figura 02 (ELETRO JR 2020)

*Uma vez que, nos condutores, todas as cargas encontram-se distribuídas em sua superfície, o campo elétrico em seu interior torna-se nulo e, como consequência, não há diferença de potencial elétrico no interior desses materiais. Tal comportamento assegura que qualquer corpo deixado no interior de um condutor fechado se verá livre da influência de campos elétricos externos, por mais intensos que sejam. Quando um campo elétrico externo é direcionado a uma gaiola de Faraday, os elétrons da gaiola se rearranjam de modo que o campo elétrico do interior da gaiola continue nulo. Dessa maneira, com esses dispositivos, é possível evitar a ocorrência de uma descarga elétrica ou, ainda, a incidência de uma onda eletromagnética. (BRASIL ESCOLA 2023).*

## **METODO FRANKLIN**

*Neste conceito de proteção tem a existência de um captor em cima da estrutura, onde irá receber o raio, e assim o para-raios dissipa aos condutores de descida até o ponto de aterramento, nessa configuração de proteção e mais utilizado em edifícios e não em terrenos como por exemplo industrias onde com a altura desse captor muito elevada já não teria a eficiência esperada e sendo economicamente não viável, estrutura mais largas e compridas leva em consideração o conceito de proteção da gaiola de Faraday. (CEDS 2018).*

Podemos concluir que este método do SPDA leva em consideração ao conceito de um cone, onde no topo na altura do captor, em um determinado ângulo definido a sua classe de proteção, gera o campo que estará sendo protegido contra as descargas atmosféricas.



Figura 3 (CEDS 2018)

## **METODO ELETROGEOMETRICO**

*A aplicação do método conhecido como esfera rolante consiste, basicamente, em rolar-se uma esfera imaginária (figura4) por todas as partes externas da edificação. Esta esfera tem em seu raio (R) uma projeção estimada da distância entre o ponto de partida do líder ascendente (terra – nuvem) e a extremidade do líder descendente (nuvem – terra) que formam a descarga atmosférica. Assim, os locais em que a esfera tangencia a estrutura são preferenciais (tem maior probabilidade) para o impacto direto das descargas atmosféricas. Resumindo, pode-se dizer que “os locais onde a esfera toca mostram onde provavelmente os raios irão impactar” e, portanto, devem ser protegidos. Esta proteção deve ser obtida por meio da instalação de condutores de tal modo que eles apoiem a esfera rolante sem permitir que ela se apoie na estrutura a ser protegida. (termo técnica 2021).*

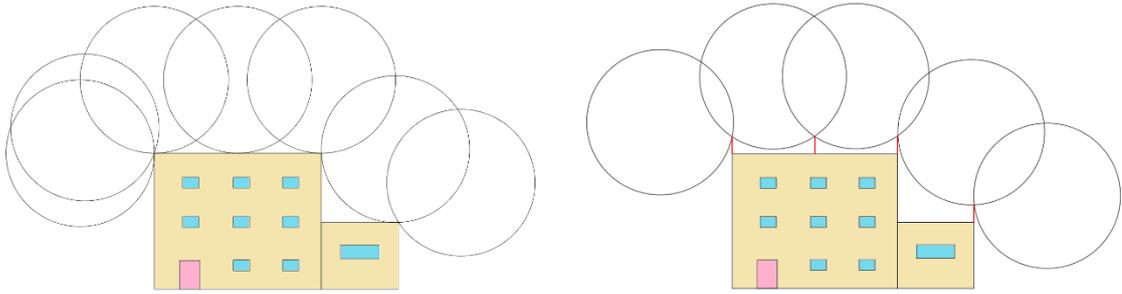


Figura 04 (termotécnica 2021)

## **ATERRAMENTO DO SPDA**

Após o raio ser recebido pelo captor ele terá que descer até a terra onde será dissipado com segurança garantindo que nenhuma estrutura ou vida sofra danos com esse fenômeno, com isso será encaminhado através do sistema de descida até o aterramento. Um dos métodos de aterramento do SPDA consiste em uma malha de aterramento em formato de anel interligando o contorno da instalação conforme (figura 5) com isso hastes de aço carbono revestidas em cobre são instaladas na vertical a terra, com o intuito de haver a redução da resistência dessa malha, onde cálculos de acordo com a sua localidade a terra influenciara a quantidade dessas hastes de aterramento.

O sistema do SPDA (Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas) como todo tem sua devida importância quanto a sua funcionalidade quando a uma descarga, porém o aterramento será o fator crucial para que podemos tem um sistema seguro e eficaz, onde o aterramento também ficara enterrado a terra, dificultando assim também um método de manutenção corretiva, por isso fatores determinantes serão essenciais a gerar um bom sistema de aterramento.



Figura 05 (multiseg)

## DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho apresentado tem como objetivo a análise para execução do projeto de SPDA analisando uma estrutura na Região de Curitiba, (figura 06) precisamente no bairro do São Braz, estrutura esse presente que hoje é um (CMEI) Centro Municipal De Educação Infantil, local abrigoando crianças de idade de 06 meses a 05 anos de idade, estrutura de pavimento simples 1 andar em estilo de casa.

Com maior precisão a medida da área foi realizado a medição através do app mymaps onde é possível coletar a área do terreno e analisar quanto a sua estrutura.



Figura 06 (Edifício - Fonte: MyMaps)

Em azul apresenta a Area da estrutura a ser analisada, terreno em formato irregular, pois a aquisição de outra parte do terreno foi adquirida posterior a inauguração do CMEI, terreno com somente um portão de entrada, se encontrado ao lado direito da (figura 06).

Terreno com 239 metros de perímetro e com uma área total de 1610mt<sup>2</sup>, porém para análise de cálculos será considerado a área construída de cada instalação nesse caso cada área denominasse salas de aula.

Área 1 com 93m de perímetro e 480Mt<sup>2</sup> de ponta a ponta



Figura 07 (Edifício 1 – Fonte: MyMaps)

Area 2 tem 61 metros de perímetro e 230mt<sup>2</sup>



Figura 08 ( Edifício 2 – Fonte: My Maps)

## INFORMAÇÕES PRÉVIAS DA EDIFICAÇÃO

Visto que o projetos consiste em duas edificações no mesmo local foi descrito abaixo as dimensões separadamente.

- a) Tipo de Edificação: Educacional
- b) Nível de Proteção: sem proteção de SPDA
- c) Número de Pavimentos: 1

### Dimensões edifício 1

Área Total: 480m<sup>2</sup>

Altura do edifício 1: 4,50m

Comprimento: 32m

Largura: 15m

### **Dimensões edifício 2**

Área Total: 225m<sup>2</sup>

Altura do edifício 1: 4,50m

Comprimento: 15m

Largura: 15m

### **NORMAS TÉCNICAS APLICADAS NO PROJETO**

Para o projeto foi utilizado as normas da NBR 5419-1-2-3-4:2015 (Sistema de Proteção De Descargas Atmosfericas).

### **CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A fim de se evitar falsas expectativas sobre os sistemas de proteções contra descargas atmosféricas projetados, gostaríamos de fazer os seguintes esclarecimentos:

- A implantação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), é normalizada internacionalmente pela IEC (International Electrotechnical Commission), e em cada país por entidades próprias como a ABNT (Brasil) NFPA (Estados Unidos) e BSI (Inglaterra).
- Somente os projetos elaborados com base em disposições destas normas, podem assegurar uma instalação eficiente e confiável. Entretanto, esta eficiência nunca atinge os 100%, mesmo estando estas instalações sujeitas a falhas de proteção. As mais comuns são as destruições de pequenos trechos do revestimento de fachadas, ou de quinas da edificação.
- A descarga atmosférica (raio), é um fenômeno da natureza absolutamente imprevisível e aleatório, tanto em relação as suas características elétricas (intensidade de corrente, tempo de duração etc.) como em relação aos efeitos destruidores, decorrentes de sua incidência sobre edificações.
- Nada em termos práticos pode ser feito para se impedir a “queda” de uma descarga em determinada região. Não existe “atração” a longas distâncias

sendo os sistemas prioritariamente receptores. Assim sendo, as soluções internacionalmente aplicadas buscam tão somente minimizar os efeitos destruidores, a partir da colocação de pontos preferenciais de captação e condução segura das descargas para terra.

- Todos os dados utilizados para realização do documento foram fornecidos pelo cliente.
- O risco considerado para a estrutura avaliados foi R1 – perda de vida humana (L1), os componentes de risco são determinados e comparados com o risco tolerável  $RT= 10^{-5}$ . Avaliação econômica não foi requerida uma vez que o risco R4 para perda econômica L4, não foi considerado.

## **TERMOS E CONDIÇÕES**

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

**Estrutura a ser protegida:** estrutura para qual a proteção é necessária contra os efeitos de descargas atmosféricas de acordo com a NBR 5419-2015;

**Ambiente urbano:** área com alta densidade de edificações ou comunidades densamente populosas com edifícios altos;

**Ambiente suburbano:** área com uma densidade média de edificações;

**Ambiente rural:** área com baixa densidade de edificações

**Linha:** linhas de energia ou linha de sinal conectado a estrutura a ser protegida;

**Linhas de sinais:** linhas utilizadas para comunicação entre equipamentos que podem ser instalados em estruturas separadas, como as linhas telefônicas e as linhas de dados;

**Linhas de energia:** linhas de transmissão que fornecem energia elétrica, dentro de uma estrutura aos equipamentos eletrônicos e elétricos localizados nesta, por exemplo, os quadros elétricos de baixa tensão (BT) ou alta tensão (AT);

**Medidas de proteção:** medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir riscos;

**Sistema contra descargas atmosféricas (SPDA):** Sistema utilizado para reduzir danos físicos devidos às descargas atmosféricas em uma estrutura;

**Dispositivos contra surtos (DPS):** dispositivo destinado a limitar sobretensões e desviar correntes de surto. Contém pelo menos uma componente não linear;

**Risco (R):** Valor de perda média anual provável (pessoas e bens) devido a descarga atmosférica em relação ao valor total (pessoas e bens) da estrutura a ser protegida;

**Componente de risco (RX):** Risco parcial que depende da fonte e do tipo de dano;

**Danos:** Os ferimentos aos seres vivos, físicos às estruturas e falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos.

**Perdas:** Perdas de vidas humanas, instalação de serviço ao público, memória cultural e valor econômico.

**Risco tolerável (RT):** Valor máximo do risco que pode ser tolerável a estrutura a ser protegida;

**Zona de uma estrutura (ZS):** Parte de uma estrutura com características homogêneo somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de componente de risco;

**Nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP):** número associado a um conjunto de parâmetros de corrente de descarga atmosférica para garantir que os valores especificados em projeto não estão superdimensionados ou subdimensionados quando da ocorrência de uma descarga atmosférica. O nível de proteção contra descargas atmosféricas é utilizado para projetar as medidas de proteção de acordo com o conjunto relevante de parâmetros da corrente de descarga atmosférica;

**Medidas de proteção:** medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir os riscos.

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

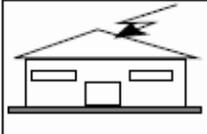
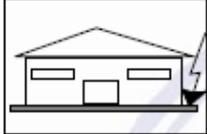
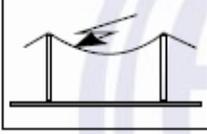
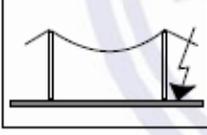
**Dissipação Correntes Elétricas:** Em relação a corrente elétrica das descargas atmosféricas dissipadas para o solo, elas podem atingir uma estrutura por quatro vias diferentes por meio de uma edificação e designadas das seguintes formas:

**S1:** Descarga atmosférica atinge diretamente uma edificação;

**S2:** Descarga atmosférica atinge região próxima a edificação;

**S3:** Descarga atmosférica atinge diretamente a linha que adentra à edificação;

**S4:** Descarga atmosférica atinge proximamente a linha que adentra à edificação.

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>a</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
	S2	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>a</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
	S4	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4

<sup>a</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.  
<sup>b</sup> Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Tabela: 1 – Fonte de dados e tipos de danos de acordo com o ponto de impacto  
(NBR 5419-2:2015)

### Variáveis de Cálculo

A norma leva em consideração para variáveis dos cálculos Perdas, Danos, Risco e Falhas de acordo com o ponto de impacto na estrutura, a norma passa a correlacionar as informações para o projetista averiguar o risco e tomar medidas de proteção cabíveis para a situação analisada, visto que a segurança e proteção de vidas e patrimônio é uma necessidade, essas informações são designadas das seguintes formas:

**D1:** Ferimentos aos seres vivos

**D2:** Danos físicos às estruturas

**D3:** Falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos

**L1:** Perdas de vidas humanas

**L2:** Perda de instalação de serviço ao público

**L3:** Perda de memória cultural

**L4:** Perda de valor econômico

**R1:** Risco de perda humana em uma estrutura;

**R2:** Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura

**R3:** Risco de perda ao patrimônio cultural em uma estrutura;

**R4:** Risco de perda do valor econômico em uma estrutura;

## **COMPONENTES DE RISCO**

A NBR 5419-2:2015, informa que cada risco é composto pela soma de seus componentes e ao estimar um risco, os componentes que o compõem podem ser agrupados em conformidade com as fontes de danos e tipos de danos, elas são classificadas das seguintes formas:

- **Componente de risco para uma estrutura**

**RA:** Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura);

**RB:** Componente de risco (danos físicos na estrutura - descarga atmosférica na estrutura);

**RC:** Componente de risco (falha dos sistemas internos - descarga atmosférica na estrutura).

- **Componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura**

**RM:** Componente de risco (falha dos sistemas internos - descarga atmosférica na estrutura);

- **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura**

**RT:** Risco tolerável;

**RU:** Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada);

**RV:** Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada);

**RW:** Componentes de risco (falha dos sistemas internos - descarga atmosférica na linha conectada);

**RX:** Componente de risco para uma estrutura;

- Componente de risco para uma construção em virtude das descargas atmosféricas próximo a uma rede operante na construção

**RZ:** Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica para linha);

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

<sup>a</sup> Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

<sup>b</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Tabela 2 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura (NBR 5419-2: 2015)

**FORMAÇÃO DOS COMPONENTES DE RISCO**

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), os elementos de risco considerados são especificados abaixo:

**R1: Risco de perda de vida humana:**

$$R1 = RA_1 + RB_1 + RC_1^1 + RM_1^1 + RU_1 + RV_1 + RW_1^1 + RZ_1^1$$

As componentes  $RC_1, RM_1, RW_1$  e  $RZ_1$  se aplicam em construções com risco de explosão e instrumentos utilizados para salvar vidas ou em construções com defeitos em grupos internos ameaçando diretamente vidas humanas.

**R2: Risco de perdas de serviço ao público:**

$$R1 = RB_2 + RC_2 + RM_2 + RV_2 + RW_2 + RZ_2$$

**R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:**

$$R1 = RB_3 + RV_3$$

**R4: Risco de perdas de valor econômico:**

$$R1 = RC_4^2 + RB_4 + RC_4 + RM_4 + RU_4^2 + RV_4 + RW_4 + RZ_4$$

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 <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	X <sup>b</sup>		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X <sup>c</sup>	X <sup>c</sup>	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X

Tabela:3 - Fatores que influenciam os componentes de risco. (NBR 5419-2: 2015)

tabela: 4

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
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 incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
<sup>a</sup> Somente para SPDA tipo malha externa. <sup>b</sup> Devido a ligações equipotenciais. <sup>c</sup> Somente se eles pertencem ao equipamento.								

Tabela: 4 - Fatores que influenciam os componentes de risco. (NBR 5419-2:2015)

As características descritas no quadro anterior são importantes, pois através delas pode-se melhorar o nível de proteção exigido, utilizando recursos mais acessíveis de acordo com a necessidade e problemática.

A norma NBR 5419/2015 fornece valores de referência no que diz respeito a níveis toleráveis dos riscos de perda de vida humana ou ferimentos permanentes, perda de serviço ao público e perda de patrimônio cultural. Diante de valores que ultrapassem os níveis aceitáveis devem ser adotadas medidas que reduzam e atendam aos níveis toleráveis conforme a tabela a seguir:

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	$10^{-4}$

Tabela: 5 - Valores típicos de risco tolerável  $R_t$  (NBR 5419-2:2015)

## MAPA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS BRASIL

Descargas atmosféricas, também conhecidas como raios, são fenômenos elétricos de grande alcance, se estendendo por vários quilômetros, e possuem uma intensidade elevada, com picos de corrente superiores a um quiloampere. Essas descargas ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões específicas da atmosfera, principalmente durante tempestades.

A densidade de descargas atmosféricas em relação à superfície terrestre ( $N_g$ ) é uma medida que representa o número de raios para a terra por quilômetro quadrado em um ano. Para obtermos os valores da região em que será realizado o estudo para o projeto SPDA, utilizamos dos dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Com base nas informações apresentadas na imagem abaixo foi possível concluir que a densidade de descargas elétricas ( $N_g$ ) na região de Curitiba é de 7 descargas por  $Km^2/ano$

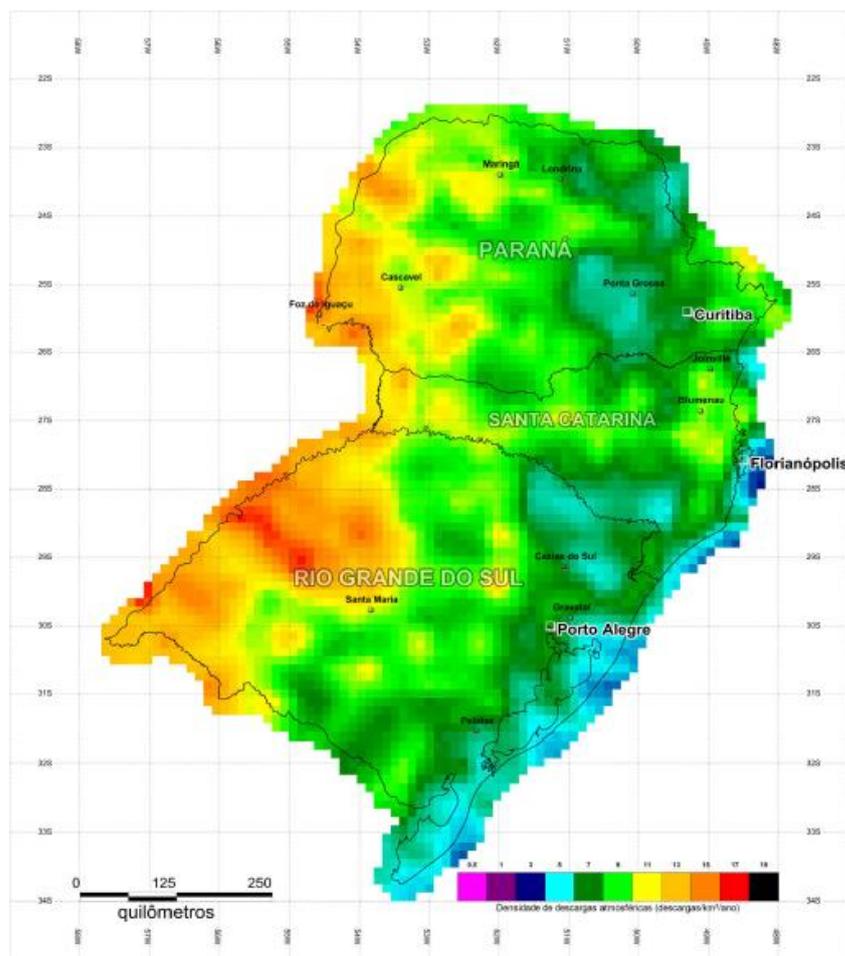


Figura 09 (Mapa de descargas atmosféricas do Brasil -NBR 5419 -2: 2015)

## GERENCIAMENTO DE RISCO

A Norma ABNT NBR 5419: 2 (2015) estabelece os princípios e diretrizes para o gerenciamento de riscos em organizações. De acordo com essa norma, o gerenciamento de riscos é o processo sistemático, estruturado e abrangente de identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos que uma organização enfrenta. Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), a função nesta divisão ABNT NBR 5419-2 é capaz de controlar principalmente na segurança das vidas humanas no momento firmada decorrências das descargas elétricas.

### Características da Estrutura e Meio Ambiente

O centro de Educação infantil nos Edifícios 1 e 2 está localizado em um território plano, cercado por estruturas mais altas. A densidade de cargas para terra é NG= 7. No Edifício 1 temos 113 pessoas, no Edifício 2 temos 60 pessoas. Esse também é o número total de pessoas a serem considerados, porque se assume que não haverá nenhuma pessoa fora da casa durante a tempestade. Demais dados da case seguem na tabela abaixo:

Tabela E.1: Características da estrutura e meio ambiente (EDIFÍCIO 1)						
Parâmetros de entrada	Comentário			Símbolo	Valor	Ref.
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km <sup>2</sup> /ano)	FONTE: INPE			NG	7,0	
Dimensões da estrutura (m)	1					
	L (Comprimento)				32,00	2321,56
	W (Largura)				15,00	
	H (Altura)				4,50	
Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1				0,0		
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos			CD	0,25000	Tabela A.1
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA			PB	1,00000	Tabela B.2
Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)				n <sub>t</sub>	113	

Tabela: 6 - Dados da estrutura e meio ambiente – Edifício 1 (autores 2023)

Tabela E.1: Características da estrutura e meio ambiente (EDIFÍCIO 2)						
Parâmetros de entrada	Comentário			Símbolo	Valor	Ref.
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km <sup>2</sup> /ano)	FONTE: INPE			NG	7,0	
Dimensões da estrutura (m)	1					
	L (Comprimento)				15,00	1607,56
	W (Largura)				15,00	
	H (Altura)				4,50	
Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1				0,0		
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos			CD	0,25000	Tabela A.1
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA			PB	1,00000	Tabela B.2
Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)				n <sub>t</sub>	60	

Tabela: 7 - Dados da estrutura e meio ambiente – Edifício 2 (autores 2023)

## Características da Linha de Energia

O centro de Educação infantil nos Edifícios 1 e 2 utiliza das mesmas Características para o abastecimento da linha de energia interna que alimentam as Edificações. Na tabela abaixo são dados detalhes das linhas que adentram e seus sistemas internos conectados.

Tabela E.2: Linha de Energia (EDIFÍCIO 1 / EDIFÍCIO 2)						
Parâmetros de entrada	Comentário			Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha? SIM	1					
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)			LL <sub>lp</sub>	1,000,00	
Fator de Instalação	Enterrado			CI <sub>lp</sub>	0,50000	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal			CT <sub>lp</sub>	1,00000	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano			CE	0,50000	Tabela A.4
Blindagem da linha	1			RS <sub>lp</sub>	-	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada			CLD <sub>lp</sub>	1,00000	Tab. B.4
				CL <sub>lp</sub>	1,00000	
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente			L <sub>lp</sub>	0,00000	Tamanho da estrutura
				W <sub>lp</sub>	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos			H <sub>lp</sub>	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos			CD <sub>lp</sub>	0,00000	Tabela A.1
Tensão suportável do sist. interno (kV)	1			U <sub>wlp</sub>	1,00000	Tabela B.8
	Parâmetros resultantes			KS <sub>4lp</sub>	1,00000	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportavel			PLD <sub>lp</sub>	1,00000	Tabela B.8
Tipo da linha	1			PL <sub>lp</sub>	1,00000	Tabela B.9

<sup>a</sup> Como o comprimento LL da seção da linha é desconhecido, LL = 1 000 m é assumido (ver A.4 e A.5).

Tabela: 8 - Dados da linha de energia – Edifício 1 e 2 (autores 2023)

## Características da Linha de Sinal

Em ambos os Edifícios utilizamos as mesmas característica. As linhas de sinais citadas nas planilhas abaixo são referentes a comunicação entre equipamentos que podem ser instalados em estruturas separadas, como as linhas telefônicas e as linhas de dados

Tabela E.3: Linha de Sinal (EDIFÍCIO 1 / EDIFÍCIO 2)						
Parâmetros de entrada	Comentário			Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha? SIM	1					
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)			LL <sub>lk</sub>	1,000,00	
Fator de Instalação	Aéreo			CI <sub>lk</sub>	1,00000	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal			CT <sub>lk</sub>	1,00000	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano			CE	0,50000	Tabela A.4
Blindagem da linha	1			RS <sub>lk</sub>	-	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada			CLD <sub>lk</sub>	1,00000	Tab. B.4
				CL <sub>lk</sub>	1,00000	
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente			L <sub>lk</sub>	0,00000	Informe os tamanhos da estrutura
				W <sub>lk</sub>	0,00000	
				H <sub>lk</sub>	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos			CD <sub>lk</sub>	0,00000	Tabela A.1
Tensão suportável do sist. interno (kV)	1			U <sub>wlk</sub>	1,00000	Tabela B.8
	Parâmetros resultantes			KS <sub>4lk</sub>	1,00000	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportavel			PLD <sub>lk</sub>	1,00000	Tabela B.8
Tipo da linha	2			PL <sub>lk</sub>	1,00000	Tabela B.9

<sup>a</sup> Como o comprimento LL da seção da linha é desconhecido, LL = 1 000 m é assumido (ver A.4 e A.5).

Tabela: 9 - Dados da linha de Sinal – Edifício 1 e 2 (autores 2023)

## Características da Zona de Exposição

A zona de exposição do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) refere-se à área onde se espera que a descarga atmosférica atinja o sistema de proteção. Para determinar essa zona, são considerados dados específicos da construção da edificação, bem como as medidas de proteção contra incêndio adotadas. Abaixo estão listadas as informações dos Edifícios 1 e 2 na tabela a seguir.

<b>Tabela E.4: Características da Zona de Exposição (EDIFÍCIO 1 / EDIFÍCIO 2)</b>					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	$r_t$	1,00E-03	<a href="#">Tabela C.3</a>	
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00	<a href="#">Tabela B.1</a>	
Proteção contra choque (desc. na linha)	Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00	<a href="#">Tabela B.6</a>	
Risco de incêndio ou Explosão	1	$r_f$	1,00E+00	<a href="#">Tabela C.5</a>	
Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	$r_p$	0,50	<a href="#">Tabela C.4</a>	
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	1				
	$w_{m1}$ (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	$w_{m1}$	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2	
	$w_{m2}$ (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	$w_{m2}$	0,00000		
	$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$	$K_{S1}$	0,00010	Eq. (B.5)	
	$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$	$K_{S2}$	0,00010	Eq. (B.6)	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3p}$	1,0000	<a href="#">Tabela B.5</a>
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3t}$	1,0000	<a href="#">Tabela B.5</a>
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,000	<a href="#">Tabela B.7</a>
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,000	<a href="#">Tabela B.3</a>

Tabela: 10 - Dados da Zona de Exposição – Edifício 1 e 2 (autores 2023)

## Tipos de perda inaceitável vida Humana

As perdas inaceitáveis de vidas humanas em um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) referem-se a situações em que pessoas estão expostas a riscos graves ou fatais devido a falhas no sistema de proteção ou ações inadequadas durante uma descarga atmosférica. Várias categorias de perdas inaceitáveis de vidas humanas estão relacionadas ao SPDA, tais como falha na captura, má conexão do sistema de aterramento e proteção insuficiente. A fim de prevenir tais falhas, são consideradas diversas informações sobre a ocupação do edifício durante o cálculo e gerenciamento de riscos. No caso dos Edifícios 1 e 2, que apresentam diferentes tipos de ocupação, os levantamentos e cálculos foram realizados separadamente.

Tabela E.5: Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1 (EDIFÍCIO 1)					
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	$h_z$	5,00	Tabela C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	2	LF1	1,00E-01	
	Falhas de sistemas int.	4	LO1	0,00E+00	
Fator para pessoas na Zona		Número de pessoas na zona de perigo	$n_z$	5	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	$n_t$	113	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	$Thor$	12	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	$Tdia$	305	
Parâmetros resultantes L1		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	$t_z$	3660	
		$LU = LA = n_t \times LT \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$	$LU = LA$	1,85E-07	Eq. (C.1)
		$LB = LV = r_p \times r_t \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$	$LB = LV$	4,62E-03	Eq. (C.3)
		$LC1 = LM = LW = LZ = LO1 \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$ - calcular quando mais de uma Zona	$LC = LM = LW = LZ$	0,00E+00	Eq. (C.4)
		$RA = ND \times PA \times LA$	RA	5,20E-10	(6)
		$RB = ND \times PB \times LB$	RB	1,30E-05	(7)
		$RC = ND \times PC \times LC$	RC	0,00E+00	(8)
		$RM = NM \times PM \times LM$	RM	0,00E+00	(9)
		$RUP = (NUP + NDJP) \times PUP \times LU$	RUP	1,29E-08	(10)
		$RUT = (NUT + NDJT) \times PUT \times LU$	RUT	2,59E-08	(10)
		$RU = RUP + RUT$	RU	3,88E-08	(10)
		$RVP = (NVP + NDJP) \times PVP \times LV$	RVP	3,24E-04	(11)
		$RVT = (NVT + NDJT) \times PVT \times LV$	RVT	6,47E-04	(11)
		$RV = RVP + RVT$	RV	9,71E-04	(11)
		$RWIP = (NUP + NDJP) \times PWP \times LW$	RWIP	0,00E+00	(12)
		$RWIT = (NUT + NDJT) \times PWT \times LW$	RWIT	0,00E+00	(12)
		$RW = RWIP + RWIT$	RW	0,00E+00	(12)
		$RZP = NIP \times PZP \times LZ$	RZP	0,00E+00	(13)
		$RZIT = NIT \times PZIT \times LZ$	RZIT	0,00E+00	(13)
		$RZ = RZP + RZIT$	RZ	0,00E+00	(13)

Tabela: 11 - Tipo de perda inaceitável vida Humana – Edifício 1 (autores 2023)

Tabela E.5: Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1 (EDIFÍCIO 2)					
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	$h_z$	2,00	Tabela C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	2	LF1	1,00E-01	
	Falhas de sistemas int.	4	LO1	0,00E+00	
Fator para pessoas na Zona		Número de pessoas na zona de perigo	$n_z$	5	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	$n_t$	60	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	$Thor$	12	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	$Tdia$	305	
Parâmetros resultantes L1		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	$t_z$	3660	
		$LU = LA = n_t \times LT \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$	$LU = LA$	3,48E-07	Eq. (C.1)
		$LB = LV = r_p \times r_t \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$	$LB = LV$	3,48E-03	Eq. (C.3)
		$LC1 = LM = LW = LZ = LO1 \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$ - calcular quando mais de uma Zona	$LC = LM = LW = LZ$	0,00E+00	Eq. (C.4)
		$RA = ND \times PA \times LA$	RA	9,79E-10	(6)
		$RB = ND \times PB \times LB$	RB	9,79E-06	(7)
		$RC = ND \times PC \times LC$	RC	0,00E+00	(8)
		$RM = NM \times PM \times LM$	RM	0,00E+00	(9)
		$RUP = (NUP + NDJP) \times PUP \times LU$	RUP	2,44E-08	(10)
		$RUT = (NUT + NDJT) \times PUT \times LU$	RUT	4,87E-08	(10)
		$RU = RUP + RUT$	RU	7,31E-08	(10)
		$RVP = (NVP + NDJP) \times PVP \times LV$	RVP	2,44E-04	(11)
		$RVT = (NVT + NDJT) \times PVT \times LV$	RVT	4,87E-04	(11)
		$RV = RVP + RVT$	RV	7,31E-04	(11)
		$RWIP = (NUP + NDJP) \times PWP \times LW$	RWIP	0,00E+00	(12)
		$RWIT = (NUT + NDJT) \times PWT \times LW$	RWIT	0,00E+00	(12)
		$RW = RWIP + RWIT$	RW	0,00E+00	(12)
		$RZP = NIP \times PZP \times LZ$	RZP	0,00E+00	(13)
		$RZIT = NIT \times PZIT \times LZ$	RZIT	0,00E+00	(13)
		$RZ = RZP + RZIT$	RZ	0,00E+00	(13)

Tabela: 12- Tipo de perda inaceitável vida Humana – Edifício 2 (autores 2023)

## Tipos de perda inaceitável valor Econômico

Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem como objetivo principal proteger vidas e propriedades contra os efeitos prejudiciais de descargas atmosféricas. No entanto, falhas nesse sistema podem resultar em danos materiais com implicações econômicas, como a destruição de equipamentos eletrônicos, interrupção de serviços e necessidade de reparos e substituições. É necessário considerar os aspectos econômicos para garantir uma proteção abrangente e reduzir

os riscos tanto para a vida humana quanto para o valor econômico das instalações. Visando evitar essas falhas foi realizado o levantamento de risco econômico dos Edifícios 1 e 2.

Tabela E.6: Tipos de perdas inaceitável de valor econômico - L4 (EDIFÍCIO 1 / EDIFÍCIO 2)				
Perdas Valor Econômico	1		rt	1,00E-03
Danos Físicos	3		LF4	0,00E+00
Esta zona contém Animais? NÃO	2			Tab. C.12
Valores	ca - Valor dos animais em uma zona, (em milhões)		ca	0,50000
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)		ct	1,00E+00
	LT - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso		LT	1,00E-02
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso		Lo	0,00E+00
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhões)		cb	10,00000
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhões)		cc	2,00000
Parâmetros resultantes L4	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhões)		cs	1,50000
	LA=LU = rt x LT x ca / ct		LA	5,00E-06
	LB = LV x rp x rf x LF x (ca + cb + cc + cs) / ct		LB	0,00E+00
	LC = LM = LW = LZ = LO x cs / ct		LC	0,00E+00
	RA=ND x PA x LA		RA	0,00E+00
	RB=ND x PB x LB		RB	0,00E+00
	RC=ND x PC x LC		RC	0,00E+00
	RM=NM x PM x LM		RM	0,00E+00
	RUP = (NLP + NDJP) x PUP x LU		RUP	3,50E-07
	RUT = (NLT + NDJT) x PUT x LU		RUT	7,00E-07
	RU = RUP+RUT		RU	1,05E-06
	RVP = (NLP + NDJP) x PVP x LV		RVP	0,00E+00
	RVT = (NLT + NDJT) x PVT x LV		RVT	0,00E+00
	RV = RVP+RVT		RV	0,00E+00
	RWIP = (NLP + NDJP) x PWP x LW		RWIP	0,00E+00
	RWIT = (NLT + NDJT) x PWT x LW		RWIT	0,00E+00
	RW = RWIP+RWIT		RW	0,00E+00
	RZP = NUP x PZP x LZ		RZP	0,00E+00
	RZIT = NUT x PZIT x LZ		RZIT	0,00E+00
	RZ = RZP+RZIT		RZ	0,00E+00

Tabela: 13 - Tipo de perda inaceitável valor econômico – Edifício 1 e 2 (autores 2023)

### Área de exposição equivalente da Estrutura e Linhas

Durante a avaliação de risco do SPDA, são identificadas as áreas de exposição de uma linha e estrutura que apresentam maior probabilidade de serem atingidas por descargas atmosféricas. É essencial determinar as medidas de proteção necessárias com base nessas áreas. A fim de reduzir o risco, foi realizado um levantamento e cálculos em conjunto com o projeto. É importante ressaltar que o levantamento das informações foi realizado separadamente em ambos os edifícios

Tabela E.7: Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas - (EDIFÍCIO 1)				
Parâmetros de entrada	Equação	Símbolo	Resultado m <sup>2</sup>	Ref. Equação
Estrutura	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	A D	2,32E+03	(A.2)
	$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$	A M	8,32E+05	(A.7)
Linha de energia	$A_{LIP} = 40 \times LL$	A LIP	4,00E+04	(A.9)
	$A_{LIP} = 4\,000 \times LL$	A LP	4,00E+06	(A.11)
	$A_D = L_{JIP} \times W_{JIP} + 2 \times (3 \times H_{JIP}) \times (L_{JIP} + W_{JIP}) + \pi \times (3 \times H_{JIP})^2$	A DJIP	0,00E+00	(A.2)
Linha Telecom	$A_{LIT} = 40 \times LL$	A LIT	4,00E+04	(A.9)
	$A_{LIT} = 4\,000 \times LL$	A IT	4,00E+06	(A.11)
	$A_D = L_{JIT} \times W_{JIT} + 2 \times (3 \times H_{JIT}) \times (L_{JIT} + W_{JIT}) + \pi \times (3 \times H_{JIT})^2$	A DJIT	0,00E+00	(A.2)

Tabela: 14 - Área de exposição estrutura e linha – Edifício 1 (autores 2023)

Tabela E.7: Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas - (EDIFÍCIO 2)				
Parâmetros de entrada	Equação	Símbolo	Resultado m2	Ref. Equação
Estrutura	$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	AD	1,81E+03	(A.2)
	$AM = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$	AM	8,15E+05	(A.7)
Linha de energia	$ALIP = 40 \times LL$	ALIP	4,00E+04	(A.9)
	$ALP = 4\,000 \times LL$	ALP	4,00E+06	(A.11)
	$AD = LJP \times WJP + 2 \times (3 \times HJP) \times (LJP + WJP) + \pi \times (3 \times HJP)^2$	ADJP	0,00E+00	(A.2)
Linha Telecom	$ALIT = 40 \times LL$	ALIT	4,00E+04	(A.9)
	$ALT = 4\,000 \times LL$	ALT	4,00E+06	(A.11)
	$AD = LJT \times WJT + 2 \times (3 \times HJT) \times (LJT + WJT) + \pi \times (3 \times HJT)^2$	ADJT	0,00E+00	(A.2)

Tabela: 15 - Área de exposição estrutura e linha – Edifício 2 (autores 2023)

### Número anual de eventos perigosos

O número esperado anual de eventos perigosos em um SPDA refere-se à estimativa média do número de descargas atmosféricas que podem atingir uma estrutura ou área específica durante um ano. Esse cálculo é baseado em dados históricos de incidência de raios na região, considerando fatores como a frequência de tempestades elétricas, o clima local e a geografia da área em questão. O objetivo dessa avaliação é determinar o risco associado ao SPDA e planejar as medidas de proteção apropriadas. Vale ressaltar que o levantamento das informações foi realizado separadamente em ambos os edifícios.

Tabela E.8: Número esperado anual de eventos perigosos - (EDIFÍCIO 1)				
Parâmetros de entrada	Equação	Símbolo	Resultado /1 ano	Ref. Equação
Estrutura	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$	ND	4,06E-03	(A.4)
	$NM = NG \times AM \times 10^{-6}$	NM	5,83E+00	(A.6)
Linha de energia	$NLIP = NG \times ALIP \times CIP \times CEP \times CTP \times 10^{-6}$	NLIP	7,00E-02	(A.8)
	$NIP = NG \times ALP \times CIP \times CEP \times CTP \times 10^{-6}$	NIP	7,00E+00	(A.10)
	$NDJP = NG \times ADJP \times CDJP \times CTP \times 10^{-6}$	NDJP	0,00E+00	(A.5)
Linha Telecom	$NLIT = NG \times ALIT \times CIT \times CEIT \times CIT \times 10^{-6}$	NLIT	1,40E-01	(A.8)
	$NIT = NG \times ALT \times CIT \times CEIT \times CIT \times 10^{-6}$	NIT	1,40E+01	(A.10)
	$NDJT = NG \times ADJT \times CDJT \times CTT \times 10^{-6}$	NDJT	0,00E+00	(A.5)

Tabela: 16 - Número esperado anual de eventos perigosos – Edifício 1 (autores 2023)

Tabela E.8: Número esperado anual de eventos perigosos - (EDIFÍCIO 2)				
Parâmetros de entrada	Equação	Símbolo	Resultado /1 ano	Ref. Equação
Estrutura	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$	ND	2,81E-03	(A.4)
	$NM = NG \times AM \times 10^{-6}$	NM	5,71E+00	(A.6)
Linha de energia	$NLIP = NG \times ALIP \times CIP \times CEP \times CTP \times 10^{-6}$	NLIP	7,00E-02	(A.8)
	$NIP = NG \times ALP \times CIP \times CEP \times CTP \times 10^{-6}$	NIP	7,00E+00	(A.10)
	$NDJP = NG \times ADJP \times CDJP \times CTP \times 10^{-6}$	NDJP	0,00E+00	(A.5)
Linha Telecom	$NLIT = NG \times ALIT \times CIT \times CEIT \times CIT \times 10^{-6}$	NLIT	1,40E-01	(A.8)
	$NIT = NG \times ALT \times CIT \times CEIT \times CIT \times 10^{-6}$	NIT	1,40E+01	(A.10)
	$NDJT = NG \times ADJT \times CDJT \times CTT \times 10^{-6}$	NDJT	0,00E+00	(A.5)

Tabela: 17 - Número esperado anual de eventos perigosos – Edifício 2 (autores 2023)

### Avaliação de probabilidade P<sub>x</sub> de danos

A avaliação de probabilidade P<sub>x</sub> de danos, conforme o Anexo B da NBR 5419-2015/02, se refere a uma análise realizada para determinar a probabilidade de ocorrência de danos em uma estrutura ou sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Essa norma estabelece critérios e diretrizes para o projeto, instalação, inspeção e manutenção de SPDA. No Anexo B, são fornecidas tabelas que relacionam as características do SPDA e do ambiente em que está instalado com a probabilidade de ocorrência de danos.

Essas tabelas consideram diversos fatores, como a altura do ponto de captação, a classe de proteção, a área de exposição, a densidade de raios e outros parâmetros relevantes. Com base nessas informações, é possível realizar uma análise para determinar a probabilidade de danos específicos, como danos estruturais, danos em equipamentos eletrônicos ou danos a pessoas. Essa avaliação de probabilidade auxilia na definição das medidas de proteção adequadas para minimizar os riscos de danos causados por descargas atmosféricas.

Avaliação da probabilidade P <sub>x</sub> de danos conforme Anexo B da NBR 5419-2015/02 - (EDIFÍCIO 1)					
Parâmetros de entrada		Equação	Símbolo	Resultado 1/ ano	Ref. Equação
Linha potencia (LINHA 01)		$NLP = NG \times ALP \times CIP \times CEP \times CTP \times 10^{-6}$	NLP	7,00E-02	(A.8)
		$NIP = NG \times AIP \times CIP \times CEP \times CIP \times 10^{-6}$	NIP	7,00E+00	(A.8)
		$PVIP = PEB \times PLDIP \times CLDIP$	PVIP	1,00E+00	(B.9)
Linha Sinal (LINHA 02)		$NLT = NG \times ALT \times CIP \times CEP \times CIP \times 10^{-6}$	NLT	1,40E-01	(A.8)
		$NIT = NG \times AIT \times CIP \times CEP \times CIP \times 10^{-6}$	NIT	1,40E+01	(A.8)
		$PVIT = PEB \times PLDIT \times CLDIT$	PVIT	1,00E+00	(B.9)
Probabilidade da Descarga na Estrutura causar:	ferimentos a seres vivos por choque	$PA = PTA \times PB$	PA	1,00E+00	(B.1)
	falhas dos sistemas internos	$PC = PSPD \times CLD$	PC		(B.2)
		$PCp = PSPDp \times CLDp$	PCp	1,00E+00	(B.2)
		$PCi = PSPDi \times CLDi$	PCi	1,00E+00	(B.2)
	$PC = 1 - [(1 - PCIP) \times (1 - PCIT)]$	PC	1,00E+00	(14)	
Probabilidade da Descarga perto da Estrutura causar danos internos:	Potência (LINHA 01)	$PMSIP = (KS1 \times KS2 \times KS3P \times KS4P)^2$	PMSIP	1,00E-16	(B.4)
		$PMIP = PSPDIP \times PMSIP$	PMIP	1,00E-16	(B.3)
	Sinal (LINHA 02)	$PMSIT = (KS1 \times KS2 \times KS3T \times KS4T)^2$	PMSIT	1,00E-16	(B.4)
		$PMIT = PSPDIT \times PMSIT$	PMIT	1,00E-16	(B.3)
	$PM = 1 - [(1 - PMIP) \times (1 - PMIT)]$	PM	0,00E+00	(15)	
Probabilidade da descarga na linha ferir seres vivos por choque:	Potência (LINHA 01)	$PUIP = PTU \times PEB \times PLDIP \times CLDIP$	PUIP	1,00E+00	(B.8)
	Sinal (LINHA 02)	$PUIT = PTU \times PEB \times PLDIT \times CLDIT$	PUIT	1,00E+00	(B.8)
Probabilidade da Descarga na linha causar falhas de sistemas internos:	Potência (LINHA 01)	$PWIP = PSPDIP \times PLDIP \times CLDIP$	PWIP	1,00E+00	(B.10)
	Sinal (LINHA 02)	$PWIT = PSPDIT \times PLDIT \times CLDIT$	PWIT	1,00E+00	(B.10)
Probabilidade da descarga perto da linha causar falhas de sistemas internos:	Potência (LINHA 01)	$PZIP = PSPDIP \times PLIP \times CLIP$	PZIP	1,00E+00	(B.11)
	Sinal (LINHA 02)	$PZIT = PSPDIT \times PLIT \times CLIT$	PZIT	1,00E+00	(B.11)

Tabela: 18 - Avaliação de probabilidade P<sub>x</sub> de danos – Edifício 1 (autores 2023)

Avaliação da probabilidade $P_X$ de danos conforme Anexo B da NBR 5419-2015/02 - (EDIFÍCIO 2)					
Parâmetros de entrada		Equação	Símbolo	Resultado 1/ano	Ref. Equação
Linha potencia (LINHA 01)		$N_{LIP} = N_G \times A_{LIP} \times C_{IP} \times C_{EP} \times C_{TP} \times 10^{-6}$	$N_{LIP}$	7,00E-02	(A.8)
		$N_{VIP} = N_G \times A_{VIP} \times C_{VIP} \times C_{EVP} \times C_{TVP} \times 10^{-6}$	$N_{VIP}$	7,00E+00	(A.8)
		$P_{VIP} = P_{EB} \times P_{LDIP} \times C_{LDIP}$	$P_{VIP}$	1,00E+00	(B.9)
Linha Sinal (LINHA 02)		$N_{LIT} = N_G \times A_{LIT} \times C_{LIT} \times C_{EIT} \times C_{TIT} \times 10^{-6}$	$N_{LIT}$	1,40E-01	(A.8)
		$N_{VIT} = N_G \times A_{VIT} \times C_{VIT} \times C_{EIT} \times C_{TIT} \times 10^{-6}$	$N_{VIT}$	1,40E+01	(A.8)
		$P_{VIT} = P_{EB} \times P_{LDIT} \times C_{LDIT}$	$P_{VIT}$	1,00E+00	(B.9)
Probabilidade da Descarga na Estrutura causar:	ferimentos a seres vivos por choque	$P_A = P_{TA} \times P_B$	$P_A$	1,00E+00	(B.1)
	falhas dos sistemas internos	$P_C = P_{SPD} \times C_{LD}$	$P_C$		(B.2)
		$P_{Cp} = P_{SPDp} \times C_{LDp}$	$P_{Cp}$	1,00E+00	(B.2)
		$P_{Cl} = P_{SPDI} \times C_{LDI}$	$P_{Cl}$	1,00E+00	(B.2)
		$P_C = 1 - [(1 - P_{CIP}) \times (1 - P_{CIT})]$	$P_C$	1,00E+00	(14)
Probabilidade da Descarga perto da Estrutura causar danos internos:	Potência (LINHA 01)	$P_{MSP} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3P} \times K_{S4P})^2$	$P_{MSP}$	1,00E-16	(B.4)
		$P_{MIP} = P_{SPDIP} \times P_{MSP}$	$P_{MIP}$	1,00E-16	(B.3)
	Sinal (LINHA 02)	$P_{MSIT} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3T} \times K_{S4T})^2$	$P_{MSIT}$	1,00E-16	(B.4)
		$P_{MIT} = P_{SPDIT} \times P_{MSIT}$	$P_{MIT}$	1,00E-16	(B.3)
		$P_M = 1 - [(1 - P_{MIP}) \times (1 - P_{MIT})]$	$P_M$	0,00E+00	(15)
Probabilidade da descarga na linha ferir seres vivos por choque:	Potência (LINHA 01)	$P_{UIP} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LDIP} \times C_{LDIP}$	$P_{UIP}$	1,00E+00	(B.8)
	Sinal (LINHA 02)	$P_{UIT} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LDIT} \times C_{LDIT}$	$P_{UIT}$	1,00E+00	(B.8)
Probabilidade da Descarga na linha causar falhas de sistemas internos:	Potência (LINHA 01)	$P_{WIP} = P_{SPDIP} \times P_{LDIP} \times C_{LDIP}$	$P_{WIP}$	1,00E+00	(B.10)
	Sinal (LINHA 02)	$P_{WIT} = P_{SPDIT} \times P_{LDIT} \times C_{LDIT}$	$P_{WIT}$	1,00E+00	(B.10)
Probabilidade da descarga perto da linha causar falhas de sistemas internos:	Potência (LINHA 01)	$P_{ZIP} = P_{SPDIP} \times P_{LIP} \times C_{LIP}$	$P_{ZIP}$	1,00E+00	(B.11)
	Sinal (LINHA 02)	$P_{ZIT} = P_{SPDIT} \times P_{LIT} \times C_{LIT}$	$P_{ZIT}$	1,00E+00	(B.11)

Tabela: 19 - Avaliação de probabilidade  $P_X$  de danos – Edifício 2 (autores 2023)

## NÍVEL DE PROTEÇÃO DO SPDA

Com base na análise de gerenciamento de risco e alterando os valores de Probabilidade  $P_B$ , é recomendado seguir o nível de proteção II de acordo com as normas para ambientes educacionais. Esse nível é direcionado a estruturas em que possíveis falhas podem resultar em danos significativos ou até mesmo na destruição de bens. As escolas, como locais de concentração de pessoas e comumente equipadas com dispositivos eletrônicos sensíveis, como computadores e sistemas de comunicação, necessitam de proteção adequada contra possíveis danos diretos ocasionados por raios. Dessa forma, é essencial adotar medidas de proteção em conformidade com o nível II, garantindo a segurança tanto das estruturas quanto das pessoas presentes no ambiente escolar.

PLANILHA DE ANÁLISE DE DADOS E PROTEÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RISCO PARA SPDA:		EDIFÍCIO 1
RESP. TÉCNICO:	Eduardo Rodrigues Karpinski / Murílio Henrique	
OBRA/CLIENTE:	Centro de Educação Infantil	
CNPJ/CPF:	-	
ENDEREÇO:	Curitiba - PR	
DATA:	15 de junho de 2023.	

RISCOS / PERDAS / EQUAÇÕES / TOLERÂNCIAS (Tab. 04)			
RISCO	PERDA	Risco	Equações
L1	R1	perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)	$R1 = RA1 + RB1 + RC1(1) + RM1(1) + RU1 + RV1 + RW1(1) + RZ1(1)$
L2	R2	perda de serviço ao público	$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2$
L3	R3	perda de patrimônio cultural	$R3 = RB3 + RV3$
L4	R4	perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)	$R4 = RA4(2) + RB4 + RC4 + RM4 + RU4(2) + RV4 + RW4 + RZ4$
			RT (y-1)
			1,00E-05
			1,00E-03
			1,00E-04
			1,00E-03

ZONA 01:										
Resultado Rx	R1=	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	R1
		7,51E-10	7,51E-06	0,00E+00	0,00E+00	3,88E-08	3,88E-04	0,00E+00	0,00E+00	39,578 E-5
	R2=	-	RB	RC	RM	-	RV	RW	RZ	R2
			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0 E-3
	R3=	-	RB	-	-	-	RV	-	-	R3
			0,00E+00				0,00E+00			0 E-4
	R4=	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	R4
		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,001 E-3

Condições da zona	
ZONA está sendo Avaliada?	SIM
Este projeto contém Risco de Explosão?	SIM
Existe atendimento ao público?	NÃO
Pode haver perda de patrimonio cultural?	SIM
Este projeto contém Animais?	NÃO
Hávera avaliação econômica?	SIM

Resultado Global (R>RT)?			
R1	R2	R3	R4
SIM	NÃO	NÃO	NÃO

Medidas Protetivas		Estudo:	ZONA 01 :
SPDA instalado			
Blindagem espacial externa			
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)	1		
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	1		
Proteção contra incêndio	1		
Fiação interna			
Energia (LINHA 01)	2		
Sinal (LINHA 02)	1		
Sistema de DPS			
DPS			
DPS coordenados	4		

## RESULTADO EDIFICAÇÃO COMPLETO

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)												
	S1: Estrutura		S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha		Resultado			
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
R1=	7,51E-10	7,51E-06	0,00E+00	0,00E+00	3,88E-08	3,88E-04	0,00E+00	0,00E+00	39,578 E-5	0,00039577924011172900	1,00E-05	SIM
R2=	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,001 E-3	0,00000105000000000000	1,00E-03	NÃO

R1 - Perda de Vida	Avaliação conforme 5.5	R1 - Perda de Vida
	R>RT?	Sim - Necessita de Proteção
	Há SPDA instalado?	NÃO
	Instalar ou aumentar o nível de proteção do sistema de SPDA ou DPS, afim de reduzir o risco a nível tolerável.	
R4 - Perda Econômica	Avaliação conforme 5.5	R4 - Perda Econômica
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	NÃO
	Estrutura devidamente protegida.	

Com base nos resultados obtidos, torna-se evidente e necessário a utilização do sistema SPDA, como uma medida de segurança essencial. Os dados e análises realizadas comprovam que a área em questão está exposta ao risco de descargas atmosféricas, o que pode resultar em danos consideráveis a pessoas.

15 de junho de 2023.

CONTRATANTE:  
Centro de Educação Infantil  
CPF/CNPJ: -

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
Eduardo Rodrigues Karpinski / Murílio Henrique

PLANILHA DE ANÁLISE DE DADOS E PROTEÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RISCO PARA SPDA:		EDIFÍCIO 2
RESP. TÉCNICO:	Eduardo Rodrigues Karpinski / Murílio Henrique	
OBRA/CLIENTE:	Centro de Educação Infantil	
CNPJ/CPF:	-	
ENDEREÇO:	Curitiba - PR	
DATA:	15 de junho de 2023.	

RISCOS / PERDAS / EQUAÇÕES / TOLERÂNCIAS (Tab. 04)			
RISCO	PERDA	Risco	Equações
L1	R1	perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)	$R1 = RA1 + RB1 + RC1(1) + RM1(1) + RU1 + RV1 + RW1(1) + RZ1(1)$
L2	R2	perda de serviço ao público	$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2$
L3	R3	perda de patrimônio cultural	$R3 = RB3 + RV3$
L4	R4	perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)	$R4 = RA4(2) + RB4 + RC4 + RM4 + RU4(2) + RV4 + RW4 + RZ4$
			RT (y-1)
			1,00E-05
			1,00E-03
			1,00E-04
			1,00E-03

ZONA 01:										
Resultado Rx	R1=	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	R1
		9,79E-10	9,79E-06	0,00E+00	0,00E+00	7,31E-08	7,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	74,103 E-5
	R2=		RB	RC	RM		RV	RW	RZ	R2
			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0 E-3
R3=		RB				RV			R3	
		0,00E+00				0,00E+00			0 E-4	
R4=	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	R4	
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,001 E-3	

Condições da zona	
ZONA está sendo Avaliada?	SIM
Este projeto contém Risco de Explosão?	SIM
Existe atendimento ao público?	NÃO
Pode haver perda de patrimônio cultural?	SIM
Este projeto contém Animais?	NÃO
Háverá avaliação econômica?	SIM

Resultado Global (R>RT)?			
R1	R2	R3	R4
SIM	NAO	NAO	NAO

Medidas Protetivas		Estudo:	ZONA 01 :
SPDA instalado			
Blindagem espacial externa			
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)	1		
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	1		
Proteção contra incêndio	1		
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	2	
	Sinal (LINHA 02)	1	
Sistema de DPS	DPS		
	DPS coordenados	4	

## RESULTADO EDIFICAÇÃO COMPLETO

Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)												
	S1: Estrutura		S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha		Resultado			
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
R1=	9,79E-10	9,79E-06	0,00E+00	0,00E+00	7,31E-08	7,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	74,103 E-5	0,00074103337241875700	1,00E-05	SIM
R2=	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NAO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NAO
R4=	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,001 E-3	0,00000105000000000000	1,00E-03	NAO

R1 - Perda de Vida	Avaliação conforme 5.5	R1 - Perda de Vida
	R>RT?	<b>SIM - Necessita de Proteção</b>
	Há SPDA instalado?	NÃO
	Nota a - Se RA + RB < RT, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.	
R4 - Perda Econômica	Avaliação conforme 5.5	R4 - Perda Econômica
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	NÃO
	Estrutura devidamente protegida.	

Com base nos resultados obtidos, torna-se evidente e necessário a utilização do sistema SPDA, como uma medida de segurança essencial. Os dados e análises realizadas comprovam que a área em questão está exposta ao risco de descargas atmosféricas, o que pode resultar em danos consideráveis a pessoas.

15 de junho de 2023.

CONTRATANTE:  
Centro de Educação Infantil  
CPF/CNPJ: -

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
Eduardo Rodrigues Karpinski / Murílio Henrique

Características da estrutura	Classe do SPDA	$P_B$
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

Tabela: 20 - Valores de probabilidade  $P_B$  dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos (NBR 5419:2-2015)

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)										EDIFÍCIO 1			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha			S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ					
R1=	3,76E-11	1,88E-07	0,00E+00	0,00E+00	7,76E-10	3,88E-06	0,00E+00	0,00E+00		0,407 E-5	0,00000407087252191859	1,00E-05	NÃO
R2=	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-		-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,10E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0 E-3	0,00000002100000000000	1,00E-03	NÃO

Tabela: 21 - Resultados Gerenciamento de Risco "R" – Edifício 1 (autores 2023)

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)										EDIFÍCIO 2			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha			S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ					
R1=	4,90E-11	2,45E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-09	7,31E-06	0,00E+00	0,00E+00		0,756 E-5	0,00000755802746208481	1,00E-05	NÃO
R2=	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-		-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,10E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0 E-3	0,00000002100000000000	1,00E-03	NÃO

Tabela: 22 - Resultados Gerenciamento de Risco "R" – Edifício 2 (autores 2023)

## DEFINIÇÃO A ESCOLHA DO METODO DE SPDA

Após analisado altura do edifício quanto a sua largura e comprimento e classe de isolamento definida de acordo com a tabela de grau de proteção, chegamos à definição de ser utilizado o método de Malhas, conhecido como a gaiola de Faraday, sendo sua malha captora e subseqüente distribuídas as malhas de descida e aterramento.

**MALHAS CAPTORAS**

Ao método de proteção Malhas ou Gaiola De Faraday será projetado uma estrutura de condutores cruzados em cima do telhado, ao intuito de criar literalmente uma malha que será captora das descargas atmosféricas, porém essa malha ela sofre com alguns requisitos ao número de condutores referentes aos espaçamentos de cada um, descritos na (tabela 23) sendo assim, seguimos valores tabelados de acordo com o grau de proteção descritos, definido no gerenciamento de riscos tabelado.

Classe do SPDA	Métodos de proteção		
	Ângulo de proteção $\alpha^\circ$	Máximo afastamento dos condutores da malha	Raio da esfera rolante
	(1)	(2)	(3)
I	Ver Figura 13.17	5 x 5	20
II		10 x 10	30
III		15 x 15	45
IV		20 x 20	60

Tabela 23 - (ABNT NBR 5419-3:2015)

Informações descritas na (tabela 23) nossa proteção de risco se denomina ao nível 2 onde os espaçamentos entre condutores na malha captora ficara a 10m x 10m.

Sendo assim cada estrutura terá valores diferente de cruzamentos entre condutores, seguindo que cada estrutura tem áreas diferentes, calculando da seguinte forma e somando 1 no valor final onde será considerado para poder fechar o quadrante da malha captora.

**construção 1: lado A**

Comprimento	32 metros
Distanciamento máximo	10 metros
Valor encontrado	3,2
Valor considerado	5

Tabela 24 - Cálculo da malha (autores 2023)

**construção 1: lado B**

Comprimento	16 metros
Distanciamento máximo	10 metros
Valor encontrado	1,6
Valor considerado	3

Tabela 25 – Cálculo da malha (autores 2023)

A malha da construção 1 será de uma armação de 5x3 condutores.

**construção 2: lado A**

Comprimento	15
Distanciamento máximo	10
Valor encontrado	1,5
Valor considerado	3

Tabela 26 - Cálculo da malha (autores 2023)

**construção 2: lado B**

Comprimento	15
Distanciamento máximo	10
Valor encontrado	1,5
Valor considerado	3

Tabela 27 - cálculo da malha (autores 2023)

A malha da construção 2 será de uma armação de 3x3 condutores.

O material a ser utilizado na malha captora tanto ao seu diâmetro e definido pela (tabela 28) seguindo recomendações da NBR 5419-3:2015 obtemos assim, a escolha do material a ser utilizado seguindo a tabela abaixo.

**Tabela 13.33** Seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida (reprodução parcial da NBR 5419-3:2015)

Material	Configuração	Área da seção (mm <sup>2</sup> )	Comentários
Aço galvanizado a quente	Fita maciça	50	Espessura mínima de 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
Cobre	Fita maciça	35	Espessura de 1,75 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura de 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro de 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
Aço inox	Fita maciça	50	Espessura de 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
Aço cobreado IACS 30 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm

Tabela 28 - (Instalações Elétricas Industriais Livro de Mamede Filho tabela 13.33) Parcial a NBR 5419-3:2015)

Quanto a custos e definição no material a ser escolhido para ser fixado na estrutura a sua malha superior, escolhemos a utilização do condutor de alumínio de fita maciça, sendo montado na sua extremidade do edifício com a sessão de 70mm<sup>2</sup> seguindo recomendações da (tabela 28).

Ao sistema de captação não utilizaremos mini capttores, onde não há necessidade em sistema de malha fechada estilo gaiola de Faraday, só encontrado indicações sobre capttores em sistema estilo Franklyn.

*A norma não exige a instalação de mini capttores (terminais aéreos), uma vez que a eficiência da gaiola não depende deles, no entanto, a sua instalação é recomendada para preservar os cabos de danos térmicos no caso de descargas diretas sobre eles. Fica a critério do projetista o uso. Caso sejam instalados, a recomendação é usar nas quinas, cruzamentos de cabos e a cada 5m de perímetro. (Termotécnica Para-Raios 2021).*

## **SISTEMA DE DESCIDA**

O sistema decida consiste em cabos condutores que levarão a descarga até as malhas de aterramento encontradas no solo, para a dissipação correta desse fenômeno, porém a definição dessa malha de descida, consiste também em não só um condutor e sim em mais definido de acordo com seu perímetro.

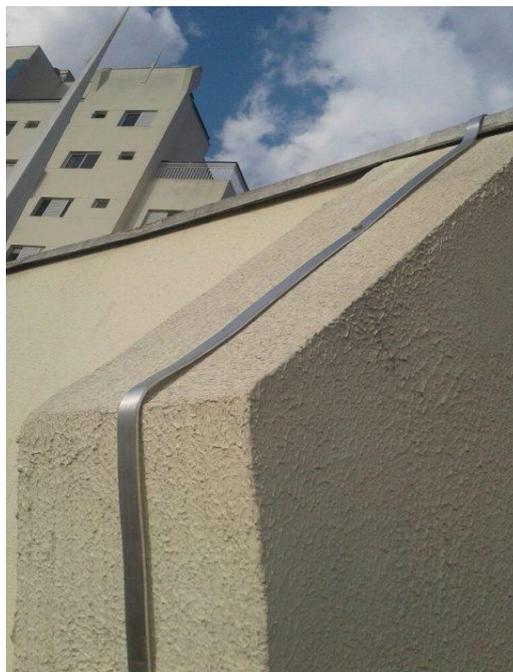


Figura 10 (eletroJR 2018)

Quanto ao sistema de descida, temos duas modalidades, o sistema de descidas naturais e os não naturais, são eles.

Condutores Naturais:

*São exemplos de subsistemas de descida naturais os postes metálicos, as torres metálicas de comunicação (rádio e TV), as armaduras de aço interligadas dos pilares das estruturas, devidamente interligadas para permitir a equipotencialização, além de outros meios compatíveis. (Instalações elétrica Industriais, Livro João Mamede Filho 2017).*

Condutores Não Naturais:

*São exemplos de subsistemas de descida não naturais os condutores de cobre nus instalados sobre as laterais das edificações ou nelas embutidos. (Instalações elétrica Industriais, Livro João Mamede Filho 2017).*

Nosso sistema de descida será composto também a fita metálica de 70mm<sup>2</sup>, exemplo a (figura 10), sendo assim condutor não natural, igual aos condutores da malha captora, seguindo recomendação da (tabela 28).

Ao tamanho da estrutura não podemos obter somente um condutor de descida, sendo assim seguimos a tabela referente ao número de condutores de descida descritos na (tabela 29).

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.

Tabela 29 - (NBR 5419-3:2015)

A cada edifício obtemos valores diferentes a sua malha de descida

**Construção 1**

Perímetro da construção	93metros
Espaçamentos entre condutor	10 metros
Valor encontrado	9,3
Valor considerado	10 condutores

Tabela 30 - cálculo de descidas (autores 2023)

Sendo assim na construção 1 será instalado 10 condutores de descida

**Construção 2**

Perímetro da construção	61 metros
Espaçamentos entre condutor	10 metros
Valor encontrado	6,1
Valor considerado	6 condutores

Tabela 31 - cálculo de descidas (autores 2023)

Sendo assim na construção 2 será instalado 6 condutores de descidas

## **SISTEMA DE ATERRAMENTO**

A malha de aterramento consiste na função de dissipar a corrente elétrica captada pela malha captora, interligada pelas descidas e chegando ao seu aterramento, com isso garantindo segurança a toda a instalação. Para isso valores como número de hastes e resistividade do solo são fundamentais para garantir um projeto com uma ótima eficiência quando necessário.

Nesse determinado projeto será utilizado as hastes de aterramento onde consistem em um aterramento não natural.

*São constituídos de elementos condutores enterrados horizontal ou verticalmente que dispersam as correntes elétricas no solo. São exemplos de subsistemas de aterramento não naturais os condutores de cobre nus diretamente enterrados em torno da edificação e hastes de terra com cobertura eletrolítica de cobre enterradas verticalmente, interligadas aos condutores horizontais e verticais. (Instalações elétrica Industriais, Livro João Mamede Filho 2017).*

A malha de anel segue a regra.

*Instalação dos eletrodos de aterramento O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado à distância aproximada de 1 m ao redor das paredes externas. (NBR 5419-3 2015 5.4.3)*

Teremos as descidas expostas na estrutura ao lado externo da edificação chegando à malha de aterramento, logo sendo interligada a tal malha, que será distribuída ao redor da estrutura em formato de anel, anel esses posteriormente interligados a hastes de cobre de aterramento (figura 11).

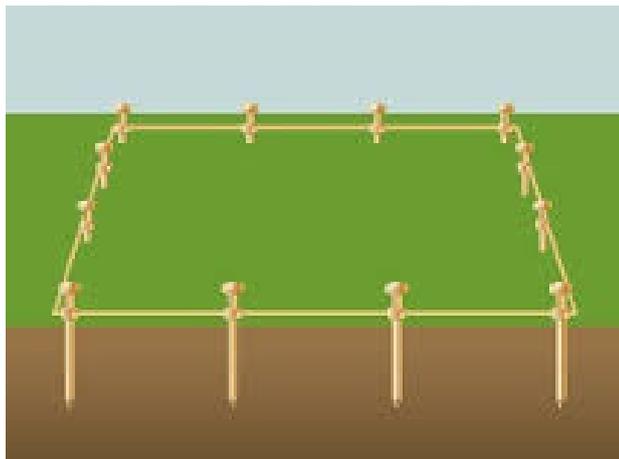


figura 11 (Edson Martinho 2016)

Valores tabelados independentes da sua classe de risco seguem a regra para a interligação as suas hastes de aterramento conforme tabela abaixo.

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm <sup>2</sup>
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Tabela 32 - (NBR 5419-3 2015)

Para poder assegurar um sistema seguro e eficiente segue recomendação para a questão da resistência da malha.

*Deve-se perseguir uma resistência de aterramento igual ou inferior a 10  $\Omega$ , com a finalidade de reduzir o processo de centelhamento entre elementos da estrutura a ser protegida e diminuir os valores dos potenciais elétricos produzidos no solo. (Instalações elétrica Industriais, Livro João Mamede Filho 2017).*

Chegamos ao cálculo da resistividade do solo para o nosso sistema de aterramento valores da resistividade do solo abaixo seguira como exemplo ao solo do local.

Natureza dos solos	Resistividade (Ohm x m)	
	Mínima	Máxima
Solos alagadiços e pantanosos	-	30
Lodo	20	100
Húmus	10	150
Argilas plásticas	-	50
Argilas compactas	100	200
Terra de jardins com 50 % de umidade	-	140
Terra de jardins com 20 % de umidade	-	480
Argila seca	1.500	5.000
Argila com 40 % de umidade	-	80
Argila com 20 % de umidade	-	330

Tabela 33 - (Instalações elétrica Industriais, Livro João Mamede Filho 2017).

Considerando a terra de jardim com umidade a 50%, com valor de 140 Ohm x m a resistividade do nosso solo (tabela 33), para a construção 1 e 2 chegamos à resistência do aterramento para 1 hastes paralela.

$$R_1 = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,4} \ln\left(\frac{4 \cdot 2,4}{0,0159}\right)$$

$$R_1 = 59,476 \Omega$$

**Onde:**

$\rho_a$ : Resistividade do solo = 140 (Conforme tabela 19).

d: Diâmetro da haste = 5/8" (0,0159 metros)

L: Comprimento haste = 2,4 metros

Com nosso valor de resistência do aterramento para uma haste encontrado sendo de 59,476 Ohms, para ambas as construções, seguimos para o cálculo de números de hastes que estará no solo, com isso valores de K da tabela 20 serão considerados a chegar ao cálculo.

$L = 2,4m \quad d = \frac{5}{8}'' \quad R_{1 \text{ haste}} = 0,425\rho a$								
Espaçamentos	2,5m		3m		4m		5m	
Número de Hastes	$R_{eq} [\Omega]$	K						
2	0,241 $\rho a$	0,566	0,237 $\rho a$	0,557	0,231 $\rho a$	0,544	0,228 $\rho a$	0,536
3	0,173 $\rho a$	0,408	0,169 $\rho a$	0,397	0,163 $\rho a$	0,383	0,159 $\rho a$	0,374
4	0,137 $\rho a$	0,324	0,133 $\rho a$	0,313	0,127 $\rho a$	0,298	0,123 $\rho a$	0,289
5	0,115 $\rho a$	0,270	0,110 $\rho a$	0,260	0,105 $\rho a$	0,246	0,101 $\rho a$	0,237
6	0,099 $\rho a$	0,233	0,095 $\rho a$	0,223	0,089 $\rho a$	0,210	0,086 $\rho a$	0,202
7	0,087 $\rho a$	0,206	0,083 $\rho a$	0,196	0,078 $\rho a$	0,184	0,075 $\rho a$	0,176
8	0,078 $\rho a$	0,185	0,075 $\rho a$	0,176	0,070 $\rho a$	0,164	0,066 $\rho a$	0,156
9	0,071 $\rho a$	0,168	0,068 $\rho a$	0,159	0,063 $\rho a$	0,148	0,060 $\rho a$	0,141
10	0,065 $\rho a$	0,154	0,062 $\rho a$	0,146	0,057 $\rho a$	0,135	0,054 $\rho a$	0,128
11	0,060 $\rho a$	0,142	0,057 $\rho a$	0,134	0,053 $\rho a$	0,124	0,050 $\rho a$	0,118
12	0,056 $\rho a$	0,132	0,053 $\rho a$	0,125	0,049 $\rho a$	0,115	0,046 $\rho a$	0,109
13	0,053 $\rho a$	0,124	0,050 $\rho a$	0,117	0,046 $\rho a$	0,107	0,043 $\rho a$	0,101
14	0,049 $\rho a$	0,117	0,047 $\rho a$	0,110	0,043 $\rho a$	0,101	0,040 $\rho a$	0,095
15	0,047 $\rho a$	0,110	0,044 $\rho a$	0,103	0,040 $\rho a$	0,095	0,038 $\rho a$	0,089

Tabela 34

(livro aterramento elétrico Geraldo Kindermann e Jorge Mario Campagnolo)

## CONSTRUÇÃO 1

Considerando 08 hastes a 5 metros

K 0,156 (tabela 34)

$$0,156 \times 59,476 = 9,278 \Omega$$

Valor dentro da especificação com 08 hastes.

Valor encontrado de 08 hastes dentro do recomendado de 10 Ohms

Sendo assim número de hastes paralelas no mínimo terá que ser de 08 hastes, ficando abaixo de 10 Ohms a sua resistência total entre as hastes, toda via temos uma perímetro onde temos 93m de anel de interligação, ao redor da construção, teremos que elevar o número de hastes a fim de compreender o perímetro e de aumentar a eficácia do aterramento e se excluir de possíveis degradações que podem vir a diminuir a eficiência durante o tempo, sendo assim também não podemos colocar hastes em paralelo com distanciamentos em horizontal menores que os valores de comprimento das hastes em questão como segue a recomendação.

*Hastes de aterramento verticais (ou inclinadas), instaladas em paralelo, devem ser, quando possível uniformemente, distribuídas no perímetro da estrutura, espaçadas entre si por uma distância não inferior ao seu comprimento. (NBR 5419:2005 5.1.3.5.3)*

Isso se dá após pesquisa, pelo motivo das hastes gerar uma zona de interferência onde acaba aumentando a sua resistência, como imagem abaixo.

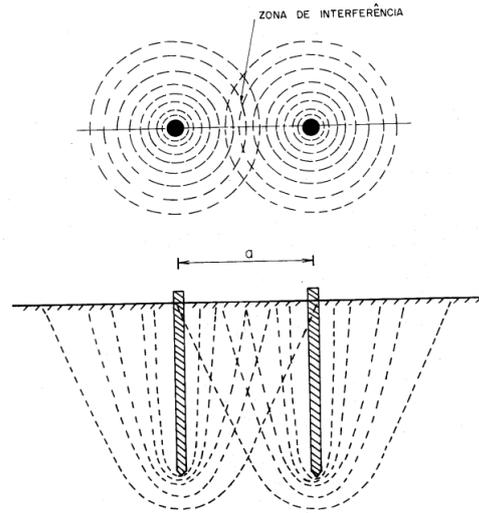


Figura 12

(livro aterramento elétrico Geraldo Kindermann e Jorge Mario Campagnolo)

Considerando 15 hastes

K 0,089 (tabela 34)

$$0,089 \times 59,476 = 5,293 \Omega$$

Valor de 5,293  $\Omega$  abaixo do nosso considerado máximo de 10  $\Omega$ .

Sendo assim no nosso perímetro de 93 metros teremos que ter 18 hastes a fim de compreender o distanciamento adotado de 5 metros.

Vistos por exemplo que ao aumento de hastes de 8 para 15 acima veio a diminuir a nossa resistência da malha em paralelo, logo de 15 para 18 irá diminuir mais um pouco sendo considerado um fator de segurança e não excedendo o nosso espaçamento mínimo de 05 metros

Construção 1 com 18 hastes de aterramento de 2,4 metros distribuídas uniformemente a cada 5 metros de distância entre elas. Onde no edifício 1 teremos também 10 condutores de descida

(Figura 13) referente a instalação 1 de sistema de malha captora, sistema de descida, hastes de aterramento e sistema em anel estão descritas.



Figura 13 (autores 2023)

## CONSTRUÇÃO 2

Cálculos apresentados a construção 1 iguais a construção 2 pois a resistividade do solo de uma única haste dentro do nosso parâmetro ficou igual.

Considerando nossa haste de aterramento de 2,4m com por exemplo valor de 6 hastes a 5 metros.

K 0,202 (tabela 34)

$$0,202 \times 59,476 = 12,01 \Omega$$

Valor encontrado, acima do estabelecido a um sistema de aterramento seguro de até 10 Ohms.

Considerando 11 hastes a 5 metros.

K 0,128 (tabela 34)

$$0,128 \times 59,746 = 7,01 \Omega$$

Valor dentro do recomendado com 11 hastes.

Construção 2 com 11 hastes de 2,4 metros distribuídas uniformemente a cada 5 metros de distância entre elas.

Onde no edifício 2 teremos também 6 condutores de descida

(figura 14) referente a instalação de sistema de malha captora, sistema de descida, hastes de aterramento e sistema em anel estão descritas.

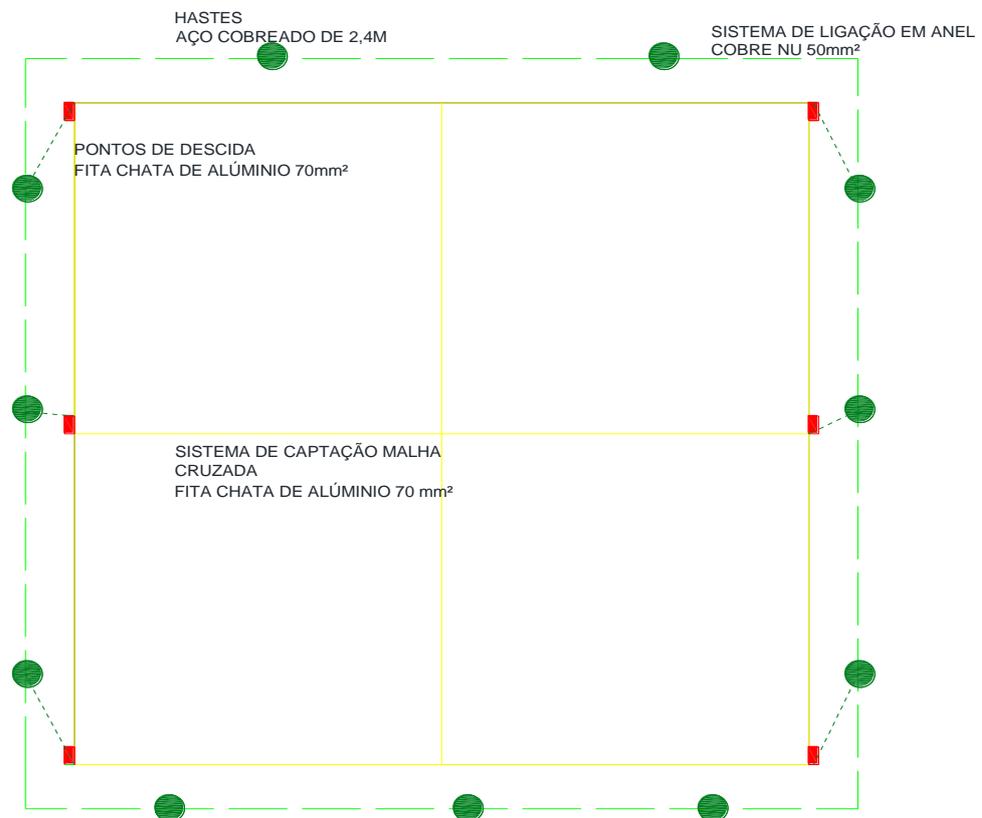


Figura 14 (autores 2023)

## CONCLUSÃO

As redes de instalação elétrica está presente nos demais tipos de edificações, sendo particular ou público, instalações essas que seguem requisitos mínimos as NBR 5410, onde equipamentos e a própria instalação vem a sofrer com descargas atmosféricas, onde respectivamente em determinadas localidades do Brasil a incidência tende a ser maior ou menor, fator esse diretamente ligado quanto a sua classificação de risco, onde chega-se a sua determinada proteção.

Importante é também garantir a segurança dos indivíduos que estão presentes dentro desses edifícios, métodos eficazes quanto a proteção é destinada a esse intuito ligado a descargas atmosféricas, para isso seguimos as NBR 5419:2015 que hoje está dividida em 4 partes onde cada parte está destinada a uma etapa do seu projeto e para uma análise mais detalhada são elas: Princípios gerais, gerenciamento de risco, danos físicos a estrutura e risco de vida e sistemas elétricos e eletrônicos interno.

Seguindo cordialmente as 4 partes da NBR 5419, chegamos aos nossos resultados onde destinamos a proteção de um edifício, com o sistema de descargas atmosféricas, protegendo a edificação, onde está presente a movimentação de criança todos os dias da semana, crianças essas que acabam toda via ficando sem seus definidos calçados implicando, na maior probabilidade de ser atingida por um raio, quanto a sua escola por vez também chega a ser impulsionada a uma descarga durante um tempo chuvoso.

Definido quanto a sua proteção, destinasse a decisão de qual o método a ser escolhido a sua edificação, métodos destinados a cada estilo de estrutura senso elas alta ou larga por exemplo, senso assim a nossa edificação CMEI acabou se enquadrando melhor na estrutura de proteção de estilo Malha ou conhecida como gaiola de Faraday, onde destinasse a estruturas com larguras maiores.

Sistema esse dividido em 3 etapas, sendo elas: parte de captação, parte de descida e a parte de aterramento desse SPDA. Cada etapa segue a norma descritas na NBR 5419 que por sua vez houve atualização no ano de 2015, tornando a ser mais completa e didática quanto a sua instalação desde o seu projeto.

Análise do sistema implica diretamente a sua eficácia de sua proteção onde desde a localidade regional desde a resistividade do solo são pontos fundamentais quanto ao projeto desse sistema, vendo que profissionais capacitados e dedicados são essenciais também a essas instalações visto que desde a uma simples solda

interligando o sistema de descida ao de aterramento ele poderá sofrer oxidações e sendo assim a proteção dessa conexão a não sofrer corrosão e fundamental a vida útil dessa instalação.

Após análise e pesquisas quanto a descargas atmosféricas, vistos que o incidente é possível em qualquer localidade e edificação, método eficaz existe e pode ser executado, sendo ele o sistema de proteção de descarga atmosférica, exigindo pessoal capacitado quanto a seu projeto e instalação. Toda via gerando custos onde material de alumínio e cobre são os principais materiais a serem utilizados, porem custos com a vida não é considerado alto pois a mesma não tem volta, garantimos assim uma proteção a edificação e pessoas presentes dentro da mesma.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=ptBR&mid=1BFdsfBwpSoMwiCAsIPuoDoL0pF9f73Y&ll=-25.425809580890885%2C-49.3573741124749&z=20>

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=ptBR&mid=1BFdsfBwpSoMwiCAsIPuoDoL0pF9f73Y&ll=-25.425850792603143%2C-49.357300660290406&z=20>

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=ptBR&mid=1BFdsfBwpSoMwiCAsIPuoDoL0pF9f73Y&ll=-25.42593436391835%2C-49.357199406900094&z=19>

<http://sou.undb.edu.br/public/publicacoes/modelo-didatico-para-spda-tipo-franklin-julian-abreu-natalia-alves-wellyngton-souza-e-eduardo-mendes.pdf>

<https://tel.com.br/esfera-rolante-superficies-planas/>

<https://www.multiseg.com.br/1303/grampo-duplo-para-haste-de-aterramento-gtdu>

<https://tel.com.br/esfera-rolante-superficies-planas/>

<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/gaiola-de-faraday.htm>

<https://www.infocontrol.pt/artigos-tecnicos/5-passos-dimensionar-gaiola-de-faraday/>

[https://www.google.com/search?q=aterramento+spda&tbm=isch&rlz=1C1VDKB\\_pt-PTBR1059BR1059&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiPt8uTmKX\\_AhVgg5UCHb4qCO8QrNwCKAB6BAgBEH8&biw=1519&bih=714#imgrc=zF7wQAp5F2sgDM](https://www.google.com/search?q=aterramento+spda&tbm=isch&rlz=1C1VDKB_pt-PTBR1059BR1059&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiPt8uTmKX_AhVgg5UCHb4qCO8QrNwCKAB6BAgBEH8&biw=1519&bih=714#imgrc=zF7wQAp5F2sgDM)

<https://eletroj.com.br/2022/04/05/spda-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>

<http://engedsonmartinho.blogspot.com/2016/08/eletrodo-de-aterramento.html>

livro aterramento elétrico Geraldo Kindermann e Jorge Mario Campagnolo professores Universidade Federal de Santa Catarina Sagra DC Luzzatto editores 1995

Normas Regulamentadora NBR 5419-1-2-3-4:2015 PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

Livro Instalações Elétricas Industriais 2017 João Mamede filho.