

Com uma visão panorâmica da norma internacional, a seguir é apresentado aspectos específicos na norma brasileira NBR 5419 de 2015, no qual segue a mesma estrutura e disposição dos documentos.

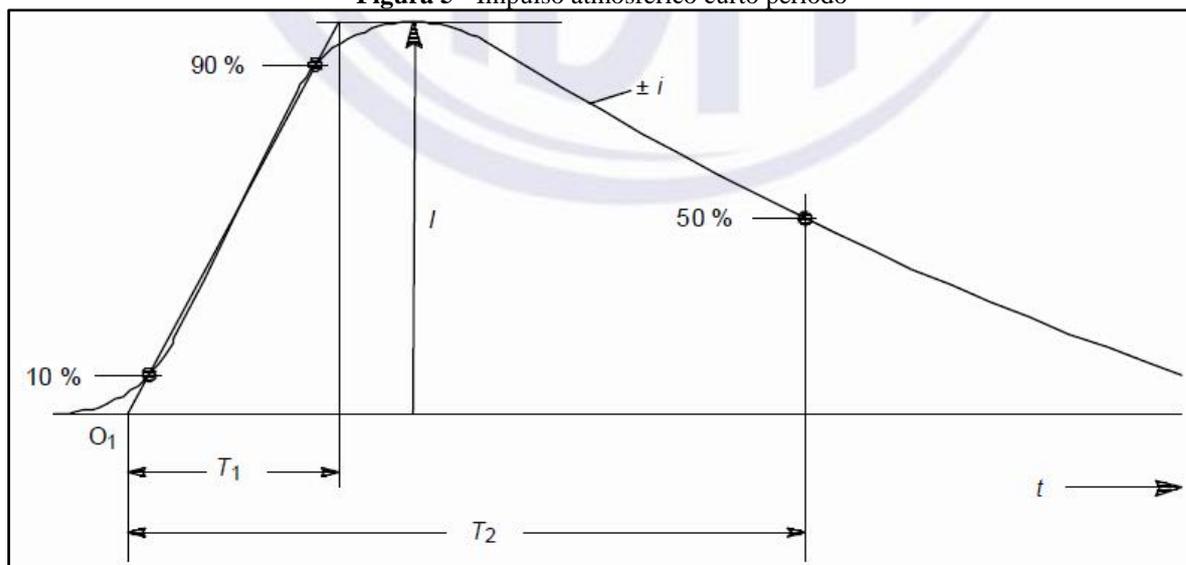
## **2.1. Princípios Gerais**

Com o intuito de expor informações pertinentes das descargas atmosféricas, no que diz respeito a parâmetros e consequências, medidas de proteção e critérios básicos para proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas. Tais informações são fundamentais para a compreensão e posteriormente aplicação com ações efetivas que visam minimizar os danos permanentes causados pela descarga atmosféricas.

De acordo com a NBR 5419/2015 os dois tipos básicos de descargas atmosféricas são as iniciadas por um líder descendente, da nuvem para a terra, e as iniciadas por um líder ascendente, de uma estrutura aterrada para a nuvem. Ainda a norma afirma que uma particularidade da descarga atmosférica descendente na maior parte das vezes ocorre em locais planos e estruturas mais baixas, em contrapartida as ascendentes costumam acontecer em estruturas mais altas.

Com relação a corrente elétrica da descarga atmosférica a norma NBR 5419/2015 nos apresenta duas componentes diferentes, uma com impulsos com duração inferior a 2 milissegundos e componentes longos com duração superior a 2 milissegundos. É de extrema importância conhecer como se comportam tal fenômeno neste espaço de tempo e de que forma estes impulsos de corrente são modelados para estudos. A seguir a figura 5 mostra correntes em um período menor que 2 milissegundos e a figura 2 parâmetros da componente longa, acima de 2 milissegundos.

Figura 5 - Impulso atmosférico curto período



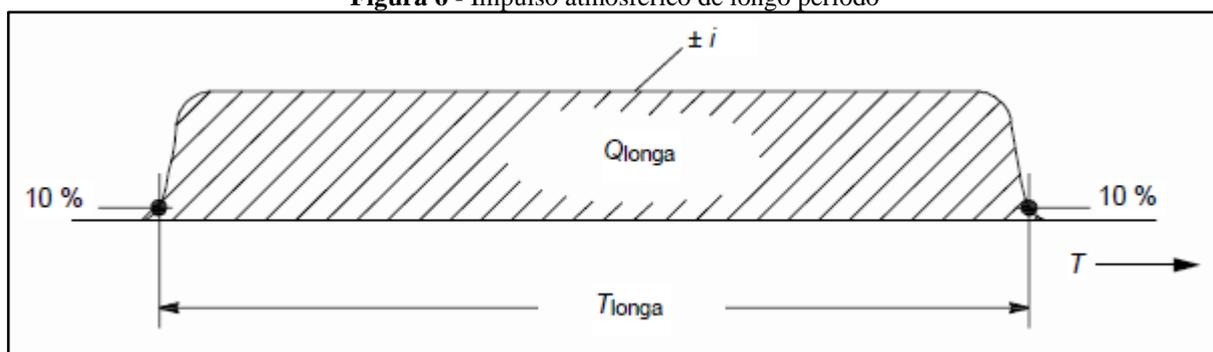
Fonte: NBR 5419/2015 Parte 1.

Santini (2016) expõe as variáveis como  $T_1$  é o tempo de frente em microssegundos, colocado como um parâmetro de análise com valor 1,25 vezes o intervalo entre o período em que a corrente alcança 10% e 50% do seu valor de pico.  $T_2$  refere-se ao tempo de decaimento da curva em microssegundos, estabelecido como um parâmetro de análise que possui o valor de tempo referente a curva da corrente em declínio de módulo até 50% de seu valor máximo.  $O_1$  é o ponto inicial de análise da corrente de impulso em microssegundos, determinado como o ponto de cruzamento da curva de corrente com o eixo tempo. O  $i$  é a descarga atmosférica com sua respectiva corrente elétrica em quiloampères (kA) podendo ser positiva ou negativa conforme mostrado na figura 4.  $t$  é o tempo definido em microssegundos e  $I$  é a corrente elétrica máxima da descarga atmosférica em quiloampères (KA).

Como mencionado, todas estas variáveis expressam a modelagem matemática da curva da corrente de descarga atmosférica com um impulso inferior a 2 milissegundos.

Já a figura 6 a seguir retrata a curva dos componentes de longa duração, acima de 2 milissegundos.

**Figura 6** - Impulso atmosférico de longo período



Fonte: NBR 5419/2015 Parte 1.

Da mesma forma Santini (2016) exemplifica as variáveis como  $T$  é o tempo em segundos,  $T_{longa}$  é o período de tempo em segundos que a corrente da descarga atmosférica perdura entre 10% do valor de pico na expansão e contração da corrente elétrica, aproximadamente entre o tempo de 2 milissegundos e 1 segundo. O  $i$  é a corrente positiva ou negativa da descarga atmosférica, medida em quiloamper (KA).  $Q_{longa}$  proveniente da integral da corrente elétrica no tempo em coulombs (C).

É importante ressaltar que os intervalos de tempo no qual a norma se refere como um período de descarga menor que 2 milissegundos ou até por 1 segundo possui grande capacidade de danos a estrutura e a vida. Yamanishi e Bonfim (2017) destacam seis principais efeitos provocados pelas descargas atmosféricas. São elas:

1- Efeito térmico: é gerado devido a passagem de corrente elétrica do raio e proporcional a sua intensidade, no qual o calor é dissipado pelo efeito joule.

2- Efeito acústico: O som é produzido pelo deslocamento instantâneo do ar ou onda de choque, devido a intensidade de corrente causada pela descarga, expande-se rapidamente o ar, originando o um ruído conhecido como “trovão”.

3- Efeito luminoso: Gerado após a ionização das moléculas do ar e que podem gerar lesões oculares para as pessoas que estejam expostas próximas do raio.

4- Efeito elétrico: Ocorrem sobretensões instantâneas devido a altas intensidades de corrente durante o raio, que gera transientes altos de tensão e corrente, em virtude da alta frequência da descarga atmosférica.

5- Efeito elétrico indutivo: resultante do campo eletromagnético formado pela circulação de corrente elétrica do raio.

6- Efeito mecânico: Devido aos danos gerados nos elementos afetados, decorrentes de uma descarga atmosférica.

As consequências das descargas atmosféricas atingem de forma geral tanto a parte externa como a interna da edificação sejam pelo meio acústico, luminoso, elétrico ou mecânico os equipamentos e vidas existentes no local.

A NBR 5419 (2015) esclarece também as funções efetivas de um sistema externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas instalados em uma edificação. As funções externas do SPDA são:

- a) Reter uma descarga atmosférica para a estrutura, devidamente com um subsistema de captação;
- b) Guiar de forma segura a corrente da descarga atmosférica para a terra, com um subsistema adequado de descida; e
- c) Dissipar a corrente elétrica na terra, com um subsistema de aterramento.

Já a atribuição do SPDA interno é impossibilitar o centelhamento perigoso na estrutura, por meio da ligação equipotencial ou isolando eletricamente os componentes do SPDA e demais elementos condutores dentro da edificação.

É importante lembrar também que conforme a norma 5419 (2015) a mesma possui quatro classes de SPDA, I, II, III e IV, no qual são interpretadas como um conjunto de diretrizes de construção, respaldados nos correspondentes níveis de proteção (NP). Cada conjunto possui regras pertencentes do nível de proteção específico e regras individuais do nível de proteção.

## **2.2. Gerenciamento de Risco**

Para Sueta (2015) a parte 2 da norma tem por meta a avaliação do risco em razão das descargas atmosféricas tanto para as edificações quanto para as pessoas, contra os efeitos prejudiciais das descargas atmosféricas. O mesmo também define o que é risco: “entende-se como o valor de uma provável perda média anual (vida e bens) devido às descargas atmosféricas em relação ao valor (vida e bens) do objeto a ser protegido” (SUETA, 2015).

O gerenciamento de risco é o ponto fundamental de um projeto, pois define e classifica o padrão de segurança que deve ser adotado. A norma está mais rígida que conta com aproximadamente 70 parâmetros a serem observados e trata de maneira particular cada caso com suas particularidades, no qual o responsável técnico realiza cálculos e considerações da estrutura. A análise de risco aborda algumas características da edificação (NBR 5419-2/2015, p.19):

- a) A própria estrutura;

- b) As instalações da estrutura;
- c) O conteúdo da estrutura;
- d) As pessoas na estrutura ou nas zonas até 3 metros para fora da estrutura;
- e) O meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Santos (2017) comenta que a norma não somente avalia sob o ponto de vista do número de descargas atmosféricas de uma referida instalação, como também os danos provocados por essas descargas atmosféricas e as perdas decorrentes desses danos.

O processo de análise de risco traz clareza e objetividade na definição de quais medidas e qual nível de proteção empregar na edificação. Pois através dos riscos alcançados por meio dos cálculos, é comparado a um valor de risco aceitável pré-determinado. Tais medidas se apresentarem valores menores do que o máximo tolerável, não serão necessárias ações adicionais. Para medidas em que os cálculos fiquem acima do estipulado, será imprescindível novas ações no intuito de maximizar a segurança (NBR 5419-2 2015, p.20).

Com relação a corrente elétrica das descargas atmosféricas são as atingir uma estrutura por quatro maneiras diferentes (NBR 5419-2), são ele:

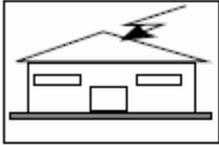
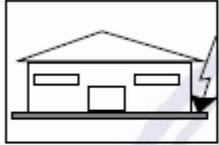
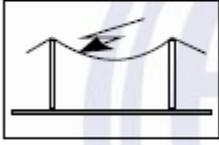
- a)  $S_1$  - descarga atmosférica atinge diretamente uma edificação;
- b)  $S_2$  - descarga atmosférica atinge região próxima a edificação;
- c)  $S_3$  - descarga atmosférica atinge diretamente a linha que adentra à edificação;
- d)  $S_4$  - descarga atmosférica atinge proximamente a linha que adentra à edificação.

A norma adota algumas variáveis para os cálculos, são elas (Sueta, 2015):

- a) Danos - Os ferimentos aos seres vivos (D1), os danos físicos às estruturas (D2) e as falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos (D3);
- b) Perdas - Perdas de vidas humanas (L1), perda de instalação de serviço ao público (L2), perda de memória cultural (L3) e perda de valor econômico (L4) (estrutura e seu conteúdo, instalação de serviço e perda de atividade).

Para melhor compreensão da aplicação dessas variáveis, a norma nos fornece através da figura 7 uma visão panorâmica da relação danos e perdas com o ponto de impacto dos raios que consequentemente geram os riscos (NBR 5419-2, p.16).

**Figura 7 - Relação dos danos e perdas com ponto de impacto**

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <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.			

Fonte: NBR 5419/2015 Parte 2.

A figura acima ilustra alguns possíveis pontos de descarga atmosférica na estrutura e suas eventuais avarias, associando as demais variáveis para estruturar os riscos, pois apresentam níveis distintos de gravidade e são utilizados como fator de prudência nos cálculos (SANTINI, 2017).

Vale ressaltar que a norma possibilita tratar de forma individual zonas semelhantes, através da divisão da estrutura em alguns casos, visto que nem sempre são uniformes ao longo de toda instalação (NBR 5419-2, p. 28). Essa possibilidade auxilia na redução de custos em relação ao projeto e execução, pois um único gerenciamento de risco para toda estrutura poderá ocorrer sem necessidade de um superdimensionamento. Essas medidas não acarretam prejuízos quanto à segurança oferecida pelo sistema.

Dessa forma o risco deve ser estimado para cada tipo de perda que possa ocorrer na edificação (NBR 5419-2, p.15) e são classificados como:

R1 - Risco de perda de vida humana;

R2 - Risco de perda de instalação de serviço ao público;

R3 - Risco de perda de memória cultural;

R4 - Risco de perda de valor econômico.

Conforme observados as definições e significados das variáveis danos e perdas de acordo com o ponto de impacto na estrutura, a norma passa a correlacionar as informações para que 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 (TERMOTÉCNICA, 2017).

### **2.2.1. Componentes do risco**

A NBR 5419/2015 comenta que cada risco é composto pela soma de seus componentes e ao estimar um risco, os componentes que compõe um risco podem ser agrupados em conformidade com as fontes de danos e tipos de danos.

As componentes de risco para uma estrutura são classificadas em  $R_A$ ,  $R_B$  e  $R_C$  sendo:

- a)  $R_A$  - Componente referente a ferimentos aos seres vivos provocados por choque elétrico ocasionados por tensões de toque e passo interna na edificação e externa nas zonas até três metros ao redor dos condutores de descida.
- b)  $R_B$  - Componente pertencente a danos físicos originados por centelhamento perigoso dentro da edificação, pelo qual pode iniciar incêndio ou explosão.
- c)  $R_C$  - Componente relacionado a falhas de sistemas internos originados por pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

Da mesma forma a norma conceitua a componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura como  $R_m$ :

- a)  $R_m$  - Componente tem relação com falhas de sistemas dentro da edificação causados por pulso eletromagnético de descargas atmosféricas.

No que diz respeito às componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura são definidos os parâmetros (NBR 5419-2, p.16):

- a)  $R_U$  - Componente corresponde a ferimentos aos seres vivos originados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo do lado interno da edificação.
- b)  $R_V$  - Componente que corresponde a danos físicos (incêndio ou explosão originados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas normalmente

localizadas na entrada da linha na estrutura). Ocasionalmente à corrente elétrica dos raios que são conduzidos ou ao longo das linhas.

- c)  $R_w$  - Componente relacionado a falhas de sistemas internos gerado por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e conduzidas a esta.

Por fim a componente  $R_z$ , risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha interligada à estrutura. Possui relação a falhas de sistemas internos provocados por sobretensões induzidas nas linhas que adentram na edificação e transmitidas a esta.

### **2.2.2. Composição dos componentes de risco**

O risco é calculado de maneira individual para cada tipo de perda, em um total de até quatro diferentes riscos. Vale ressaltar quanto a obrigatoriedade de realizar os cálculos referentes a perda de vida humana, perda de serviço ao público e perda de patrimônio cultural. Com relação ao risco de perda de valores econômicos, fica a critério dos responsáveis pelo projeto se julgar benéfico na aplicação de medidas de proteção para redução desse risco (SANTOS, 2017).

As estruturas de cálculo são apresentadas de maneira simples a soma dos produtos e as relações das componentes entre risco, perda, dano e a fonte do dano são apresentados nos quadros 01, 02, 03 e 04.

Em relação a perdas de vida humana, são considerados os componentes de risco para cada tipo de perda na edificação e listados da seguinte forma:

a)  $R_1: RA_1+RB_1+RC_1+RM_1+RU_1+RV_1+RW_1+RZ_1$

As componentes  $RC_1$ ,  $RM_1$ ,  $RW_1$  e  $RZ_1$  se aplicam a risco com explosão e para hospitais que possuam equipamentos elétricos destinados a salvar vidas e também se aplica a outras estruturas que coloque em risco a vida de pessoas por meio de falhas dos sistemas internos.

**Quadro 1 - Risco de perda de vida humana (L1)**

<b>L1 - Perdas de Vida Humana (incluindo ferimentos permanentes)</b>		
<b>Composição do Risco</b>	<b>Tipologia de Dano</b>	<b>Fontes dos Danos</b>
$R_A R_U R_B$	A Seres Vivos por Choque Elétrico- D1	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
$R_V$	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
$R_C, R_W, R_M$ e $R_Z$	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2
		Descargas atmosféricas na linha - S3
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Já em relação aos riscos de perda dos serviços ao público são considerados os seguintes fatores:

b)  $R_2: R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$

**Quadro 2 - Risco de perda de serviço público (L2)**

<b>L2 - Perda de Serviço ao Público</b>		
<b>Composição do Risco</b>	<b>Tipologia de Dano</b>	<b>Fontes dos Danos</b>
$R_B R_V R_C$	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
$R_W R_Z R_M$	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2
	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3	Descargas atmosféricas na linha - S3
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Os riscos de perda de patrimônio cultural são considerados duas componentes:

c)  $R_3: R_B + R_V$

**Quadro 3 - Risco de perda de patrimônio cultural (L3)**

<b>L3 - Perda de Patrimônio Cultural</b>		
<b>Composição do Risco</b>	<b>Tipologia de Dano</b>	<b>Fontes dos Danos</b>
$R_B$ e $R_V$	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

Em referência a perda de valores econômicos, segue as componentes:

d)  $R_4: R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$

Com ressalva para as componentes RA4 e RU4 que se destina para locais onde animais possam ser perdidos.

**Quadro 4 - Risco de perda de valor econômico (L4)**

<b>L4 - Perda de Valores Econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)</b>		
<b>Composição do Risco</b>	<b>Tipologia de Dano</b>	<b>Fontes dos Danos</b>
R <sub>A</sub> e R <sub>U</sub>	A Seres Vivos por Choque Elétrico- D1	Descarga atmosférica na estrutura - S1
		Descargas atmosféricas na linha - S3
R <sub>B</sub>	Físicos à Estrutura - D2	Descarga atmosférica na estrutura - S1
R <sub>M</sub> R <sub>W</sub> R <sub>V</sub> R <sub>C</sub>		Descargas atmosféricas na linha - S3
	R <sub>Z</sub>	Falhas de Sistemas Eletrônicos - D3
Descargas atmosféricas perto da estrutura - S2		
Descargas atmosféricas na linha - S3		
		Descargas atmosféricas perto da linha - S4

Fonte: Adaptado (Santos, 2017)

É importante mencionar as características da edificação e medidas de proteção que exercem influência nos componentes de risco para a elaboração do projeto no quadro 05 (NBR 5419-2, 2015).

**Quadro 5 - Fatores que influenciam os componentes de risco**

Características da estrutura ou medidas de proteção	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
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	Xa	Xb	Xb		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			Xc	Xc	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				
Sistemas 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

Fonte: NBR 5419-2 (2015)

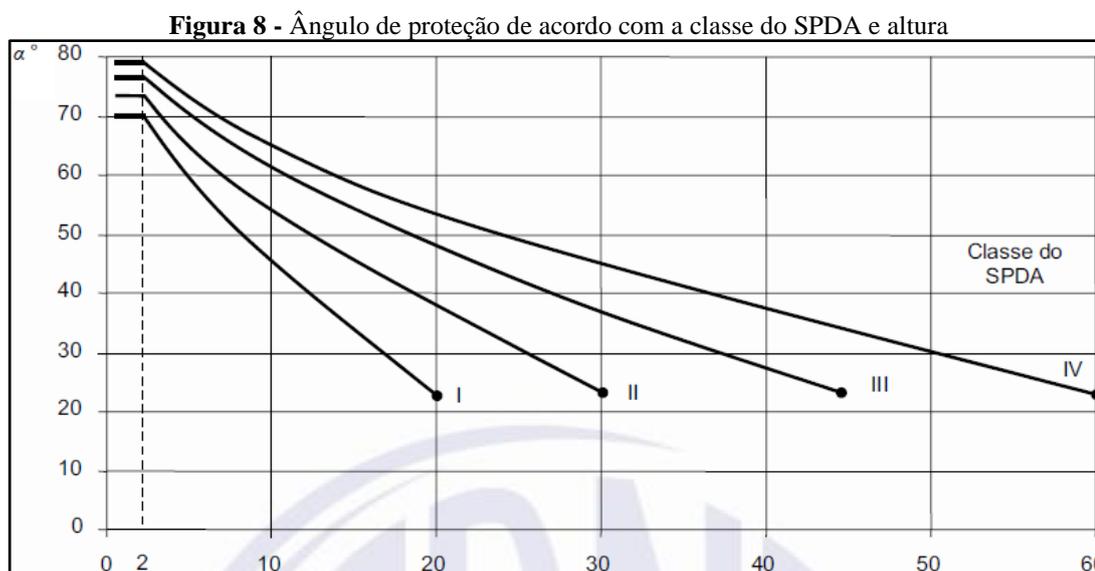
No quadro 05 a variável Xa é aplicável somente para SPDA tipo malha externa; Xb devido a ligações equipotenciais e Xc é aplicável somente se eles pertencem ao equipamento.

### 2.3. Danos Físicos a Estrutura e Perigos à Vida

Nesta etapa a norma visa apresentar princípios para a proteção de uma edificação contra os danos físicos através de um SPDA com o intuito de proteger os seres vivos de acidentes e lesões originados por tensão de toque e passo (NBR 5419-3, 2015).

O sistema é constituído do lado externo e interno da estrutura. No qual o SPDA externo possui a função de interceptar um raio para a estrutura, através do subsistema de captação, com isso direcionar a corrente elétrica da descarga atmosférica de maneira segura para a terra por meio do subsistema de descida e assim também dissipar toda carga elétrica produzida pela descarga atmosférica na terra através do subsistema de aterramento.

A respeito dos subsistemas externos que compõe o SPDA, o subsistema de captação é constituído por condutores suspensos, condutores em malhas e hastes (incluindo mastros), que por sua vez recebe de forma direta toda carga dos raios, no qual é de extrema importância o correto posicionamento do mesmo para garantir a condução da corrente elétrica de maneira segura para a terra, em que são respeitadas ao menos um dos três métodos disponibilizados pela norma: método esfera rolante, método das malhas e método ângulo de proteção (NBR 5419-3, 2015). a norma também disponibiliza um gráfico do ângulo do captor em relação a classe do SPDA, conforme figura 8.



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Santini (2016) comenta que a norma define o ângulo de proteção para cada nível de classe, por uma curva conforme a altura do captor acima do plano de referência. Já a variação do ângulo de proteção é inversamente proporcional à altura da estrutura a ser preservada, quando esta encontra-se superior a 02 metros.

Com relação ao subsistema de descida tem o principal objetivo de reduzir a probabilidade de danos ocasionados pela corrente elétrica conduzidos pelo SPDA, tais condutores são projetados a fim de promoverem diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica, percorrer a menor distância possível até a terra e promover a equipotencialização de todas as partes condutoras de uma estrutura. Também é disponibilizado a tabela 1 de distância entre os condutores de descida.

**Tabela 1** - Distância dos condutores de descida e interligações horizontais

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Distâncias m</b>
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.

**Fonte:** NBR 5419-3 (2015)

Se tratando de SPDA isolado, a posição das descidas deve acolher as determinações dos captadores, já se forem hastes em mastros separados com características não metálicos e não interconectados às armaduras da estrutura, é essencial a instalação de pelo menos um condutor de descida para cada mastro, no qual não precisa o arranjo de condutores de descidas para mastros metálicos ou interconectados dentro das armaduras da edificação. Caso os captadores formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

Para SPDA não isolado, a quantidade de condutores de descidas deve ser instalada de maneira uniforme ao longo do perímetro da estrutura de acordo com a tabela 02 e respeitar o número mínimo de 02 descidas mesmo se os cálculos resultarem em valor inferior. Os

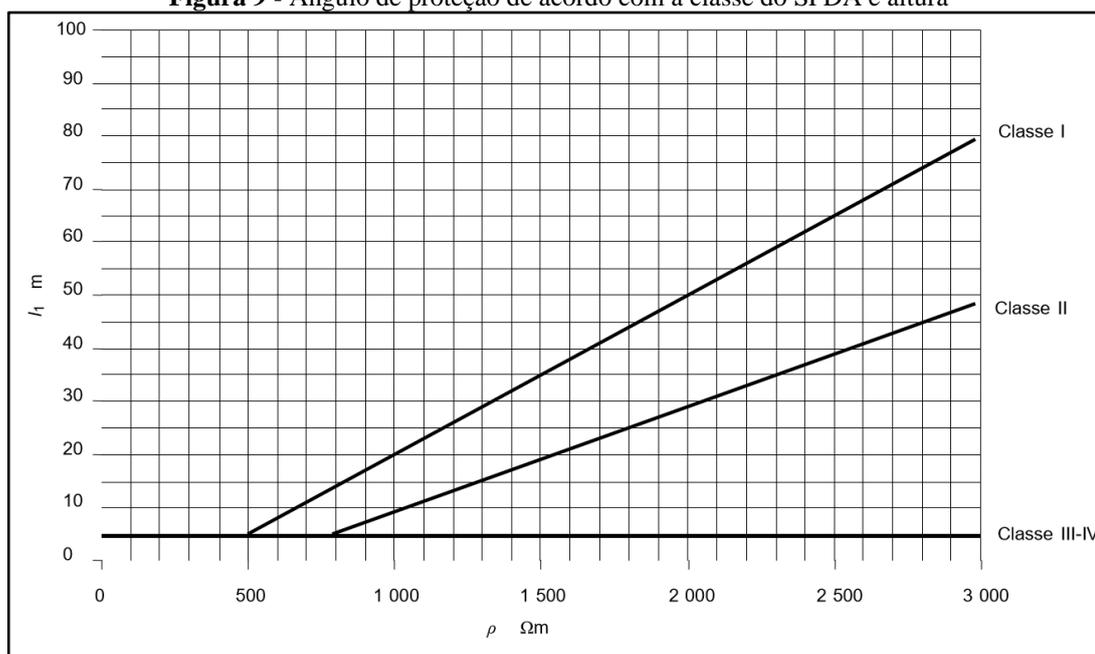
condutores de descidas devem ser instalados de preferência em cada canto saliente da edificação.

O subsistema de aterramento deve ser estudado e aprimorado em um projeto para se obter a menor resistência de aterramento possível, ao levar em consideração a compatibilidade com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do local. Assim é preferível uma única infraestrutura de aterramento, comum a toda instalação da edificação através da equipotencialização para atender à proteção contra raios, sistemas de energia elétrica e sinal (NBR 5419-3, 2015).

Sempre que possível é ideal o aproveitamento das armaduras das fundações para o arranjo de aterramento. Na impossibilidade desta, a disposição dos eletrodos de aterramento deve ser do tipo em anel, externo a edificação protegida, em contato com o solo ao menos 80% do seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação. Os eletrodos também podem ser do tipo malha de aterramento. Assim também para questões que envolvem tensões superficiais perigosas, devem ser consideradas medidas preventivas (SANTINI, 2016).

Vale ressaltar que para eletrodos em formato anel ou interligado a fundação descontínua, o raio médio da área de abrangência pelos eletrodos não pode ser menor ao valor do comprimento do eletrodo determinado na figura 9 de acordo com cada classe de SPDA.

**Figura 9** - Ângulo de proteção de acordo com a classe do SPDA e altura



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Os eletrodos em anel devem ser instalados em uma profundidade de no mínimo 50 centímetros e no máximo à 01 metro longe das paredes externas da edificação. Se não for possível a aplicação do anel externo por motivos técnicos da estrutura, o mesmo pode ser instalado internamente, porém, requisitando medidas que visem minimizar os riscos oriundos por tensões superficiais (NBR 5419-3, 2015).

A respeito do SPDA interno tem o objetivo de reduzir os riscos de centelhamento potencialmente danosos por meio da equipotencialização ou distância de segurança entre componentes do SPDA externo. As medidas de proteção fundamentais contra tensões de passo e de toque para os seres vivos constitui-se por meio da redução da corrente elétrica que flui através dos seres humanos, com o método de isolamento das partes condutoras que ficam expostas, também pode ser utilizado em conjunto o aumento da resistividade superficial do solo. Assim outra medida é reduzir os eventos de tensões de passo e toque através de barreiras físicas e/ou avisos de advertências.

Outro ponto fundamental na redução de centelhamentos é a equipotencialização que é realizada por meio da interligação do SPDA com as instalações metálicas, sistemas internos e partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas à estrutura. E os meios pelos quais são conectados todo o sistema, pode ser de maneira direta, ou seja, condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida por ligações naturais; modo indireto que é realizado através de aparelhos DPS (dispositivo de proteção contra surtos), em locais que a conexão direta não possa ser feita por meio de conectores de ligação e também centelhadores, no qual a conexão direta através de condutores de ligação não seja permitida (NBR 5419-3, 2015).

Dessa forma para SPDA não isolado deve ser projetado e instalados a barra de ligação equipotencial no nível do solo ou o mais próximo deste. Se tratando de edificações grandes áreas construídas, devem ser utilizadas barras de equipotencialização local (BEL) a uma distância aproximada de 20 metros uma das outra, e interligadas ao barramento de equipotencialização principal (BEP) de acordo com os materiais e valores mínimos da seção dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e dos condutores que ligam essas hastes ao sistema de aterramento disponibilizados na tabela 2, assim também na tabela 3 as dimensões mínimas dos conectores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização.

**Tabela 2** - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

**Tabela 3** - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área de seção reta (mm <sup>2</sup> )
I - IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

#### 2.4. Sistemas Elétricos e Eletrônicos internos na Estrutura

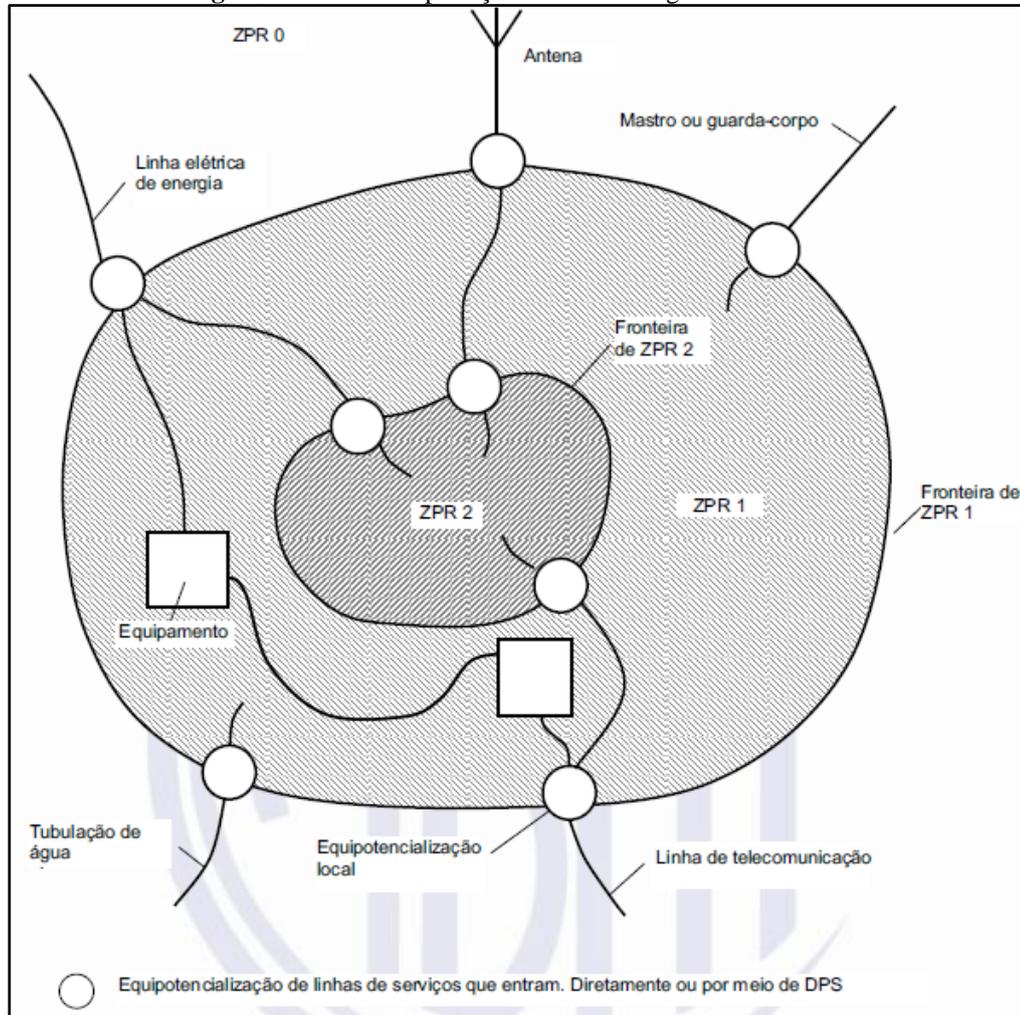
Por fim a última parte da norma trata exclusivamente da proteção dos sistemas eletroeletrônicos dentro da edificação através de medidas de proteção contra surtos (MPS). Os surtos são transmitidos para dentro da edificação criados pelo próprio raio que atinge a estrutura ou o solo próximo à edificação e por fatores eletromagnéticos, devido a passagem de corrente elétrica dissipada que flui diretamente pelo SPDA ou pela passagem parcial dessa corrente.

Através da descarga atmosférica é gerado um impulso eletromagnético de grande proporção, no qual tais distúrbios são conduzidos ou induzidos percorrendo através dos cabos interligados aos sistemas eletroeletrônicos. Também ocorre para os efeitos dos campos eletromagnéticos difundidos de forma direta para os equipamentos (NBR 5419-4, 2015).

De acordo com a quarta parte da norma NBR 5419 de 2015, é fundamentada no princípio de zonas de proteção contra raios (ZPR). Tais zonas são teoricamente relacionadas de forma direta a uma determinada parte do ambiente, no qual a severidade dos impulsos eletromagnéticos é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes. Desta maneira as zonas são caracterizadas por importantes mudanças na rigorosidade nos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP). Assim são distribuídas de acordo com a figura 08, que retrata uma divisão de zonas de proteção contra descargas atmosféricas no qual

todos materiais metálicos, assim como as linhas de energia e sinal externo a edificação são equipotencializados através de dispositivo de proteção contra surto (DPS) (SANTINI, 2017).

**Figura 10 - Zonas de proteção contra descargas atmosféricas**



**Fonte:** NBR 5419-4 (2015)

No qual a NBR 5419 de 2015 define:

ZPR 0 - Zona onde a ameaça é devido a não diminuição do campo eletromagnético e onde a parte interna da estrutura podem estarem sujeitas às correntes de surtos;

ZPR 1 - Zona pela qual a corrente elétrica de surto é limitada através do escoamento distribuído da corrente elétrica, uso de DPS, equipotencialização e blindagem espacial por meio de malhas que podem minimizar os efeitos do campo eletromagnético;

ZPR 2 - Zona na qual a corrente de surto pode ser ainda mais reduzida nas fronteiras entre as zonas internas, com medidas de distribuição de corrente, DPS, equipotencialização e blindagens adicionais para conter o campo eletromagnético.