

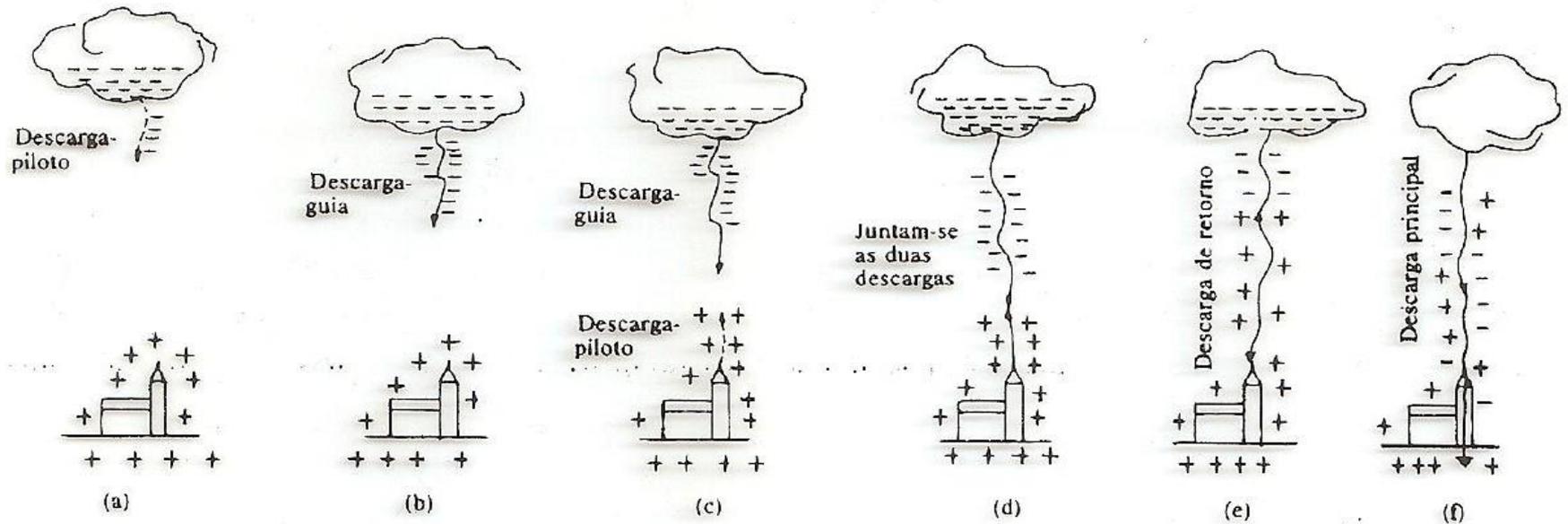
# Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas SPDA

## NBR 5419-1:2015

### Princípios Gerais

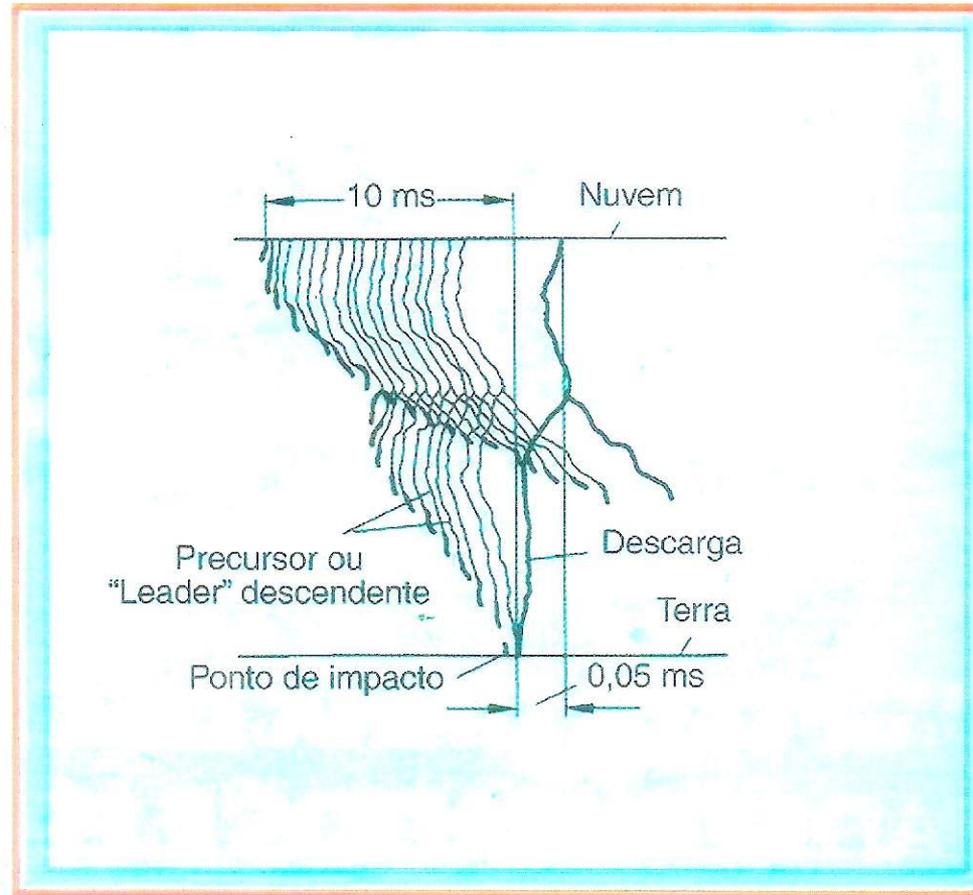
Prof. Marcos Fergütz  
Setembro/2016

# Formação das Descargas Atmosféricas



Fases sucessivas da formação na atmosfera de uma descarga elétrica.

## Teoria dos Saltos - Raio Nuvem-Solo



*Fig. 1 – Registros fotográficos utilizados na determinação do método*

# Raios Solos-Nuvens



Fotografia da descarga por câmara fixa



Fotografia da mesma descarga por câmara de alta velocidade

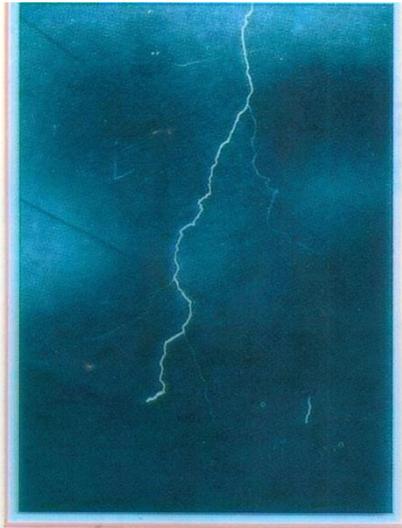


Fig. 3 – Desenvolvimento de precursor ascendente a partir do solo



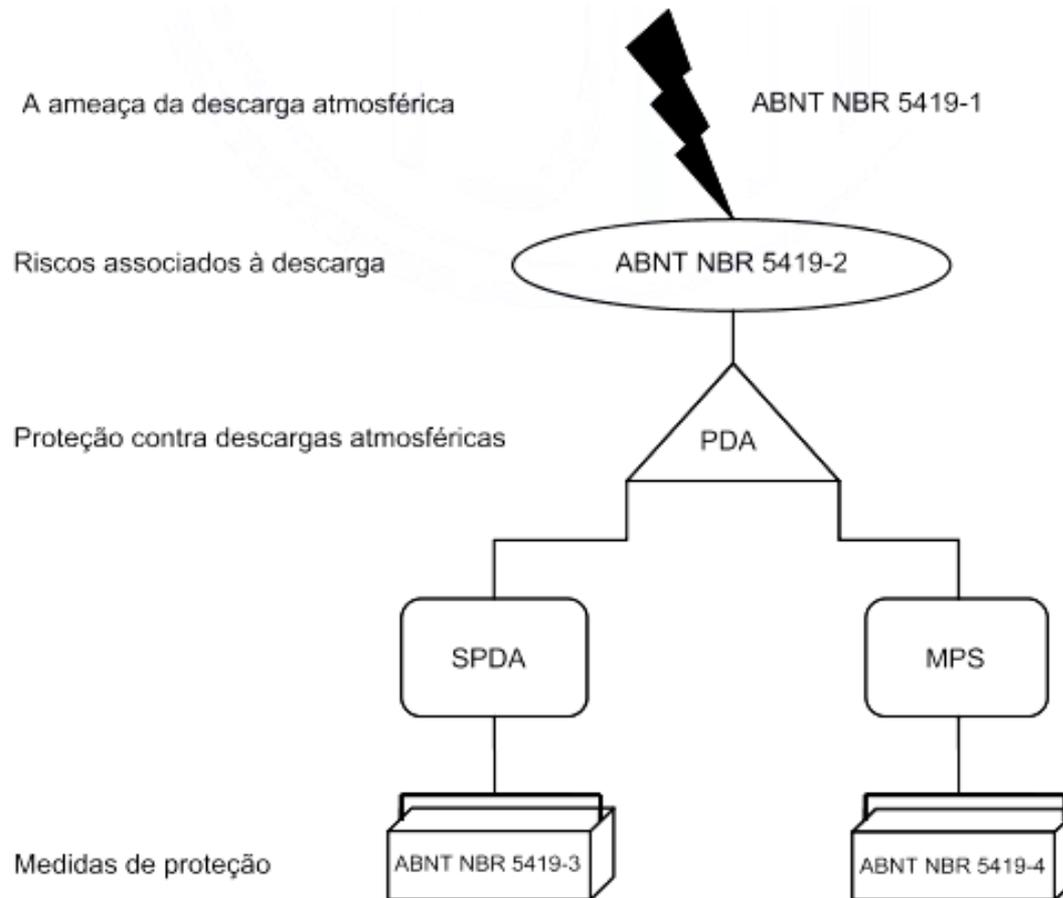
Fig. 5 – Precursores ascendentes originados na torre de comunicação do Monte San Salvatore, na Suíça



Raio ascendente em antena instalada no Pico Jaraguá – São Paulo/SP – março/2012  
Imagem: INPE/ELAT



# Estrutura da NBR5419/15



MEC 2612/10

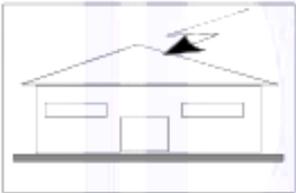
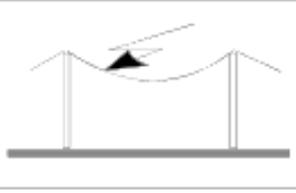
Figura 1 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419

## NBR 5419-1:2015 – Princípio Gerais

Esta primeira parte da 5419 se presta a fazer uma apresentação geral de conceitos que serão desenvolvidos nas partes subsequentes (2, 3 e 4).

- Fontes de Danos
    - S1: Descargas atmosféricas na estruturas;
    - S2: Descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura;
    - S3: Descarga atmosféricas nas linhas elétricas e/ou tubulações metálicas de entrada;
    - S4: Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e/ou tubulações metálicas de entrada.
  - Tipos de Danos
    - D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
    - D2: danos físicos devido aos efeitos da corrente da descarga (inclusive centelhamento) como fogo, explosão, destruição mecânica e liberação de produtos químicos;
    - D3: falhas de sistemas internos devido ao pulso eletromagnético devido à descarga atmosférica (**LEMP – Lightning Eletromagnetic Impulse**).
  - Tipos de Perdas
    - L1: perda vida humana (inclusive danos permanentes);
    - L2: perda de serviço ao público;
    - L3: perda de patrimônio cultural;
    - L4: perda de valor econômico (estrutura/conteúdo/atividades)
- } Perdas Sociais

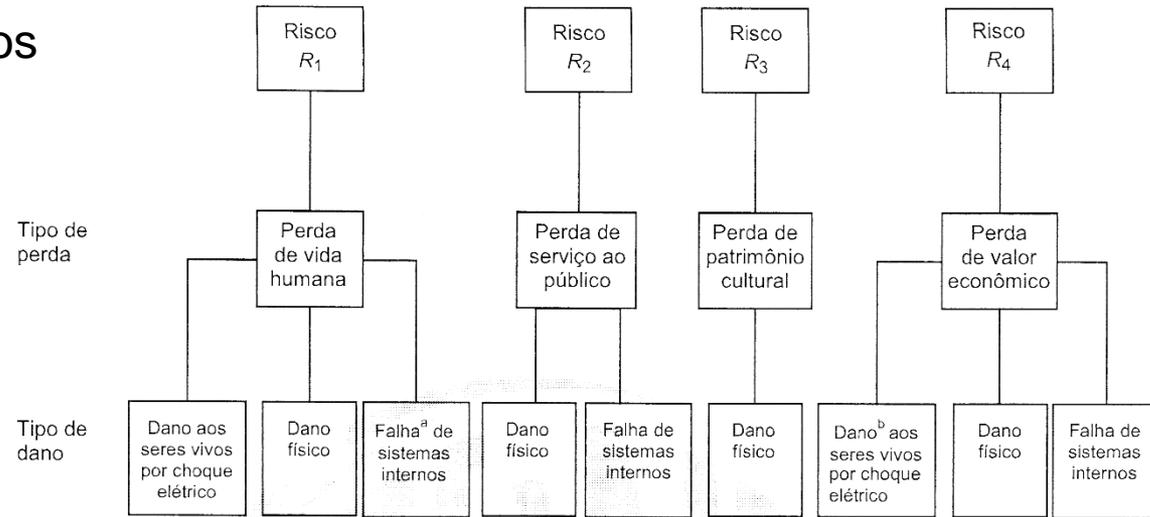
**Tabela 2 – Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica**

| Ponto de impacto  |  | Fonte de dano | Tipo de dano   | Tipo de perda   |
|---|--|---------------|----------------|---|
| Estrutura   |   | S1            | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4 <sup>a</sup><br>L1, L2, L3, L4<br>L1 <sup>b</sup> , L2, L4 |
| Nas proximidades de uma estrutura                               |   | S2            | D3             | L1 <sup>b</sup> , L2, L4  |
| Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura |   | S3            | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4 <sup>a</sup><br>L1, L2, L3, L4<br>L1 <sup>b</sup> , L2, L4 |
| Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica        |  | S4            | D3             | L1 <sup>b</sup> , L2, L4  |

<sup>a</sup> Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

<sup>b</sup> Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

## - Tipos de Riscos



IEC 2613/10

- <sup>a</sup> Somente para hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.
- <sup>b</sup> Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

**Figura 2 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos**

## - Necessidade de SPDA

Há que se avaliar os riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ , determinando o risco  $R$ . Assim, a necessidade de SPDA se dará se:

$$R > R_T \text{ (Risco Tolerável)}$$

## - Vantagem econômica do SPDA

Avaliação do Risco  $R_4$  para determinar o custo da perda econômica com e sem medidas de proteção. A proteção é conveniente se:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

$C_{RL} \Rightarrow$  Custo das perdas residuais

$C_{PM} \Rightarrow$  Custo das medidas de proteção

$C_L \Rightarrow$  Custo da perda sem medidas de proteção

## Medidas de Proteção

- Para reduzir danos à pessoas devido ao choque elétrico:

- Isolação das parte condutoras expostas;
- Equipotencialização através de aterramento em malha;
- Restrições físicas e avisos;
- Ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

Nota: risco de vida reduzido se aumentado a resistência de contato da superfície do solo; medidas eficientes somente para estrutura com SPDA; detectores de tempestades podem auxiliar a reduzir risco de vida.

- Para reduzir danos físicos:

- ❖ Subsistema de captação, de descida e de aterramento;
- ❖ Equipotencialização para descargas atmosféricas (EB);
- ❖ Isolação elétrica → distância de segurança.

Nota: limitação da propagação do fogo (compartimentos à prova, extintores, hidrantes, alarme) reduzem os danos físicos; a equipotencialização é essencial para reduzir os perigos de incêndio, explosão e o risco de vida.

- Para reduzir falhas dos sistemas eletro-eletrônicos:

- ✓ Aterramento e equipotencialização;
- ✓ Blindagem magnética;
- ✓ Roteamento da fiação;
- ✓ Interfaces isolantes;
- ✓ DPS coordenado.

Nota: Para danos Tipo S1, as medidas são eficientes se a estrutura for protegida por SPDA; detectores de tempestade podem reduzir as falhas de sistemas eletro-eletrônicos.

## - Níveis de Proteção

Para efeitos da nova versão da NBR5419/2015, foi definido um conjunto de parâmetros relativos à corrente de descarga. A atribuição de diferentes valores aos parâmetros acarreta na definição de 4 Níveis de Proteção (NP).

## Componentes da Corrente de Descarga Atmosférica

### - Impulso ( $t < 2\text{ms}$ )

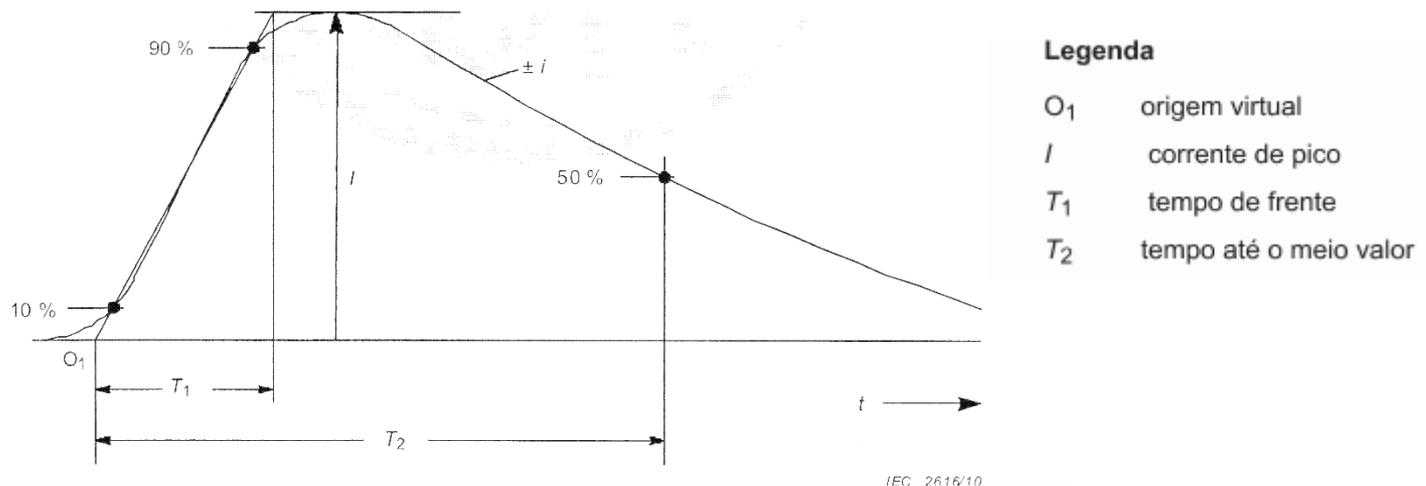


Figura A.1 – Definições dos parâmetros de um impulso de corrente (tipicamente  $T_2 < 2\text{ms}$ )

### - Componentes Longos ( $t > 2\text{ms}$ )

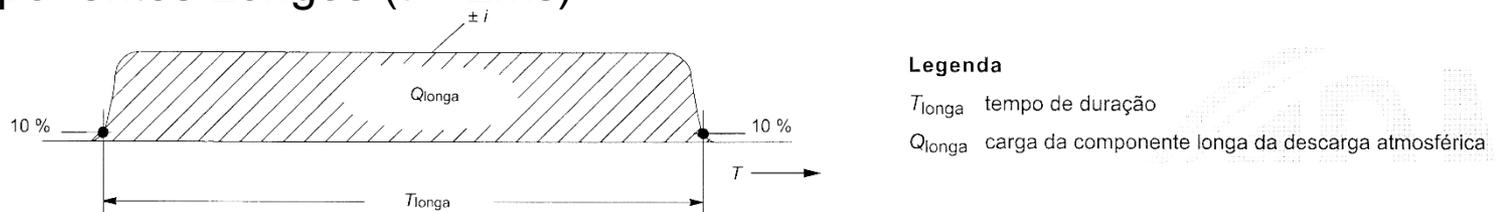


Figura A.2 – Definições dos parâmetros da componente longa (tipicamente  $2\text{ms} < T_{\text{longa}} < 1\text{s}$ )

As componentes das descargas se diferenciam pela polaridade (positiva/negativa) e de suas posições durante a descarga, as quais podem ser: primeira componente, componente subsequente e superposta. Segundo a NBR5419-1, as componentes possíveis, são:

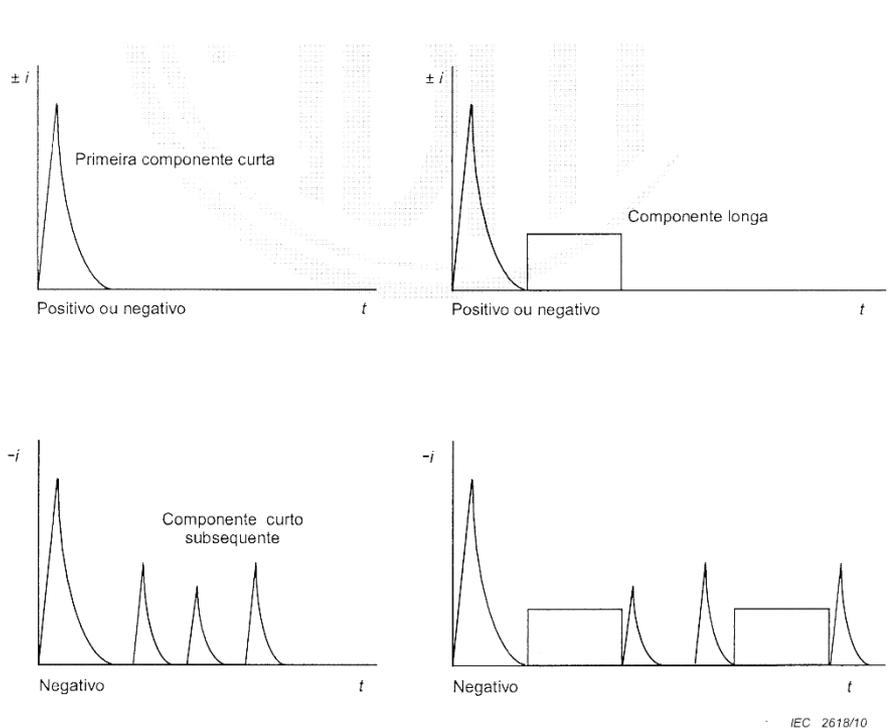


Figura A.3 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas descendentes (típicas em locais planos e em estruturas baixas)

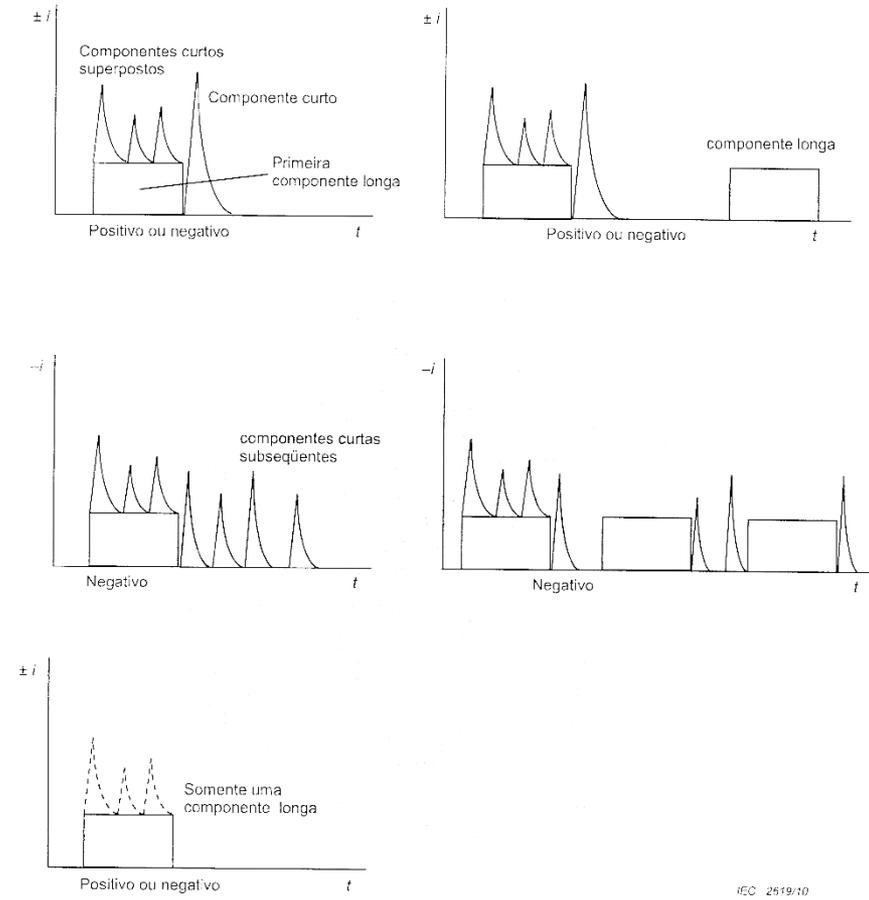


Figura A.4 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas ascendentes (típicas de estruturas mais altas ou expostas)

**Tabela 3 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP)**

| Primeiro impulso positivo                |             |                 | NP       |      |     |    |
|--|-------------|-----------------|----------|------|-----|----|
| Parâmetros da corrente                   | Símbolo     | Unidade         | I        | II   | III | IV |
| Corrente de pico                         | $I$         | kA              | 200      | 150  | 100 |    |
| Carga do impulso                         | $Q_{curta}$ | C               | 100      | 75   | 50  |    |
| Energia específica                       | $W/R$       | MJ/ $\Omega$    | 10       | 5,6  | 2,5 |    |
| Parâmetros de tempo                      | $T_1 / T_2$ | $\mu s / \mu s$ | 10/350   |      |     |    |
| Primeiro impulso negativo <sup>a</sup>   |             |                 | NP       |      |     |    |
| Parâmetros da corrente                   | Símbolo     | Unidade         | I        | II   | III | IV |
| Valor de pico                            | $I$         | kA              | 100      | 75   | 50  |    |
| Taxa média de variação                   | $di/dt$     | kA/ $\mu s$     | 100      | 75   | 50  |    |
| Parâmetros de tempo                      | $T_1 / T_2$ | $\mu s / \mu s$ | 1/200    |      |     |    |
| Impulso subsequente                      |             |                 | NP       |      |     |    |
| Parâmetros da corrente                   | Símbolo     | Unidade         | I        | II   | III | IV |
| Valor de pico                            | $I$         | kA              | 50       | 37,5 | 25  |    |
| Taxa média de variação                   | $di/dt$     | kA/ $\mu s$     | 200      | 150  | 100 |    |
| Parâmetros de tempo                      | $T_1 / T_2$ | $\mu s / \mu s$ | 0,25/100 |      |     |    |
| Componente longa da descarga atmosférica |             |                 | NP       |      |     |    |
| Parâmetros da corrente                   | Símbolo     | Unidade         | I        | II   | III | IV |
| Carga da componente longa                | $Q_{longa}$ | C               | 200      | 150  | 100 |    |
| Parâmetros de tempo                      | $T_{longa}$ | s               | 0,5      |      |     |    |
| Descarga atmosférica                     |             |                 | NP       |      |     |    |
| Parâmetros da corrente                   | Símbolo     | Unidade         | I        | II   | III | IV |
| Carga da descarga atmosférica            | $Q_{flash}$ | C               | 300      | 225  | 150 |    |

<sup>a</sup> O uso desta forma de onda de corrente é de interesse para cálculos somente, não para ensaios.

**Tabela 4 – Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondentes aos níveis de proteção (NP)**

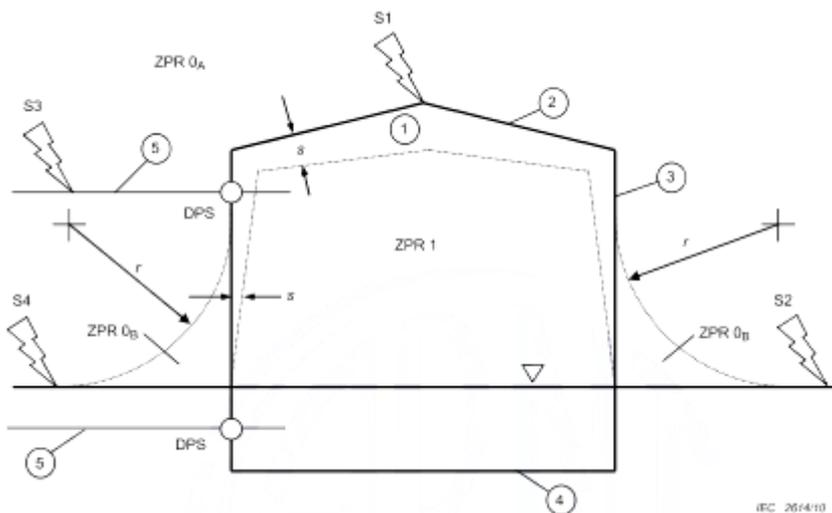
| Critérios de interceptação |         |         | NP |    |     |    |
|----------------------------|---------|---------|----|----|-----|----|
|                            | Símbolo | Unidade | I  | II | III | IV |
| Corrente de pico mínima    | $I$     | kA      | 3  | 5  | 10  | 16 |
| Raio da esfera rolante     | $r$     | m       | 20 | 30 | 45  | 60 |

# Proteção Contra Danos Físicos e Risco de Vida

Para se proteger uma estrutura contra danos físicos e risco de vida, há que se lançar mão de um SPDA.

- Um SPDA é composto de:
  - Sistema Externo de Proteção: constituído por subsistemas de captação, descida e aterramento, com a função de captar a descarga, conduzir a corrente de forma segura até dispersá-la na terra ;
  - Sistema Interno de Proteção: constituído em ligações equipotenciais e/ou isolamento elétrica (distância de segurança) do sistema externo, com o objetivo de evitar o centelhamento perigoso na estrutura.

- Zonas de Proteção contra Raio (ZPR) definida por SPDA



|   |   |     |  |
|---|---|-----|--|
| 1 | estrutura                                     | S1  | descarga atmosférica na estrutura  |
| 2 | subsistema de captação                        | S2  | descarga atmosférica perto da estrutura                                      |
| 3 | subsistema de descida                         | S3  | descarga atmosférica em linhas ou tubulações que adentram na estrutura       |
| 4 | subsistema de aterramento                     | S4  | descarga atmosférica perto de linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 5 | linhas e tubulações que adentram na estrutura | $r$ | raio da esfera rolante   |
|   |   | $s$ | distância de segurança contra centelhamento perigoso                         |

▽ nível do piso

○ ligação equipotencial por meio de DPS

ZPR 0<sub>A</sub> descarga atmosférica direta, corrente total

ZPR 0<sub>B</sub> é pouco provável a ocorrência de descarga atmosférica direta, corrente parcial da descarga atmosférica ou corrente induzida

ZPR 1 não há descarga atmosférica direta, corrente limitada da descarga atmosférica ou corrente induzida

É importante observar que o volume protegido na ZPR 1 sempre respeita a distância de segurança  $s$

A norma reconhece que a proteção contra danos físicos e risco de vida é efetiva quando a estrutura estiver dentro de uma ZPR 0<sub>B</sub>.

## Proteção para Reduzir as Falhas de Sistemas Internos

A proteção contra LEMP visando reduzir os riscos de falhas dos sistemas eletroeletrônicos internos devem limitar sobretensões:

- ✓ devido a descargas na estrutura, resultando de acoplamentos resistivos e indutivos;
- ✓ Devido a descargas próximas a estrutura, resultando de acoplamento indutivo;
- ✓ Transmitidas por linhas que adentram a estrutura, em função de descargas nas linhas e/ou nas proximidades destas;

E, limitar campo magnético acoplado diretamente aos aparelhos/equipamentos.

Para tanto, o sistema deve estar dentro de uma ZPR1 ou superior, sendo que isto se dá à partir da aplicação de Medidas de Proteção contra Surto (MPS). As MPS's são constituídas de condutores de blindagem, blindagem magnética e **DPS**.

A aplicação de MPS originam ZPR's, de modo que uma ZPR a jusante de uma MPS apresenta uma redução significativas dos LEMP, em comparação com a ZPR a montante.

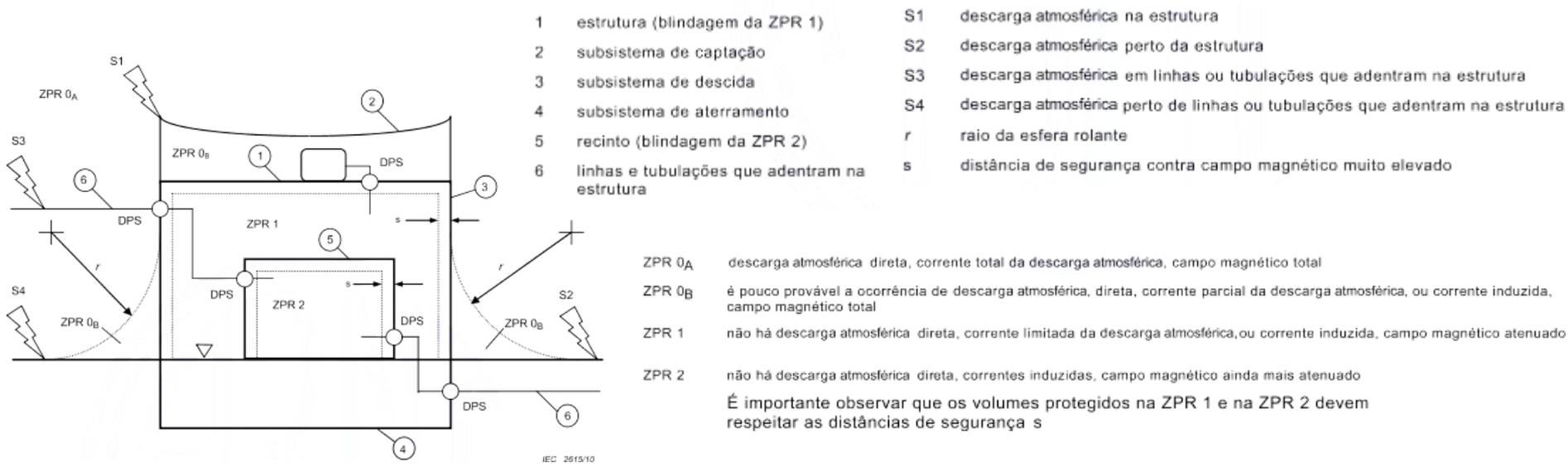


Figura 4 – ZPR definidas por MPS (ABNT NBR 5419-4)

Salienta-se que neste material se tratou de mostrar os principais conceitos que a NBR5419-1:2105 apresenta em seu corpo e no Anexo A.

Fica a indicação de leitura dos Anexos B, C, D e E, os quais são informativos e trazem informações complementares.

FIM

**Tabela E.2 – Surtos de correntes devido às descargas atmosféricas previstos em sistemas de baixa tensão**

| NP<br>(classe) | Sistemas de baixa tensão   |  |   |  |
|----------------|--|--|---|--|
|                | Descargas atmosféricas diretas e indiretas na linha  |  | Descargas atmosféricas perto da estrutura <sup>a</sup>                                    | Descargas atmosféricas na estrutura <sup>a</sup>   |
|                | Fonte de danos S3 (descarga atmosférica direta) <sup>b</sup><br>Forma de onda da corrente:<br>10/350 $\mu$ s<br>kA | Fonte de danos S4 (descarga atmosférica indireta) <sup>c</sup><br>Forma de onda da corrente:<br>8/20 $\mu$ s<br>kA | Fonte de danos S2 (corrente induzida)<br>Forma de onda da corrente:<br>8/20 $\mu$ s<br>kA | Fonte de danos S1 (corrente induzida)<br>Forma de onda da corrente: <sup>d</sup><br>8/20 $\mu$ s<br>kA |
| III - IV       | 5  | 2,5  | 0,1   | 5  |
| II             | 7,5  | 3,75   | 0,15  | 7,5  |
| I              | 10   | 5  | 0,2   | 10   |

NOTA Todos os valores referidos a cada condutor da linha.

<sup>a</sup> O roteamento do laço dos condutores e a distância da corrente indutora afetam os valores dos surtos de corrente previstos. Os valores da Tabela E.2 referem-se a laço fechado de condutores não blindados e com diferentes roteamentos em grandes edifícios (áreas de laços da ordem de 50 m<sup>2</sup>, largura = 5 m), a 1 m da parede, dentro de uma estrutura não blindada ou edifício com SPDA ( $k_c = 0,5$ ). Para outras características de laço e de estrutura, os valores podem ser multiplicados pelos fatores  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$  (ver ABNT NBR 5419-2:2015, B.4).

<sup>b</sup> Valores pertinentes ao caso onde a descarga atmosférica atinge o último poste da linha perto do consumidor e linha de vários condutores (três fases + neutro).

<sup>c</sup> Valores referidos a linhas aéreas. Para linhas enterradas, os valores podem ser a metade.

<sup>d</sup> A resistência e a indutância do laço afetam a forma de onda da corrente induzida. Onde a resistência do laço for desprezível, a forma de onda 10/350  $\mu$ s pode ser assumida. Este é o caso onde um DPS do tipo de chaveamento é instalado no circuito induzido.

