



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

LORENA CRISTIANE RODRIGUES ARAUJO

**ANÁLISE DE CONFORMIDADE DOS PROJETOS DE SPDA EM
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS SEGUNDO A NBR 5419 (2005)**

Campina Grande, Paraíba
Fevereiro de 2013

LORENA CRISTIANE RODRIGUES ARAUJO

ANÁLISE DE CONFORMIDADE DOS PROJETOS DE SPDA EM
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS SEGUNDO A NBR 5419 (2005)

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Orientador:

Genóilton João de Carvalho Almeida

Campina Grande, Paraíba
Fevereiro de 2013

LORENA CRISTIANE RODRIGUES ARAUJO

ANÁLISE DE CONFORMIDADE DOS PROJETOS DE SPDA EM
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS SEGUNDO A NBR 5419 (2005)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em 21 / 02 / 2013

Genóilton João de Carvalho Almeida
Orientador

Karcus M. C. Dantas
Componente da Banca

Aos meus pais, com todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha vida e por ter me dado condições de concluir este trabalho

Agradeço também aos meus pais, Severino do Ramo e Erotildes Rodrigues pelos seus esforços em me proporcionar uma boa educação, e pelo apoio e carinho constantes.

Agradeço aos meus irmãos Hélio, Geórgia, Bruna e Paolo, por sempre acreditarem que este dia chegaria.

Agradeço a todos os meus amigos que não mediram esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida, em especial a Andreza Andrade, companheira de estudos e lazer, e a Tarcisio Oliveira, que muito me ajudaram.

Agradeço aos professores e funcionários do DEE, por exercerem tão bem sua função permitindo-me obter uma excelente formação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de fazer uma análise dos projetos do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de um condomínio de edifícios residenciais localizado em Águas Claras - DF, conforme a NBR 5419 (2005). Inicialmente será feita uma explanação da norma em seus principais aspectos, que fixam condições de projeto e instalação do SPDA, em seguida será feito o estudo de caso do sistema projetado, por fim a conclusão deste estudo será dada.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas, SPDA, NBR 5419.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Formação de uma descarga Atmosférica	3
Figura 2. Mapa de curvas isocerânicas – Brasil	4
Figura 3. Forma de onda do raio	4
Figura 4. Área equivalente de atração das descargas atmosféricas.....	8
Figura 5. Zona de proteção do método de Franklin	12
Figura 6. Comprimento e largura de um módulo da malha	13
Figura 7. Princípio de proteção pelo método eletrogeométrico	14
Figura 8 – Zona espacial de proteção do método eletrogeométrico	15
Figura 9 - Aplicação do modelo eletrogeométrico a uma estrutura muito alta	16
Figura 10 – Campo magnético gerado pela corrente do Raio em condutores vizinhos	19
Figura 11 - Comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento em função dos níveis de resistividade do solo.	21
Figura 12 – Superfícies equipotenciais de uma edificação	23
Figura 13 – Disposição de terminais captadores ao longo da malha de Faraday.....	28
Figura 14 – Detalhe da fixação de captadores	29
Figura 15 –Área de proteção do captor Franklin.....	29
Figura 16 – Detalhe de Fixação do Captor Franklin	30
Figura 17 – Detalhe de conexão metálica para garantir continuidade da descida.....	31
Figura 18 – Interligação das ferragens da laje com as do pilar.....	32
Figura 19 – Detalhe de conexão da malha de aterramento com o subsistema de descida	33
Figura 20 – Barramento de equipotencialização principal (BEP)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do raio.....	6
Tabela 2 – Probabilidade Ponderada.....	9
Tabela 3 - Ângulos de proteção.....	11
Tabela 4 - Largura da malha pelo nível de proteção.....	13
Tabela 5- R e respectiva I_{\max} em função do nível de proteção.....	15
Tabela 6 - Seções mínimas dos materiais do SPDA.....	18
Tabela 7 - Espessuras mínimas dos componentes do SPDA.....	18
Tabela 8- Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção.....	20
Tabela 9 - Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir uma parte substancial da corrente de descarga.....	24
Tabela 10 - Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir uma parte reduzida de descarga atmosférica.....	24

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Descargas atmosféricas	2
2.1	Parâmetros dos raios	3
2.1.1	Frequência de ocorrência.....	3
2.1.2	Intensidade e polaridade da corrente	4
2.1.3	Ângulo de Incidência.....	5
2.1.4	Valores dos raios	6
3	Seleção do nível de proteção	7
3.1	Área equivalente de atração de um raio em uma estrutura.....	7
3.2	Frequência admissível de danos.....	8
3.3	Avaliação geral do risco.....	9
4	Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas -SPDA	10
4.1	Método de Franklin.....	11
4.2	Método Faraday	12
4.3	Método Eletrogeométrico	14
5	Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas.....	17
5.1	Subsistema captadores	17
5.2	Subsistema de condutores de descidas	19
5.3	Subsistema de aterramento.....	21
5.4	Equalização de potenciais	22
6	Análise de edificações – estudo de caso	25
6.1	Avaliação geral do risco e seleção do nível de proteção	25
6.2	Subsistema de captação.....	27
6.3	Subsistema de descidas	31
6.4	Subsistema de aterramento.....	33
6.5	Equalização de Potencial	34
7	Conclusões.....	36
	Bibliografia.....	37
	Anexo A – Fatores de Ponderação para avaliação geral do risco e classificação de estruturas com nível de proteção. (NBR 5419, 2005)	38

1 INTRODUÇÃO

A formação de cargas nas nuvens, e a sua conseqüente descarga a terra, são fenômenos naturais que causam sérios danos materiais nas construções atingidas, sem contar os riscos de vida que as pessoas e animais ficam submetidos. A ciência e a tecnologia ainda não desenvolveram métodos para impedir estas descargas elétricas, no entanto, é necessário discipliná-las na sua queda, obrigando-as a seguir um caminho pré-determinado para a terra por intermédio de dispositivos que trabalham para minimizar os efeitos destruidores da eletricidade.

É neste contexto que esta pesquisa está inserida, o projeto do sistema de proteção contra descargas atmosféricas de um condomínio de edifícios residenciais localizado em Águas Claras – DF é analisado conforme a NBR 5419 que fixa condições de projeto, instalação e de manutenção do SPDA, para proteger as edificações contra a incidência direta dos raios, assim como proporcionar uma área de proteção para as pessoas e equipamentos no interior das mesmas.

Inicialmente serão abordadas as definições de descargas atmosféricas e os parâmetros dos raios, em seguida serão definidos os níveis de proteção assim como a avaliação geral do risco de uma estrutura ser atingida, depois serão explanados os métodos de proteção e os subsistemas constituintes de um SPDA. Por fim será feito um estudo de caso dos projetos de SPDA do residencial, e serão dadas as devidas conclusões.

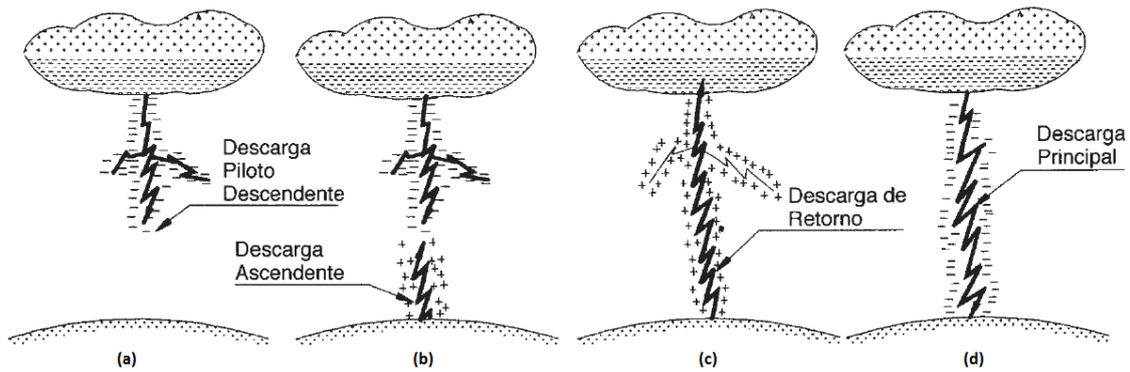
2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

“A descarga atmosférica é um processo de transformação de energia eletrostática, em energia eletromagnética (ondas de luz e de rádio), térmica e acústica.” (CREDER, 2007) Várias teorias foram desenvolvidas ao longo dos anos para explicar tal fenômeno, atualmente acredita-se que os ventos ascendentes de forte intensidade provocam a fricção entre as partículas de água contidas nas nuvens dando origem a uma grande quantidade de cargas elétricas nas nuvens.

Acredita-se que as regiões superiores da nuvem são geralmente carregadas positivamente, enquanto que a zona inferior é predominantemente negativa. De acordo com NAIDU (1995) o máximo gradiente de tensão alcançado no nível do solo, devido a nuvem carregada é em torno de 300 V/cm, enquanto o gradiente em condições climáticas normais é de aproximadamente 1 V/cm.

Quando a intensidade do campo elétrico em algum ponto da nuvem carregada excede a rigidez dielétrica do ar úmido e ionizado (≈ 10 kV/cm), uma descarga piloto, denominada de “líder escalonado” ou “líder descendente”, inicia uma descida para a terra em saltos de direções aleatórias (Figura 1a). Estes saltos discretos são atribuídos, entre outros fatores, a ação do vento, que dispersa a frente de ar ionizado e impõe um processo intermitente de ionização e ruptura do dielétrico do ar.

A ionização do caminho seguido pela descarga piloto propicia condições favoráveis de condutibilidade do ar ambiente. Mantendo-se elevado o gradiente de tensão na região entre a nuvem e a terra, surge, em função da aproximação ao solo de uma das ramificações da descarga piloto, uma descarga ascendente (Figura 1b) constituída de cargas elétricas positivas, denominada de descarga de retorno da terra para a nuvem (Figura 1c). Em seguida ocorre a descarga principal no sentido da nuvem para a terra (Figura 1d). A intensidade desta descarga acarreta aquecimento e aumento de pressão do ar próximo a trajetória do raio, expandindo-o em velocidades superiores às do som, gerando uma onda de choque. O ruído resultante desta onda é conhecido como trovão.



Fonte: Mamede (2002)

Figura 1. Formação de uma descarga atmosférica

2.1 PARÂMETROS DOS RAIOS

“O raio é um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra” (NBR 5419, 2005), as variáveis mais importantes associadas a este, são:

- frequência de ocorrência;
- intensidade e polaridade de corrente;
- ângulo de incidência.

Estes parâmetros são utilizados no dimensionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

2.1.1 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA

O índice que caracteriza o número de descargas anual para o solo em uma determinada região é conhecido como densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g) e pode ser estimado pela Equação 1:

$$N_g = 0,04 Td^{1,25} \text{ [raios por km}^2\text{/ano]} \quad 1$$

onde, Td é o índice cerâmico, e indica o número de dias do ano em que foi ouvida uma trovoadas na região, o mesmo pode ser obtido em mapas de curvas isocerâmicas, como o da Figura 2 presente na NBR 5419 (2005).



Fonte: NBR 5419 (2005)

Figura 2. Mapa de curvas isocerânicas – Brasil

2.1.2 INTENSIDADE E POLARIDADE DA CORRENTE

Após análise de sucessões de fotografias e registros oscilográficos, foi obtida a forma de onda do impulso da corrente de descarga do raio, bem como a sua duração. Na Figura 3 pode-se observar esta forma de onda e definição de alguns termos importantes.

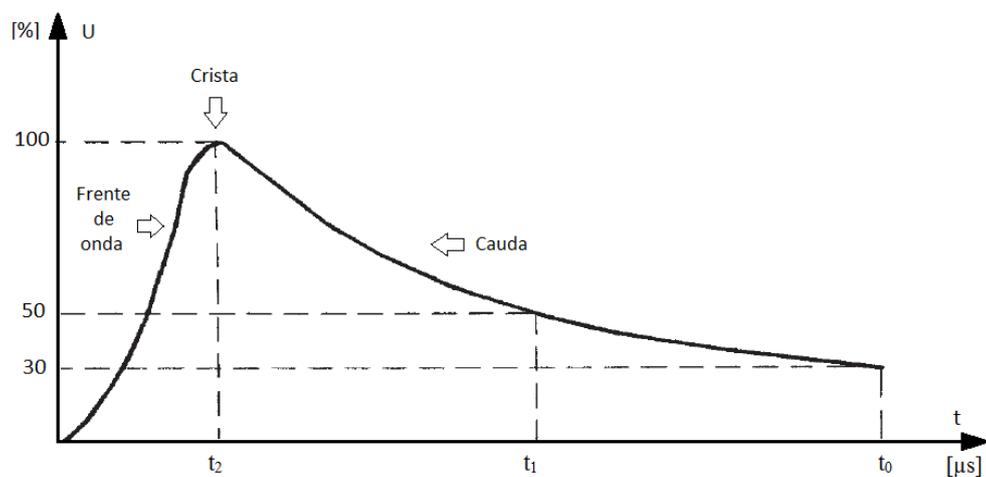


Figura 3. Forma de onda do raio

- **Frente da onda (t_2)** – corresponde ao período crescente da corrente ou tensão do raio, este tempo é de $1,2\mu\text{s}$ a $10\mu\text{s}$.
- **Valor de crista** – é o valor máximo alcançado pela corrente ou tensão do raio no tempo t_2 .
- **Cauda do raio** – corresponde à forma descendente da onda, desde o valor de crista até o final (t_2 a t_0). Este período é longo e suave comparado com a frente de onda, com valor entre $70\mu\text{s}$ a $200\mu\text{s}$.
- **Período de meia cauda (t_1)** – é o tempo que a cauda atinge o valor de meia crista, este período é de $20\mu\text{s}$ a $50\mu\text{s}$.

O valor da corrente de crista de uma descarga é uma variável que apresenta uma distribuição estatística, onde se tem uma relação inversa entre a intensidade da corrente e a sua probabilidade de ocorrência.

Tomando como base as medições feitas na Estação do Monte San Salvatori, as intensidades das descargas atmosféricas podem ocorrer nas seguintes probabilidades (MAMEDE, 2002):

- $97\% \leq 10\text{ kA}$;
- $85\% \leq 15\text{ kA}$;
- $50\% \leq 30\text{ kA}$;
- $20\% \leq 15\text{ kA}$;
- $4\% \leq 80\text{ kA}$;

Também ficou comprovado que a corrente de descarga tem uma única polaridade, isto é, uma só direção.

2.1.3 ÂNGULO DE INCIDÊNCIA

O ângulo de incidência da descarga também obedece a uma distribuição estatística. A incidência vertical apresenta maior probabilidade de ocorrência, diminuindo à medida que o ângulo de incidência aumenta.

2.1.4 VALORES DOS RAIOS

O conhecimento da forma de onda e dos valores típicos de corrente, tensão e tempo, além dos percentuais de sua ocorrência, possibilitou os estudos para dimensionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Valores medidos e registrados estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores do raio
Fonte Kindermann (1997)

Corrente	2 a 200 kA
Tensão	100 a 1.000.000 kV
Duração	70 a 200 μ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência Liberada	1000 a 8.000 milhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de crista	1,2 μ s
Tempo de meia cauda	50 μ s
$\frac{di(t)}{dt}$	5,5 $\frac{kA}{\mu s}$

Nota-se que a energia liberada pelo raio é relativamente pequena enquanto a potencia é gigantesca, mas de pouca duração. “Cerca de 75% da energia do raio é convertida em energia térmica, acústica e luminosa sendo que apenas 1% é transformada em energia eletromagnética em forma de onda.” (KINDERMANN, 1997)

3 SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

Mesmo com a instalação de um sistema de para-raios a edificação não estará totalmente protegida, podendo a mesma ser atingida por uma descarga atmosférica. A partir desta premissa, foram estabelecidos quatro diferentes níveis de proteção, de acordo grau de proteção julgado necessário aos diversos tipos de edificação. Esses níveis de proteção estão assim definidos:

- Nível I: é o nível mais severo quanto à perda de patrimônio. Refere-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de para-raios pode provocar danos às estruturas adjacentes, tais como as indústrias petroquímicas, de materiais explosivos, etc.
- Nível II: refere-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de para-raios pode ocasionar a perda de bens de estimável valor ou provocar pânico aos presentes, porém sem nenhuma consequência para construções adjacentes. Enquadram-se neste nível os museus, teatros, estádios, etc.
- Nível III: refere-se às construções de uso comum, tais como os prédios residenciais, comerciais e industriais de manufaturados simples.
- Nível IV: refere-se às construções onde não é rotineira a presença de pessoas. São feitas de material não inflamável, sendo o produto armazenado nelas de material não combustível, tais como armazéns de concreto para produtos de construção.

A NBR 5419 (2005) classifica diversos tipos de estruturas comuns e especiais, com o respectivo nível de proteção. A Tabela A.6, apresentada no Anexo A deste trabalho, exemplifica a classificação de estruturas.

3.1 ÁREA EQUIVALENTE DE ATRAÇÃO DE UM RAIOS EM UMA ESTRUTURA

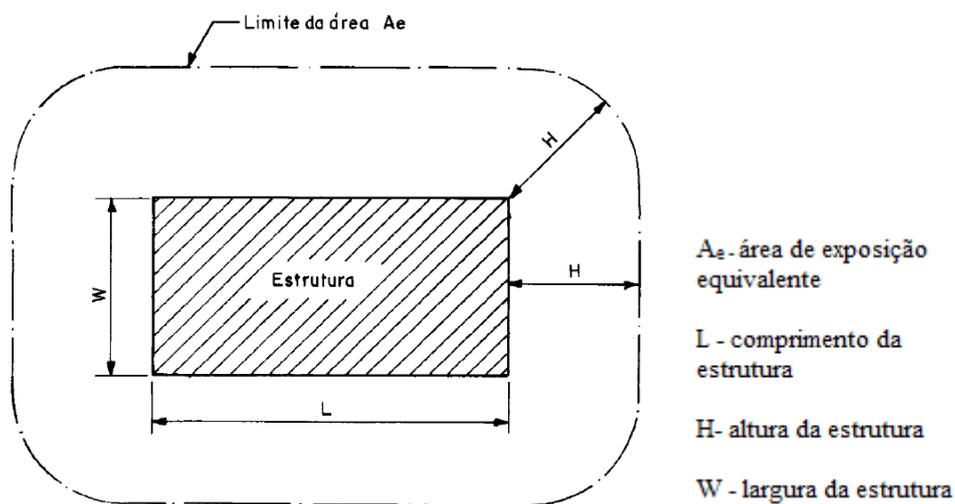
“Define-se como área de captação (atração) do raio em uma estrutura normal, sem sistema de proteção, como sendo a área equivalente no solo em que se ocorrer a incidência do raio o mesmo será atraído pela estrutura.” (KINDERMANN, 1997).

Esta é a área em metros quadrados, do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura do ponto considerado.

Assim, para uma estrutura retangular simples de comprimento L , largura W , e altura H , a área de exposição equivalente A_e é determinada pela Equação 2:

$$A_e = (L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H) + (\pi \times H^2) \text{ [m}^2\text{]} \quad 2$$

A Figura 4 mostra a área de exposição equivalente de uma estrutura com as definições geométricas necessárias.



Fonte: NBR 5419 (2005)

Figura 4. Área equivalente de atração das descargas atmosféricas

3.2 FREQUÊNCIA ADMISSÍVEL DE DANOS

De posse dos valores da densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g) de uma determinada região, estimado pela Equação 1, e da área de exposição equivalente de uma estrutura (A_e), obtida pela Equação 2, de acordo com NBR 5419 (2005) previsão da frequência média anual de descargas atmosféricas sobre uma estrutura (N_d) é feita pela Equação 3.

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \text{ [raios por ano]} \quad 3$$

Para a frequência média anual de danos (N_c), os limites reconhecidos internacionalmente são os seguintes:

- riscos maiores que 10^{-3} , isto é, 1 dano ocorrido na estrutura para 1.000 descargas por ano, são considerados inaceitáveis;
- riscos menores que 10^{-5} , isto é, 1 dano ocorrido na estrutura para 100.000 descargas por ano, em geral, são considerados aceitáveis.

3.3 AVALIAÇÃO GERAL DO RISCO

Antes de se tomar uma decisão aleatória sobre a necessidade de dotar determinada edificação de uma proteção contra incidência de raios, é prudente que seja calculada a chamada Avaliação Geral de Risco (N_{dc}). Esta corresponde a uma probabilidade ponderada associada à importância técnica do empreendimento e que subsidiará a tomada de decisão referente à necessidade de implantação de um sistema de proteção contra as descargas atmosféricas. Esta avaliação é feita aplicando-se os fatores de ponderação, e é obtida pela Equação 4.

$$N_{dc} = A \times B \times C \times D \times E \times N_d \quad 4$$

Fator A – tipo de ocupação da estrutura.

Fator B – tipo de construção da estrutura.

Fator C – conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas.

Fator D – localização da estrutura.

Fator E – topografia da região.

Os fatores estão indicados em tabelas da NBR (5419), as mesmas podem ser observadas no Anexo A deste trabalho.

A necessidade ou não de se adotar a estrutura de um SPDA é dada na Tabela 2.

Tabela 2 – Probabilidade Ponderada
Fonte: Mamede (2002)

Probabilidade ponderada	Proteção desejada
$N_{dc} \geq 10^{-3}$	Obrigatória
$10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$	Aconselhada
$N_{dc} \leq 10^{-5}$	Dispensável

4 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS -SPDA

Como não se pode evitar que o raio caia sobre a estrutura, deve-se empregar técnicas de proteção que disciplinem o escoamento do raio para a terra, minimizando, ou mesmo evitando, seus efeitos danosos à estrutura, pessoas, equipamentos, etc. Com o objetivo de facilitar o caminho do raio para a terra, os sistemas de proteção são constituídos de 3 componentes básicos, são eles:

- Subsistema captor de descargas;
- Subsistema descida;
- Subsistema aterramento.

A rede de interligação dos aterramentos e das massas metálicas da instalação, em uma concepção mais atual, pode ser considerada a quarta parte dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Existem basicamente três métodos de proteção contra descargas atmosféricas. A diferença fundamental entre os métodos usados hoje é a definição da área protegida. São eles:

- Método da Haste Vertical de Franklin;
- Método da Malha ou Gaiola de Faraday;
- Método das Esferas Rolantes ou Eletrogeométrico.

O bom projeto de uma rede captora de descargas diretas não deverá, porém atender apenas à solução geométrica, uma vez que os aspectos de estética (impacto visual) e de custo são também variáveis importantes a serem consideradas. Assim, o tipo e posicionamento do SPDA devem ser estudados cuidadosamente no estágio de projeto da edificação, para se tirar o máximo proveito dos elementos condutores da própria estrutura. Isto facilita o projeto e construção de uma instalação integrada, permite melhorar o aspecto estético, aumentar a eficiência do SPDA e minimizar custos.

4.1 MÉTODO DE FRANKLIN

Este método proposto por Franklin utiliza o *poder das pontas*, uma propriedade das pontas metálicas, para propiciar o escoamento das cargas elétricas para a atmosfera. O método tem por base uma haste elevada com uma alta concentração de cargas elétricas induzidas, sob a nuvem carregada, juntamente com um campo elétrico intenso provocando a ionização do ar e diminuindo a altura efetiva da nuvem carregada, o que propicia o raio através do “rompimento” da rigidez dielétrica da camada de ar.

O raio captado pela ponta da haste é transportado pelo cabo de descida e escoado na terra pelo sistema de aterramento.

A zona de proteção proporcionada pelo método consiste no volume de um cone, cujo ângulo da geratriz com a vertical varia segundo o nível de proteção desejado e para uma determinada altura da construção (Figura 5). O valor do raio da base do cone é dado pela Equação 5.

$$R_p = H_c \times tg \alpha \quad 5$$

R_p - raio da base do cone de proteção, em m;

H_c - altura da extremidade do captor, em m;

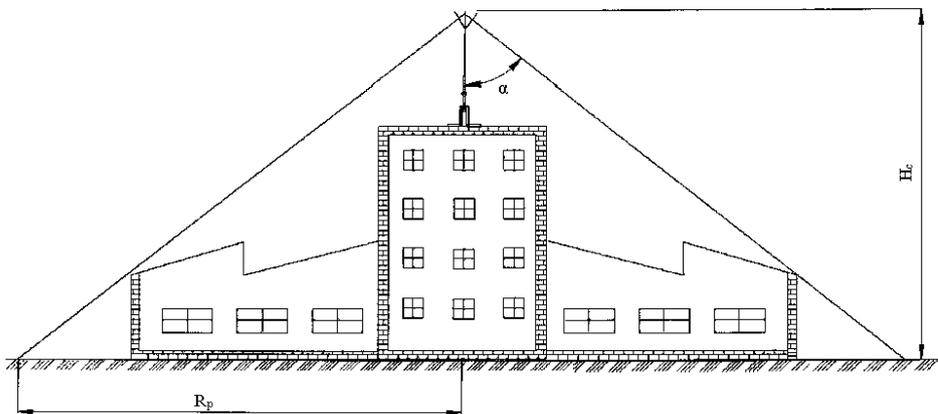
α - ângulo de proteção com a vertical, se houver mais de um captor, pode-se acrescentar 10° ao ângulo α .

A Tabela 3 fornece o ângulo de proteção em função da altura da haste e do grau de proteção.

Tabela 3 - Ângulos de proteção
Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de proteção	Altura máxima da ponta do captor				
	0 – 20m	21m – 30m	31m – 45m	46m – 60m	> 60m
I	25°	*	*	*	*
II	35°	25°	*	*	*
III	45°	35°	25°	*	*
IV	55°	45°	35°	25°	*

A notação “*” na Tabela 3 significa que a proteção por Franklin não é suficiente.



Fonte: Mamede (2002)

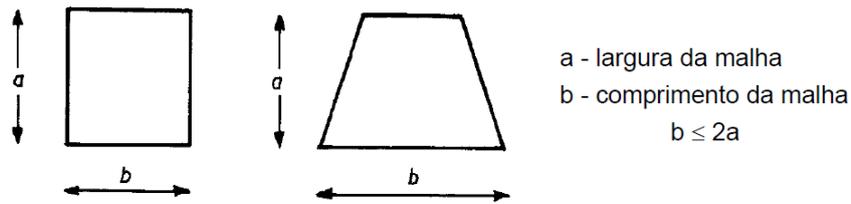
Figura 5. Zona de proteção do método de Franklin

O método Franklin é recomendado para aplicação em estruturas elevadas e de pouca área horizontal, onde se pode utilizar uma pequena quantidade de captos, o que torna o projeto economicamente interessante.

4.2 MÉTODO FARADAY

A proteção proposta por Michael Faraday é fundamentada na teoria pela qual o campo eletromagnético é nulo no interior de uma estrutura metálica ou envolvida por uma superfície (ou malha) metálica, quando percorridas por uma corrente elétrica de qualquer intensidade.

O método de Faraday consiste em envolver a parte superior e laterais da construção com condutores elétricos nus, formado uma malha. A NBR 5419 (2005) estabelece que o módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com largura proporcional ao nível de proteção, de acordo com a Tabela 4, e com comprimento não superior ao dobro da sua largura (Figura 6).



Fonte: NBR 5419 (2005)

Figura 6. Comprimento e largura de um módulo da malha

Tabela 4 - Largura da malha pelo nível de proteção

Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de proteção	Largura do módulo da malha (m)
I	5
II	10
III	10
IV	20

Quanto menor for a abertura da malha protetora, maior a proteção oferecida pelo método.

Este método é indicado para edificações com altura relativamente baixa, porém com uma grande área horizontal, nas quais seria necessária uma grande quantidade de hastes, tornando o projeto de proteção pelo método de Franklin muito oneroso. No entanto, estruturas muito alta podem estar sujeitas a descargas laterais. Assim, de acordo com a NBR 5419 (2005) é obrigatório o emprego do método Faraday para edificações com altura superior a 60m.

Elementos metálicos estruturais, de fachada e de cobertura, podem integrar a rede de condutores, desde que atendam a requisitos específicos. Edificações com estrutura metálica na cobertura, continuidade elétrica nas ferragens estruturais e aterramento em fundação (ou anel) tem bom desempenho como Gaiolas de Faraday.

4.3 MÉTODO ELETROGEOMÉTRICO

O método eletrogeométrico é também designado método da esfera rolante ou fictícia, o mesmo delimita o volume de proteção dos captores de um SPDA sejam eles constituídos de hastes, cabos, ou de uma combinação de ambos.

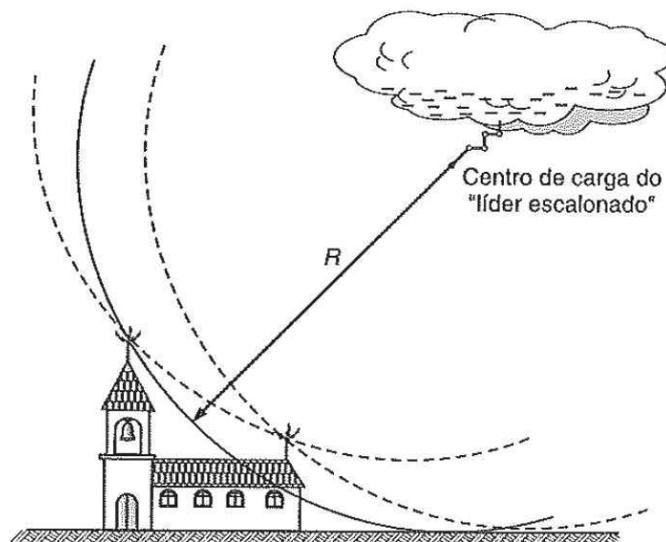
A zona de atração do método de Franklin é determinada independente da intensidade do raio. Porém, estudos feitos a partir da medição da forma e valor da corrente dos raios, ensaios em laboratórios, técnicas de simulação e modelagem matemática, verificaram que a zona de proteção é dependente da corrente do raio.

A Equação 6, relaciona o valor máximo da corrente (I_{max}) com a distância de atração (h_s), que é maior distancia em que o raio será atraído pelo captor ou pela terra.

$$h_s = 10 \times I_{max}^{0,65} \quad 6$$

I_{max} - valor máximo da corrente de crista do primeiro raio negativo em kA.

O método eletrogeométrico se fundamenta na premissa de uma esfera com raio (R) de valor igual a distancia de atração (h_s), e centro localizado na extremidade da descarga líder antes do seu ultimo salto (Figura 7). Os pontos da superfície da referida esfera são o lugar geométrico dos locais possíveis de onde pode partir o “líder ascendente”, que vai ao encontro do “líder descendente”, de modo a completar o canal ionizado, por onde se fará a descarga.



Fonte: Creder (2007)

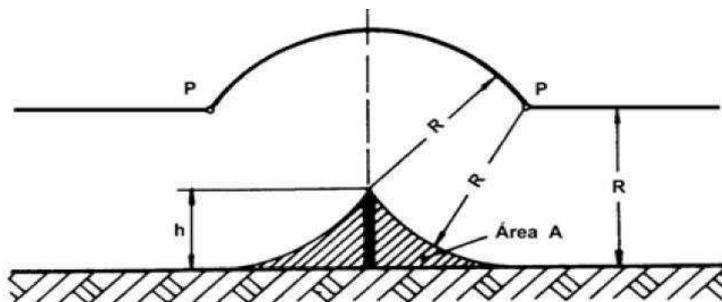
Figura 7. Princípio de proteção pelo método eletrogeométrico

A Tabela 5 prescreve os valores de R em função do nível de proteção exigido e os valores de I_{max} conforme o comprimento de R .

Tabela 5- R e respectiva I_{max} em função do nível de proteção.
Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de Proteção	R (m)	I_{max} (kA)
I	20	3
II	30	5
III	45	10
IV	60	15

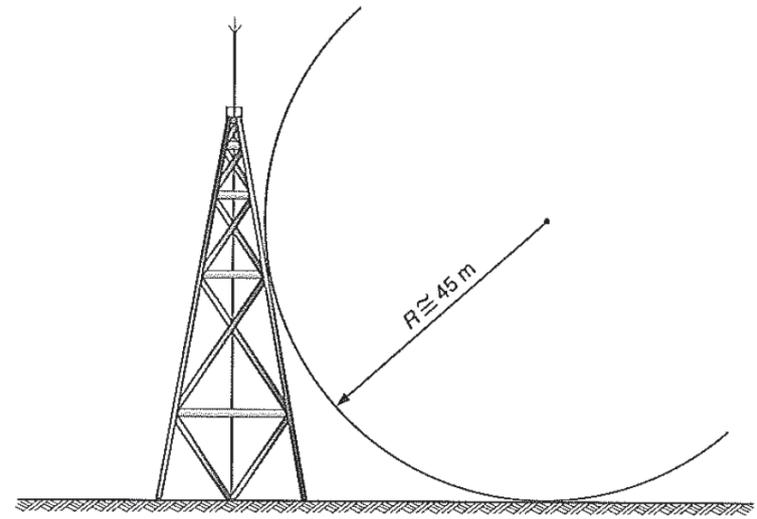
A zona espacial de proteção do método eletrogeométrico, observada na Figura 8, é obtida traçando-se uma linha horizontal com a altura R do solo e um arco de circunferência de raio R com centro no topo do captor, a interseção da reta com o arco se fará no ponto P . Em seguida traça-se um arco de circunferência de raio R e com centro em P , atingindo o plano do solo e o topo do captor. O volume de proteção é delimitado pela rotação da área hachurada, em torno do captor.



Fonte: Mamede (2002)

Figura 8 – Zona espacial de proteção do método eletrogeométrico

Se a estrutura tiver uma altura superior à distância R , apenas um elemento captor não garantirá uma proteção adequada, pois o arco de circunferência tangente ao solo tocará lateralmente a estrutura (Figura 9). As partes da edificação eventualmente tocadas pela esfera poderão ser consideradas falhas de blindagem, e serão pontos suscetíveis de serem atingidos por uma descarga atmosférica direta.



Fonte: Creder (2007)

Figura 9 - Aplicação do modelo eletrogeométrico a uma estrutura muito alta

O método eletrogeométrico é empregado com eficiência em estruturas elevadas e/ou de formas arquitetônicas complexas sendo bastante aplicado em subestações de potência de instalação exterior.

5 SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

O sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas consiste em subsistemas de captadores, de decida e de aterramento. O mesmo pode ser:

- **isolado do volume a proteger**, no qual os subsistemas de captadores e decidas são suficientemente afastados do volume a proteger de modo a reduzir a probabilidade de centelhamento perigoso (descarga elétrica inadmissível, provocada pela corrente de descarga atmosférica);
- **não isolado do volume a proteger**, no qual os subsistemas de captadores e decidas são instalados de modo que o trajeto da corrente de descarga pode estar em contato com o volume a proteger.

5.1 SUBSISTEMA CAPTORES

Os captadores são os principais elementos dos para-raios, eles são destinados a interceptar as descargas atmosféricas, reduzindo a probabilidade da estrutura ser atingida diretamente pelos raios e podem ser constituídos por uma combinação dos seguintes elementos:

- a) hastes;
- b) cabos esticados;
- c) condutores em malha;
- d) elementos naturais.

Para correto posicionamento dos captadores conforme o nível de proteção desejado deve ser observado os requisitos do método que será utilizado (Tabelas 3, 4 e 5). Os condutores utilizados como captadores devem ter a capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto, bem como esforços eletromecânicos resultantes. A corrosão pelos agentes atmosféricos também deve ser levada em conta no seu dimensionamento, de acordo com o nível de poluição e tipo de poluente da região. A NBR 5419 (2005) especifica as seções e espessuras mínimas dos captadores do SPDA, como sendo os valores das Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Seções mínimas dos materiais do SPDA
 Fonte: NBR 5419 (2005)

Material	Captor e anéis intermediários (mm ²)	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) (mm ²)	Descidas (para estruturas superior a 20 m) (mm ²)	Eletrodo de aterramento (mm ²)
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente, ou embutido em concreto	50	50	50	80

Tabela 7 - Espessuras mínimas dos componentes do SPDA
 Fonte: NBR 5419 (2005)

Material	Captadores (mm)			Descidas	Aterramento
	NPQ	NPF	PPF		
Aço galvanizado a quente	4	2,5	0,5	0,5	4
Cobre	5	2,5	0,5	0,5	0,5
Alumínio	7	2,5	0,5	0,5	-
Aço Inox	4	2,5	0,5	0,5	5

NPQ - não gera ponto quente;
 NPF – não perfura;
 PPF – pode perfurar.

De acordo com a NBR 5419 (2005), para um SPDA isolado, a distância entre o subsistema captor e instalações metálicas do volume a proteger deve ser maior que 2m. Para um SPDA não isolado o captor pode ser instalado diretamente sobre o teto ou a uma pequena distância do volume a proteger.

Existem componentes da estrutura que podem desempenhar uma função de proteção contra descargas atmosféricas, mas não são instalados especificamente para este fim, estes são chamados de componentes naturais de um SPDA.

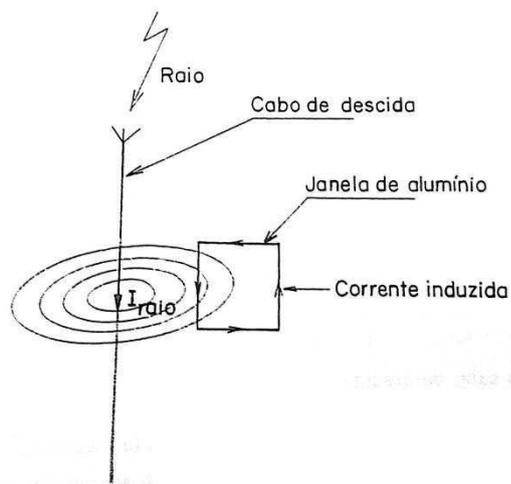
Assim, quaisquer elementos condutores expostos de uma edificação, devem ser considerados como parte de um SPDA e devem ser analisados para certificar se as suas características são compatíveis com os critérios estabelecidos para elementos captadores. Exemplos de elementos metálicos nas condições deste item são coberturas metálicas sobre o volume a proteger, mastros e outros elementos condutores salientes nas coberturas, rufos e/ou calhas periféricas de recolhimento de águas pluviais, etc.

No entanto, elementos condutores expostos que não possam suportar o impacto direto do raio devem ser colocados dentro da zona de proteção de captosres específicos, integrados ao SPDA.

5.2 SUBSISTEMA DE CONDUTORES DE DESCIDAS

O subsistema de descida é a parte do SPDA destinada a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o sistema captor até o subsistema de aterramento. Esta condução deverá ser feita de modo a não causar dano na estrutura protegida, manter potenciais abaixo do nível de segurança e não produzir faiscamentos laterais com estruturas metálicas vizinhas.

Quando a corrente do raio flui pelo cabo de descida, é gerado ao seu redor um campo magnético variável que atrai e induz tensão nos materiais condutores vizinhos (Figura 10). Para atenuar as correntes induzidas nos materiais condutores vizinhos, deve-se distribuir o cabo de descida de modo que a corrente percorra diversos condutores em paralelo, dividindo assim os efeitos térmicos e proporcionando uma redução nos campos magnéticos internos à estrutura de modo a minimizar as influências nos equipamentos elétricos e telefônicos.



Fonte: Kindermann (1997)

Figura 10 – Campo magnético gerado pela corrente do Raio em condutores vizinhos

Os cabos de descida devem ser retílineos e verticais, de modo a prover o trajeto mais curto e direto para a terra. Também devem ser preferencialmente contínuos, se

não for possível, usar emendas metalizadas ou conexões mecânicas adequadas. Laços devem ser evitados.

No caso de um SPDA isolado, o espaçamento entre condutores de descida e as instalações metálicas do volume a proteger não deve ser inferior a 2 m.

Para um SPDA não isolado, a instalação dos condutores de descida deve levar em consideração o material da parede onde os mesmos serão fixados:

- a) **parede de material não inflamável:** os condutores de descida podem ser instalados na superfície ou embutidos na mesma;
- b) **parede de material inflamável:** os condutores de descida podem ser instalados na sua superfície, desde que a elevação de temperatura causada pela passagem da corrente de descarga atmosférica não implique risco para o material da parede. Se a elevação de temperatura dos condutores de descida implicar riscos, a distância entre estes e o volume deve ser de no mínimo 10 cm.

Os condutores de descida devem ser distribuídos ao longo do perímetro do volume a proteger sendo que a quantidade mínima de descidas deve ser determinada de acordo com o nível de proteção de modo que seus espaçamentos médios não sejam superiores aos indicados na Tabela 8. Se o número mínimo de condutores assim determinado for inferior a dois, devem ser instaladas duas descidas.

Tabela 8- Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção
Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de proteção	Espaçamento médio (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

A NBR 5419 (2005) especifica as seções e espessuras mínimas dos condutores de descida do SPDA, como sendo os valores das Tabelas 6 e 7.

5.3 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

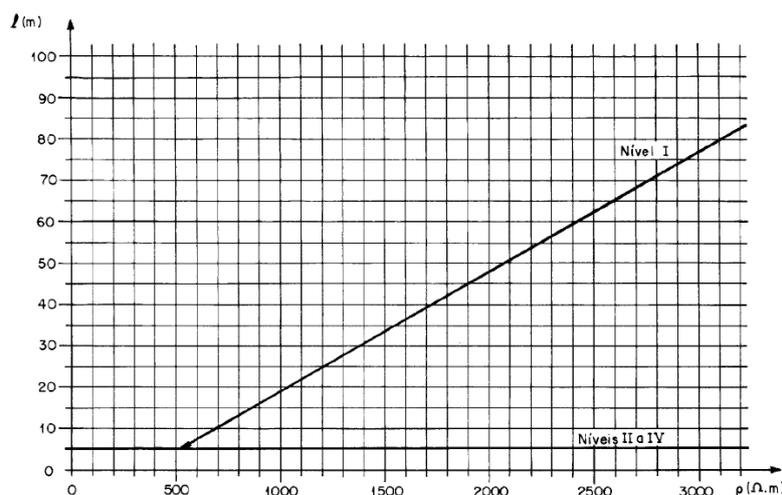
O subsistema de aterramento tem a função de dispersar no solo a corrente resultante de descargas atmosférica recebida dos condutores de descida, o arranjo e as dimensões deste subsistema são muito importantes para assegurar a dispersão sem causar sobretensões perigosas.

A NBR 5419 (2005) recomenda conectar o aterramento do SPDA com o dos demais sistemas, ou seja, com o aterramento dos sistemas de potência de baixa tensão e dos sistemas de sinal. Esta interligação deve ser feita com as devidas precauções, de modo a evitar interferências indesejadas entre subsistemas distintos.

Os seguintes tipos de eletrodos de aterramento podem ser utilizados:

- aterramento natural pelas fundações, em geral as armaduras de aço das fundações;
- condutores em anel;
- haste verticais ou inclinadas;
- condutores horizontais radiais.

Como forma de reduzir gradientes de potencial no solo e a probabilidade de centelhamento perigoso, a resistência de aterramento dos eletrodos não deve ser superior a 10Ω . A NBR 5419 (2005) determina o comprimento total dos mesmos, conforme o nível de proteção e para diferentes resistividades do solo pela Figura 11.



Fonte: NBR 5419 (2005)

Figura 11 - Comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento em função dos níveis de resistividade do solo.

O concreto completamente seco tem resistividade elétrica muito elevada, mas, quando está embutido no solo, permanece úmido e a sua resistividade torna-se semelhante à do solo circundante. Por esta razão as armaduras de concreto das fundações, quando bem interligadas, constituem um bom eletrodo de terra.

Os condutores do subsistema de aterramento deve ter capacidade térmica suficiente para suportar o aquecimento produzido pela passagem da corrente e principalmente deve resistir à corrosão pelos agentes agressivos encontrados nos diferentes tipos de solo. A NBR 5419 (2005) especifica as seções e espessuras mínimas dos eletrodos de aterramento do SPDA, como sendo os valores das Tabelas 6 e 7.

5.4 EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAIS

No projeto de SPDA, os cabos de descida não formam uma distribuição uniforme e simétrica, podendo, durante a descarga, gerar potenciais distintos na mesma altura do prédio. Estas diferenças de potencial podem provocar incêndio e explosão, devido ao centelhamento, assim como choques elétricos dentro do volume protegido.

Deste modo, é conveniente interligar o SPDA, a armadura metálica da estrutura, as instalações metálicas, as massas e os condutores dos sistemas elétricos de potência e de sinal, dentro do volume a proteger, para obter a equalização de potencial.

Poderá ser necessário estabelecer ligações equipotenciais entre componentes metálicos exteriores ao volume a ser protegido, se os mesmos interferirem com a instalação do SPDA exterior.

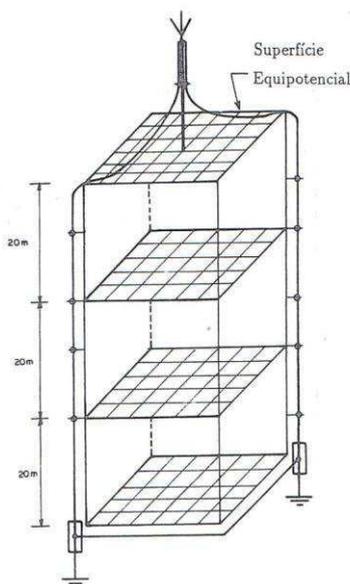
A NBR 5419 (2005), determina que uma ligação equipotencial deve ser efetuada:

- no subsolo, ou próximo ao quadro geral de entrada de baixa tensão. Os condutores devem ser conectados a uma barra de ligação equipotencial principal (BEP), construída e instalada de modo a permitir fácil acesso para inspeções. Essa barra de ligação equipotencial deve estar conectada ao sistema de aterramento;

- acima de nível do solo, em intervalos verticais não superiores a 20m, para estruturas com mais de 20m de altura. As barras secundárias de ligação equipotencial devem ser conectadas a armaduras do concreto ao nível correspondente, mesmo que estas não sejam utilizadas como componentes naturais. Ver Figura 12.

Em estruturas providas de SPDA isolados, a ligação equipotencial deve ser efetuada somente ao nível do solo.

A superfície equipotencial pode ser feita aproveitando a própria armação metálica das lajes e vigas do prédio, desde que as conexões sejam feitas convenientemente.



Fonte: Kindermann (1997)

Figura 12 – Superfícies equipotenciais de uma edificação

Onde a continuidade elétrica não for assegurada por ligações naturais, a ligação equipotencial pode ser realizada através de condutores específicos, os quais devem estar conforme a Tabela 9 caso deva suportar toda a corrente de descarga atmosférica, ou substancial parte dela, para os demais casos, as seções são indicadas na Tabela 10.

Todos os condutores dos sistemas elétricos de potência e de sinal devem ser direta ou indiretamente conectados à ligação equipotencial. Condutores vivos devem ser conectados somente através de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos).

Tabela 9 - Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir uma parte substancial da corrente de descarga
 Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de proteção	Material	Seção (mm ²)
I - IV	Cobre	16
	Alumínio	25
	Aço	50

Tabela 10 - Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir uma parte reduzida de descarga atmosférica
 Fonte: NBR 5419 (2005)

Nível de proteção	Material	Seção (mm ²)
I - IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço	16

Nas tubulações e outros elementos metálicos que se originam do exterior da estrutura, a conexão à ligação equipotencial deve ser efetuada o mais próximo possível do ponto em que elas penetram na estrutura.

6 ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES – ESTUDO DE CASO

Foram analisados os projetos do sistema de proteção contra descargas atmosféricas do Residencial Riviera Dei Fiori, localizado na Alameda das Acácias lotes 2, 4 e 6, Quadra 107, Águas Claras – DF, de acordo com a NBR 5419 de 2005.

As edificações consistem em quatro blocos de edifícios residenciais contendo estes, os seguintes pavimentos:

- Blocos A e B: 01 cobertura (reservatórios superiores de água potável, barrilete, casa de máquinas e telhado), 01 pavimento cobertura com dois apartamentos, 17 pavimentos tipo com quatro apartamentos; 01 pilotis, 2 semienterrados;
- Bloco C: 01 cobertura (reservatórios superiores de água potável, barrilete, casa de máquinas e telhado), 01 pavimento cobertura com dois apartamentos, 17 pavimentos tipo com quatro apartamentos, 01 pilotis, 01 semienterrado;
- Bloco E: 01 cobertura (reservatórios superiores de água potável, barrilete, casa de máquinas e telhado), 01 pavimento cobertura com dois apartamentos, 14 pavimentos tipo com quatro apartamentos, 01 pilotis, 02 semi-enterrados;

6.1 AVALIAÇÃO GERAL DO RISCO E SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

Inicialmente deve-se determinar se um SPDA é ou não exigido, e qual o nível de proteção aplicável, a NBR 5419 (2005) recomenda uma avaliação que considere o risco de a estrutura ser atingida pelo raio, e a importância técnica do empreendimento.

A partir do o mapa de curvas isocerânicas da Figura 2, obtemos o número médio de dias de trovoada por ano (T_d) na região do Distrito Federal como sendo 120. De posse deste valor, é possível determinar a densidade de descargas atmosféricas (N_g) da mesma região utilizando a Equação 1 da seguinte maneira:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25}$$

$$N_g = 15,89 \text{ raios por km}^2/\text{ano}.$$

A área de atração do raio de cada bloco pode ser determinada a partir da Equação 2.

$$A_e = (L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H) + (\pi \times H^2)$$

- Blocos A e B ($L = 44,03$ m, $W = 20,14$ m e $H = 61,21$ m):

$$A_{e(A e B)} = \mathbf{20.512,95 m^2}.$$

- Bloco C ($L = 43,34$ m, $W = 16,75$ m e $H = 61,13$ m):

$$A_{e(C)} = \mathbf{19.812,30 m^2}.$$

- Bloco E ($L = 43,34$ m, $W = 16,75$ m e $H = 48,75$ m):

$$A_{e(E)} = \mathbf{14.050,91 m^2}.$$

Conhecendo a área de exposição equivalente das edificações (A_e) e a densidade de descargas atmosféricas da região (N_g), podemos utilizar a Equação 3 para obter a previsão da frequência anual de descargas atmosféricas de cada bloco.

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}$$

- Blocos A e B:

$$N_{d(A e B)} = \mathbf{0,33 raios por ano}.$$

- Bloco C:

$$N_{d(C)} = \mathbf{0,31 raios por ano}.$$

- Bloco E:

$$N_{d(E)} = \mathbf{0,22 raios por ano}.$$

Finalmente, aplicando os fatores de ponderação das Tabelas A.1 à A.5 (Anexo A) na Equação 4, podemos avaliar se os edifícios necessitam de proteção contra descargas atmosféricas.

$$N_{dc} = A \times B \times C \times D \times E \times N_d$$

onde,

A = 1,2 (edifícios residenciais);

B = 1,0 (estrutura de alvenaria com cobertura não metálica);

C = 0,3 (residências comuns);

D = 1,0 (estrutura localizada numa área contendo poucas estruturas de altura similar);

E = 0,3 (planície).

- Blocos A e B:

$$N_{dc(A e B)} = 35,64 \times 10^{-3} \text{ raios por ano.}$$

A previsão indica que os blocos A e B serão atingidos por uma descarga atmosférica a cada 28 anos.

- Bloco C:

$$N_{dc(C)} = 33,48 \times 10^{-3} \text{ raios por ano.}$$

A previsão indica que o bloco C será atingido por uma descarga atmosférica a cada 30 anos.

- Bloco E:

$$N_{dc(E)} = 23,76 \times 10^{-3} \text{ raios por ano.}$$

A previsão indica que o bloco E será atingido por uma descarga atmosférica a cada 36 anos.

A NBR 5419 (2005) considera riscos maiores que 10^{-3} (isto é, 1 em cada 1000 anos) inaceitáveis. Deste modo, é obrigatória a instalação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em todos os blocos do residencial.

Com relação ao nível de proteção, a NBR 5419 (2005) recomenda o nível III, para edifícios residenciais. (Tabela A.6 - Anexo A)

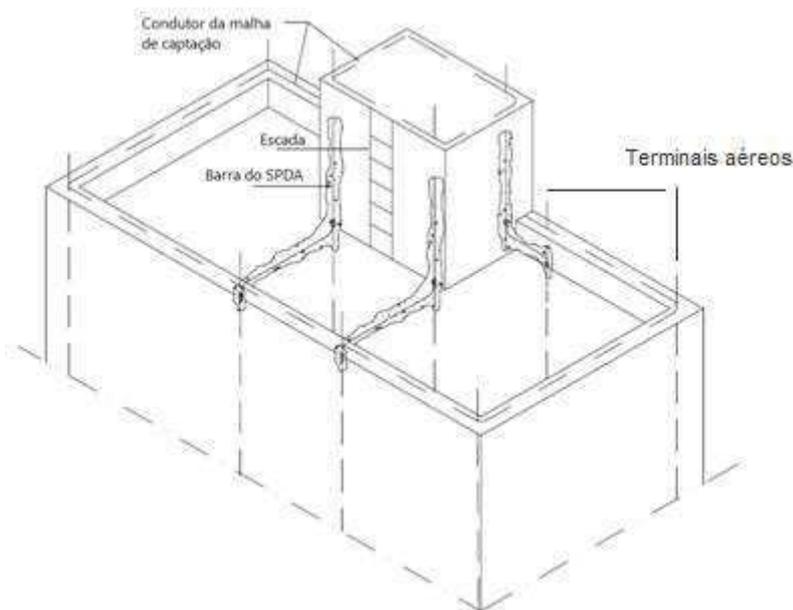
6.2 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

O SPDA projetado é do tipo não isolado, com subsistema captor instalado diretamente sobre o teto e platibandas dos edifícios, já que estes não são de material inflamável. Para o projeto de captores, é necessário o uso de um dos métodos (ou combinação deles) explicados nos itens 4.1 ao 4.3.

Os métodos utilizados nos projetos foi o de Faraday combinado com o eletrogeométrico. De acordo com a NBR 5419(2005), o emprego do primeiro já seria obrigatório, por possuírem altura superior a 45 m e estarem mais sujeitos a descargas laterais. Visando a proteção de antenas de TV e luz piloto, encontrados sobre a caixa d'água na cobertura dos blocos, foi projetada uma proteção específica com uso do captor Franklin.

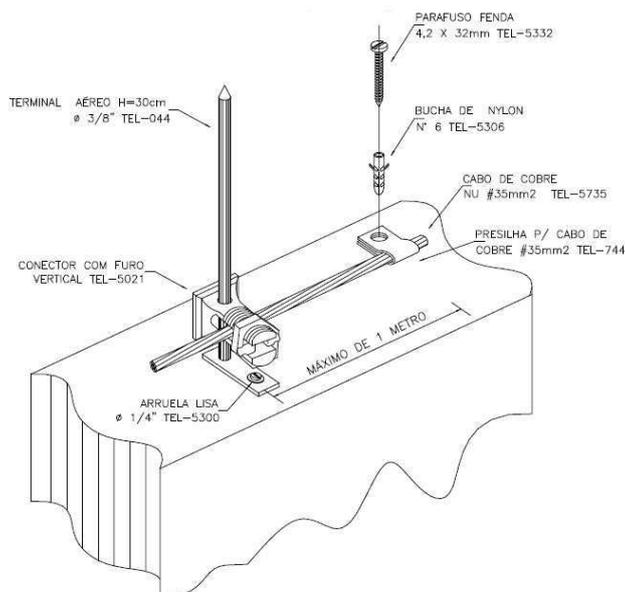
A proteção pelo método Faraday consiste em uma rede de condutores, disposta no plano horizontal na cobertura dos edifícios, formando uma malha. A largura de um módulo desta malha pode ser obtida na Tabela 4 e o comprimento não deve ser superior ao dobro do valor da largura. Para o nível de proteção III, o módulo da malha deverá constituir um anel fechado de no máximo 10 m de largura por 20 m de comprimento. O condutor escolhido para ser utilizado na captação foi o cabo de cobre nu, que de acordo com a Tabela 6 deve possuir uma secção mínima de 35 mm².

Visando diminuir a probabilidade da malha captora ser danificada nos pontos de impacto, foi projetada a instalação de captadores verticais (terminais aéreos) ao longo dos condutores que compõem a malha. Estes terminais aéreos são de ferro galvanizado a fogo, com 3/8 " de diâmetro e 30 cm de altura. A Figura 13 nos dá uma noção da disposição dos captadores assim como a interligação dos condutores do módulo interno com o externo da malha.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
Figura 13 – Disposição de terminais captadores ao longo da malha de Faraday

Podemos observar na Figura 14 detalhes da fixação da malha condutora assim como dos terminais aéreos.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
 Figura 14 – Detalhe da fixação de captores

Como os elementos condutores expostos que não possam suportar o impacto direto do raio devem ser colocados dentro da zona de proteção de captores específicos, integrados ao SPDA, foi projetada a instalação de um mastro com 6m de altura com um captor Franklin de 4 pontas sobre a caixa d'água dos edifícios para proteção da área onde serão fixadas as antenas de TV e o sinalizador noturno de obstáculos.

Na Figura 15, podemos observar a área de proteção proporcionada pelo método eletrogeométrico (área hachurada), para um captor a 6 m do plano horizontal a ser protegido.

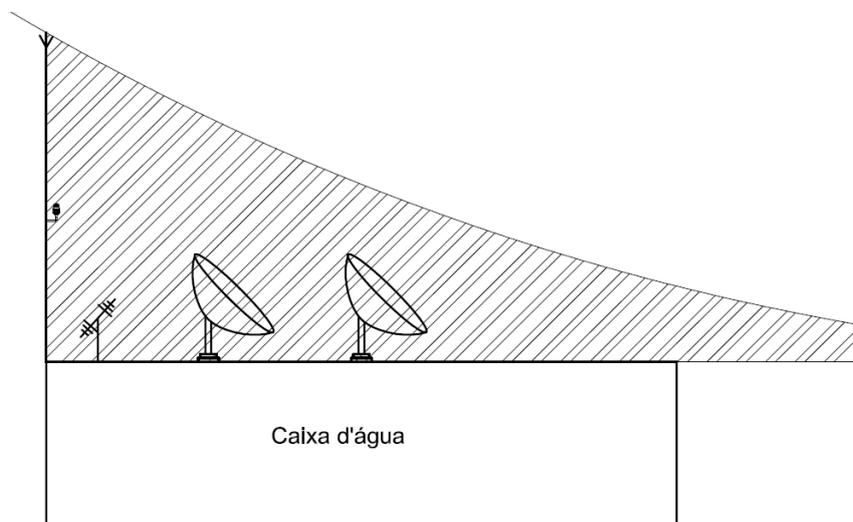
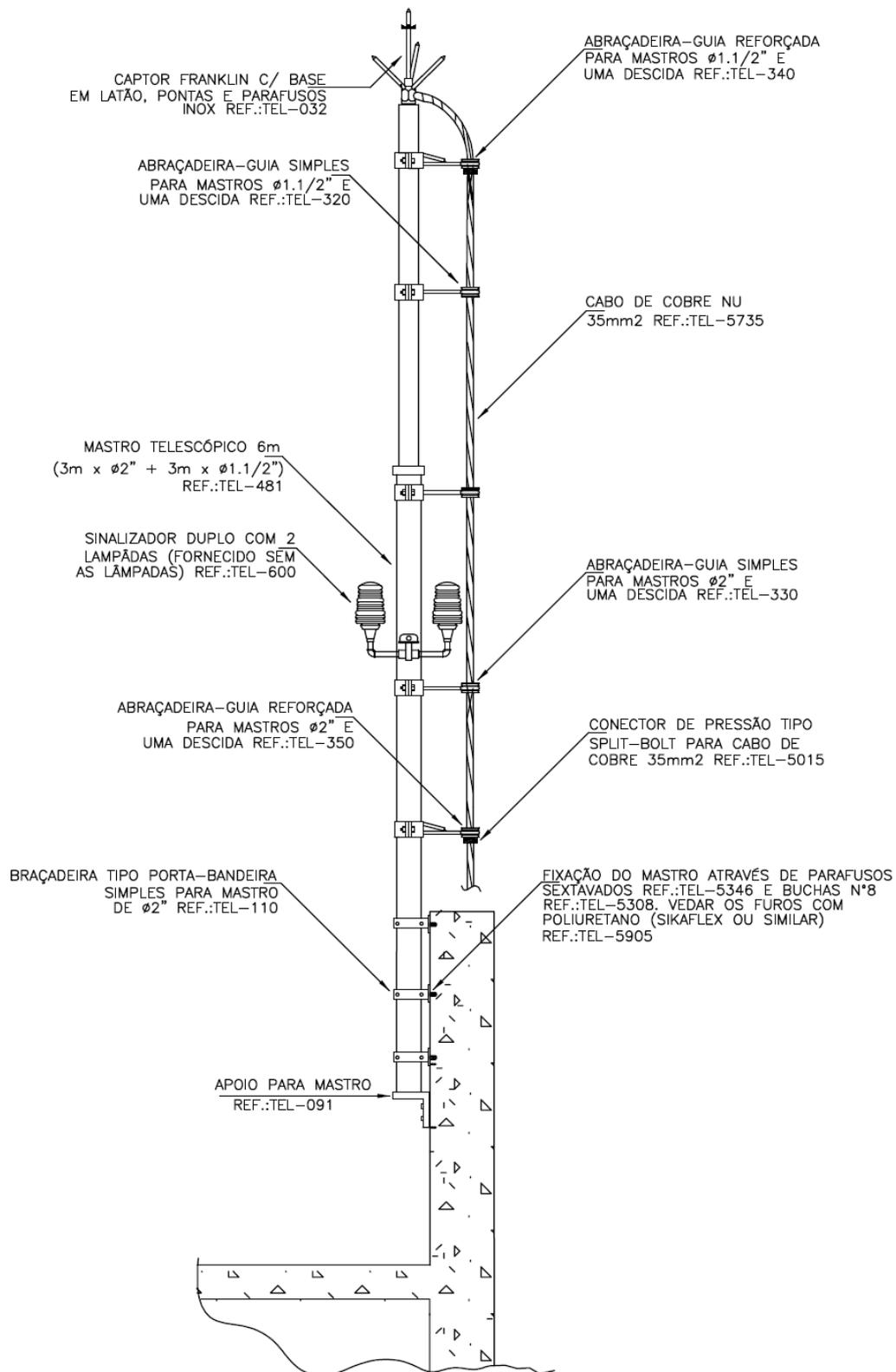


Figura 15 –Área de proteção do captor Franklin

Temos na Figura 16 uma visão geral da estrutura de instalação do captor tipo Franklin no mastro, assim como detalhes da sua fixação.



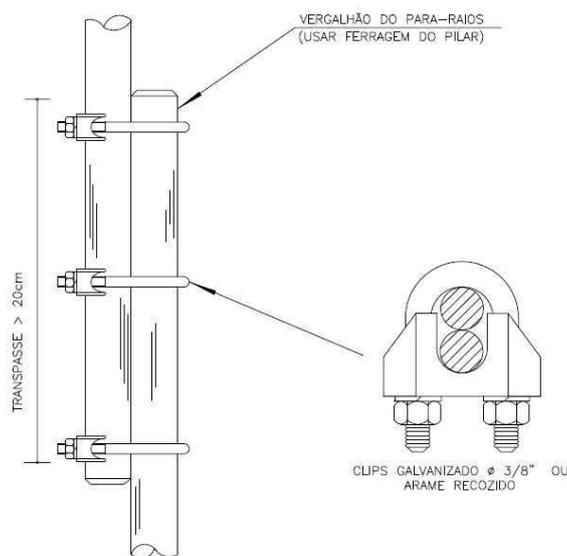
Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
 Figura 16 – Detalhe de Fixação do Captor Franklin

6.3 SUBSISTEMA DE DESCIDAS

De acordo com a NBR 5419 (2005), as armaduras de aço das estruturas de concreto armado podem ser consideradas condutores de descidas naturais desde que suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas para condutores de descidas na Tabela 6.

Desta forma, o projeto adotou um sistema de descidas naturais no qual uma barra de aço comum das ferragens do pilar, com diâmetro mínimo de 10 mm, será utilizada como condutor de descida, em todos os pilares do corpo do prédio.

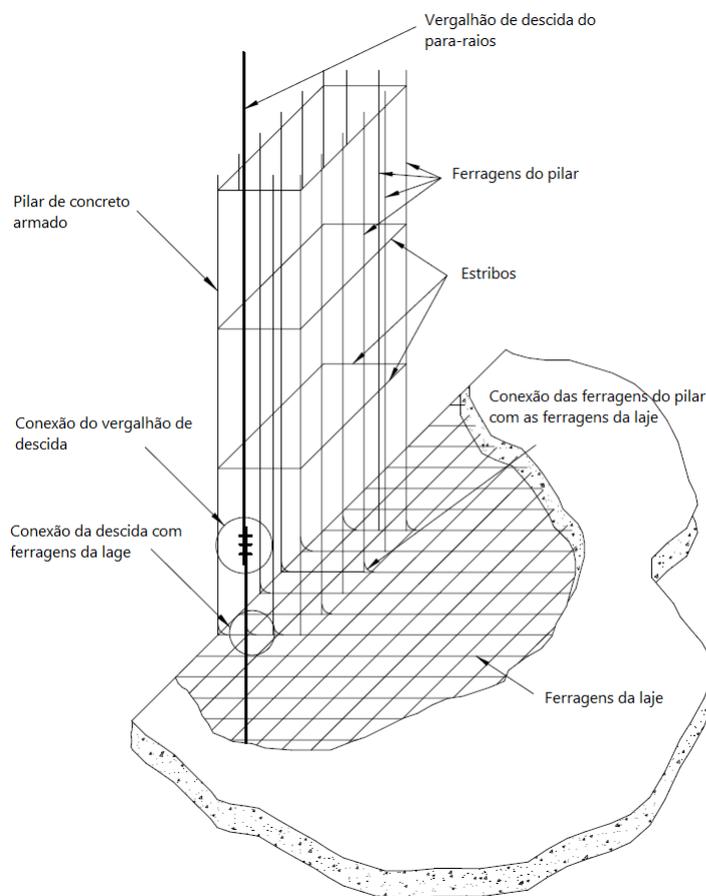
A continuidade elétrica do condutor de descida deve ser assegurada por solda ou por conexão mecânica adequada, desde a fundação até a cobertura. O projeto garantiu esta continuidade fazendo com que a região de transpasse apresente 20 cm de comprimento e a conexão seja feita com 3 clips galvanizados conforme Figura 17.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
 Figura 17 – Detalhe de conexão metálica para garantir continuidade da descida

A NBR 5419 (2005) determina que cerca de 50% dos cruzamentos de barra da armadura, incluindo estribos, estejam firmemente amarradas com arame de aço. Desta maneira, foi projetado que no encontro das ferragens da laje com os vergalhões longitudinais dos pilares deverá ser feita uma interligação do ferro de construção transpassado em 20 cm na vertical e horizontal em formato de “L”, interligando em

primeiramente a barra do SPDA, e em seguida as demais ferragens do pilar, uma sim, uma não, em posições alternadas, conforme podemos observar na Figura 18.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
 Figura 18 – Interligação das ferragens da laje com as do pilar

Na execução do projeto devem ser realizados testes de continuidade e estes devem resultar em resistências medidas inferiores a 1Ω . As medições deverão ser realizadas entre o topo e a base de alguns pilares, e também entre armaduras de pilares diferentes, para averiguar a continuidade através de vigas e lajes.

Anéis horizontais externos não são necessários se forem utilizados como condutores de descida as armações do concreto armado, desde que se admitam danos no revestimento dos elementos metálicos no ponto de impacto do raio. Os mesmos não foram utilizados no projeto.

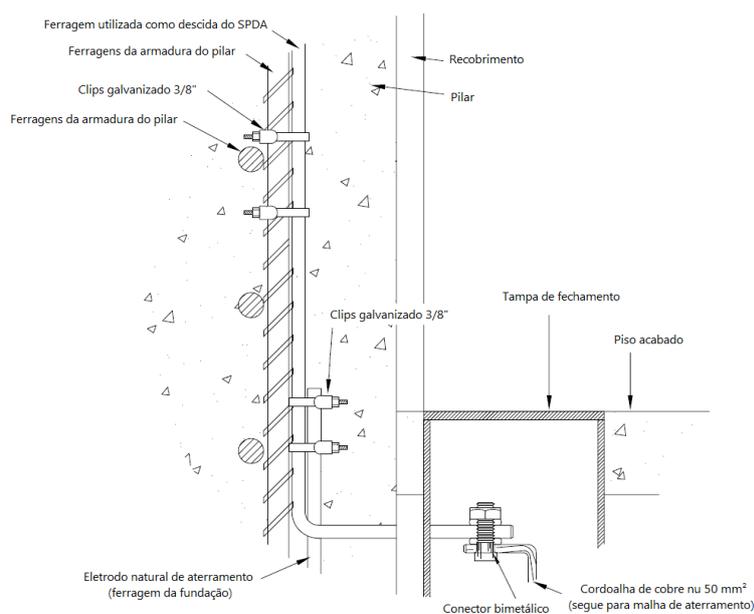
Em estruturas cobrindo grandes áreas com larguras superiores a 40m, são necessários condutores de descida no interior do volume a proteger, este requisito da NBR 5419 (2005) foi naturalmente atendido com a utilização das armaduras de aço interligadas dos pilares.

6.4 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

O projeto adotou um sistema de aterramento natural pela armadura da fundação combinado com condutores em anel.

No caso do aterramento natural, uma das ferragens da armadura de aço da fundação, com seção mínima igual à especificada para eletrodos de aterramento na Tabela 6, deve ser interligada com o condutor de descida instalado em cada pilar, de modo a assegurar a continuidade elétrica. A ferragem utilizada como eletrodo deverá atingir a profundidade da fundação, no mínimo de 5m de acordo com a Figura 11, sem, contudo, fazer contato com a terra. A camada de concreto que envolve estes eletrodos deve ter uma espessura mínima de 5 cm.

Os condutores de descida também deverão ser interligados a um cabo de cobre nu de 50 mm² de bitola (conforme Tabela 6) através de um conector bimetálico instalado numa caixa de inspeção de PVC localizada no solo próximo a cada pilar. Este cabo por sua vez deverá ser conectado a malha de aterramento através de solda exotérmica e enterrado a uma profundidade de 50 cm formando um anel ao redor da edificação, com uma distância da ordem de 1 m das fundações da estrutura, como recomendado pela NBR 5419 (2005). O esquema destas conexões pode ser visualizado na Figura 19. A resistência de aterramento deverá ser da ordem de 10 Ω.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)

Figura 19 – Detalhe de conexão da malha de aterramento com o subsistema de descida

6.5 EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAL

A equalização de potencial constitui a medida mais eficaz para reduzir os riscos de incêndio, explosão e choques elétricos dentro do volume protegido, deste modo, é extremamente importante a equipotencialização de todas as massas metálicas existentes nas instalações, externamente ou internamente à estrutura.

Assim, todas as estruturas metálicas existentes na cobertura dos blocos, como antenas e escada do tipo marinho, foram interligadas ao ponto mais próximo do sistema de captação, para a equalização de potencial e escoamento de alguma possível descarga. Para esta interligação foi utilizado o condutor de cobre nu, de 35 mm² de seção.

Como os edifícios possuem uma altura superior a 20 m, foi projetada a instalação de Barramento de Equipotencialização Local (BEL) nos 6º e 13º pavimentos de cada bloco, obtendo intervalos inferiores a 20 m entre eles. Na caixa de equalização deverão ser interligados condutores de cobre nu provenientes dos seguintes locais:

- ferragem do pilar constituinte do SPDA;
- ferragem da laje;
- condutores de proteção do sistema elétrico;
- tubulações metálicas;
- trilhos dos elevadores;
- barramentos de equipotencialização de outros pavimentos.

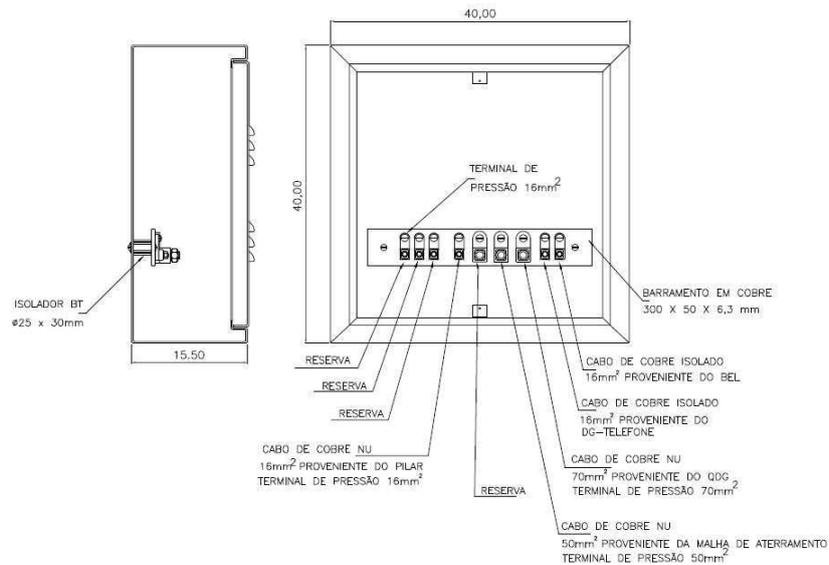
No semienterrado de cada bloco, o mais próximo do solo, deve ser instalado o Barramento de Equipotencialização Principal (Figura 20), nele, serão interligados condutores de cobre nu provenientes dos seguintes locais:

- ferragem do pilar constituinte do SPDA;
- distribuidor geral de linhas de telefone;
- aterramento do quadro de distribuição geral do sistema elétrico;
- barramentos de equipotencialização de outros pavimentos;
- malha de aterramento.

A central de gás deverá ser aterrada, através de ligação direta com a malha de aterramento mais próxima. A tubulação metálica que sai da central de gás para

distribuir para o prédio também deverá ser aterrada; assim como todas as partes metálicas que envolvem a central.

Os condutores fase e neutro foram conectados a Equalização por intermédio de um DPS Classe II, o mesmo permite proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões induzidas ou conduzidas (efeitos indiretos) causados pelas descargas atmosféricas. O dispositivo deve ser instalado a jusante do disjuntor principal do barramento de entrada de energia dos blocos.



Fonte: Projetos de SPDA Residencial Riviera Dei Fiori (2010)
 Figura 20 – Barramento de equipotencialização principal (BEP)

7 CONCLUSÕES

Sabendo a tamanha importância da proteção de edificações contra descargas atmosféricas, conclui-se que o SPDA é um elemento fundamental na segurança da edificação, pois através do mesmo, uma descarga é captada e conduzida a terra com segurança.

A partir da análise realizada, foi possível observar que o SPDA do Residencial Riviera Dei Fiori foi projetado de acordo com a NBR 5419 (2005) com as devidas precauções tomadas. É necessário destacar que a correta execução deste projeto e uma manutenção periódica das instalações são indispensáveis para garantir a confiabilidade do sistema.

BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR- 5419 (2005). Proteção de estruturas contras descargas atmosféricas.

ABNT NBR- 5410 (2005). Instalações elétricas de baixa tensão.

CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 15ª edição: 2007 e 2008. Editora: Livros Técnicos e Científicos (LTC).

FILHO, João Mamede. Instalações elétricas industriais.). 6ª edição: 2002. Editora: Livros Técnicos e Científicos (LTC). 6ª edição: 2002.

KINDERMANN, Geraldo. Descargas atmosféricas. 2ª edição: 1997. Editora: Sagra Luzzatto.

NAIDU, M. S.; KAMARAJU, V. *High Voltage Engineering, 2ª edition: 1996. McGraw-Hill Publishing Company Limited .*

ANEXO A – FATORES DE PONDERAÇÃO PARA AVALIAÇÃO GERAL DO RISCO E CLASSIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS COM NÍVEL DE PROTEÇÃO. (NBR 5419, 2005)

Tabela A. 1 - Tipo de ocupação da estrutura

Tipo de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa	0,7
Fábricas, oficinas e laboratórios	1,0
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, e outros edifícios residenciais não incluídos abaixo	1,2
Locais de afluência de público (por exemplo: igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, loja de departamento, correios, estações e aeroportos, estádios de esportes)	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades	1,7

Tabela A. 2 – Tipo de construção da Estrutura

Tipo de construção	Fator B
Estrutura de aço revestida, com cobertura não-metálica ¹⁾	0,2
Estrutura de concreto armado, com cobertura não-metálica	0,4
Estrutura de aço revestida, ou de concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	0,8
Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples, com cobertura metálica	1,7
Qualquer estrutura com teto de palha	2,0
¹⁾ Estruturas de metal aparente que sejam contínuas até o nível do solo estão excluídas desta tabela, porque requerem apenas um subsistema de aterramento	

Tabela A. 3 – Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas

Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fábricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos	0,3
Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos ⁽¹⁾	0,8
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio	1,0
Indústrias estratégicas, monumentos antigos e prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial	1,3
Escola, hospitais, creches e outras instalações, locais de afluência de público	1,7
¹⁾ Instalação de alto valor ou materiais vulneráveis a incêndio e às suas consequências.	

Tabela A. 4 - Localização da Estrutura

Localização	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (por exemplo: em grandes cidades ou em florestas)	0,4
Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar	1,0
Estrutura completamente isolada, ou que ultrapassa, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas ou árvores próximas	2,0

Tabela A. 5 - Topografia da região

Topografia	Fator E
Planície	0,3
Elevações moderadas, colinas	1,0
Montanhas entre 300 m e 900 m	1,3
Montanhas acima de 900 m	1,7

Tabela A. 6 - Exemplo de classificação de estruturas

Classificação da Estrutura	Tipo da estrutura	Efeito das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns ¹⁾	Residências	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndio, e danos materiais Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV ²⁾
	Teatros, escolas, lojas de departamento, áreas esportivas e igreja	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicação, falhas nos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	II
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicações usinas elétricas Indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indiretos para as imediações devido a incêndios, e outros com risco de incêndio	I
Estrutura com risco para arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para instalação e seus arredores	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falha de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I
<p>¹⁾ ETI (Equipamentos de tecnologia da informação) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme ABNT NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.</p> <p>²⁾ Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustível (pós e grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.</p>			