

# PROJETO SPDA NO NÚCLEO ARTÍSTICO DO CENTRO DE ENSINO SUPERIOR DE JUIZ DE FORA - CAMPUS ACADEMIA

Laura Grossi<sup>1</sup>  
Luiz Paulo Magri<sup>2</sup>  
Matheus Lessa<sup>3</sup>  
Pedro Henrique Alves<sup>4</sup>

## Resumo

O Campus Academia, constituído do prédio da Academia de Comércio, Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, Núcleo Artístico e Núcleo Acadêmico, possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) em apenas dois prédios (Colégio Academia e CES). No prédio dos Núcleos prova-se necessário a existência de um SPDA, devido à altura da estrutura, a densidade das descargas atmosféricas e a ocupação do espaço por uma instituição de ensino. Esta iniciativa visa traduzir em números e embasar uma proposta do curso de engenharia elétrica para a implementação de um sistema de SPDA no Núcleo artístico e no Núcleo acadêmico, oferecendo assim uma total proteção aos ocupantes do estabelecimento, juntamente a estrutura total, que conta com museus, bibliotecas, salas de aula, ambientes de teatro, oficinas, laboratórios, cozinhas e salas para ensino infantil.

Palavras chave: Proteção, Descargas Atmosféricas, SPDA.

[1] Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: grossi.laura.04@gmail.com

[2] Mestrado Profissional, Professor do CES/JF, e-mail: itasung@gmail.com

[3] Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: matheuslessa98@hotmail.com

[4] Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: pedrohn.alves@hotmail.com

## **1 - Introdução**

Fundamental em qualquer projeto que envolva instalações elétricas, a segurança de pessoas e equipamentos têm de ser encarada como uma prioridade. Uma das maiores ameaças a essa segurança consiste nas denominadas descargas atmosféricas. A origem destas, a forma aleatória como atuam e a sua capacidade, associada ao poder de destruição que lhes é reconhecido, faz com que este fenómeno natural não possa ser nunca ignorado, podendo gerar uma série de consequências devastadoras.

Ocupando a 16ª posição nacional em incidências de raios nos dados levantados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Juiz de Fora possui uma densidade de 7,602 descargas/km<sup>2</sup> por ano. Desta forma, comprova-se necessário um sistema que consiga proteger, tanto a população quanto o patrimônio, dessas descargas.

O prédio do Núcleo Artístico e Núcleo Acadêmico, localizado no Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora - campus Academia, com coordenadas: latitude 21° 45' 47" Sul, longitude 43° 21' 10" Oeste e altitude 719 metros, enquadra-se no nível de proteção II, de acordo com a norma NBR 5419/2015, devido ao uso da estrutura por instituições de ensino, além da existência de museus, bibliotecas, ambientes de teatro e laboratórios, e por ser uma estrutura construída em 1915, portanto, já tombada pelo patrimônio histórico.

## 2 - Referencial Teórico

### 2.1 - Formação das nuvens.

As nuvens de tempestade, onde os fenômenos atmosféricos mais interessantes têm lugar (trovoadas, aguaceiros, granizo e até tornados) estendem-se desde os 600m até à tropopausa (12.000 m). Ocorrem isoladamente ou em grupos, podendo atingir uma altura próxima a 15 quilômetros, situadas a cerca de 2 a 3 quilômetros do solo. São compostas de pequenas partículas de gelo na parte superior, e gotículas de água na parte inferior. Os cristais de gelo ao se colidirem no interior da nuvem originam cargas elétricas de diferentes polaridades, fazendo com que o ar fique carregado de forma positiva e as partículas de água, situados na parte inferior, de forma negativa, formando assim um dipolo devido aos grandes centros de cargas positivas e negativas. Devido ao acúmulo de cargas, o campo elétrico aumenta, originando uma descarga elétrica quando a rigidez dielétrica do ar é ultrapassada, figura 1. (RIBEIRO, 2012)

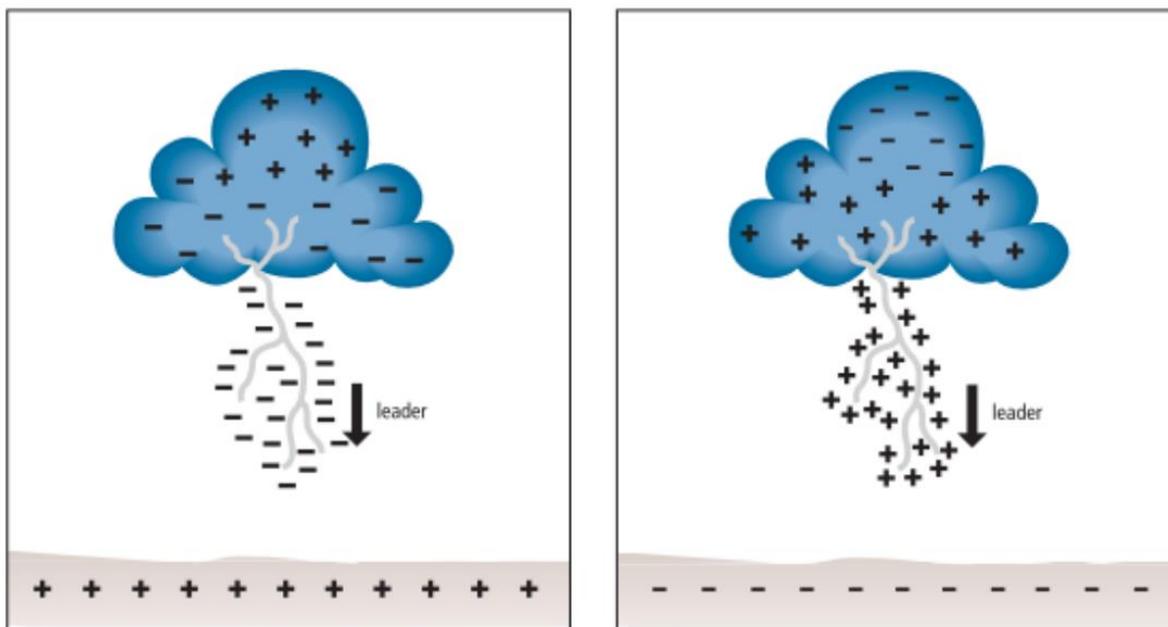


Figura 1  
RIBEIRO,2012

## 2.2 - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)

A incidência de descargas elétricas (figura 2), são fenômenos imperceptíveis, que ocorrem sem aviso prévio, assim sendo impossível prever, reduzir ou eliminar totalmente a incidência sobre uma área. Torna-se então necessário, em virtude do potencial destrutivo do mesmo, um sistema que seja capaz de reduzir os danos contra edificações, proporcionando segurança às estruturas e aos seres humanos (RIBEIRO, 2012). O SPDA utiliza equipamentos que conduzem a corrente oriunda da descarga elétrica até o solo, oferecendo um meio de baixa impedância, reduzindo de forma significativa os danos causados pela descarga.

Para que um sistema de proteção seja construído, deve-se instalar um anel de aterramento em torno de todo o perímetro da estrutura, onde os cabos que conduzem a energia da descarga são conectados, como previsto na NBR 5419/2015.

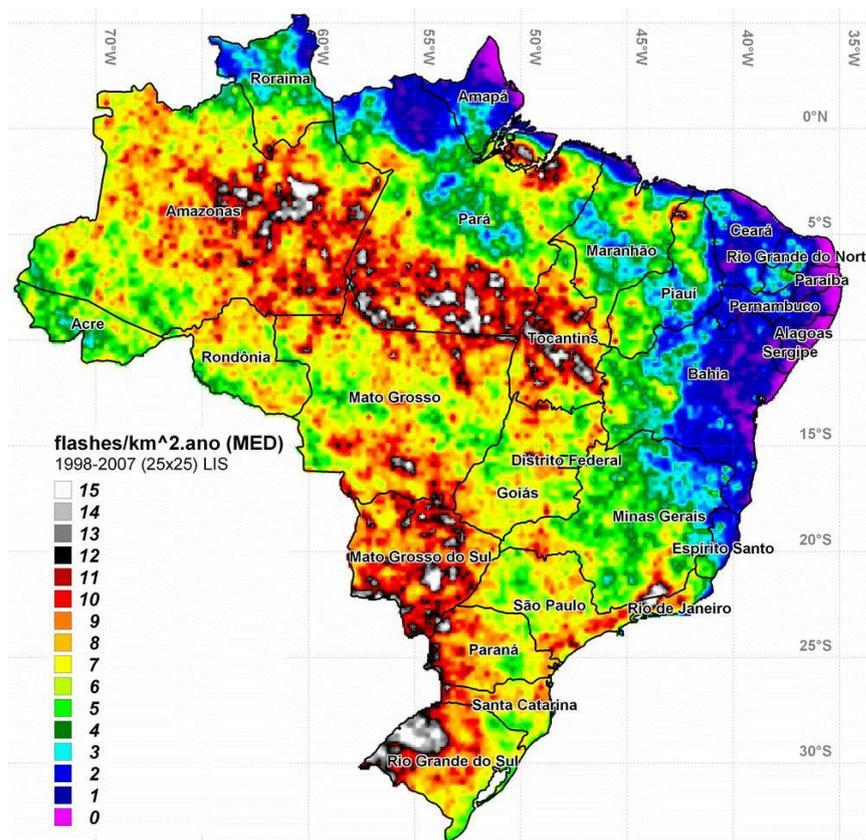


Figura 2

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

### **3 – Metodologia**

O prédio do Núcleo artístico e do Núcleo acadêmico não possuía uma planta com as suas dimensões, para que o trabalho de análise das condições do prédio fosse levado a cabo foi necessário o levantamento destes parâmetros (alturas, perímetros e áreas).

#### **3.1 - Medidas**

Devido ao fato de a planta baixa não possuir cotas, se provou necessário a realização da mensuração de toda a estrutura dos Núcleos.

Com ajuda de trenas e dispositivos a laser, os alunos se dividiram em dois grupos. O primeiro foi encarregado de realizar todas as medições, e o segundo encarregado de organizar todas as informações levantadas. A medida da altura dos telhados, por sua vez, foi feita por dentro dos mesmos.

#### **3.2 - Fotos e Desenhos**

Para a organização de todos os dados anteriormente levantados, foram tiradas fotos da estrutura, tanto do solo, quanto vistas do céu, com a ajuda de um drone DJI Mavic Pro 2017/2018.

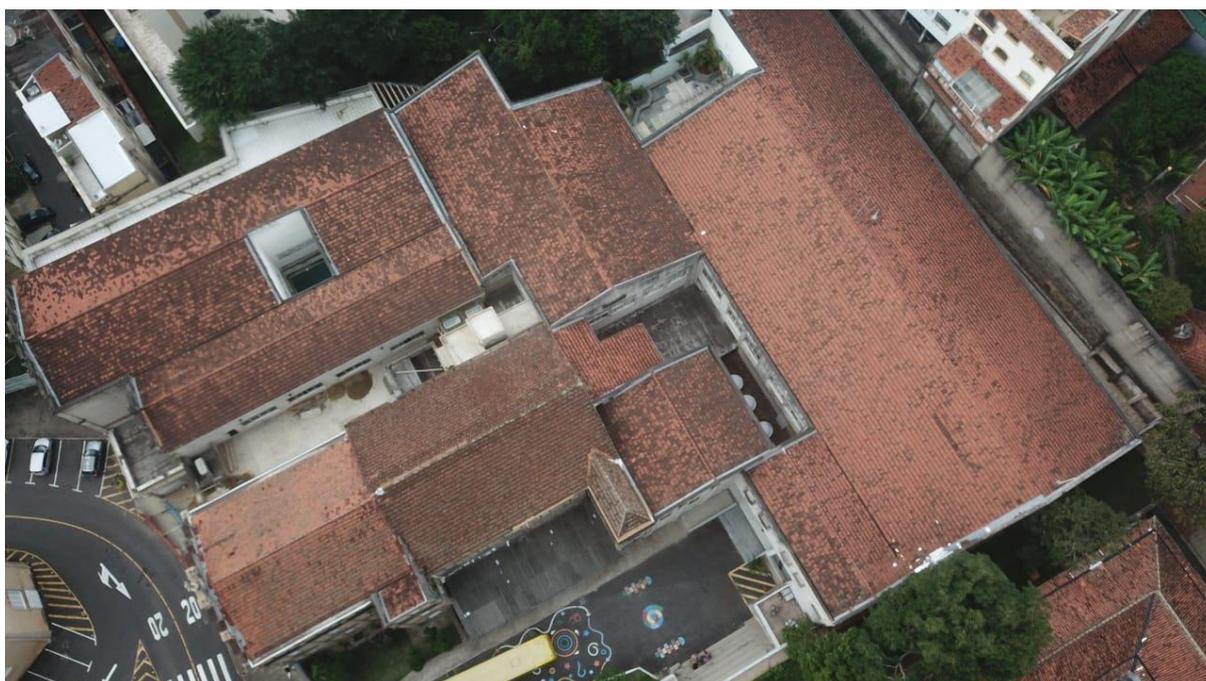


Figura 3

Imagem dos autores

Com o auxílio de Photoshop 2015, essas fotos foram transformadas em desenhos simplificados de toda a estrutura (Figuras 4 e 5).

Com a ajuda dos desenhos e fotos, foi possível organizar todas as medidas e informações levantadas sobre a estrutura, além de facilitar na visualização da estrutura inteira, o que era primordial para o planejamento do sistema.

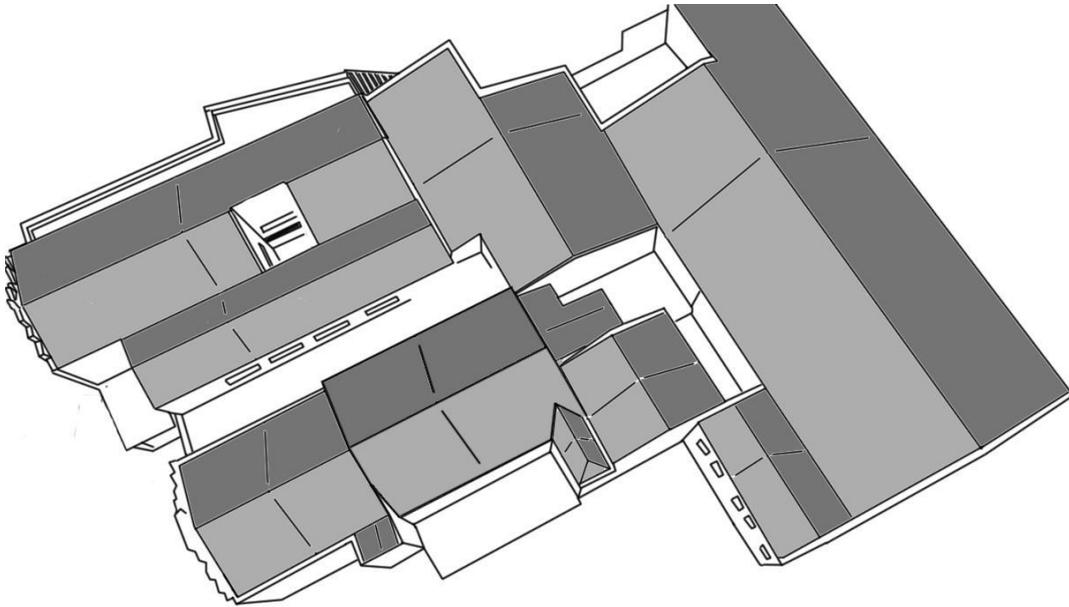


Figura 4  
Imagem dos autores



Figura 5  
Imagem dos autores

#### 4 - Resultados e Discussão

Utilizando dos dados meteorológicos fornecidos pelo INPE, foram feitos cálculos para verificar a necessidade de um sistema de proteção no prédio analisado.

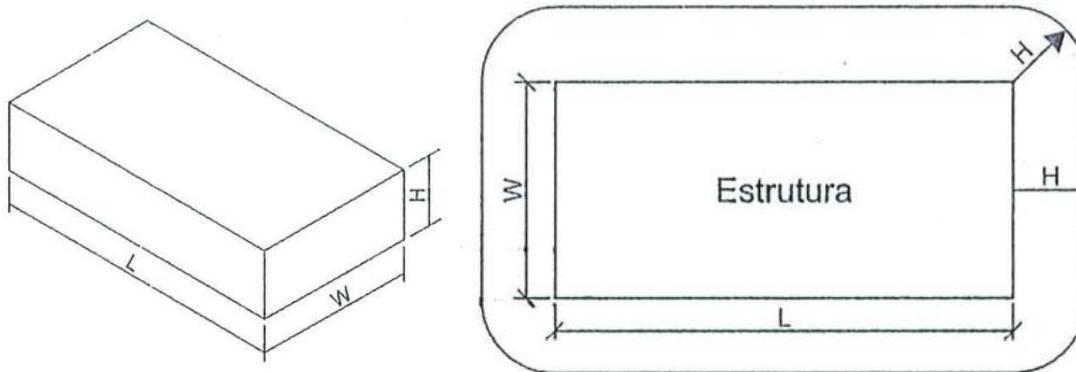


Figura 6

SPDA, Souza

Simplificação da Estrutura e Cálculo da Área de Captação

$N_g = 7.602$  (Número de descargas por  $\text{km}^2/\text{ano}$ )

$A_e = LW + 2LH + 2WH + 2\pi H^2$  (Área da Estrutura em  $\text{m}^2$ )

$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}$  (Por ano)

$A_e = 11097 \text{ m}^2$

$N_d = 0.0843$

O passo seguinte foi aplicar os fatores de ponderação indicados nas tabelas a seguir. Multiplica-se o valor  $N_d$  pelos fatores pertinentes.

**Quadro 1 - Fator de ponderação A, tipos de ocupação**

<b>Tipos de ocupação</b>	<b>Fator A</b>
Casas e estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e 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 em seguida.	1,2
Locais de afluência de público (igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamento, correios, estações e aeroportos, estádios de esportes).	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades.	1,7

Adaptação da NBR5419

**Quadro 2 - Fator de ponderação B, material da construção e da cobertura**

<b>Material de construção</b>	<b>Fator B</b>
Estrutura em aço revestida, com cobertura não metálica.	0,2
Estrutura de concreto armado, com cobertura não metálica.	0,4
Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica.	0,8
Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha.	1,0
Estrutura de madeira, ou revestida de madeira, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha.	1,4
Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples, com cobertura metálica.	1,7
Qualquer estrutura com teto de palha.	2,0

Adaptada da NBR541

**Quadro 3 - Fator de ponderação C, conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas**

<b>Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos</b>	<b>Fator C</b>
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	0,8
Subestações de energia elétrica, usinas a 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
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1,7

Adaptada da NBR 5419

**Quadro 4 - Fator de ponderação D, em função da localização da estrutura**

<b>Localização</b>	<b>Fator D</b>
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (em grandes cidades ou florestas, por exemplo)	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

Adaptada da NBR 5419

**Quadro 5 - Fator de ponderação E, em função da topografia**

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

Adaptada da NBR 5419

$$Ndc = Nd \times A \times B \times C \times D \times E$$

$$Ndc = 3.167 \times 10^{-1}$$

**Quadro 6 - Necessidade de um sistema SPDA conforme o resultado Ndc**

Nc	Necessidade
Se Nc for maior ou igual a $10^{-3}$	A estrutura requer SPDA
Se Nc ficar entre $10^{-3}$ e $10^{-5}$	A conveniência de um sistema de SPDA deve ser decidida por acordo entre o projetista e o usuário
Se Nc for menor ou igual a $10^{-5}$	A estrutura dispensa um sistema de SPDA

Imagem do autor

Seguindo a norma, com Ndc na ordem  $10^{-1}$ , mostrou-se obrigatório a existência de um sistema de proteção na estrutura do Núcleo Artístico. Após o levantamento de todas as dimensões da estrutura, assim como seu estado de conservação e ciente das limitações impostas pelo tombamento da estrutura, foram equacionadas as possíveis situações para implementação de um sistema de proteção que, ao mesmo tempo que atenda às exigências da norma vigente, leve em consideração as restrições estéticas da implementação do mesmo.

Com a mudança da norma em 2015, tornou-se obrigatório a implementação de um anel que circunde toda a estrutura e que interligue todos os cabos de descida em pontos de aterramento. Esta exigência é particularmente difícil de ser atendida

na instituição devido ao extenso perímetro de 282 metros, que é integralmente coberto em asfalto ou concreto, além de que, a porção sudoeste da estrutura faz divisa com um condomínio, portanto, não poderíamos utilizar o espaço para fechar o anel de aterramento, implicando talvez na passagem do anel por dentro do prédio, o que por sua vez dificultaria sua implementação, além do altíssimo custo envolvido somente neste item.

O nível de proteção a ser implementado na estrutura é previsto pela NBR5419, com base na utilização da estrutura, quantidade de pessoas que dela utilizam e o risco que a estrutura oferece para os arredores e para o meio ambiente, como esquematizado no quadro 7.

**Quadro 7 – Classificação de estruturas**

<b>Classificação da estrutura</b>	<b>Tipos de Estrutura</b>	<b>Efeito das descargas atmosféricas</b>	<b>Nível de proteção</b>
Estruturas comuns <sup>1</sup>	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 em razão da interrupção de energia e risco de morte para animais em virtude da perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros.	III ou IV <sup>2</sup>
	Teatros, escolas, lojas de departamento, áreas esportivas e igrejas.	Danos às instalações elétricas (por exemplo, iluminação) e possibilidade de pânico. Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro.	II

Estruturas comuns <sup>1</sup>	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais e outros.	Como o anterior, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores.	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 o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção.	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicações, usinas elétricas	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo.	I
	Indústrias	Risco indireto para as imediações em razão de incêndios, e outros com risco de incêndio	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores.	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I

<sup>1</sup> ETI (Equipamentos de Tecnologia da Informação) podem ser instalados em todos os tipos de estrutura, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro dessas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a NBR5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.

<sup>2</sup> Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós e grãos) sujeitos à explosão são considerados com risco para arredores

Adaptação da NBR5419

#### 4.1 – Métodos de Proteção

A proteção de estruturas contra descargas atmosféricas contempla três diferentes métodos: Franklin, Eletrogeométrico e Gaiola de Faraday

**Quadro 8 - Posicionamento de captos conforme o nível de proteção**

Critérios		Nível de proteção				
Ângulo de proteção ( $\alpha$ ) - método Franklin, em função da altura do captor (h) - ver nota (1) e do nível de proteção	H - m	R - m	I	II	III	IV
	0 - 20m	20	25°	(1)	(1)	(1)
	21 - 30m	30	35°	25°	(1)	(1)
	31 - 45m	45	45°	35°	25°	(1)
	46 - 60m	60	55°	45°	35°	25°
	>60m	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Largura do módulo da malha; ver nota (2) - m	-	-	5	10	10	20
R = raio da esfera rolante (1) Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico ou da Gaiola de Faraday (2) Aplica-se somente ao método da Gaiola de Faraday						
<b>Notas</b> 1. Para a escolha do nível de proteção a altura é em relação ao solo. Para a verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido. 2. O módulo da malha deve constituir um anel fechado com o comprimento não superior ao dobro da sua largura						

Adaptada da NBR

#### 4.1.1 – Método Franklin ou Ângulo de Proteção

Consiste na instalação de captos montados sobre mastros, cuja a altura deve ser calculada respeitando as especificações da estrutura, juntamente com o nível de proteção.

A abrangência de proteção é determinada pelo cone formado em torno do eixo vertical, em que:  $R = \text{tg} \text{ ângulo} \times H$

H = Altura do Mastro

R = Raio da base do cone que deve envolver a edificação

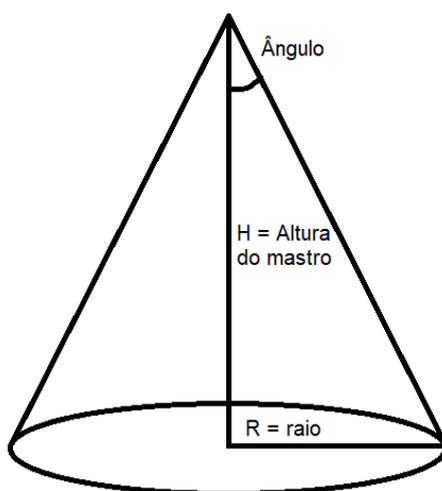


Figura 7  
Imagem do autor  
Cone de proteção

**Quadro 9 - Ângulos de proteção do método Franklin**

Nível de proteção	I	II	III	IV
0 a 20 m	25°	35°	45°	55°
21 a 30 m	Não se aplica	25°	35°	45°
31 a 45 m	Não se aplica	Não se aplica	25°	35°
46 a 60 m	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	25°

#### 4.1.2 – Método Eletrogeométrico

Adequado para estruturas de grande altura ou de formas arquitetônicas complexas, este método, também conhecido como Método de Esfera Rolante é utilizado para delimitar o volume de proteção de um sistema constituído por hastes ou cabos, ou uma combinação de ambos.

A tabela N prescreve os valores máximos para o raio da esfera, em função do nível de proteção, enquanto a tabela J mostra os valores de crista da corrente do raio  $I_{m\acute{a}x}$  conforme o comprimento R.

**Quadro 10 - Raio da esfera conforme o nível de proteção**

Nível de proteção	I	II	III	IV
Raio (R) - m	20	30	45	60

**Quadro 11 - Distância R em função da corrente  $I_{m\acute{a}x}$**

Nível de proteção	I	II	III	IV
Distância R - m	20	30	45	60
Valor de crista de $I_{m\acute{a}x}$ - kA	3,7	6,1	10,6	16,5

A figura 8 pode ser assim descrita: à altura R do solo é traçada uma linha horizontal. Utilizando do topo do captor como centro, é definido uma circunferência de raio R que corta em dois pontos a linha horizontal feita anteriormente. Usando estes pontos P como centros, semicírculos de raio R são criados, ligando a ponta do captor ao solo.

A área demarcada entre os dois semicírculos e o solo corresponde a área de proteção, e o volume é delimitado rotacionando esta área em torno do captor.

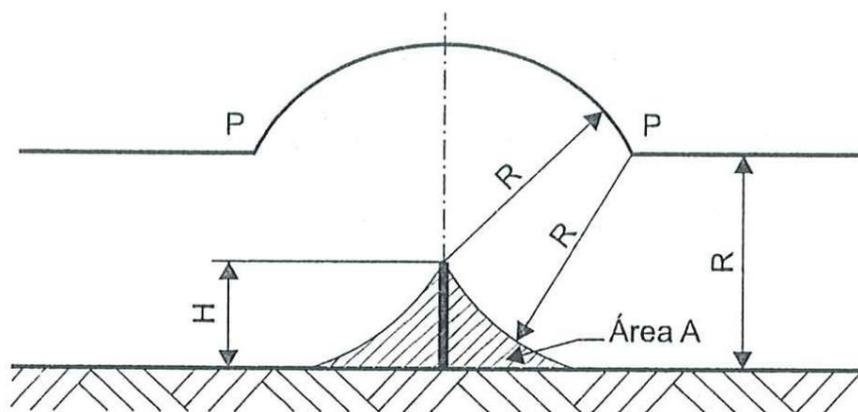


Figura 8  
SPDA, Souza

A área sob os semicírculos, no entanto, não pode tocar a edificação, caso ocorra, é necessário aumentar a altura dos mastros.

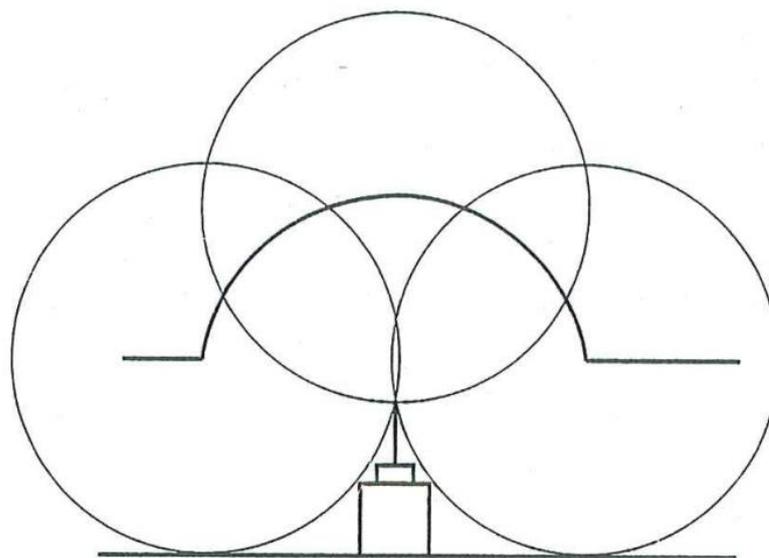


Figura 9  
SPDA, Souza

### 4.1.3 – Método Gaiola de Faraday

Este método ao contrário dos outros dois apresentados, possui um sistema de captor de energia elétrica com condutores horizontalmente instalados e interligados em forma de malha e pode ser utilizado em qualquer edificação, baseando-se em suas extensões e altura.

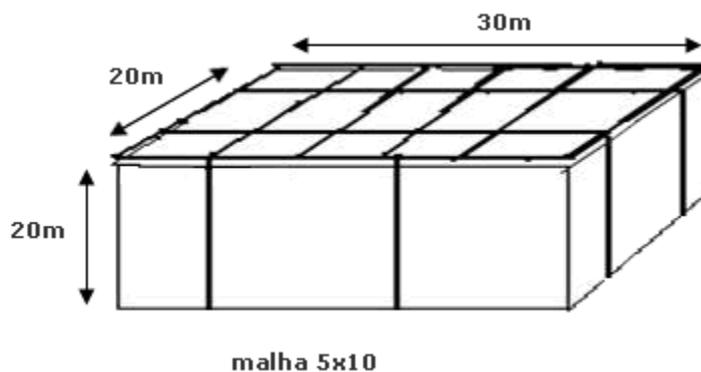


Figura 10

<http://andredantas.coolpage.biz>

### 4.2 - Implementação do SPDA no prédio do Núcleo.

Devido a estrutura possuir alturas e formato não regulares, além da sua extensa área, a implementação de um único captor central não é viável, e a única forma plausível para se aplicar um sistema de SPDA na estrutura é com método de gaiola de Faraday, com minicaptos distribuídos por toda a parte superior, ligados a cabos de descida, que vão de encontro ao anel aterrado em todo o perímetro da estrutura.

As dimensões levam em conta o nível de proteção, como observado no quadro 8. Os condutores da gaiola de Faraday devem possuir as dimensões apresentadas no quadro 12.

## Quadro 12 - Seções mínimas dos materiais do SPDA

Componente	Seção mínima dos materiais do SPDA (mm <sup>2</sup> )		
	Cobre	Alumínio	Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto
Captor e anéis intermediários	35	70	50
+Descidas (para estruturas de até 20m)	16	25	50
Descidas (para estruturas de altura superior a 20m)	35	70	50
Eletrodo de aterramento	50	-	80

Adaptado da NBR 5419

### 4.2.1 - Cálculo do número de descidas

O número de descidas pode ser encontrado seguindo a equação:

$$\text{Número de descidas (nDe)} = \frac{P}{E}$$

Em que:

nDe: número de descidas em metros;

P: perímetro da estrutura em metros;

E: espaçamento entre descidas em metros;

O espaçamento entre as descidas é escolhido conforme o nível de proteção, segundo o quadro 13.

### Quadro 13 – Espaçamento de condutores

Espaçamento de condutores em relação ao nível de proteção				
Nível de proteção	I	II	III	IV
Espaçamento médio - m	10	15	20	25

$$nDe = \frac{282}{15} = 18.8$$

O prédio do Núcleo Artístico deve conter então, conforme o espaçamento previsto na norma NBR5419, 19 descidas que ligam os minicaptadores posicionados por todo o telhado da estrutura ao anel de aterramento.

## **5 - Conclusão**

Após análise, concluiu-se que para a instalação do sistema SPDA, que se prova obrigatório na estrutura, haverá de ser feito uma consulta ao órgão da prefeitura que delibera sobre estruturas tombadas pelo patrimônio histórico, e apresentado um projeto que ao mesmo tempo consiga conciliar a eficiência de um sistema de proteção com a preservação das características da estrutura em questão. Existe a possibilidade de que algumas telhas cerâmicas (francesas) sejam quebradas no processo de implantação do sistema, acreditamos que a reposição deste material seja de extrema complexidade, o que também deve ser levado em consideração no projeto final. Outro questionamento de caráter eminentemente financeiro diz respeito ao anel de aterramento, que circundará toda a estrutura, e que geraria, em sua implantação, um grande gasto de recursos financeiros juntamente com o transtorno ocasionalmente causado.

A implementação do sistema SPDA não garante a integridade de todos os equipamentos elétricos e eletrônicos usados no interior da estrutura, garantindo assim, apenas a integridade da estrutura,

## **6 – Abstract**

The Campus Academia, consisting of the building of Academia de Comércio, Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, Artistic Nucleus and Academic Nucleus, has a lightning protection system (SPDA) in only two buildings. An SPDA has been proven necessary in the nucleus building, due to the altitude of the structure, together with the density of discharges and the occupation of the space by an educational institution. This initiative aims to translate into numbers and base a proposal of the electrical engineering course for the implementation of an SPDA system in the artistic and academic nucleus, thus offering a total protection to the occupants of the establishment, as well as the structure, which has museums, libraries, classrooms, theater settings, workshops, laboratories, kitchens and kindergartens.

## 7 - Bibliografia

]

SOUZA, André Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo; BARROS, Benjamin Ferreira. **SPDA Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**: São Paulo, Editora Saraiva, 2017.

RIBEIRO, Flávio André da Silva et al. **“Proteção de um edifício industrial contra efeitos das descargas atmosféricas,”** 2012.

BURATTO, Flávio Sawada. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação**. 2011. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

FILHO, Silvério Visacro. **Aterramentos Elétricos**. São Paulo, Editora Artliber, 2002.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. Porto Alegre: Editora Sagra - D.C.Luzzato, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749**: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2009

