

## CONSIDERAÇÕES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM EDIFICAÇÕES DESTINADAS A AGLOMERAÇÕES COM ESTUDO DE CASO

Gustave Persijn – E-mail: gustavepersijn@terra.com.br

**Resumo:** De acordo com o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do INPE, cerca de 50 a 100 descargas atmosféricas ocorrem no mundo a cada segundo, o que equivale a cerca de 5 a 10 milhões por dia ou cerca de 1 a 3 bilhões por ano. O Brasil, devido a sua grande extensão territorial e ao fato de estar próximo ao equador geográfico, é um dos países de maior ocorrência de raios no mundo. Estima-se, com base em dados de satélite, que cerca de 60 milhões de raios nuvem-solo atinjam o território brasileiro por ano, ou seja, cerca de dois por segundo. Isto equivale a uma média de aproximadamente 7 raios por quilômetro quadrado por ano. Provavelmente pelo aumento da poluição e pelo fenômeno conhecido como “ilha de calor” (aquecimento provocado pela alteração do tipo de solo e a presença de prédios e elementos que alteram a temperatura local), a ocorrência de descargas atmosféricas tem aumentado sobre grandes áreas urbanas, provocando danos em estruturas edificadas e mortes de pessoas e animais. Este trabalho consiste no estudo do fenômeno físico e no dimensionamento de um SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) em uma obra da Congregação Cristã, em Goiânia/GO.

**Palavras chave:** Descarga atmosférica, SPDA, modelo eletrogeométrico.

## CONSIDERATIONS FOR ATMOSPHERIC DISCHARGE IN BUILDING FOR PEOPLE AGGLOMERATIONS WITH CASE STUDY

**Abstract:** According to the Atmospheric Electricity Group (ELAT) INPE, about 50 to 100 lightning strikes occur worldwide every second, which equates to about 5 to 10 million per day or about 1-3 billion per year. Brazil, due to its large territory and the fact that it is near the geographic equator, is one of the countries with the highest incidence of lightning in the world. It is estimated, based on satellite data, that about 60 million cloud-to-ground lightning reach the Brazilian territory per year, or about two per second. This equates to an average of about 7 rays per square kilometer per year. Probably by increasing pollution and the phenomenon known as "heat island" (heating caused by the change of soil type and the presence of buildings and elements that alter the local temperature), the occurrence of lightning has increased over large urban areas, causing damage to building structures and deaths of people and animals. This work is the study of physical phenomena and scaling a LSP (Lightning System Protection) into a work of Christian Congregation in Goiânia/GO.

**Keywords:** Lightning, lightning protection system, electrogeometric models.

### 1. INTRODUÇÃO

O raio ou descarga atmosférica é uma intensa descarga elétrica produzida entre nuvens ou entre as nuvens e a terra. É um fenômeno natural e complexo que faz parte da própria evolução e formação do planeta. A descarga é visível a olho nu, com trajetórias sinuosas e de ramificações irregulares às vezes com muitos quilômetros de distância até o solo. Este fenômeno produz um clarão conhecido como relâmpago e também uma onda sonora chamada trovão. As características físicas típicas do fenômeno são mostradas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Características físicas típicas dos raios

Corrente	2.000 a 200.000 Amperes
Tensão	100 a 1.000.000 kV
Duração	70 a 200 $\mu$ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência liberada	1.000 a 8.000 milhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de Crista	1,2 $\mu$ s
Tempo de meia cauda	50 $\mu$ s

Fonte: KINDERMANN (2009).

O tempo de crista corresponde ao tempo de subida da corrente ou tensão do raio. Ele é o responsável pelos danos de ação direta e indireta nos circuitos elétricos. O valor de crista é o valor máximo alcançado pela corrente ou tensão e tempo de meia cauda é o tempo em que a cauda (correspondente à forma descendente do raio) atinge o valor de meia crista.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O princípio do estudo teórico experimental foi a metodologia utilizada neste trabalho. Após uma revisão bibliográfica, a escolha do objeto de estudo resultou em uma unidade da Congregação Cristã no Brasil, situada na Avenida Laguna, esquina com rua Niterói, rua Manaus e rua Cuiabá, quadra 128, Parque Amazônia, Goiânia-GO.

Como a fundação e estrutura da obra já estavam prontas, e não houve o acompanhamento desta parte, optou-se pelo SPDA externo ao estrutural, já que a continuidade elétrica nas junções das ferragens internas poderia estar comprometida (conforme anexo D da NBR5419). A visualização estética foi considerada bem como a proteção dos elementos externos como os aparelhos de climatização colocados no telhado.

Seguiu-se rigorosamente as normas técnicas e para uma melhor visualização do dimensionamento efetuado, utilizou-se de desenhos em 3 dimensões usando o módulo 3D do software AutoCAD.

## 3. ÍNDICE CERÂMICO E DENSIDADE DE RAIOS

O índice cerâmico (IC) indica o número de dias de trovoadas por ano em uma determinada localidade. A densidade de raios é a quantidade de raios que caem em uma determinada região durante um período estipulado. A densidade de raios por  $km^2$  por ano (DR), segundo a NBR5419 é dado por:

$$DR = 0,04 \cdot IC^{\frac{5}{4}}$$

O Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), fornece o DR por município para todo o Brasil com base nos dados do sensor de imagem de raios (Lightning Imaging Sensor - LIS). O sensor LIS está a bordo da plataforma Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), que é uma missão conjunta entre as agências espaciais NASA (americana) e JAXA (japonesa). Os dados, obtidos para o período entre 1998 e 2011, levam em conta uma série de correções, o que já permite uma estimativa confiável da distribuição espacial dos relâmpagos sobre o país. Esta distribuição é mostrada em um mapa, disponível no PORTAL ELAT. Além do mapa é possível fazer o download dos valores de densidade por município, juntamente com a listagem do número de fatalidades associados a descargas elétricas. Este arquivo também está disponível no formato pdf no PORTAL ELAT. O valor atual do DR para a cidade de Goiânia é: 7,88 Raios/ $km^2$ .Ano).

#### 4. ÍNDICE DE RISCO DE DANOS DO RAIOS

A avaliação geral do risco de uma estrutura, segundo a NBR5419, é dada pela Frequência Média Anual ( $N_c$ ) admissível de risco de raios na estrutura que possam causar danos, cuja expressão é:

$$N_c = N_{\text{raios incidentes}} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E, e$$

$$N_{\text{raios incidentes}} = S_{\text{captação}} \cdot DR$$

A, B, C, D e E são os fatores de ponderação e  $S_{\text{captação}}$  é a área de captação do raio em uma estrutura.

A área de captação do raio em uma estrutura, sem sistema de proteção, é a soma da área de ocupação da própria estrutura mais a área correspondente à uma faixa contígua à primeira, de largura constante e igual à altura da estrutura, ao longo do seu perímetro. Para uma geometria assimétrica, a área de captação será obtida pela superposição das áreas de captação correspondentes às partes de maior altura da estrutura. Na figura 1 temos uma foto aérea da construção tirada em 10 de agosto de 2008.



Figura 1 - Foto aérea da edificação.

Segue Figura 2 contendo as dimensões da edificação.

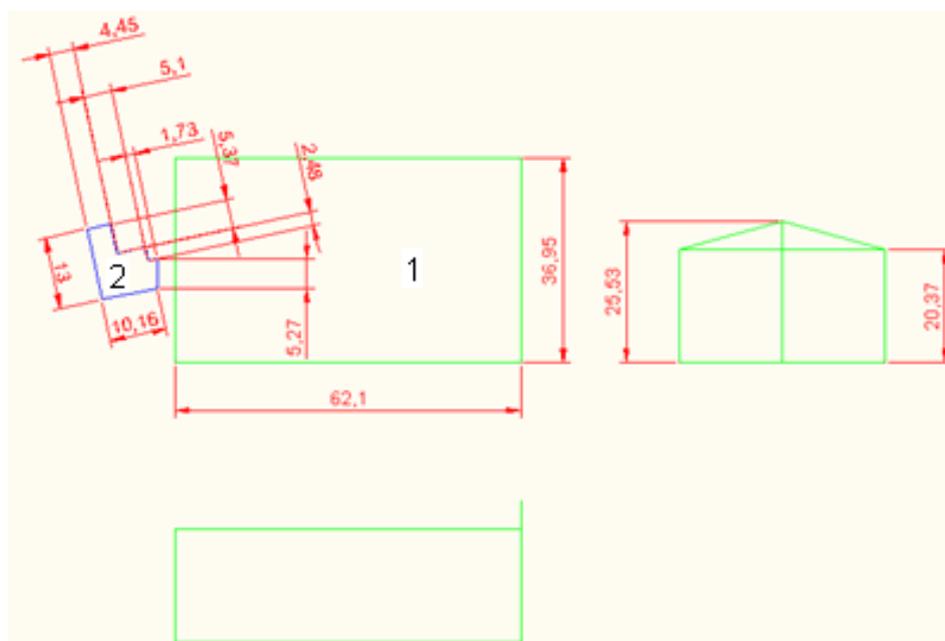


Figura 2 - Dimensões externas da edificação

Na figura 3 a área de captação,  $S_{\text{captação}}$ , é calculada com a ajuda do software Autocad. Para isso é criada uma região com a área de interesse e em seguida calcula-se a área.

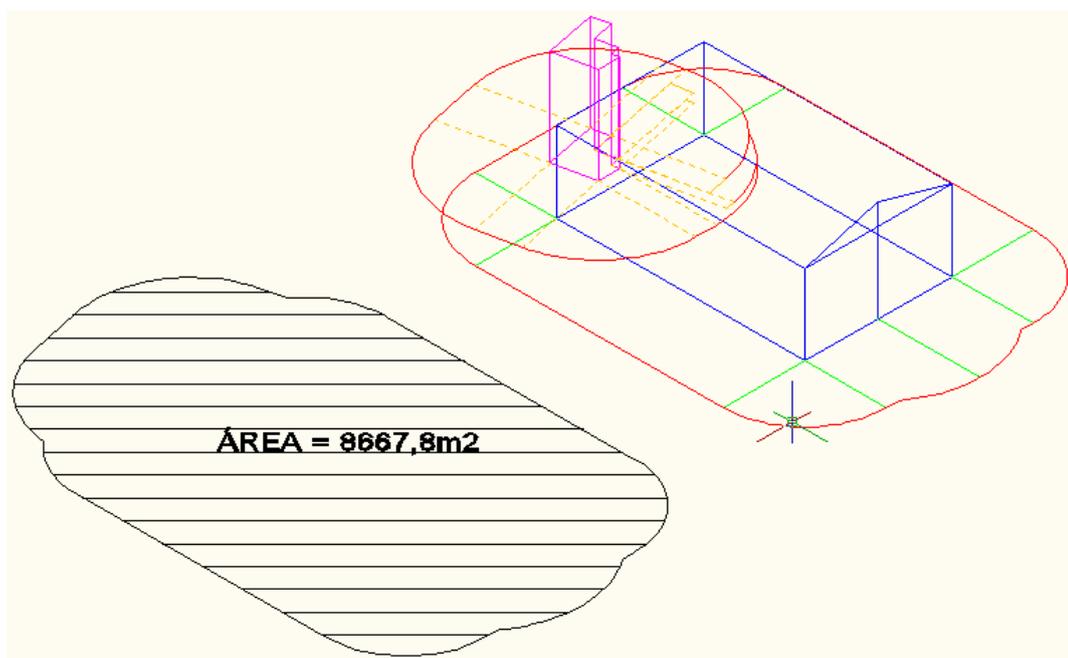


Figura 3 - Área de captação do raios

O fator de ponderação A está relacionado ao tipo de ocupação da estrutura. Para a edificação em estudo, o valor do fator A é 1,3 pois trata-se de locais de afluência de público. O fator de ponderação B é um índice que denota o tipo de construção da estrutura. Neste caso, o valor do fator B é 0,8 pois trata-se de estrutura de concreto armado com cobertura metálica. O fator de ponderação C é um índice que relaciona o conteúdo da estrutura e os efeitos indiretos causados pela descarga atmosférica na estrutura. Assim, o fator C é aquele relacionado à locais de afluência de público cujo valor é 1,7.

O fator de ponderação D é um índice que relaciona a localização da estrutura em relação a estruturas vizinhas, tais como outras construções ou árvores. O fator D para a

estrutura objeto deste estudo de caso é 1,0. O fator de ponderação E é um índice do risco da localização da estrutura em relação a topografia do terreno.

A topografia do terreno representa um índice de risco porque propicia maiores ou menores densidades de raios no local, isto é, a própria topografia representa, de acordo com a sua geometria, um pára-raios natural. Como o local em estudo é considerado como elevações moderadas ou colinas, o fator é 1,0.

A Frequência Média Anual (Nc) do caso em estudo é dada por:

$$N_c = N_{\text{raios incidentes}} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E, e$$

$$\begin{aligned} N_{\text{raios incidentes}} &= \text{Scaptação} \cdot DR = 0,0086678 \text{ [km}^2\text{]} \cdot 7,88 \left[ \frac{\text{Raios}}{\text{km}^2 \cdot \text{Ano}} \right] = \\ &= 0,068302264 \left[ \frac{\text{Raios}}{\text{Ano}} \right] \end{aligned}$$

Assim, temos:

$$N_c = 0,068302264 \left[ \frac{\text{Raios}}{\text{Ano}} \right] \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,120758402752 \left[ \frac{\text{Raios}}{\text{Ano}} \right]$$

Se o resultado obtido para Nc for consideravelmente menor que  $10^{-5}$  (1 em 100 000) e não houver outros fatores preponderantes, a estrutura dispensa proteção. Se o resultado obtido for maior que  $10^{-5}$ , devem existir razões bem fundamentadas para não instalar um SPDA. Assim, como o valor de Nc é bem maior que  $10^{-5}$ , a instalação do SPDA é necessária.

## 5. NÍVEL DE PROTEÇÃO

A norma brasileira estabelece para as diversas estruturas, níveis de proteção a serem utilizados pelo projetista de proteção contra descargas atmosféricas. Assim sendo, existem quatro níveis de proteção, I, II, III e IV.

Para efeito de análise e projeto, as diversas estruturas típicas existentes são classificadas de acordo com os efeitos e danos (riscos) que possam vir a sofrer por ação de uma descarga atmosférica. São elas:

- Estruturas comuns;
- Estruturas com risco confinado;
- Estrutura com risco para os arredores;
- Estrutura com risco para o meio ambiente.

Na Tabela 2, apresentam-se as classificações e agrupamentos das estruturas e os efeitos causados pela descarga atmosférica e indica também o nível de proteção a se adotar.

Observando a tabela, para o caso do presente projeto, o nível de proteção a ser adotado é o II.

Tabela 2 - Exemplos de classificação de estruturas

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns <sup>1)</sup>	Residências	Perfuração da isolamento 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 <sup>2)</sup>
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, 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
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casa 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 telecomunicação usinas elétricas Indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indireto para as imediações devido a 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 conseqüências 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 estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a ABNT NBR 5410) 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 de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.			

Fonte: NBR5419.

## 6. SUBSISTEMAS DE ATERRAMENTOS, DE CONDUTORES DE DESCIDA E DE CAPTORES

No item anterior foi determinado o nível de proteção como sendo nível II. Assim sendo e considerando a maior altura da edificação igual a 25,53m, pode-se aplicar um dos seguintes métodos: Método da Haste Vertical de Franklin; Método da Malha ou Gaiola de Farady; Método Eletrogeométrico ou da Esfera Rolante. Como se trata de uma área consideravelmente grande a ser protegida, será utilizado o método da Gaiola de Faraday, juntamente com emprego de captosres verticais onde será utilizado também o método das esferas rolantes, objetivando a proteção dos equipamentos de climatização localizados no telhado.

Tabela 3 - Posicionamento de captos conforme o nível de proteção

Nível de proteção	h m	Ângulo de proteção ( $\alpha$ ) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
		R m	0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

$R$  = raio da esfera rolante.

1) Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

2) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

2 O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

Fonte: NBR5419.

Para o cálculo do número de descidas ( $N_d$ ), divide-se o perímetro a ser protegido pelo espaçamento médio conforme tabela 4, para o nível II.

Tabela 4 - Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais

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

Fonte: NBR5419.

O perímetro da estrutura 1 (figura 2) é dado por:

$$2 \times 36,95\text{m} + 2 \times 62,1\text{m} = 198,1\text{m}$$

Para um espaçamento médio de 15m, temos:

$$N_d1 = 198,1/15 = 13,21 = 14 \text{ descidas.}$$

O perímetro da estrutura 2 (figura 2) é dado por:

$$13 + 10,16 + 5,27 + 1,73 + 2,48 + 5,1 + 5,37 + 4,45 = 47,56\text{m}$$

Para um espaçamento médio de 15 m, temos:

$$N_d2 = 47,56/15 = 3,17 = 4 \text{ descidas.}$$

Os desenhos das disposições dos elementos do SPDA na estrutura bem como alguns detalhes construtivos, são mostrados nas figuras 4 a 13. Todas as medidas estão em metros.

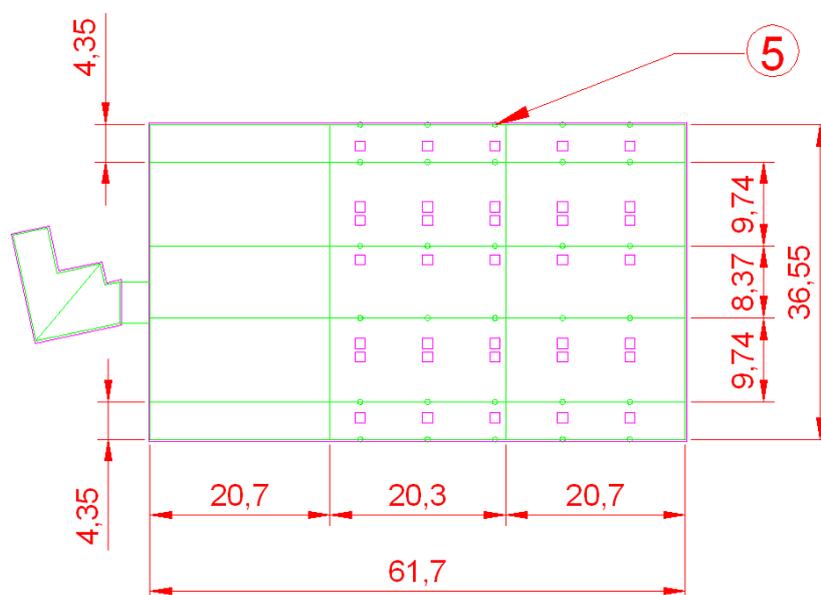


Figura 4 - Subsistema de captadores

Na Figura 4 observa-se, em verde, a gaiola de Faraday. Os detalhes especificados em 5 (Figura 13) são os captadores aéreos para a proteção dos climatizadores (Figura 5).



Figura 5 - Climatizador

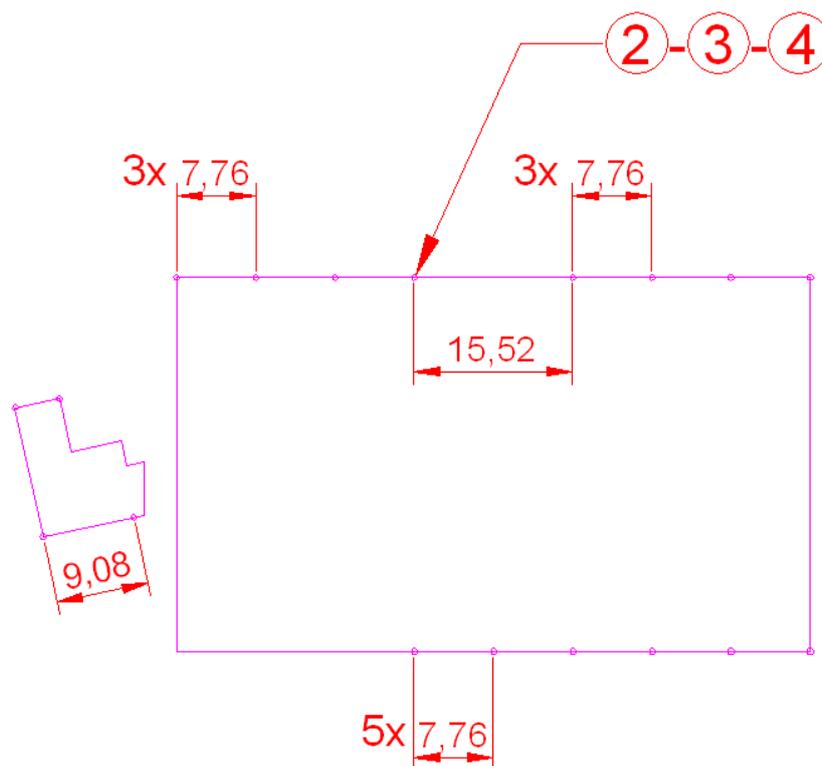


Figura 6 - Subsistema de condutores de descida

Na Figura 6 temos os pontos de descida do SPDA, distribuídas pelos pilares da edificação (Figura 7). Os detalhes 2, 3 e 4 são mostrados nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente. Optou-se pela barra chata de alumínio por questões estéticas.



Figura 7 - Detalhes dos pilares da edificação

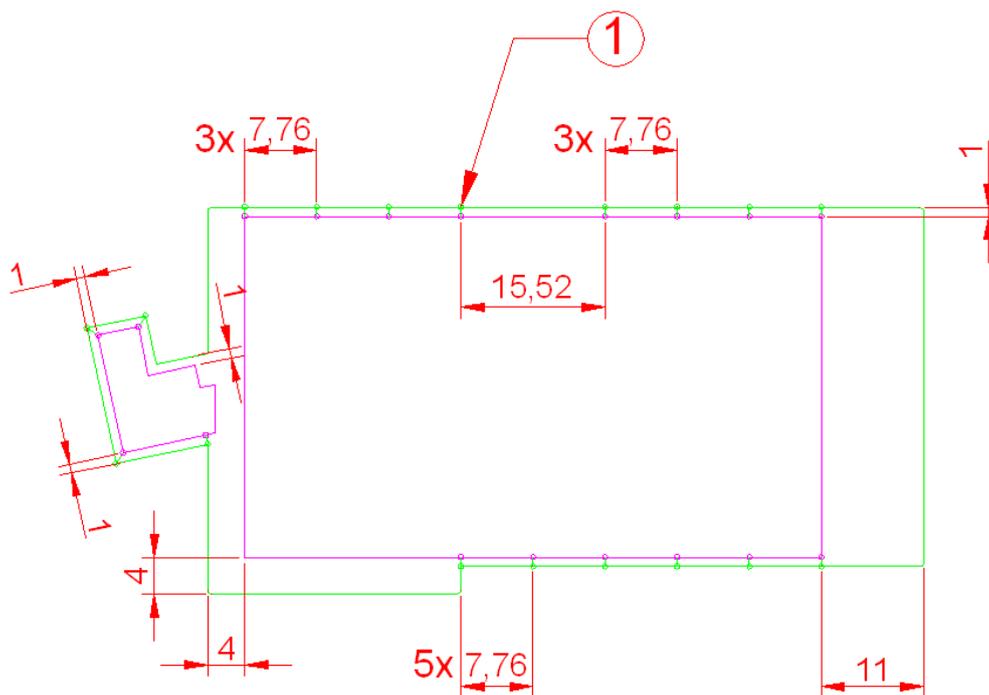


Figura 8 - Subsistema de aterramento

Na Figura 8 temos o anel de equalização, em verde, contornando a estrutura e a 0,5 metros de profundidade. Nota-se que há um eletrodo (Detalhe 1) em cada ponto de descida.

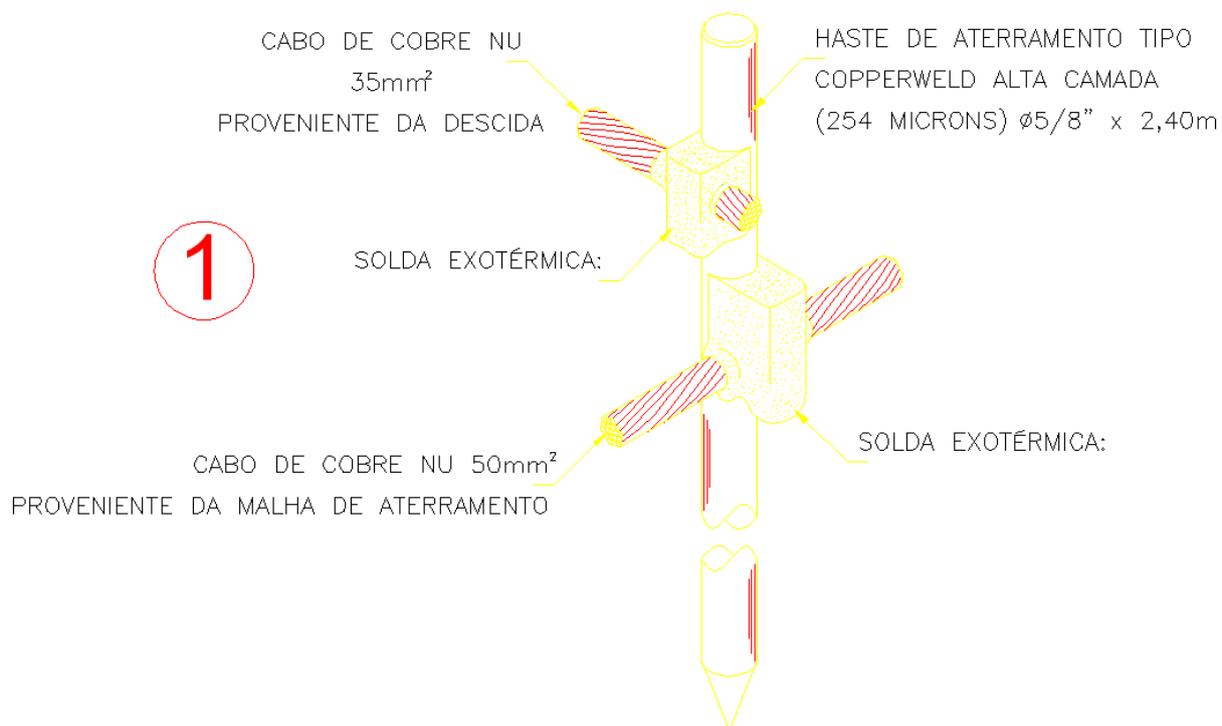


Figura 9 - Detalhe de conexão e solda da haste de aterramento

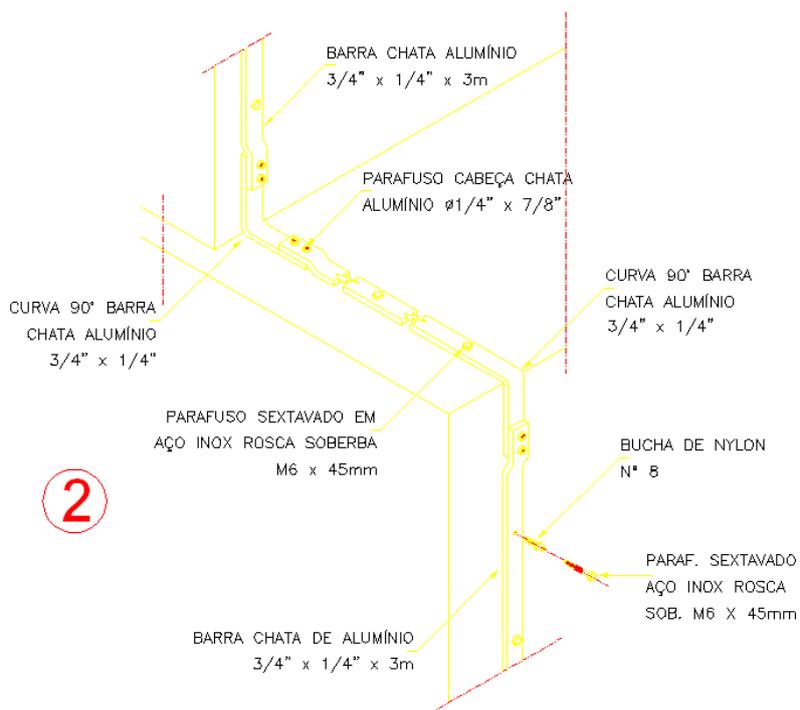


Figura 10 - Detalhe de descida em barra chata de alumínio

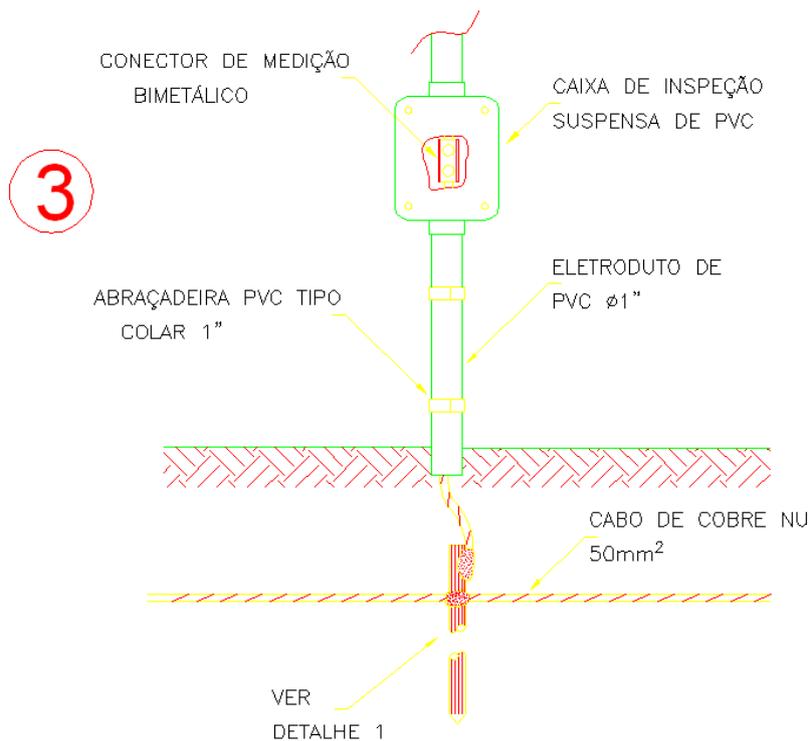


Figura 11 - Detalhe de junção entre descida e aterramento

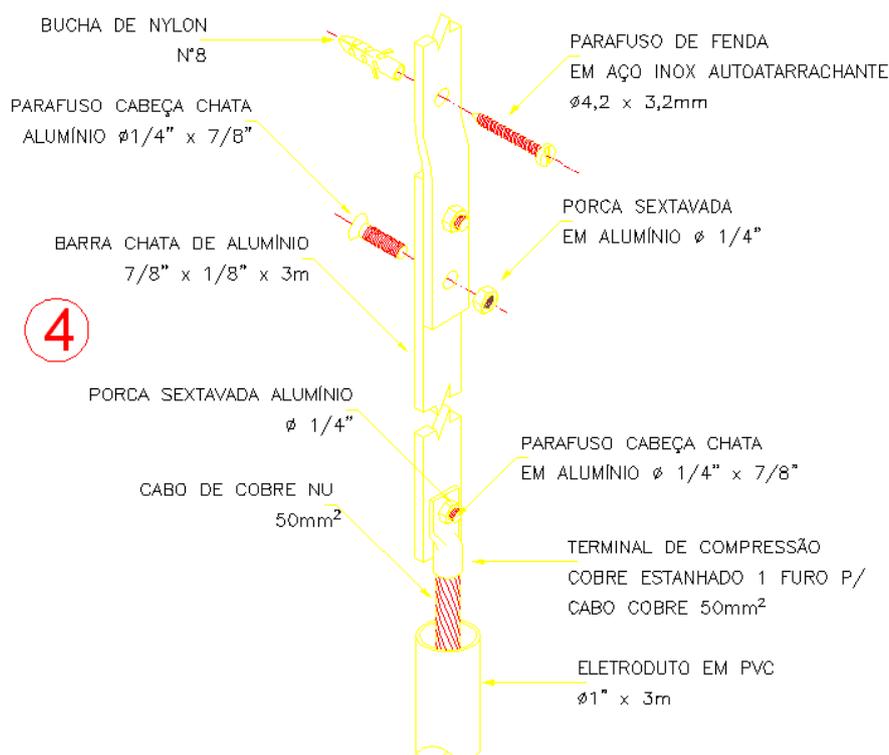


Figura 12 - Detalhe de fixação de barra chata de alumínio e derivação para cabo de cobre com proteção

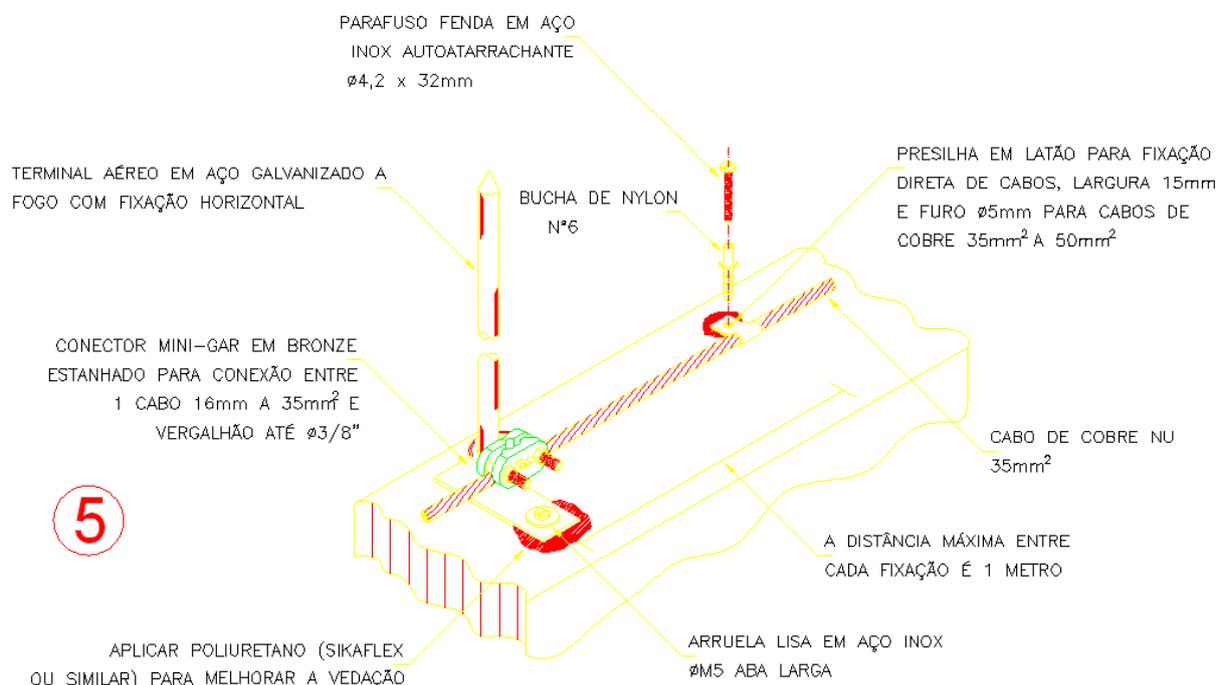


Figura 13 - Detalhe de fixação do cabo e terminal aéreo em alvenaria

A disposição dos captadores (Figura 4) foi feita a partir do deslocamento de uma esfera com um raio de 30m, conforme Tabela 3. Para uma visualização em 3 dimensões, usou-se o comando “orbit” do software AutoCAD. Assim, consegue-se observar se a esfera não está tocando nos objetos a proteger. A Figura 14 mostra, em duas dimensões, as esferas em uma vista frontal da edificação e o dimensionamento dos captadores aéreos.

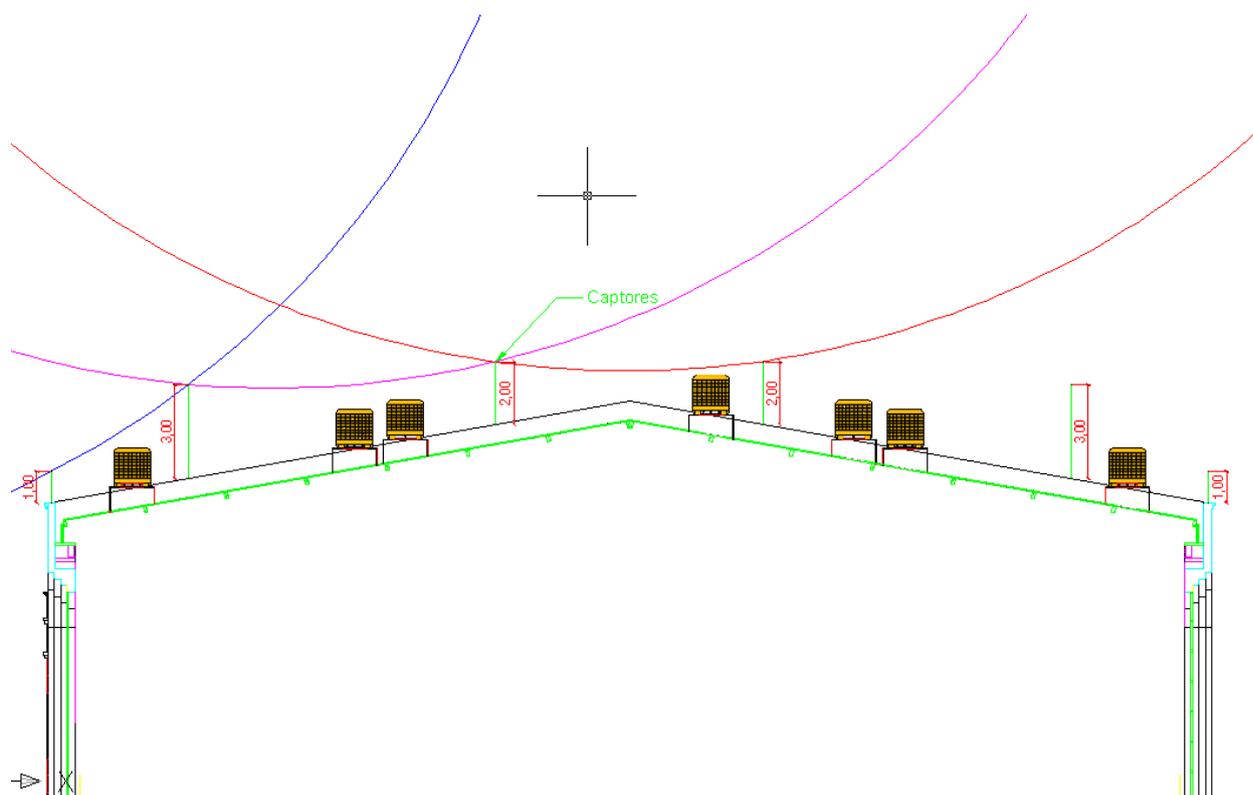


Figura 14 - Avaliação da proteção dos climatizadores pelo método das esferas rolantes

As Figuras 15, 16 e 17 mostram a esfera tocando em 4 captadores. A Figura 15 é uma visão lateral, a figura 16 uma visão frontal e a Figura 17 uma visão em 3 dimensões usando o comando “orbit” para uma melhor visualização do contorno da esfera ao longo da edificação.

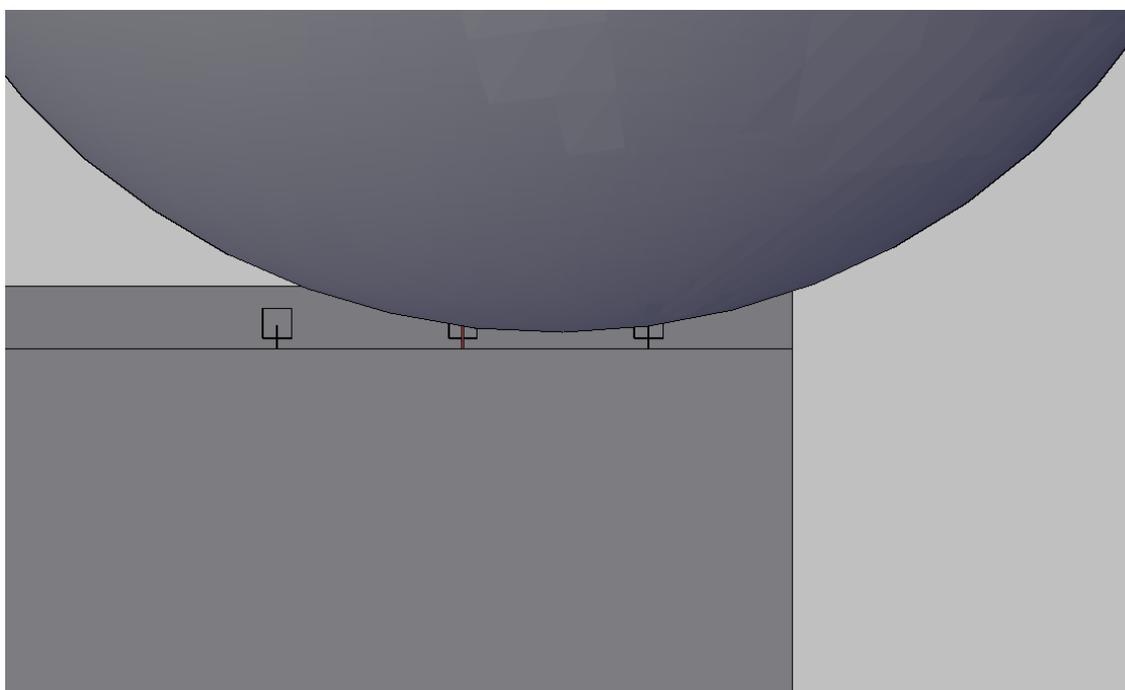


Figura 15 - Vista lateral da esfera

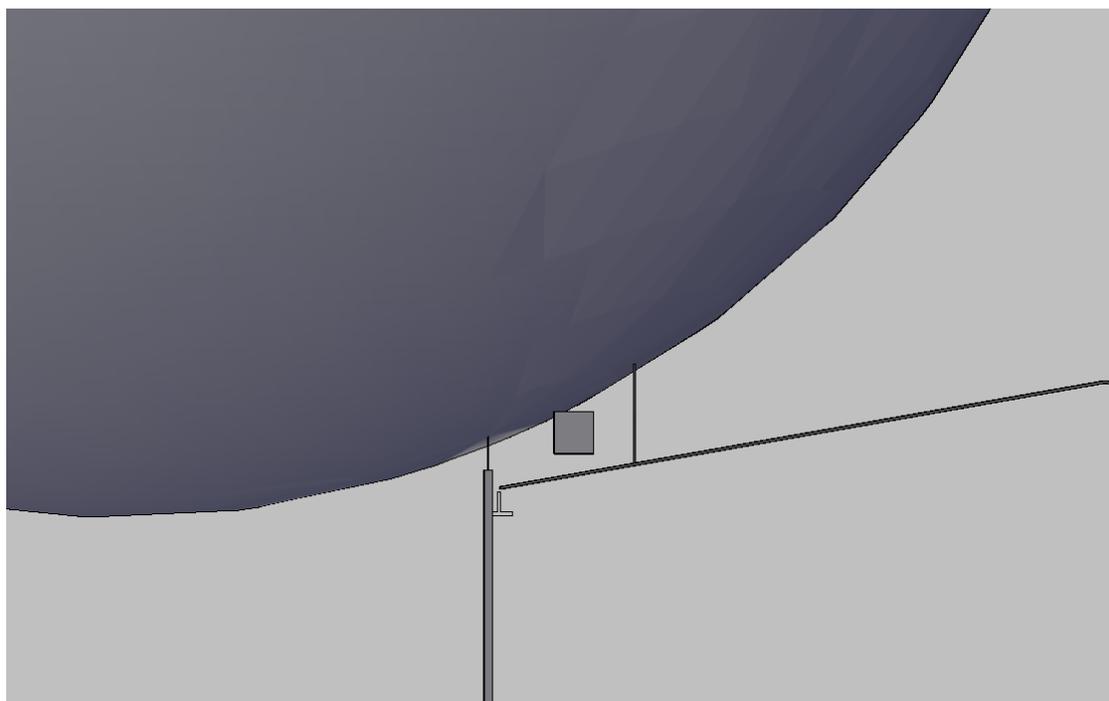


Figura 16 - Vista frontal

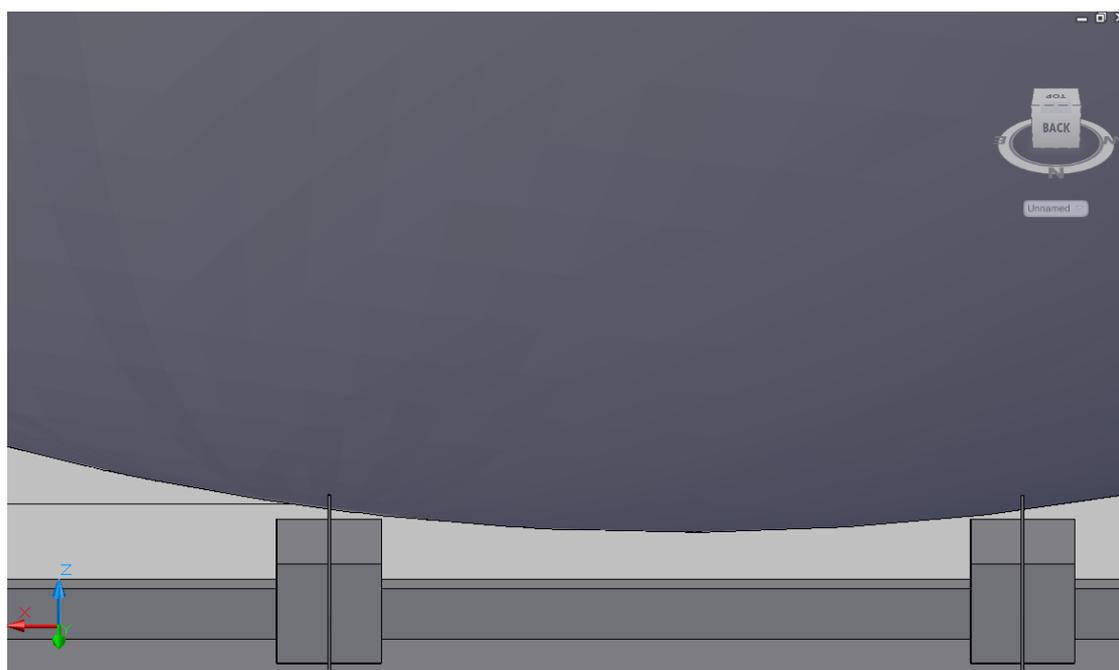


Figura 17 - Usando o comando orbit do AutoCAD

## 7. CONCLUSÃO

A descarga atmosférica é um fenômeno da natureza absolutamente imprevisível e aleatório. Nada em termos práticos pode ser feito para se impedir a "queda" de uma descarga em determinada região. Sabe-se que ainda é necessário muitos estudos e uma grande evolução no conhecimento do assunto, por isso, somente os projetos elaborados com base em disposições das normas (no Brasil a NBR5419) podem assegurar uma instalação dita eficiente e confiável e, mesmo assim, esta eficiência nunca atingirá os 100% estando, mesmo estas instalações, sujeitas à falhas de proteção.

Deve-se salientar ainda que, devido ao fato da descarga atmosférica ser caracterizada por um impulso de alta intensidade e curta duração, muito mais importante que o valor da resistência do subsistema de aterramento é a equalização de potencial das partes metálicas da estrutura edificada.

## **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 42 p.

**FILHO, S. V.** Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

**KINDERMANN, G.** Choque Elétrico. 2. ed. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto, 2000.

**KINDERMANN, G.,** Campagnolo, J. M. Aterramento Elétrico. 5. ed. Florianópolis: Edição do autor, 2002.

**KINDERMANN, G.** Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas. 4. ed. Florianópolis: Edição do autor, 2009.

**PORTAL ELAT – GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

**PORTAL ELAT – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RELÂMPAGOS SOBRE O PAÍS.** Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/docs/Descargas\\_por\\_municipio.pdf](http://www.inpe.br/webelat/docs/Descargas_por_municipio.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2012.

**PORTAL ELAT – DENSIDADE DE RAIOS POR MUNICÍPIO.** Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/docs/Densidade\\_de\\_Raios\\_por\\_Municipio.pdf](http://www.inpe.br/webelat/docs/Densidade_de_Raios_por_Municipio.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2012.

**TERMOTÉCNICA PÁRA-RAIOS.** Disponível em: <<http://www.tel.com.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2012.