



**FAPAC- FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**VIVIANE MACEDO DE OLIVEIRA JULIATE**

**ANALISE DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO E DO AÇO EM SISTEMAS DE  
SPDA ADAPTADO A ESTRUTURA ARMADA**

**PORTO NACIONAL-TO  
2019**

**VIVIANE MACEDO DE OLIVEIRA JULIATE**

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO E DO AÇO EM SISTEMAS DE  
SPDA ADAPTADO A ESTRUTURA ARMADA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Civil do Instituto Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Esp. Eduardo G. S. Lage.

**PORTO NACIONAL-TO**

**2019**

**VIVIANE MACEDO DE OLIVEIRA JULIATE**

**ANÁLISE DE RESISTENCIA DO CONCRETO E DO AÇO EM SISTEMAS DE  
SPDA ADAPTADO A ESTRUTURA ARMADA**

Projeto submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito para obtenção parcial do grau de Bacharel, junto a faculdade de Engenharia Civil.

Projeto apresentado e defendido em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ e aprovado perante a Banca Examinadora pelos professores:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Esp. Eduardo G. S. Lage  
Inst. Presidente Antônio Carlos Porto – Orientador

---

Examinador 1  
Inst. Presidente Antônio Carlos Porto – Membro da Banca

---

Examinador 2  
Inst. Presidente Antônio Carlos Porto – Membro da Banca

**PORTO NACIONAL – TO  
2019**

## RESUMO

Diante da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas – raios – e a necessidade de praticidade e economia nas construções, o de aterramento adaptado à estruturas de concreto armado, tem sido cada vez mais utilizado. A descarga atmosférica passa pelo armação do pilar e dissipa-se no solo, utilizando assim a armação de aço como meio condutor elétrico. Este trabalho consiste na análise da integridade do concreto e do aço, sob traços e umidade corriqueiramente utilizadas, após a simulação da descarga elétrica, visando assim a segurança estrutural da edificação analisando a resistência a compressão do concreto e a tração do aço. O trabalho possui a metodologia de ensaios com a manipulação e cálculo de traços de concreto para a formação de corpos de prova usualmente utilizados na construção civil para obtenção de laudo que comprovem a viabilidade e segurança deste experimento.

Palavras-chave: SPDA; aterramento estrutural; concreto armado.

## **ABSTRACT**

In view of the need to protect against lightning - lightning - and the need for practicality and economy in buildings, that of grounding adapted to reinforced concrete structures, has been increasingly used. The atmospheric discharge passes through the pillar frame and dissipates on the ground, thus using the steel frame as an electric conducting medium. This work consists of the analysis of the integrity of concrete and steel, under traces and humidity commonly used, after the simulation of the electric discharge, aiming at the structural safety of the building by analyzing the compressive strength of the concrete and the steel traction. The work has the methodology of tests with the manipulation and calculation of concrete traces for the formation of test specimens usually used in civil construction to obtain a report that prove the feasibility and safety of this experiment.

Keywords: SPDA; structural grounding; reinforced concrete.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Tipificação das descargas atmosféricas.....	12
Figura 2 – Tipos de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura.....	15
Figura 3 – Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica.....	16
Figura 4 – Vista em corte de um para-raios a oxido de zinco.....	19
Figura 5 – Aplicação do método Franklin.....	20
Figura 6 – Ângulo e nível de proteção do método Franklin .....	20
Figura 7 – Variação da tangente de acordo com o nível de proteção.....	21
Figura 8 – Exemplo do modelo da esfera rolante o zoom do local de captação .....	21
Figura 9 – Exemplo de aplicação do método eletrogeométrico.....	22
Figura 10 – Raio de esfera de proteção do método eletrogeométrico.....	22
Figura 11 – Volume de proteção do captor $h < R$ conforme método eletrogeométrico..	22
Figura 12 – Dimensões de malha de proteção pelo método Faraday.....	23
Figura 13 – Local os serão realizados os ensaios principais.....	24

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Cronograma de atividades.....30

**LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*

Cm – Centímetro

CP – Corpo de prova

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura

Km – Quilômetros

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SPDA – Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	11
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	11
<b>3 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>3.1 Descargas Atmosféricas</b> .....	12
<b>3.2 Descargas Atmosféricas No Brasil</b> .....	13
<b>3.3 O Risco Das Descargas Atmosféricas Nas Edificações</b> .....	14
<b>3.4 Aterramento</b> .....	16
<b>3.5 NBR 5419</b> .....	17
<b>3.6 SPDA</b> .....	18
3.6.1 Métodos de proteção de um SPDA .....	19
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	24
<b>4.1 Materiais</b> .....	24
<b>4.2 Métodos</b> .....	24
4.2.1 Granulometria.....	24
4.2.2 Massa unitária.....	25
4.2.3 Massa específica.....	25
4.2.4 Caracterização do cimento .....	26
4.2.5 Dosagem.....	26
4.2.6 Moldagem .....	27
4.2.7 Descarga Elétrica .....	28
4.2.8 Ensaios de compressão e tração.....	28
<b>5 CRONOGRAMA</b> .....	30
<b>6 RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	31
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade contínua de economia e praticidade engenharia desenvolve sempre novas adaptações para alcançar de maneira satisfatória tais feitos. Nessa linha de raciocínio surgiu a ideia de adaptação do sistema de proteção a descargas atmosféricas (SPDA) à armadura do pilar.

O sistema consiste basicamente na substituição dos elementos de descida instalados externamente pelo aproveitamento do sistema estrutural do pilar, com a fixação do elemento de descida à armadura. Estes elementos são de materiais com alta condutividade elétrica melhorando portanto esteticamente a edificação com a extinção dos tubos de descida das hastes. Porém, para isso, é necessário que seja previsto inicialmente no projeto, desde a fundação quando se inicia o processo de aterramento.

O uso do SPDA estrutural foi regulamentado em 1993 quando Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) incorporou a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5419, após análises e ensaios.

A ABNT NBR 5419 institui que sejam feitas inspeções periódicas no SPDA, ou sempre que for atingido pela descarga atmosférica. No caso do SPDA estrutural é impossível de se vistoriar os objetos de descida, e as conferências são limitadas a medições no início e no topo do prédio. Com isso, a concretagem do SPDA à estrutura do prédio torna-se desvantajosa pelo fato de alto custo para substituição, no caso do sistema se tornar ineficiente.

Este trabalho consiste em analisar o reflexo da descarga atmosférica na resistência do concreto armado quando o SPDA é instalado diretamente na armadura do elemento estrutural, como os materiais se comportam com a elevação de temperatura devido a descarga atmosférica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a resistência do concreto armado, após ocorrência de passagem de corrente elétrica pela armadura.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Comparar a resistência média entre os corpos de prova com e sem passagem de corrente elétrica.
- Avaliar a resistência à compressão;
- Determinar a perda de resistência do aço.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Descargas Atmosféricas

Segundo Buratto (2011), as descargas atmosféricas são fenômenos que sempre causaram transtorno ao longo da história, entretanto só começaram a ser estudadas a partir do século XVII, com pesquisas para identificar as características elétricas dos raios.

As descargas atmosféricas são caracterizadas como descargas elétricas de grande intensidade e extensão, normalmente formadas nas grandes nuvens de tempestades, ou cumulonimbus (FILHO; MARTINELLI; 2016).

Segundo Dantas (2015), a descarga atmosférica pode ser dividida entre positiva e negativa, e caracterizada conforme a figura 1.

Figura 1 - Tipificação das descargas atmosféricas.

DESCARGA	DIREÇÃO	CARACTERÍSTICA	FREQUÊNCIA
POSITIVA	DESCENDENTE	O encontro dos canais se dá mais próximo ao solo. É um caso em que o topo (carregado positivamente) da nuvem se desloca em relação à base e se aproxima de alguma elevação, como uma montanha por exemplo.	Bem mais incomum que as descargas negativas devido ao cenário necessário para sua ocorrência.
	ASCENDENTE	Mesma situação anterior, porém agora com o encontro de canais próximo à nuvem.	Mais rara que as descargas negativas, e que as positivas descendentes.
NEGATIVA	DESCENDENTE	Os canais se encontram próximos à terra, e ocorre entre a base da nuvem e o solo.	Na maioria dos casos e relevos.
	ASCENDENTE	O encontro dos canais se dá mais próximo à nuvem, e a conexão acontece entre a base da nuvem (carregada negativamente) para a terra.	Relativamente raras. Principalmente em relevos elevados com altas construções.

Fonte: Dantas (2015).

De acordo com Buratto (2011), as descargas atmosféricas também são conhecidas como raios, e se referem a um complexo fenômeno com fluxo de uma

corrente impulsiva de curta duração, porém de alta intensidade, partindo das nuvens e podendo atingir a superfície terrestre.

De acordo com Pinto JR e Pinto (2000) as células internas de uma nuvem, em seu estado maduro, ficam eletrificadas pelas colisões e fricções, devido aos movimentos provocados pelo vento, das moléculas de água em suas fases no interior.

Segundo Dantas (2015), os raios formam-se a partir das nuvens eletricamente carregadas, onde as descargas se movimentam por um canal em direção ao solo, onde este também possui um canal, e a partir do momento que há um encontro dos canais, forma-se uma corrente percebida de maneira luminosa, que é o próprio raio, e de maneira sonora, que é o trovão. Ainda segundo o autor, o raio não necessariamente “cai” no solo, visto que o mesmo só acontece quando há um encontro entre os canais, podendo chocarem-se em qualquer ponto, além disso, após a ocorrência do primeiro encontro, outras descargas podem ser estabelecidas pelo mesmo caminho.

Conforme Pinto Jr e Pinto (2008) os raios têm uma média de duração de 0,25s percorrendo assim pela atmosfera entre 5km e 10km. as variações na corrente elétrica durante esse percurso são enormes e em menos de 0,01 por cento das trajetórias essa corrente excede 200kA. Durante o relâmpago a corrente elétrica atinge alta temperatura chegando a 30.000°C e a pressão a dezenas de atm. Sendo assim, o ar ao redor desse fenômeno expande em alta velocidade e em todas as direções originando assim o conhecido trovão (50Hz a 100Hz). O relâmpago produz desde o início até o toque na terra, energia térmica, acústica, eletromagnética e elétrica.

De acordo com Sueta (2005), a maioria das descargas atmosféricas possuem raios curtos e longos, que possuem cargas altas, apontadas como responsáveis pelos danos causados pelas descargas atmosféricas, como os danos destrutivos.

### **3.2 Descargas Atmosféricas No Brasil**

De acordo com a Agência Brasil (2018), a média da incidência de raios no Brasil nos últimos anos é de cerca de 77,8 milhões, fazendo com que o país tenha destaque no âmbito mundial.

O Brasil é líder mundial em incidência de raios anualmente, sendo que houve 1790 mortes por raios entre 2000 a 2014 no país, além de, no âmbito mundial, uma a cada 50 pessoas que morrem anualmente por descargas atmosféricas encontra-se no Brasil, e 90% desses acidentes ocorrem nas estações mais quentes do ano, como o verão e a primavera (BRASIL, 2016).

De acordo com a Revista Ecológico nas Escolas (2018), a alta incidência no Brasil se dá devido ser o maior país da região tropical, com o clima mais quente, e desse modo favorece a formação de tempestades e conseqüentemente de raios.

Segundo a Agência Brasil (2018), o estado do Tocantins é o país brasileiro com a maior incidência de raios por quilometro quadrado, chegando a um número médio de 17,1, e a capital do estado é a segunda capital do país com essa maior incidência, atingindo cerca de 19,21 raios por quilômetro quadrado, acima da média do estado, e fica atrás somente da capital Rio Branco, que possui a incidência de 30,13.

De acordo com a Confederação Nacional dos Municípios (2018), a incidência de raios no Tocantins é tão alta que somente nas primeiras semanas de 2018 houve o registro de 800 mil raios no estado.

Segundo Ribeiro e Cardoso (2016), os prejuízos causados pelas descargas atmosféricas giram em torno de milhões de dólares, não só no Brasil como em outros países. Os autores afirmam que há uma estimativa de que cerca de 70% dos desligamentos existentes em linhas de transmissão, e 30% das faltas de energia elétricas por parte de linhas de distribuição, são causados pelas descargas atmosféricas.

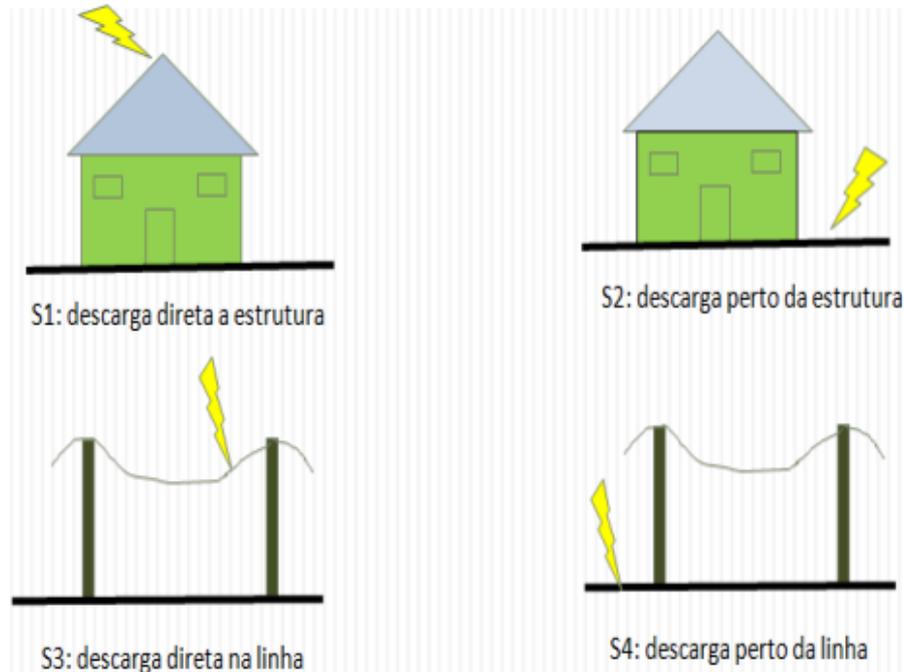
### **3.3 O Risco Das Descargas Atmosféricas Nas Edificações**

Segundo Ribeiro e Cardoso (2016), as descargas atmosféricas podem atingir edificações e afetar as estruturas, sendo divididas em:

- S1: Descargas diretas à estrutura;
- S2: Descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: Descargas atmosféricas na linha;
- S4: Descargas atmosféricas perto da linha

Ilustradas conforme a figura 1:

Figura 2 - Tipos de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura.



Fonte: Ribeiro e Cardoso (2016).

Ainda segundo Ribeiro e Cardoso (2016), as descargas atmosféricas diretas à estrutura ou à linha possuem o risco de causar danos físicos e perigo à vida; já as descargas perto da estrutura ou perto da linha pode causar falhas em sistemas eletroeletrônicos, devido as sobretensões atmosférica nas instalações e nas linhas de energia.

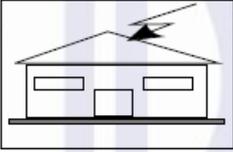
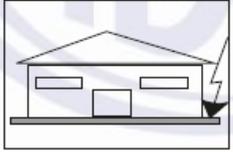
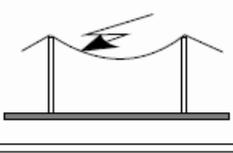
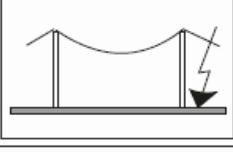
De acordo com Sueta (2005), quando uma descarga elétrica atinge edificações, telhados, torres, linhas de transmissão de energia, aeronaves, árvores, entre outros, possui o risco de causar danos mecânicos em materiais, como a quebra/rompimento de concreto em edificações, quebra e queima de telhados, rompimentos das linhas de transmissão, queima de árvores, etc.

Segundo a NBR 5419:2015, as descargas atmosféricas podem causar danos e perdas ao atingir as edificações, sendo:

- D1: Dano às pessoas devido ao choque elétrico
- D2: Danos físicos devido aos efeitos das descargas atmosféricas
- D3: falhas nos sistemas internos
- L1: perda de vida humana
- L2: perda de serviço ao público
- L3: perda de patrimônio cultural
- L4: perda de valor econômico

Ainda segundo a NBR 5419:2015, os danos e perdas causados a partir das descargas elétricas são distintos de acordo com o ponto de impacto, conforme a figura 3.

Figura 3 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica.

Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>a</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>a</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4
<sup>a</sup> Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais. <sup>b</sup> Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.				

Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

### 3.4 Aterramento

De acordo com Buratto (2011) o estudo sobre o aterramento para proteção contra descargas atmosféricas surgiu no século XVIII, quando Benjamin Franklin quis provar que os raios são descargas elétricas da natureza e a partir de então o cientista inventou o para-raios, propondo um método de proteção dos edifícios com a utilização de uma ponta metálica de 2,5 a 30 metros acima da casa e em contato com o solo, para que a descarga elétrica fosse conduzida para a terra, sem danos ao edifício.

Ainda segundo Buratto (2011), a partir das contribuições de Benjamin Franklin, os estudos de proteção contra descargas atmosféricas passaram a ser aprofundados.

De acordo com Gomes (2006), em 1941, foi noticiado pela primeira vez o uso de estruturas de aterramento em depósitos de bombas da base aérea de Davis Monthan, Tucson no Arizona, com o objetivo de proteger a edificação contra descargas atmosféricas. Na época, o engenheiro responsável pelas instalações era Herb Ufer que utilizou um sistema que combinava aterramento com aterramento estrutural verificando assim que o aterramento estrutural promovia uma resistência menor que as próprias hastes de aterramento.

Ainda segundo Gomes (2006), nos anos 70, o aterramento estrutural que já havia se tornado uma tendência em muitos países, foi incluído as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) 5410 e 5419.

Conforme Reis (2003), na versão da NBR 5419 de 1993 ainda não constava a normatização do uso de armaduras estruturais como parte do SPDA, o que não acontecia em outros países que já faziam uso desse recurso com base em suas normas. Já no Brasil era feito o uso de um “condutor dedicado” que era embutido a estrutura, adaptado a armaduras normais, para uso como condutor de aterramento e assim evitar a desconforto do cabeamento nas fachadas. Desta maneira não fugiam da norma e aderiam as tendências internacionais.

### **3.5 NBR 5419**

Segundo Vicente (2010), a NBR 5419/2015 se refere à proteção de estruturas contra descargas atmosféricas e estabelece uma série de critérios de segurança para alcançar essa proteção, especialmente as pessoas e equipamentos.

Esta Norma fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) de estruturas (definidas em 1.2), bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido (NBR 5419,2015, pg.1).

Segundo Vicente (2010), a NBR 5419/2015 se refere a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, através de diversos critérios, prevendo ações para garantir a segurança das estruturas.

### 3.6 SPDA

Segundo Coutinho e Altoé (2003) o SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, é um sistema que visa a proteção de uma construção ou estrutura contra as descargas atmosféricas e seus efeitos, sendo designado tradicionalmente por para-raios.

De acordo com Araújo (2010), o SPDA é designado à proteção dos diferentes tipos de estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas, evitando e/ou minimizando o impacto dos efeitos das descargas.

Segundo Buratto (2011), o SPDA deve ser aplicado mediante os seguintes casos: locais com grande público, que prestam serviços públicos, áreas com alta incidência de descargas atmosféricas, estruturas/edifícios isolados ou maiores que 25 metros, estruturas de valor histórico e cultural.

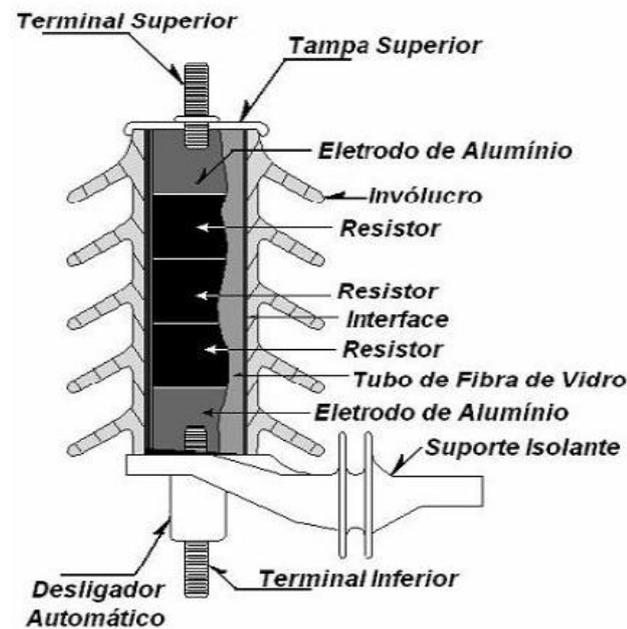
Coutinho e Altoé (2003) afirmam que um SPDA é formado por captação, descidas, anéis de cintamento, aterramento e equalização de potenciais internos, onde estes caracterizam-se por:

- captação: recebem as descargas no topo da edificação e distribui pelas descidas, sendo composta por elementos metálicos devidamente dimensionamentos;
- descidas: recebem as correntes distribuídas a partir da captação e encaminhá-las para o solo;
- anéis de cintamento: equalizam os potenciais das descidas para minimizar o campo elétrico dentro da edificação, e recebe as descargas laterais para distribuí-las pelas descidas;
- aterramento: recebe as correntes elétricas das descidas e dissipa as mesmas no solo, além de equalizar os potenciais das descidas e no solo;
- equalização de potenciais internos

Segundo Araújo (2010), o SPDA deve dispor de para-raios, onde estes são equipamentos utilizados para proteger os isolamentos dos dispositivos elétricos, pois previnem e evitam que os equipamentos sejam danificados pelas sobretensões das descargas atmosféricas.

Ainda segundo Araújo (2010), os para-raios podem convencionais com centelhadores a carboneto de silício (SiC) ou ser a óxido de zinco com ou sem centelhadores, sendo que os para-raios a óxido de zinco possuem um desempenho melhor que a outra opção diante das descargas, e são descritos conforme a figura 3.

Figura 4 - Vista em corte de um para-raios a óxido de zinco.



Fonte: Araújo (2010).

Araújo (2010) ainda afirma que o SPDA deve dispor de aterramento, para que as descargas atmosféricas sejam escoadas diretamente para o solo, garantindo segurança às pessoas e aos animais

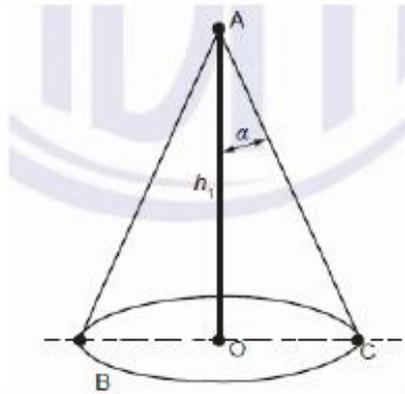
### 3.6.1 Métodos de proteção de um SPDA

Segundo Buratto (2011), atualmente existem três tipos de métodos para implantar um SPDA, sendo eles: o método Franklin, o método eletrogeométrico e o método Faraday, onde a utilização de cada um depende da proteção em que se deseja alcançar.

- Método Franklin

De acordo com Bortolato (2017), o método Franklin, também chamado de método do ângulo de proteção, é o método que utiliza um ou mais captadores de quatro pontas fixos em mastros verticais, e o volume de proteção é determinado pelo formato do cone circular formado entre o eixo do mastro e a altura, conforme a figura 4.

Figura 5 - Aplicação do método Franklin.



Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

Onde: A= topo do captor;

B= plano de referência;

OC= raio da base do cone de proteção;

$h_1$ = altura de um mastro acima do plano de referência;

$\alpha$ = ângulo de proteção.

Segundo Coutinho e Altoé (2003), a partir do ângulo de proteção, o nível de segurança é definido, conforme a figura 6.

Figura 6 - Ângulo e nível de proteção do método de Franklin.

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

Fonte: Coutinho e Altoé (2003).

Segundo Buratto (2011), em telhados planos, a intersecção dos cones de proteção é determinada com o plano do teto, traçando sobre a planta do teto as circunferências com os raios de acordo com as alturas das hastes e o ângulo de proteção escolhido, sendo que o raio da circunferência é calculado a partir de  $h \cdot \text{tg } \alpha$ , onde  $\text{tg } \alpha$  possui os valores conforme a figura 7.

Figura 7 - Variação da tangente de acordo com o nível de proteção.

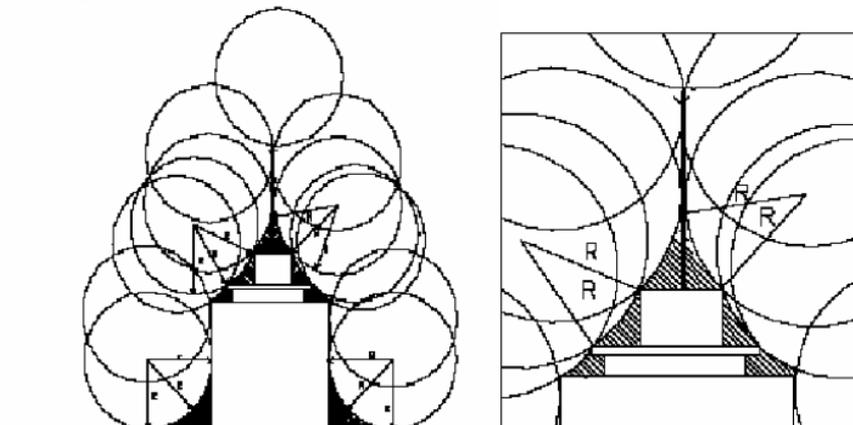
Nível de proteção	$\alpha$	$\text{tg } \alpha$
I	25	0,46
II	35	0,7
III	45	1
IV	55	1,43

Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

- Método Eletrogeométrico

Segundo Buratto (2011), o método da eletrogeométrico, também conhecido como método da esfera rolante ou fictícia, é indicado para estruturas com formas arquitetônicas complexas ou de grandes alturas, exemplificada conforme a figura 8.

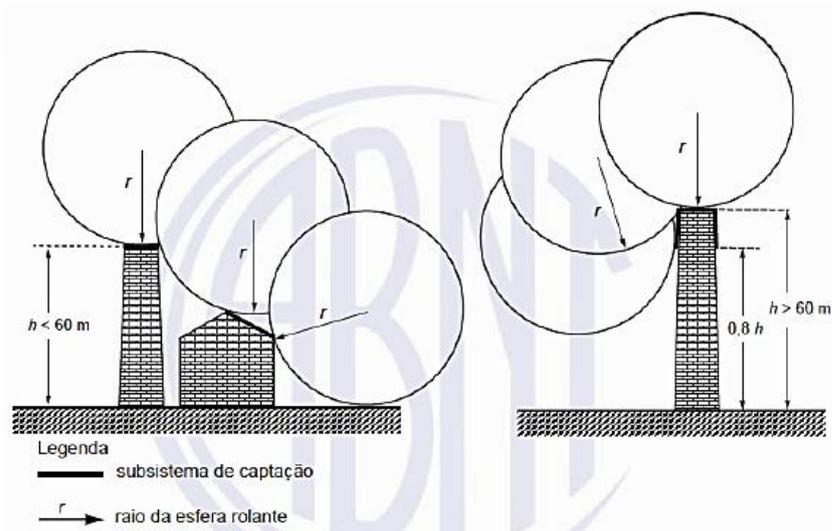
Figura 8 - Exemplo do modelo da esfera rolante o zoom do local de captação.



Fonte: Coutinho e Altoé (2003).

De acordo com Coutinho e Altoé (2003), o método eletrogeométrico sugere que a descarga atmosférica atingirá o ponto em que a esfera tocar primeiro no objeto ou no solo, exemplificada conforme a figura 9.

Figura 9 - Exemplo de aplicação do método eletrogeométrico.



Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

Para esse método, a NBR 5419/2015 fixa os valores para os raios de atração de acordo com o nível de proteção, conforme a figura 10.

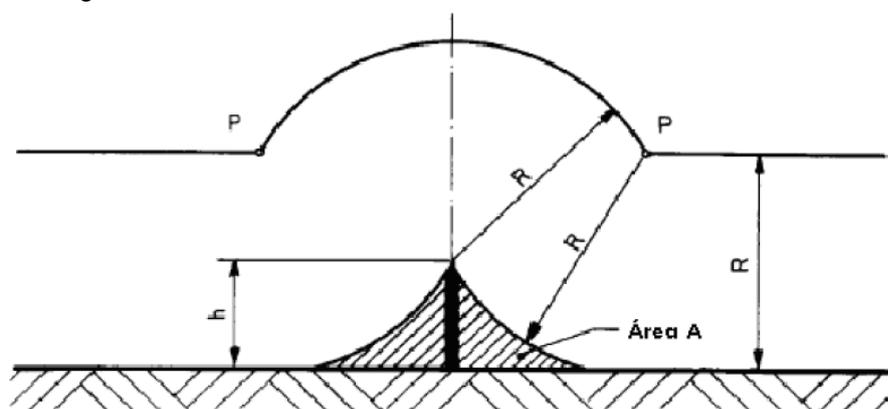
Figura 10 - Raio da esfera de proteção do modelo eletrogeométrico.

Nível de Proteção	I	II	III	IV
Raio da esfera (m)	20	30	45	60

Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

Segundo Buratto (2011), a partir do modelo eletrogeométrico, o volume de proteção é calculado através do captor  $h < R$ , conforme a figura 11, onde  $h$  é a altura do captor,  $R$  é o raio da esfera fictícia.

Figura 11 - Volume de proteção do captor  $h < R$  conforme o método eletrogeométrico.



Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

- Método de Faraday

Segundo Coutinho e Altoé (2003), o método de Faraday supõe que o campo interior de uma gaiola seja nulo, mesmo se passar uma corrente de valor elevado por ela, a aplicação em SPDA consiste em um sistema de captos formado por condutores horizontais, ligados em forma de malha, e a abertura das malhas ou a distância entre os condutores se relaciona com o nível de proteção.

Segundo a NBR 5419/2015, há dimensões fixas da malha para cada nível de segurança, conforme a figura 12.

Figura 12 - Dimensões da malha de proteção pelo método de Faraday.

<b>Nível de proteção</b>	<b>Largura máxima da malha (m)</b>	<b>Comprimento da malha (m)</b>
I	5	< 10
II	10	< 20
III	10	< 20
IV	20	< 40

Fonte: ABNT NBR 5419:2015.



Ensaio de granulometria de acordo com a norma NBR NM 248 (2003), inicia-se com a secagem das amostras em estufa e o resfriamento a temperatura ambiente para determinar sua massa. Logo após organiza-se as peneiras com as aberturas em ordem crescente e é despejado a amostra na peneira superior.

As peneiras são colocadas no agitador mecânico por um minuto para que possa ser feita a classificação por tamanho de partículas. Depois, será feito a separação dos materiais retidos em cada peneira, de maneira a não deixar materiais retidos na malha das peneiras. Calcula-se o percentual retido e acumulado em cada peneira. O ensaio serve para determinar a dimensão máxima característica, o modulo de finura, a porcentagem média retida em cada peneira, assim fazendo toda a classificação do agregado.

#### 4.2.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária será desenvolvido conforme procedimentos da NBR NM 45 (2006) onde é feito inicialmente a secagem da amostra com quantidade maior que o necessário para preenchimento do recipiente de ensaio. Determinamos a massa do recipiente vazio em seguida ele é preenchido com três camadas diferente usando uma haste para golpeamento em cada uma delas. Por fim, determinamos a massa do recipiente com seu conteúdo.

#### 4.2.3 Massa específica

O ensaio de massa específica realizado para este experimento, será realizado conforme a NBR NM 52 (2001), onde determina que seja colocado em um frasco, uma amostra de 500g e pesar o conjunto. Em seguida encher o frasco com água até a marca de 500ml. Movimenta-lo de maneira que ajude a liberação de bolhas de ar e colocá-lo em banho para conseguir manter o agregado a uma temperatura constante de 21°C, podendo variar em 2°C para mais, ou para menos durante 1 hora. Findado o tempo de repouso, completa-se a água até a marca de 500cm<sup>3</sup> e determina novamente a massa total do conjunto. Separa-se a massa do agregado a do frasco e leva a secagem e em seguida ao resfriamento em temperatura ambiente e a pesagem final.

#### 4.2.4 Caracterização do cimento

Para a caracterização do cimento serão feitos os procedimentos de ensaio de finura, massa específica e tempo de pega conforme as normas pertinentes.

Para o procedimento de ensaio de finura do cimento *Portland* será utilizado as instruções da norma do DNIT – 054/2004-PRO instrui que o procedimento seja feito com o emprego da peneira nº200 que determina a porcentagem de cimento que são de dimensões superiores a 75 µm.

A NBR 16605 (2017) será a determinante do processo de ensaio para verificação de massa específica do cimento. Utilizando o frasco volumétrico de *Le Chatelier* com 250ml de querosene, líquido não reagente ao cimento em seguida será colocado 60g de cimento e o frasco será fechado e movimentado para que não crie bolha de ar. O frasco é apoiado em superfície plana aguardando a decantação completa do material, para enfim fazer a leitura final.

Já para se estabelecer o tempo de pega da pasta de cimento *Portland* utilizaremos a NBR NM 65 (2003). O procedimento inicia-se com o preparo da pasta, enchimento dos moldes e armazenamento em câmara úmida durante 30 min. Terminando o prazo de descanso coloca-se no aparelho de *Vicat* com a placa base fazendo a agulha descer até o toque na placa. Faz-se a leitura do marcador ou ajusta a marca zero. A primeira agulhada é feita em 30 min após o preparo da massa, depois é movimentado o molde para aproximadamente 10mm do primeiro furo para ser feita as demais agulhadas em 15 minutos, continua-se até obter o resultado em que a agulha esteja entre  $(4 \pm 1)$  mm da placa base, assim obtendo o tempo de pega.

#### 4.2.5 Dosagem

O traço utilizado para o concreto será conforme método ABCP, previamente calculado para uma resistência  $F_{ck}$  de 30MPa, convencionalmente usado em pilares armados.

Para se determinar a resistência de dosagem é feito o cálculo por meio da equação encontrada na NBR 12655 (2015):

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot s_d$$

(Equação 1)

Onde:

$f_{cmj}$  = resistência média à compressão do concreto em J dias de idade;

$f_{ckj}$  = resistência característica do concreto à compressão em j dias;

$sd$  = desvio padrão de dosagem;

#### 4.2.6 Moldagem

Serão confeccionados 12 corpos de prova com as dimensões básicas utilizadas de 15x30 cm ,com uma haste de ferro CA50 de 12mm no interior do CP, ao longo do eixo longitudinal ,com a intenção de transporte elétrico. A corrente elétrica será conduzida através da haste, fazendo assim transpor completamente o CP.

A produção dos corpos de prova serão em temperaturas ambientes.

O moldes utilizados serão os habituais encontrados no laboratório de construção civil da Faculdade ITPAC-Porto e possuem forma circular tradicional e tamanho de 15x30 cm, a não opção pelo CP de 10x20 se faz pela alta probabilidade de rompimento logo após a descarga elétrica.

Para o traço de concreto dos corpos de prova, será utilizado cimento Portland CII, areia média peneirada e seca, brita 1 também peneirada e seca e água potável da rede de distribuição. Todos os CP serão confeccionados com o mesmo lote de concreto, preparado uma única vez.

Para mistura do traço será utilizada betoneira de pequeno porte, muito utilizada na construção civil, para uma maior homogeneidade do material, que se encontra no laboratório da Faculdade ITPAC Porto, obtendo assim um volume 100 por cento maior que o necessário para o preenchimento das amostras experimentais.

A concretagem dos CP serão feitas pela manhã para uma menor temperatura ambiente devido ao clima regional ser excessivamente quente.

Seguindo assim a metodologia de traço ABCP, será umedecida inicialmente a betoneira e colocada a brita e 50% do cálculo de água necessário e 1 minuto de mistura no aparelho. Logo após adicionaremos o total de areia e cimento e mais um minuto de mistura. Pra finalizar, acrescentar o restante da água e mais cinco minutos de mistura.

O preenchimento das amostras será feito de maneira gradativa, com uma pá pequena e não despejando material direto da betoneira, para vibração do material e extinção de vazios porosos e a não exsudação de água na superfície do CP.

Será introduzida primeiramente no interior do CP, uma haste de metal soldada a uma base plana circular afim de que se possa conectar os dois polos a corrente alternada, logo após será concretado o corpo de prova.

Em seguida a concretagem de todas as amostras, será respeitado um prazo de secagem de 24 horas em repouso. Após esse tempo os CP serão retirados dos moldes e imersos em água com cal por 28 dias.

#### 4.2.7 Descarga Elétrica

Respeitada a cura dos CP, estes serão submetidos a três descargas elétricas simulando uma descarga atmosférica, sendo que 3 deles submetidos apenas ao ensaio de compressão e tração para determinação de resistência inicial sem a influência da descarga elétrica.

Antes da simulação de descargas atmosféricas, será medido a resistência elétrica de cada corpo de prova com ohmímetro. Logo será calculada a quantidade de corrente por tempo, que será descarregada em cada CP usando a Lei de Joule para tal.

A descarga atmosférica será simulada com um gerador de energia de corrente alternada. Durante a descarga será medido a temperatura do CP em graus célsius.

As correntes serão calculadas conforme Leis de joule, ajustando assim a quantidade de corrente do gerador por seguindo a da descarga elétrica, simulando assim 3 descargas diferente para um comparativo de resistências em relação a corrente estimulada.

#### 4.2.8 Ensaio de compressão e tração

Após completos todos os procedimentos acima mencionados, será feito o rompimento dos CP na prensa hidráulica para análise da mudança de resistência à compressão entre os CP com e sem descargas elétricas. Logo após será separado do concreto a haste de ferro, inicialmente concretada no centro do CP, para análise

no ensaio de tração que será feito na unidade do ITPAC de Araguaína – TO também com prensa hidráulica.

Para se determinar a resistência a compressão, deve-se realizar as medições das dimensões do CP livre de sujeiras ou impurezas e em condições ideais; seguindo os procedimentos da NBR NM 67 (1998).

Já para o ensaio de tração do aço, será aplicado uma força axial na haste removida do corpo e prova após ter sido rompido, promovendo o alongamento até a ruptura do aço feito em um maquina universal de ensaio encontrada na unidade do ITPAC de Araguaína.

## 5 CRONOGRAMA

ATIVIDADES	MESES											
	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dz	
Seleção do professor												
Definição do tema e assunto												
Pesquisa bibliográfica e documental												
Referencial												
Metodologia												
Resultados esperados												
Introdução												
Resumo												
Correção gramatical e metodológica												
Entrega e defesa do projeto (TCC I)												
Coleta dos materiais e realização dos ensaios												
Interpretação dos resultados												
Redação do Projeto												
Correção gramatical e metodológica												
Encadernação da monografia												
Defesa da monografia (TCC II)												
Correção proposta pela banca												

LEGENDA	
	Atividades concluídas
	Atividades não concluídas

Quadro 1- Cronograma de atividades  
-Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

## **6 RESULTADOS ESPERADOS**

É esperado para este trabalho que os resultados obtidos deste experimento sejam conforme as exigências estipuladas na NBR ABNT que regularizam o uso de SPDA adaptado ao sistema de armadura de um pilar, analisando assim a possível mudança de resistência dos materiais empregados e dando embasamento para pesquisas futuras mais aprofundadas

## 7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Especialistas alertam para alta incidência de raios durante primavera.** São Paulo, 2018. Disponível em:

<<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/especialistas-alertam-para-alta-incidencia-de-raios-durante-primavera>>. Acesso em 21 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419:2015. Proteção de Estruturas contra descargas atmosféricas.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998. 39

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, Marcel Ayres de. **Projeto de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma linha de transmissão de 69 kV**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-18112011-093114/publico/Araujo\\_Marcel\\_Ayres\\_de.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-18112011-093114/publico/Araujo_Marcel_Ayres_de.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2019.

BRASIL. **Brasil é líder mundial na incidência de raios por ano**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2016/10/brasil-e-lider-mundial-na-incidencia-de-raios-por-ano>>. Acesso em 21 abr. 2019.

BORTOLATO, Wuallyson Wuilton. **Estudo comparativo das alterações da norma NBR 5419, avaliação e estudo de gerenciamento de riscos**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: <[http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016\\_WuallysonWuiltonBortolato.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_WuallysonWuiltonBortolato.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2019.

BURATTO, Fábio Sawada. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011. Disponível em: <[http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2011\\_FabioSawada.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2011_FabioSawada.pdf)>. Acesso em 15 abr. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **Descargas elétricas: o Brasil é o país onde mais ocorrem raios no mundo**. 2018. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/descargas-eletricas-o-brasil-e-o-pais-onde-mais-ocorre-raios-no-mundo>>. Acesso em 18 abr. 2019.

COUTINHO, Fernando Nominato; ALTOÉ, Cássio Alexandre. **Levantamento de estruturas que necessitam de SPDA na UnB e análise de seus efetivos sistemas de proteção**. Universidade de Brasília, Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.gsep.ene.unb.br/osem/leandro/PESQUISA/Projeto%20Final%20-%20REV3.pdf>>. Acesso em 18 abr. 2019.

DANTAS, Rômulo Marucci. **Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas atmosféricas em edificações no Distrito Federal**. Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/14638/1/2015\\_RomuloMarucciDantas\\_tcc.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/14638/1/2015_RomuloMarucciDantas_tcc.pdf)>. Acesso em 18 abr. 2019.

FILHO, Alexandre Felipe Rosalba; MARTINELLI, Rodrigo da Costa. **Descargas atmosféricas em campo aberto e risco de choque elétrico em trabalhadores rurais**. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em:

<[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/17190/1/2016\\_AlexandreRosalba\\_RodrigoMartinelli\\_tcc.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/17190/1/2016_AlexandreRosalba_RodrigoMartinelli_tcc.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2019.

PINTO JR., O; PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

REVISTA ECOLÓGICO NAS ESCOLAS. **Que raio foi esse?** Revista nº 53, 2018. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20180418141929Ecologico%20nas%20Escolas%20-%20Raios.pdf>>. Acesso em 21 abr. 2019.

RIBEIRO, Alessandra Germiniani; CARDOSO, Maíra Campos. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: a avaliação de risco segundo a versão da norma ABNT NBR 5419 de maio de 2015**. Universidade Federal de Itajubá, 2016. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/20160081.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2019.

SUETA, Hélio Eiji. **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas – uma visão relativa aos danos físicos**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-15022006-172839/pt-br.php>>. Acesso em 18 abr. 2019.

VICENTE, Osni. **Estudo sobre o comportamento elétrico do concreto utilizado em sistemas de aterramento estrutural**. Universidade Estadual de Londrina, 2010. Disponível em: <[http://www.uel.br/pos/meel/disserta/2010\\_Osni%20Vicente.pdf](http://www.uel.br/pos/meel/disserta/2010_Osni%20Vicente.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2019.