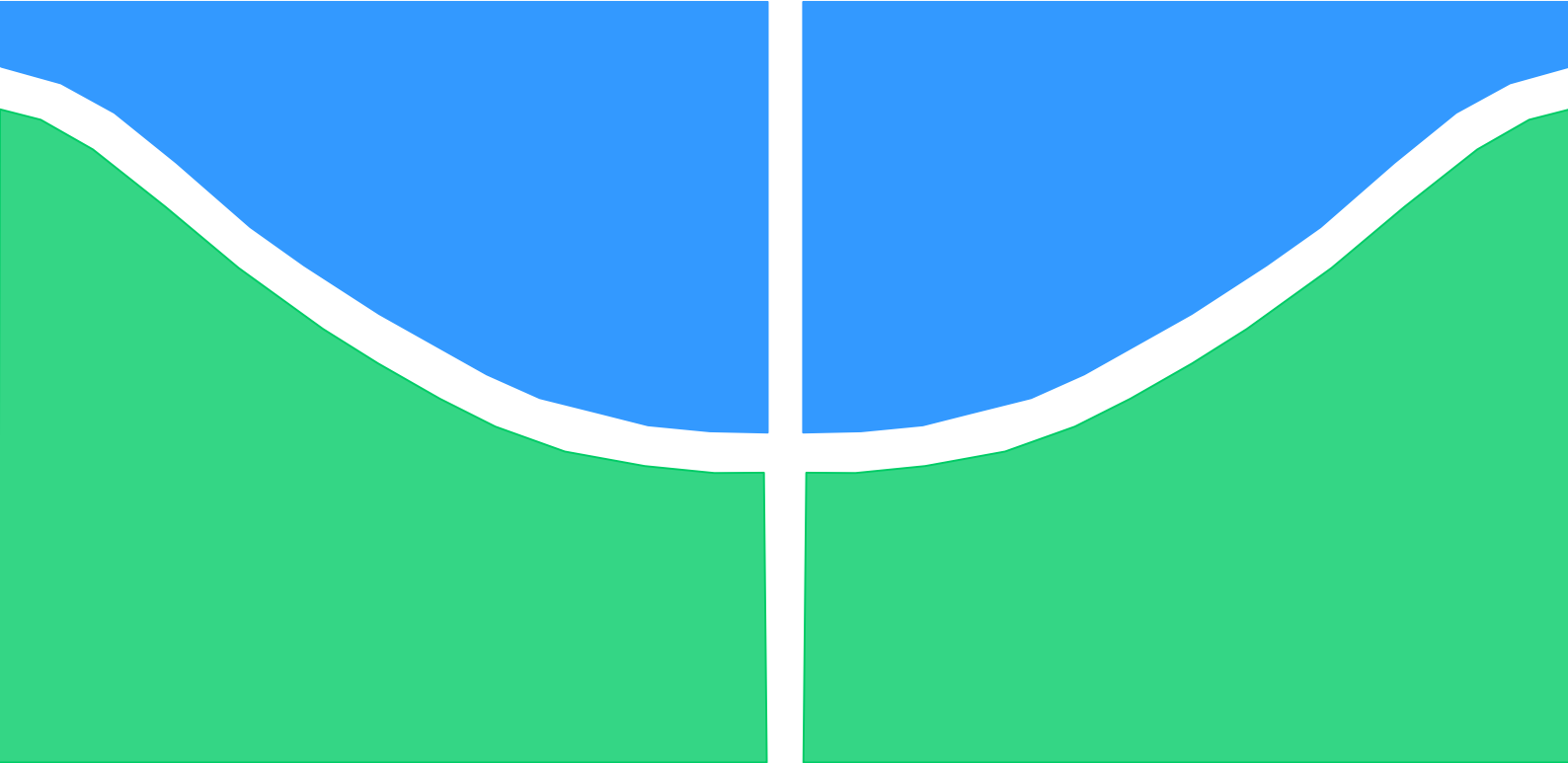




TRABALHO DE GRADUAÇÃO

LEVANTAMENTO PRÉVIO DE ACIDENTES E DANOS MATERIAIS CAUSADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM EDIFICAÇÕES NO DISTRITO FEDERAL

Rômulo Marucci Dantas

Brasília, Julho de 2015.

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

LEVANTAMENTO PRÉVIO DE ACIDENTES E DANOS MATERIAIS CAUSADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM EDIFICAÇÕES NO DISTRITO FEDERAL

Rômulo Marucci Dantas

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB/ ENE
(Orientador)

Prof. Dr. Francisco Damasceno Freitas, UnB/ENE

Prof. Dr. Franklin da Costa Silva, UnB/ ENE

FICHA CATALOGRÁFICA

DANTAS, RÔMULO MARUCCI

Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas atmosféricas em edificações no Distrito Federal.[Distrito Federal] 2015.

x,84 p. (ENE/FT/UnB, Graduação, Engenharia Elétrica, 2015)

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Descargas atmosféricas 2. Danos por raios

3. Para-raios 4. Ressarcimentos

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DANTAS, Rômulo Marucci (2015). **Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas atmosféricas em edificações no Distrito Federal.** Trabalho de Conclusão de Curso, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 84p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rômulo Marucci Dantas

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: **Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas atmosféricas em edificações no Distrito Federal.**

GRAU/ANO: Graduação em Engenharia Elétrica/2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rômulo Marucci Dantas
SQN 404, Bloco L, Apto 205 – Asa Norte
70845-120 – Brasília – DF – Brasil
romulomdantas@gmail.com

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu querido avô Carlos Henrique Marucci, exemplo de humildade, que com muito amor lutou pela criação e educação de sua família.

Rômulo Marucci Dantas

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por ter me amparado nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais Rômulo e Andréa, que me disciplinaram sempre que necessário, porém sem nunca deixar de demonstrar seu amor incondicional por mim. Minha maior realização pessoal será no dia em que eu significar para meus filhos metade do que vocês significam para mim.

Agradeço também às minhas queridas avós Cida, Gersina e Lena, que me ensinaram o significado do verbo “amar”.

Aos meus tios e tias, que me servem de exemplo de integridade, esforço e dedicação.

Aos amigos da 310/110 sul, que através da incessante prática do bullying construtivo e da zoeira sem limites, contribuíram para formação do meu caráter. Vocês são os irmãos que escolhi para mim.

Aos amigos da elétrica, que graças à prática exacerbada do lol, cooperaram para que minha graduação rompesse barreiras temporais. É nois.

E por último, porém não menos importante, à minha amada namorada Thalita, que pacientemente me aturou nos dias mais difíceis de minha graduação. Minha gratidão é eterna.

Rômulo Marucci Dantas

RESUMO

O fenômeno das *descargas atmosféricas*, como manifestação irrequieta de energias da natureza, ao mesmo tempo em que traz beleza ao espaço, provoca medo e destruição na Terra. Dentre os vários campos de pesquisa dos efeitos das descargas atmosféricas, este trabalho realizou um levantamento prévio de dados de danos patrimoniais e riscos à vida provocados por esse fenômeno no Distrito Federal. Para tanto, fez-se uma pesquisa teórica, entrevistas, questionários e algumas constatações baseadas em conhecimento técnico e normativo.

Embora o desenvolvimento tecnológico proporcione condições de proteção das edificações contra os raios, a pesquisa apontou necessidade de melhorar os sistemas de proteção das instalações ou aprimoramento dos já existentes.

ABSTRACT

The phenomenon lightning, as agitated manifestation of nature's energies, while bringing beauty to space, causing fear and destruction on Earth. Among the various fields of research of the effects of lightning, this study conducted a preliminary survey data property damage and risk to life caused by this phenomenon in Federal District. To do so, there was a theoretical research, interviews, questionnaires and some findings based on technical and legal knowledge. Although technological development provides protective conditions of the buildings from lightning, the survey indicated the need to improve the protection systems of the facility or improvement of existing ones.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO E METODOLOGIA	1
1.2 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	1
1.3 A DINÂMICA DOS RAIOS	5
1.4 PARÂMETROS DA DESCARGA ATMOSFÉRICA	8
 2 O PODER DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	 12
2.1 EFEITOS NOCIVOS ÀS EDIFICAÇÕES E SERES HUMANOS	12
2.2 DESTRUIÇÃO, INCÊNDIOS E REPERCUSSÃO MUNDIAL.....	19
2.3 EXEMPLOS DE ACIDENTES CAUSADOS POR RAIOS NO DF, NO BRASIL E NO MUNDO.....	20
 3 SPDA, DPS E EFETIVA PROTEÇÃO.....	 24
3.1 NORMAS E LEGISLAÇÃO VIGENTE	24
3.1.1 NORMA REGULAMENTADORA Nº10.....	24
3.1.2 ABNT NBR 5410:2004.....	24
3.1.3 ABNT NBR 5419:2005.....	25
3.2 FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	27
3.2.1 A GAIOLA DE FARADAY	28
3.2.2 CAPTOR FRANKLIN	30
3.2.3 OS SISTEMAS HÍBRIDOS	33
3.3 NECESSIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SPDA	33
3.4 DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS - DPS	40
3.4.1 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO.....	40
3.4.2 PARÂMETROS DO DPS	42
3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ABNT NBR 5419:2015	45
 4 DADOS E ANÁLISES	 50
4.1 Parâmetros para instalação dos sistemas de proteção	50
4.2 Dados das entrevistas.....	52
4.3 Análise dos dados	53
4.4 Ressarcimento pela concessionária	60
 5 CONCLUSÃO	 63
 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 65
 ANEXOS	 67

LISTA DE FIGURAS

1.1	Os centros urbanos e influência nas tempestades	1
1.2	Tipos de nuvens	3
1.3	Pressão e temperatura em função da altura das nuvens	4
1.4	Acumulo de cargas em nuvens	4
1.5	Caminho dos canais precursores da descarga atmosférica.....	5
1.6	Tipos de ocorrência de descargas atmosféricas.....	7
1.7	Local de ocorrência da descarga atmosférica	8
1.8	Gráfico corrente x tempo da primeira descarga positiva.....	10
1.9	Gráfico corrente x tempo da primeira descarga negativa.	10
1.10	Apresentação dos parâmetros de análise do gráfico corrente x tempo.	11
2.1	Descarga por contato	13
2.2	Descarga lateral	14
2.3	Distribuição de potenciais no solo	15
2.4	Representação da tensão de passo	16
2.5	Representação elétrica do solo	17
2.6	Correntes de surto provocadas por descargas diretas e indiretas	18
2.7	Diferenças de potencial em aterramentos individuais	19
2.8	Causas de incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra	20
2.9	Incêndio provocado por queda de raio em refinaria de petróleo	21
2.10	Local de impacto de uma descarga atmosférica em um avião	22
2.11	Carro que ficou em contato com cabo energizado	23
3.1	Tipos de descida de SPDA	27
3.2	Componentes de um aterramento convencional.....	28
3.3	componentes da gaiola de Faraday	29
3.4	componentes dos para-raios Franklin	31
3.5	Parâmetros da filosofia Franklin.....	32
3.6	procedimento de obtenção do volume protegido pelo método eletrogeométrico	33
3.7	Sistema híbrido	34
3.8	Mapa Isoceráunico do Brasil.....	35
3.9	Área de exposição equivalente de uma edificação	36
3.10	Sistema para analogia de um DPS comutador de tensão.....	40
3.11	Representação gráfica da analogia do DPS comutador de tensão	41
3.12	Sistema para analogia do DPS atenuador de tensão	41
3.13	Representação gráfica da analogia do DPS atenuador de tensão	42
3.14	Onda corrente x tempo 10/350µs	43
3.15	Onda corrente x tempo 8/20µs.....	43
3.16	Mapa isoceráunico de Goiás e Distrito Federal	45
3.17	Visão geral do novo sistema de consulta do parâmetro Ng	48
3.18	Densidade de descargas atmosféricas na Asa Norte	49
4.1	Parte da tabulação dos questionários	53
4.2	Porcentagem de pessoas com patrimônio danificado	54
4.3	Porcentagem de acidentes com pessoas	55
4.4	Porcentagem dos tipos de descarga	56
4.5	Porcentagem de cada tipo de descarga que provocou danos.....	58
4.6	Número de pedidos de ressarcimento abertos contra a CEB	61
4.7	Regime de chuvas no DF por mês	61

LISTA DE TABELAS

1.1	Classificação das nuvens e suas respectivas siglas e níveis de elevação	2
1.2	Tipificação das descargas atmosféricas.....	6
1.3	Parâmetros das descargas atmosféricas	9
2.1	Resistividade dos diferentes materiais que recobrem o solo	17
3.1	Largura dos reticulados para cada nível de proteção	30
3.2	Valores dos parâmetros definidos em norma	32
3.3	Fator de ponderação A (tipo de ocupação da estrutura).....	37
3.4	Fator de ponderação B (tipo de construção da estrutura).....	38
3.5	Fator de ponderação C (conteúdo da estrutura).....	38
3.6	Fator de ponderação D (localização da estrutura)	39
3.7	Fator de ponderação E (topografia da região).....	39
3.8	Classificação de influências externas	44
4.1	Classificação de risco de estruturas.....	51
4.2	Porcentagem da quantidade de ocorrências em cada região administrativa	57

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	$[m^2]$
Q	Carga elétrica	$[C]$
V	Tensão	$[V]$
i	Corrente elétrica	$[A]$
R_{ch}	Resistência do corpo humano	$[\Omega]$
R_p	Resistência própria de cada pé	$[\Omega]$
R_{mp}	Resistência mútua entre dois pés	$[\Omega]$
I_{chcd}	Máxima corrente de curta duração admissível pelo corpo humano	$[A]$
ρ_s	resistividade do recobrimento da superfície do solo	$[\Omega \times m]$
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos	
SPDA	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas	
GPR	<i>Grounding Potential Rise</i>	

1. INTRODUÇÃO

Uma descarga elétrica é o súbito fluxo de corrente entre dois pontos submetidos a uma diferença de potencial. Pode ser causada por contato, indução magnética ou até mesmo pela quebra da rigidez dielétrica do material isolante que os mantém separados.

O fenômeno da descarga atmosférica configura-se como uma especial descarga elétrica, com suas peculiaridades, a serem delineados nos tópicos seguintes.

1.1. Motivação e metodologia

O presente trabalho tem como escopo um levantamento de dados mais precisos e claros sobre os prejuízos ocasionados por descargas atmosféricas no Distrito Federal, e sua motivação vem da dificuldade de localizar essas informações em órgãos oficiais governamentais. Foram feitos cruzamentos dos diversos dados obtidos através de entrevistas ao cidadão comum - que de alguma forma teve danos e prejuízos provocados por esse fenômeno - com as informações coletados em visitas técnicas.

Para uma maior compreensão do objeto de estudo, inicialmente serão apresentados alguns conceitos teóricos a respeito da descarga atmosférica, e posteriormente as normas vigentes atualmente no Brasil, finalizando com a pesquisa propriamente dita e suas devidas constatações. Espera-se que depois de analisado o trabalho, o leitor seja capaz de perceber a importância da correta interpretação das normas e implementação dos sistemas de proteção, bem como ter uma medida confiável em termos de local e magnitude dos danos, tanto patrimoniais quanto à vidas.

Um dos agravantes na frequência das descargas atmosféricas é a urbanização dos grandes centros, como se pode observar na figura informativa 1.1:



Figura 1.1. Os centros urbanos e influência nas tempestades. [1]

1.2. Formação das descargas atmosféricas

De uma maneira geral, as nuvens são pequenas partículas de água e gelo em suspensão na atmosfera. Elas são formadas pelo resfriamento do ar até sua condensação, fato decorrente da subida deste para níveis de baixa pressão atmosférica, acarretando em um grande avolumamento. Esta súbita expansão requer certa energia, que resulta em um decréscimo na temperatura do ar, ocasionando o fenômeno que é conhecido por resfriamento adiabático. Há diversos estudos que fazem alusão à interferência de particulados oriundos da poluição dos grandes centros nesse processo. [1]

As nuvens são classificadas por aparência e altitude. A tabela abaixo expõe, para cada altitude, suas subdivisões, com os respectivos nomes e siglas. [2]

Tabela 1.1 – classificação das nuvens e suas respectivas siglas e níveis de elevação

NÍVEL	NOME	SIGLA	ALTURA MÉDIA BASE PARA O SOLO
Altas	Cirrus	CI	Acima de 6 km
	Cirrostratus	CS	
	Cirrocumulus	CC	
Médias	Altostratus	AS	Entre 2 e 4 km nos polos; 2 e 7 km em latitudes médias; 2 a 8 km no equador
	Alto cumulus	AC	
Baixas	Stratus	ST	Até 2 km
	Stratocumulus	SC	
Verticais	Cumulus	CU	
	Cumulonimbus	CB	

Tratando agora da aparência, a figura 1.2 ilustra claramente a aparência de cada uma delas, com seus respectivos nomes. Um fato conhecido é que as altitudes descritas podem variar significativamente com a latitude.

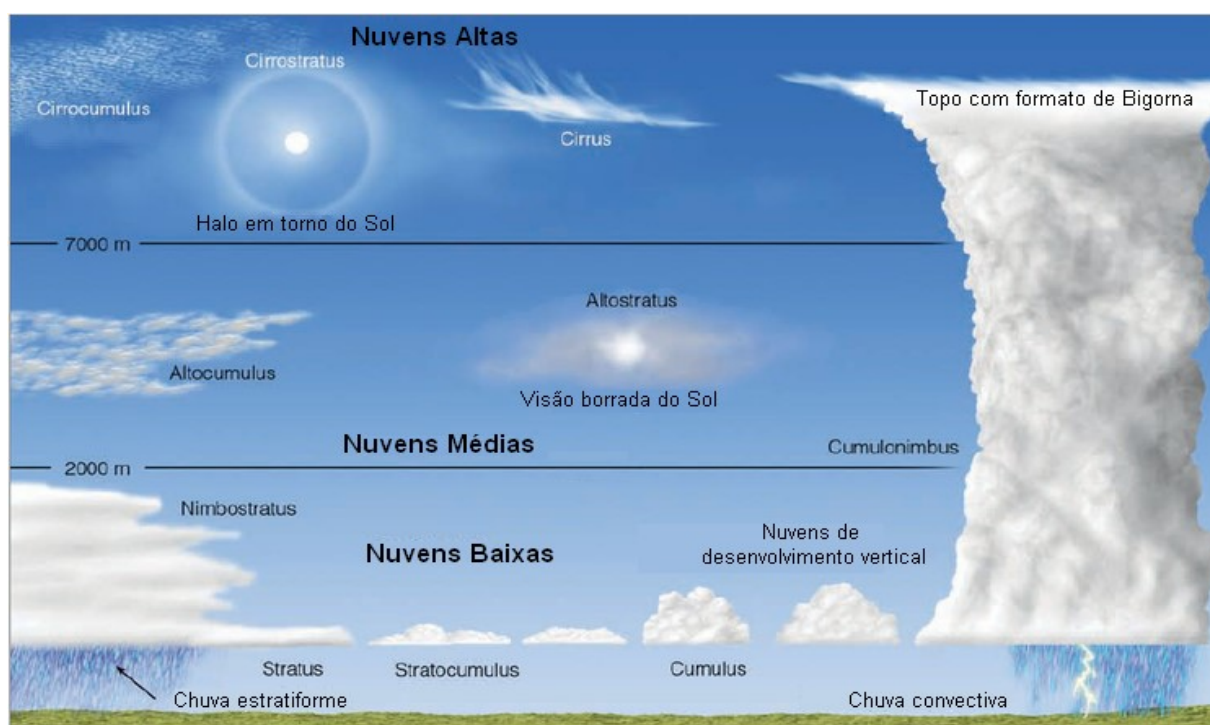


Figura 1.2 – Tipos de nuvens.[4]

As descargas atmosféricas ocorrem, em sua maioria, nas nuvens de tempestade, as Cumulonimbus (CB). Entretanto, elas também podem acontecer em tempestades de neve e de areia, e em bocas de vulcões.[5]

A formação de uma CB é decorrente do encontro de frentes frias com intensa queda de altitude, com as correntes de ar quente ascendentes e úmidas. Esse acontecimento pode gerar nuvens com envergaduras verticais de até 20 km, levando a significativas variações de temperatura e pressão (da ordem de 20~50°C e 1~ ¼ atm) quando são comparadas base e topo, como mostra a figura 1.3.

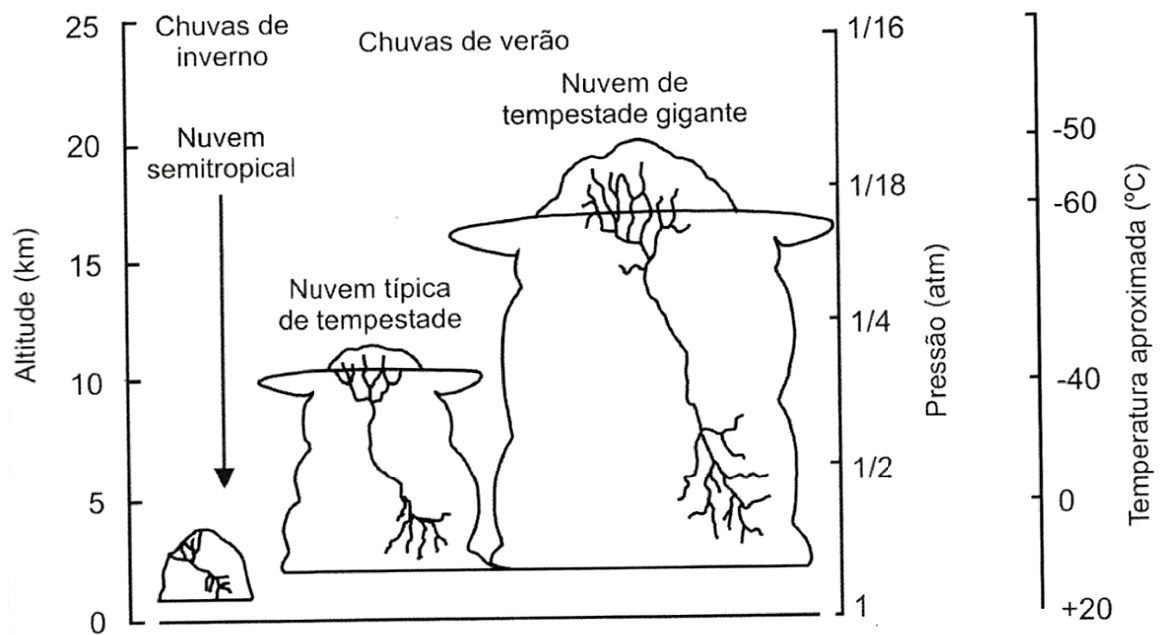


Figura 1.3 – Pressão e temperatura em função da altura das nuvens. [6]

Graças a essas diferenças, o interior da “CB” é tomado por fortes correntes de convecção que, em conjunto com a força gravitacional, resultam tanto na precipitação do granizo que se encontra no topo, quanto na subida das gotículas de água da base. Essa movimentação das partículas causa colisões em massa, e como consequência se tem a eletrização por atrito das mesmas.

A figura 1.4 ilustra a dinâmica de eletrização descrita acima, que tem como consequência o acúmulo de cargas positivas na parte superior e negativas na parte inferior da nuvem, provocando uma diferença de potencial na escala dos megavolts.

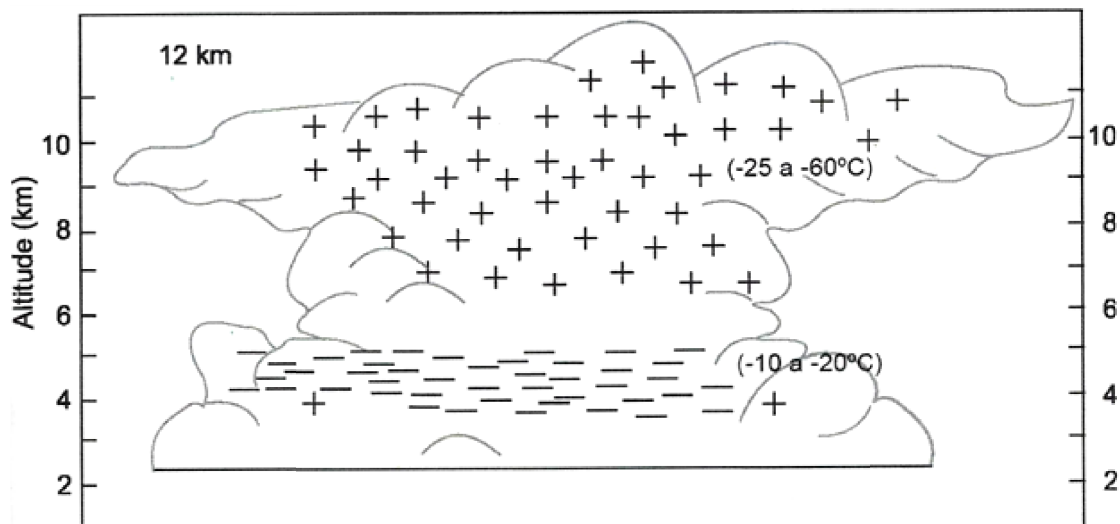


Figura 1.4 – Acumulo de cargas em nuvens. [6]

1.3. A dinâmica dos raios.

Tanto o processo de formação quanto o fenômeno do raio propriamente dito envolvem um grau de complexidade elevado. A seguir serão apresentados os elementos básicos sobre os diversos tipos de ocorrência de descargas atmosféricas, bem como a maneira que elas afetam o ambiente ao seu redor.

Imediatamente abaixo da base da nuvem (carregada negativamente), através da conhecida propriedade de atração de cargas de sinal oposto, surge na superfície do solo um aglomerado de cargas positivas, resultando em um forte campo elétrico. Finalmente, sabendo-se que a rigidez dielétrica do ar é de 3MV/m e que a d.d.p. induzida no interior nuvem, assim como entre nuvem e solo, pode chegar a centenas de megavolts, tem-se o ambiente ideal para a ocorrência das descargas atmosféricas. Após o rompimento do dielétrico do ar, há a abertura de um canal ionizado que possui em sua extremidade um acúmulo de cargas negativas, aumentando assim o campo elétrico nesse ponto e resultando em descargas elétricas subsequentes, que se movimentam em direção ao solo. À medida que se aproximam do solo – novamente pela atração de cargas- abre-se outro canal vindo da terra, concentrando cargas positivas, e quando enfim os dois canais se encontram pode-se observar a aparição de uma forte corrente, conhecida como corrente de retorno e que tem sua presença percebida de duas maneiras: luminosa (raio) e sonora (trovão). Salienta-se que após conexão dos canais, o fluxo de elétrons se dá em direção ao solo e é por esse motivo que também se fala em deslocamento de cargas positivas para cima. O processo descrito é mais facilmente visualizado na figura 1.5:

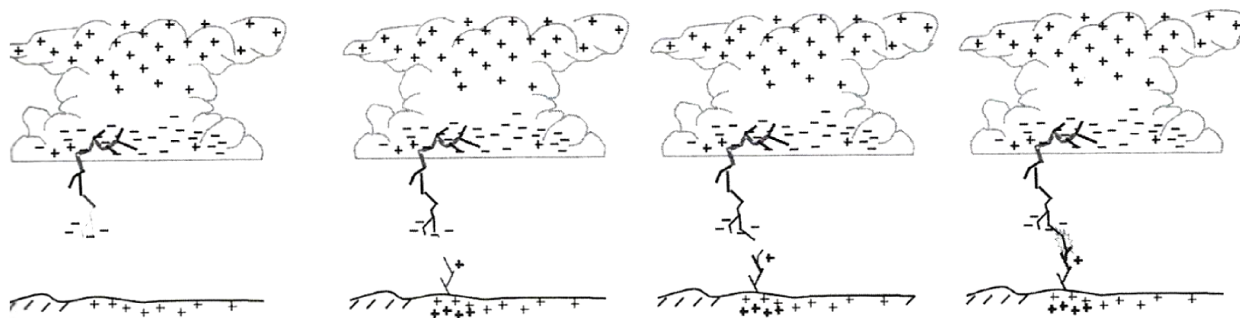


Figura 1.5 – Caminho dos canais precursores da descarga atmosférica. [6]

Ao contrário do que o senso comum determina, é correto frisar que o raio não “cai” em determinado local, pois como foi apresentada, a corrente de retorno é viabilizada apenas quando há o encontro dos canais, e esses podem se chocar em qualquer ponto, não necessariamente próximo ao solo. Outro fato é que após esse encontro sucedem diversas descargas pelo caminho que foi estabelecido pela corrente de retorno. Destaca-se ainda os diversos tipos de descargas atmosféricas, como segue resumido na tabela 1.2.

Tabela 1.2 – 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.

A classificação depende dos seguintes fatores:

- *Polaridade*: local da nuvem no qual se dá a conexão com o solo (base negativa ou topo positivo);
- *Direção da descarga*: proximidade em que os canais ionizados se chocam em relação ao solo e a nuvem. É facilmente percebida a olho nu quando se observa o sentido de propagação das ramificações do raio.

Esses conceitos ficam claros com a inspeção da figura 1.6:

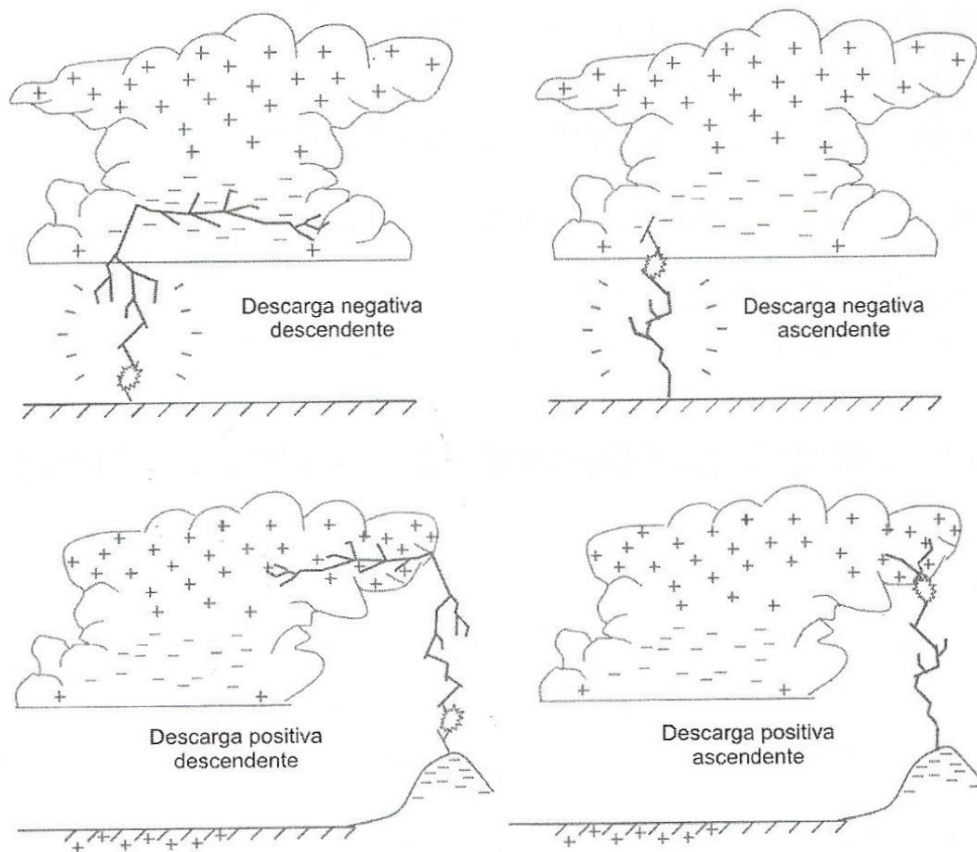


Figura 1.6 – Tipos de ocorrência de descargas atmosféricas. [6]

É apresentado agora outro tipo classificação de ocorrência de descargas atmosféricas:

- *Entre nuvens:* a base negativa de uma das nuvens se conecta ao topo positivo de outra próxima;
- *Intranuvem:* é a mais comum entre os tipos de descargas devido à proximidade dos “bolsões” de cargas localizados dentro da própria nuvem;
- *Nuvem-solo:* apesar da maioria dos autores citarem que constituem apenas 20~25% de todos os raios que se formam, é o de maior importância no estudo de proteção dos sistemas elétricos.

Esses conceitos são ilustrados na figura 1.7.

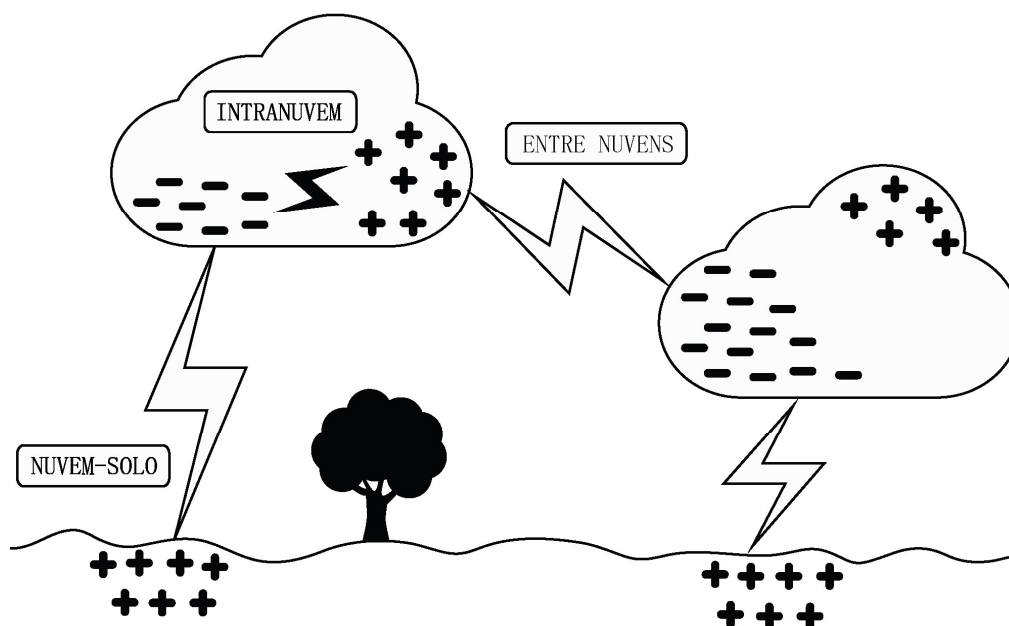


Figura 1.7. Local de ocorrência da descarga atmosférica.

Para o presente trabalho o foco será nas descargas nuvem-solo, pois como citado anteriormente, esse é o tipo de ocorrência que resulta tanto em desastres com vítimas quanto em destruição patrimonial.

1.4. Parâmetros da descarga atmosférica

Para o desenvolvimento de tecnologias de proteção contra descargas atmosféricas, alguns parâmetros desse fenômeno tiveram que ser estudados a fundo. É certo que a corrente é o grande objeto de estudo da maioria das pesquisas relacionadas ao tema, pois é a ela que se atribuem os danos térmicos e mecânicos dos locais atingidos. As ameaças que os raios oferecem partem dos seguintes parâmetros [7]:

- Pico de corrente (i_{max}) – é importante para o correto dimensionamento dos sistemas de proteção, visto que é ela dita o valor máximo das linhas de elevação de potencial no solo (*GPR*), citados anteriormente.
- Carga (Q) – é responsável pelos efeitos de fusão nos pontos de ligação dos canais de descarga. A energia na base do canal é fornecida pela queda de tensão no ânodo/cátodo multiplicada pela carga. É determinada pela integral da corrente no tempo:

$$Q = \int i dt \quad (1.1)$$

- Energia específica (W/R) – é responsável pelos efeitos mecânicos e térmicos, quando uma corrente passa por um condutor. É dada pela integral da corrente ao quadrado no tempo:

$$W/R = \int i^2 dt \quad (1.2)$$

- Máxima derivada de corrente – determina as tensões magneticamente induzidas em malhas internas a uma determinada estrutura. É simbolizada por:

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} \quad (1.3)$$

Após diversas medições essas grandezas puderam ser registradas e estão registradas na tabela abaixo [8]:

Tabela 1.3 – Parâmetros das descargas atmosféricas. [8]

Corrente	2.000 a 200.000 Ampères
Tensão	100 a 1.000 kV
Duração	70 a 200 μs
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência liberada	1 a 8 bilhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de crista	1,2 μs
Tempo de meia calda	50 μs
di(t)/dt	5,5 kA/μs

Ainda de acordo com essas medições [8]:

- 70% das descargas atmosféricas excedem 10 kA;
- 50% das descargas atmosféricas excedem 20 kA;
- 20% das descargas atmosféricas excedem 40 kA;
- 5% das descargas atmosféricas excedem 80 kA.

Mencionados os parâmetros acima, percebe-se a importância de analisar o gráfico da corrente da descarga [kA] pelo tempo [μ s]. O gráfico da figura 1.8 mostra a medida de uma descarga atmosférica positiva.

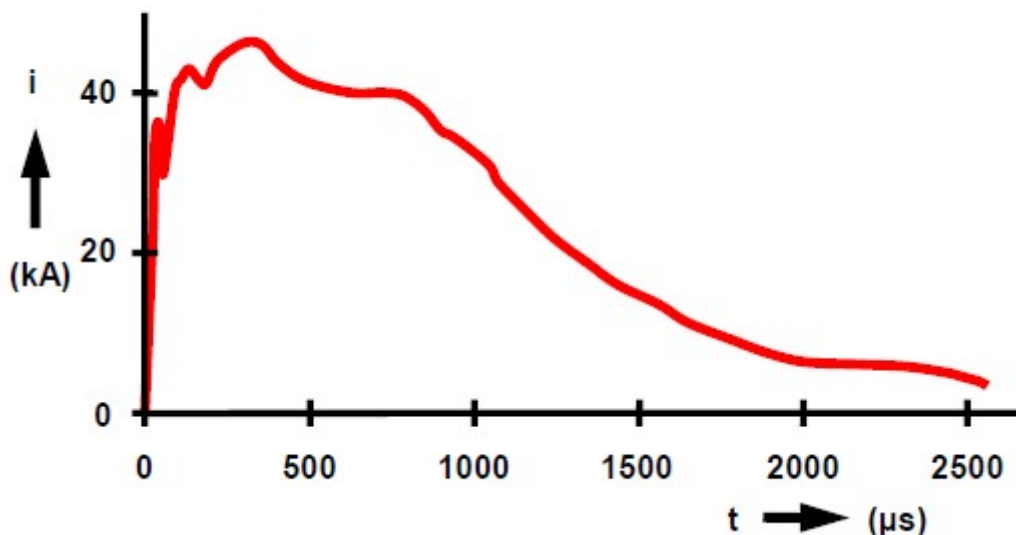


Figura 1.8 – gráfico *corrente x tempo* da primeira descarga positiva. [7]

Em geral as descargas positivas possuem um tempo maior duração do que as descargas negativas [7]. Isso pode ser percebido através da comparação entre as figura 1.8 e .9, que também explicita uma inversão no sentido do pico de corrente.

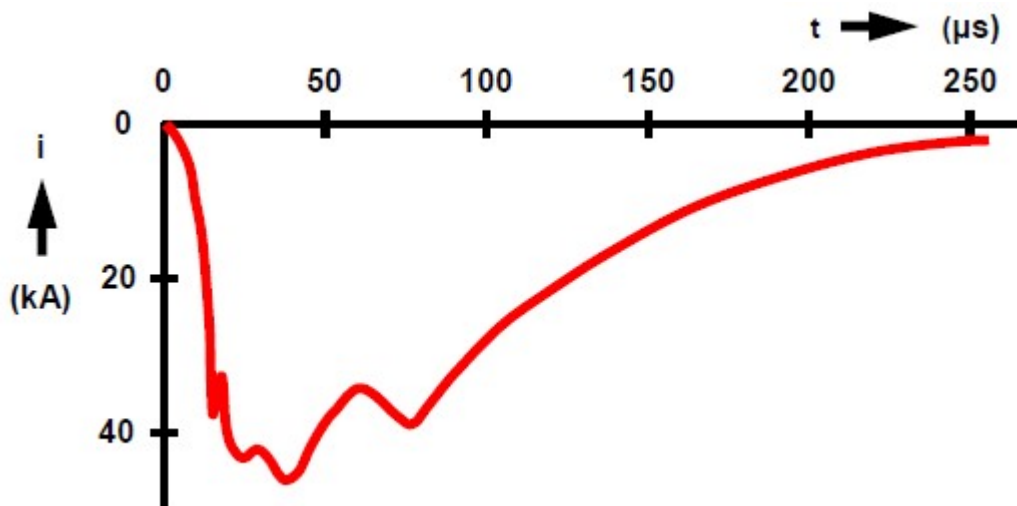


Figura 1.9 – gráfico *corrente x tempo* da primeira descarga negativa. [7]

Quando se compara a descarga positiva com a negativa, percebe-se que o tempo de decaimento da positiva, em geral, é muito maior que o da negativa. Isso significa que mais carga é transferida e a energia envolvida é maior. [7]

Para a aplicação em sistemas de proteção, serão apresentados agora, os parâmetros usuais quando se faz alusão às referidas curvas de *tempo x corrente* da descarga atmosférica.

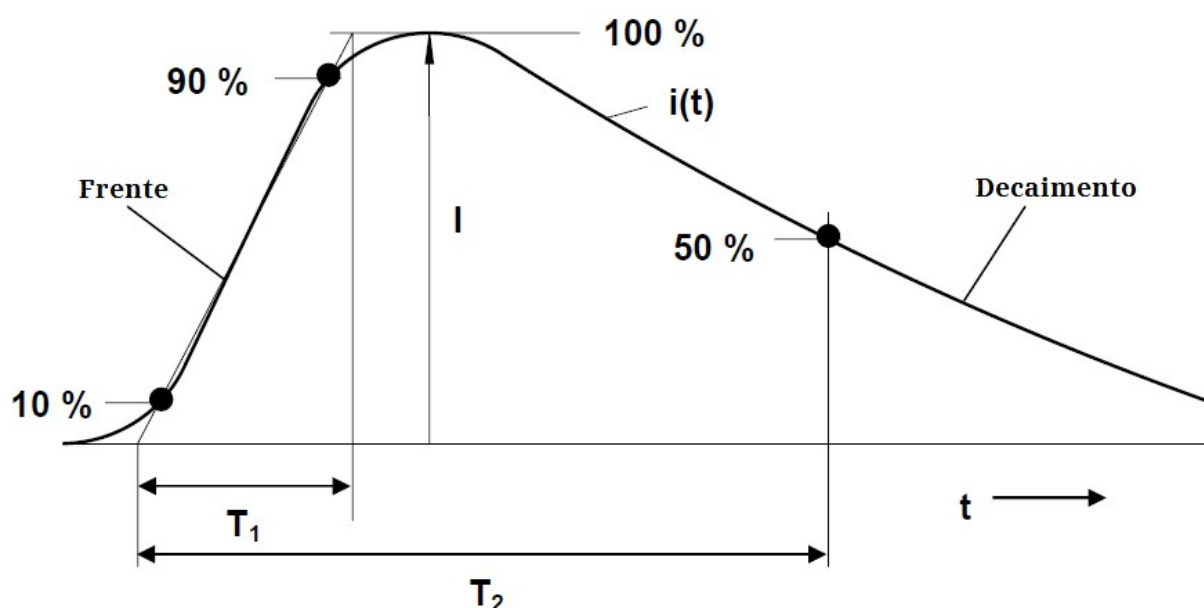


Figura 1.10. Apresentação dos parâmetros de análise do gráfico *corrente x tempo*. [7]

É comum, quando se trata da capacidade de um determinado tipo de proteção contra descargas, se referir à energia associada ao raio através do tipo de curva de corrente. A representação é do tipo:

$$(T_1/T_2) \quad (1.4)$$

onde T_1 é o tempo [μ s] em que a corrente leva para atingir 90% de seu máximo partindo de 10% desse mesmo valor, e T_2 é o tempo que, depois de atingido o seu máximo, a corrente retorna aos 50% de i_{max} . São conhecidos como tempo de frente de onda e tempo de decaimento respectivamente. Os tipos de curva mais empregados são:

- (10/350)
- (8/20)
- (1,2/50)

Mais adiante, no capítulo referente ao DPS (dispositivo de proteção contra surtos), essas curvas serão mais aprofundadas.

2. O PODER DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.1. Efeitos nocivos às edificações e seres humanos

Por ser um país tropical e de dimensões continentais, o Brasil é a nação que registra a maior incidência de raios no mundo, principalmente no período do verão. São mais de 50 milhões de ocorrências por ano e, entre os anos de 2000 e 2013, foram registradas 1.672 mortes ocasionadas por esse fenômeno.[1]

Alguns fatores influenciam na gravidade dos danos causados pelos raios “nuvem-solo”. A distância do acontecimento para o objeto de estudo é um dos itens de maior relevância e, nesse caso, existem dois cenários possíveis:

- Indireta: ao atingir o solo, árvores, estruturas aterradas ou até mesmo as linhas de transmissão e distribuição, a intensa corrente que flui pelo canal de descarga origina ondas eletromagnéticas que acabam por induzir correntes de surto nos condutores metálicos das instalações elétricas.
- Direta: a edificação é acertada diretamente pela descarga, fazendo parte do “caminho” percorrido pela corrente elétrica. Essa estrutura fica com todos seus elementos metálicos, inclusive o eletrodo de aterramento, com potenciais distintos, e essas diferenças implicam em correntes de surto.

Esses efeitos não são percebidos apenas pelos equipamentos elétricos, seres vivos também são afetados, tanto pelas descargas diretas quanto indiretas. É certo que as do tipo diretas são as mais danosas e que provocam a maior quantidade de mortes, justamente pela natureza de sua definição.

Quando uma pessoa é atingida diretamente por um raio, a corrente é dividida em dois caminhos distintos: interno (corrente volumétrica) e externo (corrente superficial) ao corpo. A que flui internamente, usualmente leva a paradas cardiorrespiratórias e consequente óbito sendo, portanto, a parcela mais perigosa. Já a superficial normalmente é responsável por queimaduras, e mesmo que muitas vezes essas sejam graves, certamente é menos nociva que a fração volumétrica. Na verdade, a maior chance de sobrevivência da vítima no caso de uma descarga direta, são as condições em que as vestes e a pele dela se encontram. Caso estejam molhadas, por exemplo, a quantidade de corrente que percorre externamente a pessoa aumentará muito em relação à interna, devido à diminuição de impedância.

Existem ainda dois casos recorrentes de descargas que se assemelham às diretas em termos de lesões:

- *Descarga por contato*: ocorre quando a vítima está em contato direto com a estrutura que é atingida, como por exemplo, mastros, troncos de árvores ou cercas metálicas. Nesse caso, a intensidade da corrente que percorre a vítima depende da relação de impedâncias entre a estrutura e o corpo da pessoa.

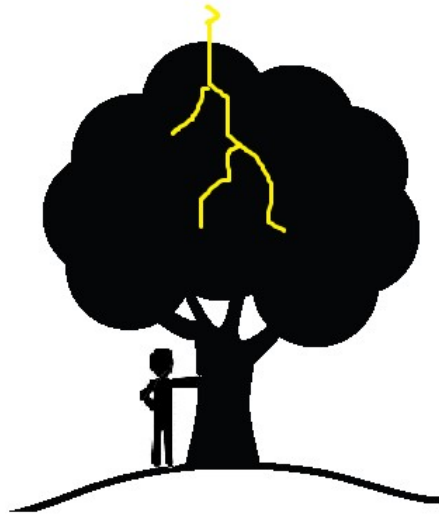


Figura 2.1 - descarga por contato.

- *Descarga lateral*: ao atingir um objeto qualquer, a descarga não necessariamente percorrerá somente esse corpo. A corrente pode “saltar” para outros corpos de menor impedância próximos ao impactado.



Figura 2.2 - descarga lateral.

Apesar do número expressivo de óbitos, sabe-se também que a quantidade de vítimas não fatais é ainda maior. Um dos responsáveis é um fenômeno conhecido como “*tensão de passo*”, que nada mais é que a diferença de potencial entre dois pontos da superfície do solo separados pela distância do passo de uma pessoa, considerada igual a 1 metro. Ele ocorre devido à elevação de potencial do solo, denominado GPR (*grounding potential rise*), que surge através da injeção de corrente elétrica neste, seja por descargas atmosféricas ou por faltas à terra. Considerando os surtos, para encontrar o valor máximo do GPR, basta multiplicar a impedância de aterramento pela corrente de pico do surto, ou seja:

$$GPR_{max} = Z_p \cdot I_p \quad (2.1)$$

No caso dos raios - que são de alta intensidade e curta duração - a diferença de potencial resultante no solo induz no corpo do ser humano correntes suficientes para provocar perda dos sentidos, desmaio e raramente ao óbito. O mesmo não ocorre com animais ruminantes de grande porte, que devido a distância entre as patas traseiras e dianteiras, é comum relatos de mortes em alta escala nos pastos, principalmente quando esses estão próximos a árvores durante uma tempestade. A figura 2.3 mostra a distribuição de potenciais no solo próximos a uma descarga (diretamente no solo ou em estrutura aterrada).

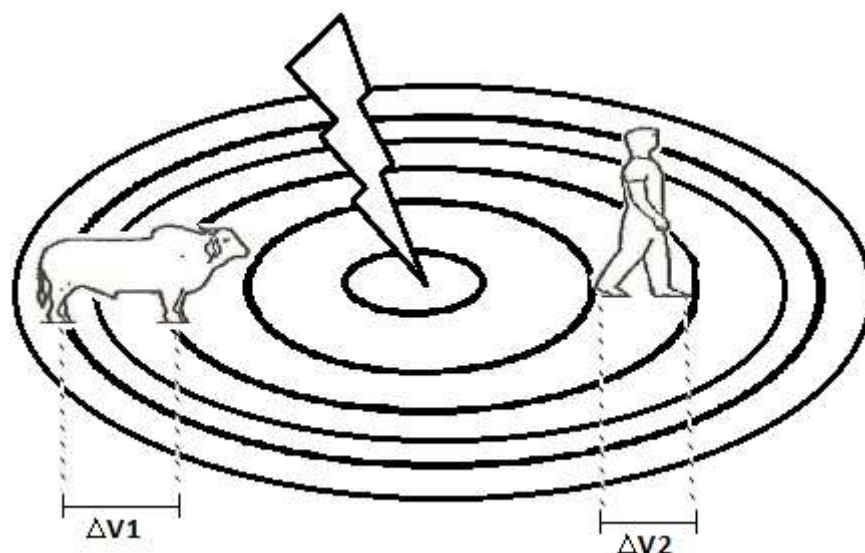


Figura 2.3 - distribuição de potenciais no solo.

Sabendo-se que o tamanho do passo de um ser humano é muito menor do que a dos animais de pasto, conclui-se que, para uma mesma distância da ocorrência do raio:

$$\Delta V_1 > \Delta V_2 \quad (2.2)$$

Pode-se representar agora, uma pessoa por meio de um circuito elétrico equivalente. O modelo utilizado é apresentado na ABNT NBR 15751:2009 - *Sistemas de aterramento de subestações - Requisitos* e a partir deste é apresentada uma equação para se definir a máxima tensão de passo permissível.

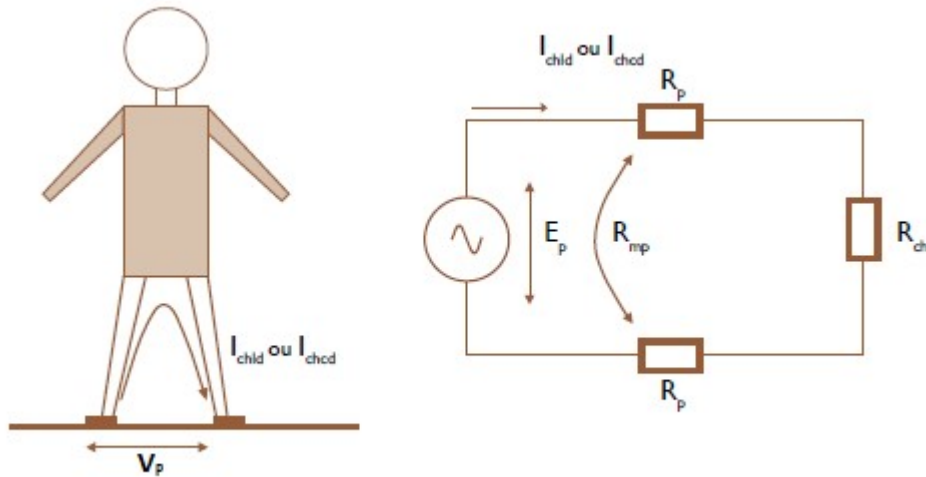


Figura 2.4 - Representação da tensão de passo.[9]

Equacionando:

$$\Delta V_p = [R_{ch} + 2 \cdot (R_p - R_{mp})] \cdot I_{chcd} \quad (2.3)$$

Onde:

- R_{ch} - Resistência do corpo humano, adotada como sendo 1 k, expressa em ohms (Ω);
- R_p - Resistência própria de cada pé com relação ao terra remoto, expressa em ohms (Ω);
- R_{mp} - Resistência mútua entre dois pés, expressa em ohms (Ω);
- I_{chcd} - Máxima corrente de curta duração admissível pelo corpo humano. É calculada $I_{chcd} = \frac{0,116}{\sqrt{t}}$, onde “t” corresponde a duração do choque.

Os valores de R_{mp} e R_p são definidos como:

$$R_p = \left(\frac{\rho_s}{4b} \right) \cdot C \quad (2.4)$$

$$R_{mp} = \left(\frac{\rho_s}{2 \cdot \pi \cdot R_p} \right) \cdot C \quad (2.5)$$

- b - constante igual a 0,083 m (raio de um disco metálico estabelecido como modelo para representar o pé do ser humano);
- ρ_s - resistividade do recobrimento da superfície do solo ($\Omega \times m$), dado conforme a tabela abaixo.

Tabela 2.1 - Resistividade dos diferentes materiais que recobrem o solo [9].

RESISTIVIDADE ($\Omega \times m$)		
Material	Seco	Molhado
Brita n. 1, 2 ou 3	-	3000
Concreto	1.200 a 280.000	21 a 100
Asfalto	$2 \cdot 10^6$ a $30 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^3$ a $6 \cdot 10^6$

Caso não haja recobrimento, utilizar resistividade da camada superficial do solo.

- **C** - Fator de redução que depende da espessura da camada de recobrimento, dado em sua forma simplificada por:

$$C \cong 1 - a \cdot \left[\frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_s}}{(2 \cdot h_s) + a} \right] \quad (2.5)$$

sendo $a = 0,106$ m; ρ_s determinado pela tabela 2.1; ρ_1 a resistividade da 1ª camada e h_s a espessura da camada de revestimento superficial, como ilustra a figura 2.5:

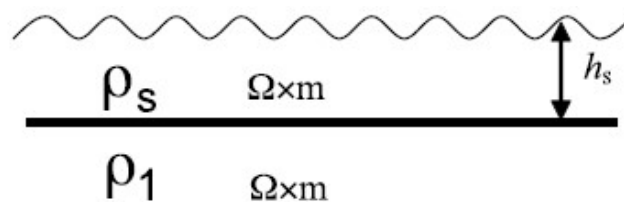


Figura 2.5 - Representação elétrica do solo.[9]

Considerando agora R_{mp} desprezível comparado a R_p , tem-se:

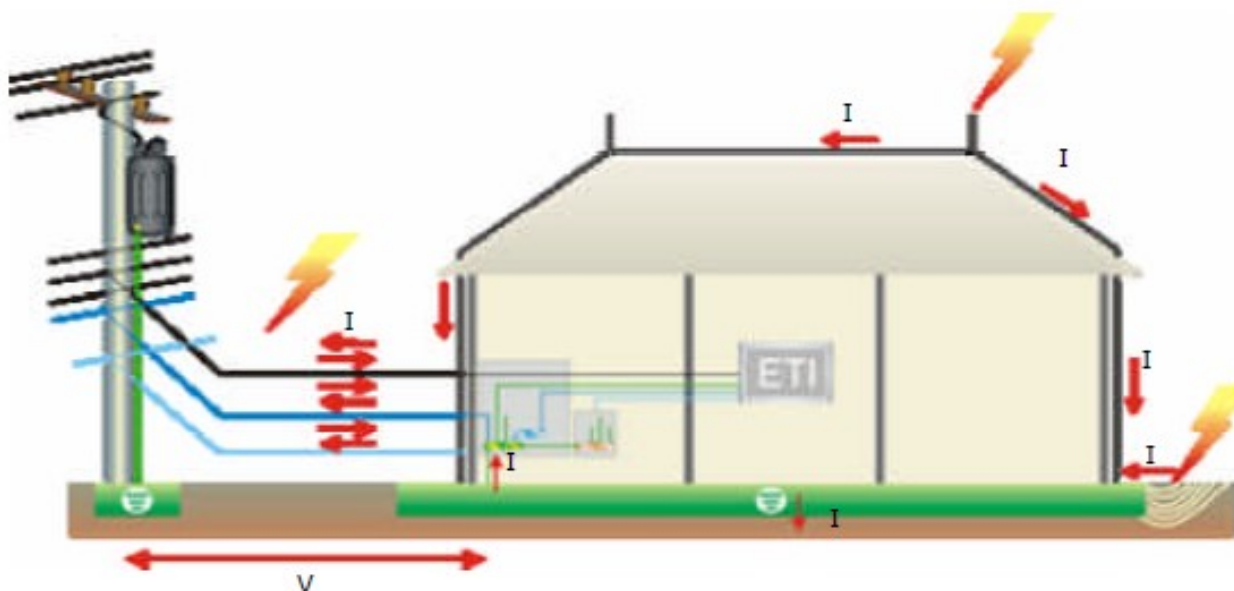
$$\Delta V_p = [R_{ch} + (6 \cdot \rho_s \cdot C)] \cdot I_{chcd} \quad (2.6)$$

As equações e modelos apresentados permitem um cálculo fiel da tensão de passo induzida em diversas situações, tanto que são imprescindíveis para a correta confecção dos eletrodos e da malha de aterramento de uma estrutura qualquer.

- Áreas planas e descampadas: pastos, praias, margem de lagoas e rios;
- Proximidade de árvores isoladas ou objetos metálicos como cercas e eletrodutos;
- Meios de transporte “montados”: cavalos, motos e bicicletas;
- Prática de esportes em campos: futebol, golfe;
- Barcos e canoas, em alto-mar ou em rios.

- Analisando todas as situações citadas até o momento, nota-se que em geral a pessoa não deve se colocar em posição de “destaque” eletricamente falando e isso é justificado pelo “poder das pontas” que será melhor explicada na seção de proteção contra surtos atmosféricos.

São bastante comuns também, os acidentes do tipo interno, no qual a vítima abrigada em residências sofre os efeitos de descargas externas a essa. Nesse caso, a corrente de surto pode vir tanto da distribuição (direta ou induzida) e atingir a instalação elétrica da casa via rede de dados ou pela própria energia, quanto de uma descarga direta na edificação, que transfere a corrente para o solo através das partes metálicas aterradas. A figura 2.6 ilustra essas ocorrências.



Assim como para seres vivos, os aumentos de potencial no solo afetam as instalações elétricas da mesma maneira da “tensão de passo”, só que em vez do passo de uma pessoa a distância considerada agora é a entre os aterramentos individuais da estrutura, como mostra a figura 2.7.

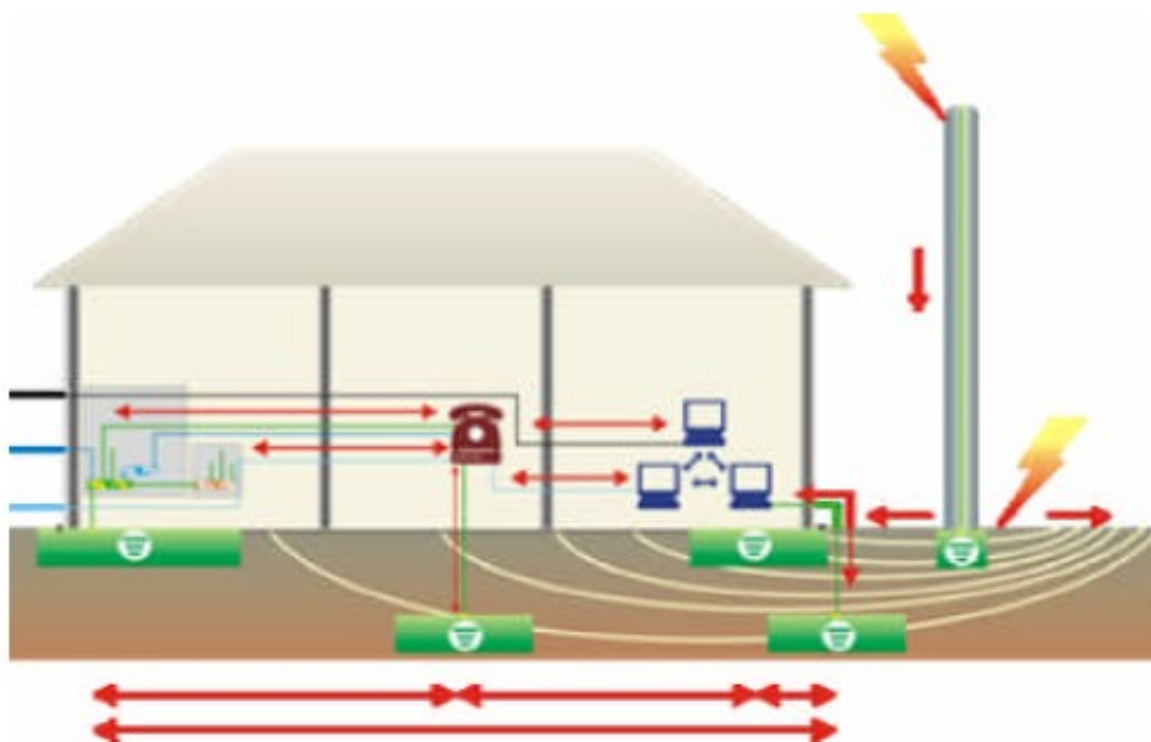


Figura 2.7 – diferenças de potencial em aterramentos individuais. [10]

Nas situações descritas acima, a melhor recomendação para a segurança das pessoas é que em momentos de tempestade seja evitado o banho, o uso de telefones com fio (celulares e telefones sem fio não apresentam esse risco) e aparelhos eletrodomésticos. É importante, inclusive, manter certa distância desses dispositivos bem como não utilizar celulares conectados ao carregador.

2.2. Destruição, incêndios e repercussão mundial

As descargas atmosféricas possuem papel fundamental no “clico do nitrogênio” convertendo o nitrogênio atmosférico em nitritos e nitratos, essenciais para a existência das plantas, sendo assim um dos grandes protagonistas da manutenção da vida Terra desde sua formação. [11]

Apesar de seus benefícios para o ecossistema, os raios também podem ser extremamente destrutivos, tanto para as cidades quanto para as florestas e zona rural. Em um estudo feito por pesquisadores no Parque nacional da Serra da Canastra, foi constatado que quase metade dos 87 incêndios registrados nos anos de 1987 a 2001, foi responsabilidade desse fenômeno. [12]

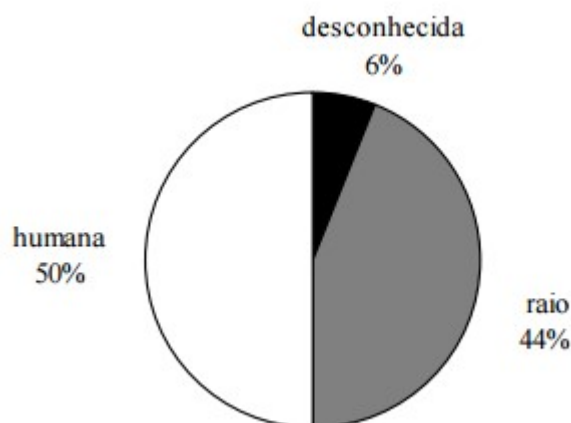


Figura 2.8 - Causas de incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra. [12]

Em outras regiões de cerrado como, por exemplo, o Parque das Emas (GO), as áreas queimadas apresentaram uma média anual de 20.000 ha, entre 1996 e 1999, sendo que grande parte destes incêndios foram causados por raios. Foram identificadas 45 queimas neste período, sendo 4 na estação seca, 10 na transição seca-chuva e 31 durante a estação chuvosa. Deste total, 5 queimas foram pelo homem e 40 causadas por raios. [12]

Quanto à ocorrência em cidades, os prejuízos são ainda maiores. No Brasil, cerca de 70% dos desligamentos na transmissão e 40% na distribuição, são provocados por raios. Chega a 40% a porcentagem de transformadores queimados por raios. Tais números causam um impacto considerável na qualidade de energia, e uma alta correlação entre a incidência das descargas e os problemas das empresas do setor elétrico e estima-se que o prejuízo causado em todas as áreas da economia do país seja da ordem de R\$ 1 bilhão. [1]

2.3. Exemplos de acidentes causados por raios no Distrito Federal, no Brasil e no mundo

Apesar de existirem estatísticas oficiais no que se refere a morte por raios, não existe uma medida clara quanto aos feridos de forma indireta. Ademais, são incontáveis os prejuízos econômicos devido a esse fenômeno. Nesta seção, serão destacados alguns acidentes de relevância local e global relatados pela mídia.

Com o intuito de frisar a importância do correto dimensionamento dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, pode-se mencionar o acidente ocorrido na Venezuela, em uma refinaria de

petróleo, no ano de 2013. A refinaria de Guaranguao, em Puerto La Cruz, 320 quilômetros a leste de Caracas, foi atingida por um raio que provocou um incêndio que não causou vítimas. Na figura 2.9, observa-se uma coluna de fumaça com mais de 50 metros de altura. [13]



Figura 2.9 – incêndio provocado por queda de raio em refinaria de petróleo[13].

O perigo de ser atingido por uma descarga atmosférica existe também em aviões. O acidente ocorreu em voo da companhia aérea TAM que partia do Rio de Janeiro- RJ com destino a Natal- RN.[14].Na ocasião, o raio atingiu o “bico” da aeronave, onde se encontra justamente o radar meteorológico. Apesar dos danos ao local de impacto da descarga, vistos na figura 2.10, não houve nenhum ferido pois o avião se assemelha a uma “Gaiola de Faraday”, um dos tipos de proteção contra descargas que será explicada no capítulo 3 deste trabalho.



Figura 2.10 – Local de impacto de uma descarga atmosférica em um avião. [14]

O Distrito Federal se encontra numa região que, quando comparada ao restante do Brasil, possui um índice de incidência de descargas atmosféricas intermediário. Apesar desse dado, existem algumas ocorrências de grande relevância que foram noticiadas em Brasília.

Em março de 2015 um raio caiu no Batalhão da Guarda Presidencial no Setor Militar Urbano, deixando 31 pessoas feridas e ninguém faleceu. Segundo fontes, os militares estavam em instrução quando o raio caiu nas proximidades. [15]

Outra notícia que chama a atenção foi a de um raio que caiu no condomínio Solar de Brasília no Lago Sul. A incidência foi sobre um poste de energia e o impacto partiu um dos cabos de transmissão que caiu sobre um veículo que estava estacionado no local. O dono do carro tentou retirar o cabo e acabou eletrocutado e seu filho ao socorrê-lo, também foi atingido. Os dois morreram no local. [15]



Figura 2.11 – Carro que ficou em contato com cabo energizado. [15]

Em ambos os casos citados no Distrito Federal, percebe-se que a desinformação muitas vezes pode ser fator determinante em situações que envolvem vidas.

3. SPDA, DPS E EFETIVA PROTEÇÃO

3.1. Normas e legislação vigente

Das normas que melhor contemplam o escopo do trabalho (proteção contra surtos), hoje no Brasil as principais são a “*Norma Regulamentadora N°10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade*” (NR-10), a “*ABNT NBR 5410 – 2004: Instalações elétricas de baixa tensão*” e a “*ABNT NBR 5419 – 2005: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*”.

3.1.1. Norma Regulamentadora N°10

Esta norma estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

A NR-10 esclarece em (10.1.2): “Nas instalações e serviços em eletricidade, devem ser observadas no projeto, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação, as normas técnicas estabelecidas pelos órgãos oficiais competentes e, na falta destas, as normas internacionais vigentes”. Tomando esse trecho como base de regulamentação, serão apresentadas as normas da ABNT em vigência no país atualmente.

3.1.2. ABNT NBR 5410:2004

A norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, como é conhecida nos dias atuais, nasceu da preocupação em estabelecer condições que contemplassem as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação de bens. Sua história começa com a publicação pela ABNT de sua primeira edição, datada de 1941, cujos textos foram baseados no Código de Instalações Elétricas da antiga Inspetoria Geral de Iluminação (1914), além de um anteprojeto elaborado por uma comissão de especialistas. [9]

Os textos citados foram transformados em um projeto, cuja aprovação formal e publicação ocorreram em outubro de 1941, sob o nome de “Norma Brasileira para Execução de Instalações Elétricas”. Após esta primeira edição, o documento normativo sofreu revisões em 1960, 1980, 1990, 1997 e a última em 2004.

A Norma Brasileira ABNT NBR 5410 estabelece as condições mínimas necessárias para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão garantindo assim a segurança de

peças e animais e a preservação dos bens. Tradicionalmente, esta norma será aplicada para instalação elétrica de edificações, residencial, comercial, público, industrial, de serviços etc. Para os profissionais da área de eletricidade a norma 5410 é o guia prático do que deve ser feito para se ter uma instalação elétrica segura, e é aplicada nos seguintes casos:

- Em áreas descobertas das propriedades, externas às edificações;
- Reboques de acampamento (trailers), locais de acampamento (campings), marinas e instalações análogas;
- Canteiros de obra, feiras, exposições e outras instalações temporárias.
- Aos circuitos elétricos alimentados sob a tensão nominal igual ou inferior a 1000V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400Hz, ou a 1500V em corrente contínua;
- Aos circuitos elétricos, que não os internos aos equipamentos, funcionando sob uma tensão superior a 1000V e alimentados através de uma instalação de tensão igual ou inferior a 1 000 V em corrente alternada (por exemplo, circuitos de lâmpadas a descarga, precipitadores eletrostáticos etc.);
- A toda fiação e a toda linha elétrica que não sejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização;
- Às linhas elétricas fixas de sinal (com exceção dos circuitos internos dos equipamentos).

No que diz respeito a descargas atmosféricas, ela regulamenta a instalação dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), que serão mais detalhados à frente.

3.1.3. ABNT NBR 5419:2005

A NBR 5419:2005 redigida pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) da ABNT, tem como base as Normas Internacionais IEC 61024-1:1990, IEC 61024-1-2:1998 – Guide B e IEC 61024-1-1:1991 – Guide A. Ela diz respeito às edificações (ou estruturas), utilizadas para fins diversos como: residenciais, comerciais, industriais, agrícolas, administrativos e inclusive estruturas como chaminés, containers, tanques, antenas e guindastes, estabelecendo assim as condições de projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Ressalta-se que essa norma não se aplica a sistemas ferroviários, sistemas de geração e transmissão de energia elétrica e sistemas de telecomunicação externos às estruturas, plataformas marítimas e meios de transporte em geral.

Atualmente a norma 5419 é a segunda colocada em consultas das normas do setor elétrico [9], e para sua melhor compreensão e suas filosofias de proteção, faz-se necessário o conhecimento de alguns termos, tais como:

- Ponto de impacto: local onde a descarga atmosférica atinge a terra, estrutura ou o SPDA;
- Volume a proteger: a área vezes a altura de uma estrutura ou região;
- Ligação equipotencial: ligação entre o SPDA e as instalações metálica, com objetivo de minimizar as diferenças de potencial resultado das correntes da descarga atmosférica;
- Massa: conjunto das partes metálicas não destinadas a conduzir corrente;
- DPS: Dispositivo de proteção contra surtos, utilizado para limitar sobretensões transitórias;
- Nível de proteção: é definido para cada edificação através da tabela B.6 da ABNT 5419-2005;
- Frequência de descargas atmosférica: frequência média anual previsível de descargas atmosféricas sobre uma estrutura e
- Eficiência do SPDA: relação entre a frequência média anual de descargas atmosféricas que não causam danos, interceptadas ou não pelo SPDA, e a frequência sobre a estrutura.

Apesar de possuir uma eficácia elevada e de ter como base técnicas bem consolidadas e aceitas, os SPDA não inibem totalmente os perigos dos raios, porém a correta interpretação e aplicação da referida norma, reduz consideravelmente o número de vítimas e os riscos de danos materiais.

3.2. Filosofias de proteção contra descargas atmosféricas

Ainda que os objetivos dos SPDA sejam os mesmos, surgiu ao longo dos anos variações da maneira de sua implantação, cada uma adaptada à realidade das edificações que se pretende preservar. Ou seja, o principal definidor de qual tipo de SPDA deve-se adotar, é a geometria do “volume a proteger”. Os mais utilizados são métodos Gaiola de Faraday e Captadores Franklin, ou mesmo a combinação entre eles, onde todos esses sistemas empregam os elementos comuns a todos os para-raios, sendo eles[6]:

- Captação - “pontas” metálicas que se tornam o ponto de provável incidência da descarga.
- Descida - conjunto de condutores que direcionam a corrente de surto para a terra, pode ser do tipo embutida ou externa:

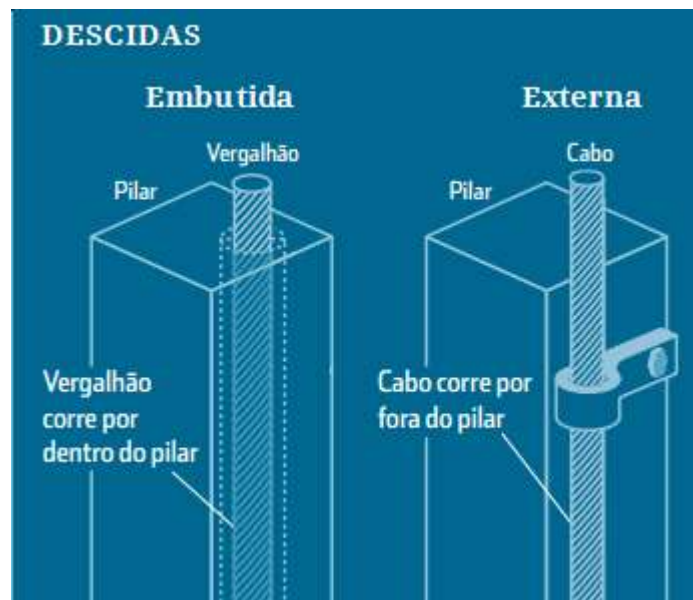


Figura 3.1 – Tipos de descida de SPDA. Adaptado[16]

- Aterramento - eletrodos metálicos destinados à dissipação da corrente de surto.



Figura 3.2 – Componentes de um aterramento convencional. Adaptado [16]

3.2.1. Gaiola de Faraday.

O método também conhecido como blindagem eletrostática, foi baseado na famosa experiência desenvolvida por Michael Faraday (1791-1867) onde demonstrava que, no interior de um cubo - semelhante a uma gaiola - feito de material condutor, não havia formação de campo elétrico. O fato é que, em uma “casca” condutora carregada, as cargas tendem a ficar concentradas na superfície externa e essa configuração gera um campo elétrico com direção perpendicular à superfície e com sentido apontado para fora, resultando em um campo elétrico interno nulo. Se houver a indução de carga externa próxima ou se a casca estiver neutra, esse campo interno permanece nulo. Dessa forma, qualquer campo elétrico de origem externa produz uma distribuição de cargas na superfície externa da parede da casca, que cancela o campo na parte interna [17].

Exemplos cotidianos de blindagem eletrostática são os aviões e carros, contrariando assim o pensamento popular de que são os pneus que fazem a proteção contra raios. Pode-se também citar elevadores e túneis, bloqueando sinais de celular.

No caso das edificações, Aterrando a Gaiola de Faraday observa-se que qualquer descarga ascendente induzida por um líder descendente se dá por uma das partes metálicas da gaiola. A corrente da

descarga circula apenas pela gaiola, protegendo tudo o que está no interior da mesma. Dessa forma, ficam explícitos, com a observação da fig. 3.3, os componentes já citados anteriormente.

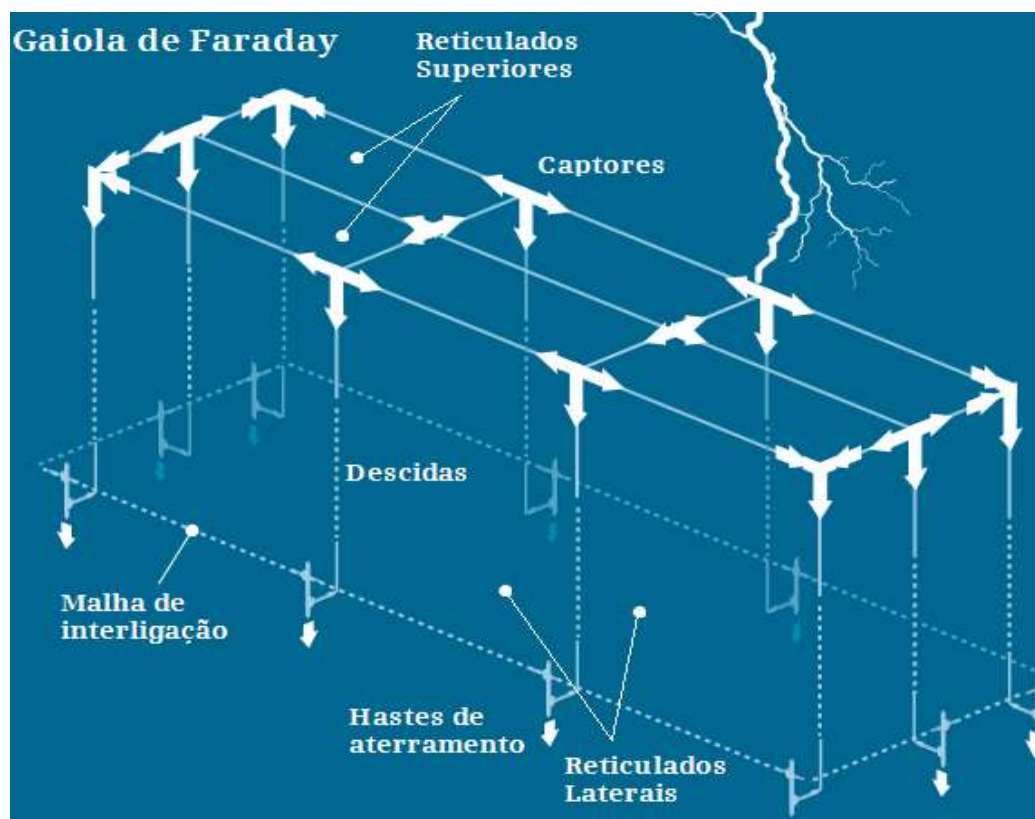


Figura 3.3 – componentes da gaiola de Faraday. Adaptado [16]

Para o sistema ser implementado de maneira correta, é preciso que os condutores envolvam a estrutura por completo, sem deixar nenhuma de suas partes excedendo os reticulados laterais e superiores da gaiola. A tabela 3.1 é uma derivação da Tabela 1 da ABNT 5419:2005, que define as dimensões máximas desses reticulados.

Tabela 3.1 – largura dos reticulados para cada nível de proteção. [18]

NIVEL DE PROTEÇÃO	DIMENSÕES(m)
I	5 x 10
II	10 x 20
III	10 x 20
IV	20 x 40

A filosofia da Gaiola de Faraday é preferencialmente empregada em construções com larguras extensas e alturas relativamente baixas, porém quando utilizada em outras situações (a exemplo de prédios, torres etc.) se faz necessária a introdução de condutores horizontais ligando as descidas e formando assim reticulados com as dimensões de acordo com a recomendação da norma.

3.2.2. Captor Franklin.

Esse sistema é baseado na atração dos canais descendentes da descarga atmosférica através de seus captores, que são basicamente constituídos por pontas metálicas, normalmente instaladas nos pontos mais altos da edificação de forma a preservar todo o “volume a proteger”. Esses captores são sustentados pelo mastro e conectados aos condutores de descida, que por sua vez são apoiados pelos espaçadores, direcionando assim a corrente de descarga diretamente para o aterramento, conforme a figura 3.4:

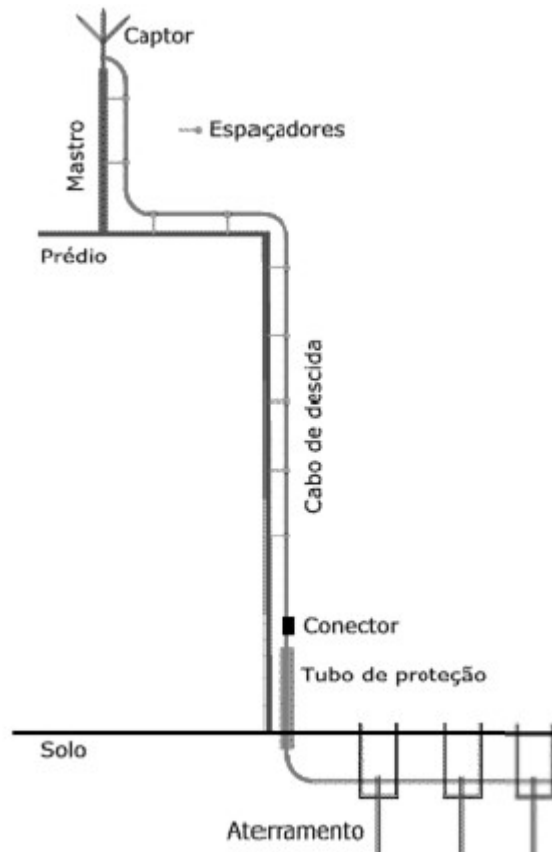


Figura 3.4 – componentes dos para-raios Franklin.

Assim como na gaiola de Faraday, a norma determina os parâmetros dos para-raios Franklin para os níveis de proteção estabelecidos:

- Ângulo de proteção – define a área, de formato cônico, protegida ao redor do captor.
- Raio da esfera rolante – raio de uma esfera imaginária que “rola” ao redor do volume a proteger.

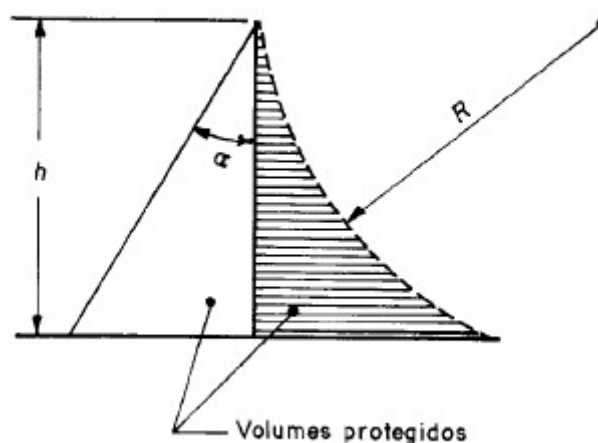


Figura 3.5 – Parâmetros da filosofia Franklin. [18]

Os valores exatos de cada um dos parâmetros citados se encontram na tabela 3.2, que é uma adaptação da “Tabela 1” da ABNT 5419.

Tabela 3.2 – valores dos parâmetros definidos em norma. Adaptado [18]

		Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção				
Nível de proteção	h m R m	0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m
I	20	25°	¹⁾	¹⁾	¹⁾	²⁾
II	30	35°	25°	¹⁾	¹⁾	²⁾
III	45	45°	35°	25°	¹⁾	²⁾
IV	60	55°	45°	35°	25°	²⁾
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.						

De uma maneira geral, na prática, define-se a zona de proteção através do método da esfera rolante (também chamado de modelo eletrogeométrico). Como citado anteriormente, baseia-se em “rolar” uma esfera fictícia por toda a superfície do volume a proteger e onde a esfera tocar a estrutura deve-se instalar um captor. A sua aplicação é indicada, normalmente para os casos de estruturas de elevada altura ou com formas arquitetônicas complexas e está baseado no mecanismo de formação das descargas atmosféricas. O “Anexo C” da ABNT 5419 expõe de forma clara as aplicações e os conceitos do modelo eletrogeométrico. Segundo esse anexo, para $h \leq R$, traça-se uma linha horizontal à altura R do solo e um arco de circunferência de raio R com centro no topo do captor. Em seguida, com centro no ponto de interseção P e raio R , traça-se um arco de circunferência que atinge o topo do captor e o plano do solo. O volume de proteção é delimitado pela rotação da área A em torno do captor conforme a figura 3.6:

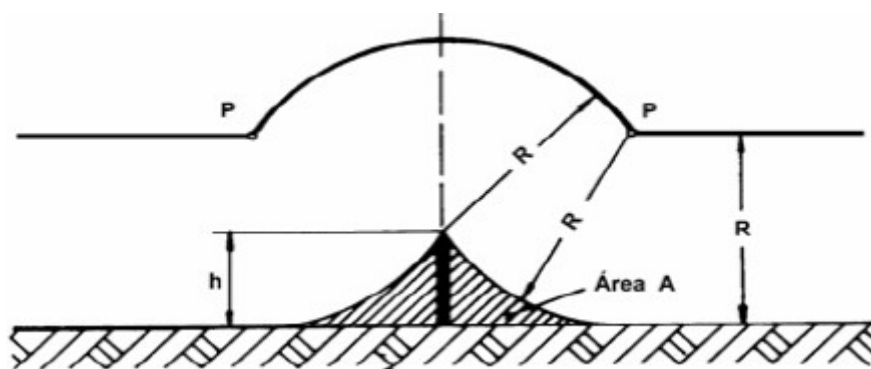


Figura 3.6 – procedimento de obtenção do volume protegido pelo método eletrogeométrico. [18]

3.2.3. Os Sistemas Híbridos

Atualmente sabe-se que o método da Gaiola de Faraday tem mostrado um melhor desempenho na proteção contra descargas atmosféricas. O aterramento elétrico em anel acaba por reduzir a elevação de potencial no solo, e graças aos vários condutores de descida, a distribuição da corrente é mais eficiente. Porém, apesar das vantagens citadas, graças aos diversos equipamentos alocados na parte superior da edificação (como centrais de ar condicionado, caixas d'água e antenas em geral), essa filosofia não é capaz de oferecer a proteção adequada para tais itens que sobressaem os reticulados anteriormente definidos.

A solução para o referido problema veio da fusão com a técnica do captor Franklin, buscando assim a harmonia entre as duas filosofias. A proteção adotada fica sendo a gaiola de Faraday, com todas suas descidas e anéis de aterramento, porém a captação é realizada pelo sistema Franklin, pois esse dá a segurança adequada aos outros componentes da cobertura das edificações.

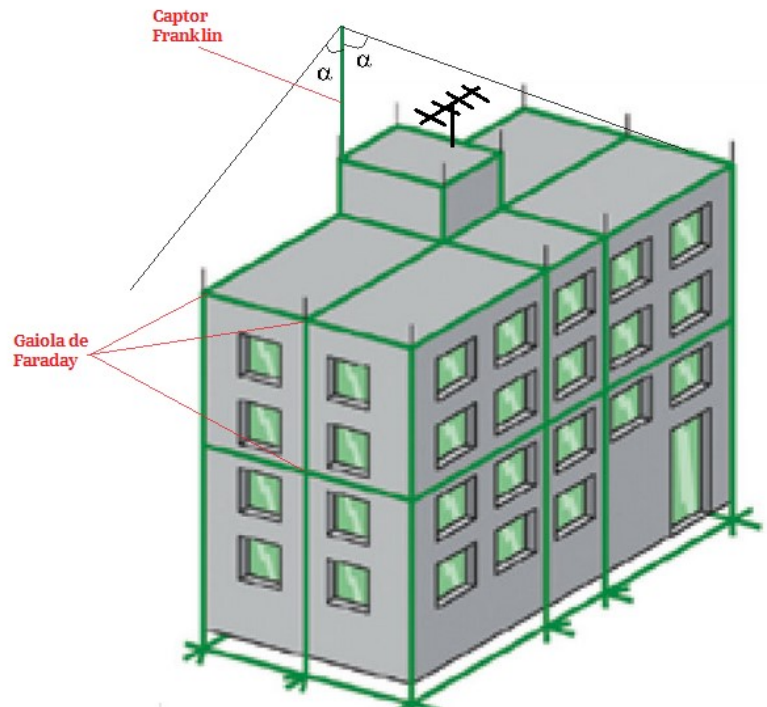


Figura 3.7 – Sistema híbrido. Adaptado [9]

3.3. Necessidade de implementação de um SPDA

A verificação da necessidade de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas se dá por um cálculo de probabilidade que é exposto na ABNT 5419, em seu anexo B. O cálculo, leva em consideração os seguintes fatores:

- Densidade de descargas atmosféricas para a terra;
- Número de dias de trovoadas por ano para a área em questão;
- Área de exposição equivalente da edificação.

Para que esse cálculo probabilístico seja feito de maneira adequada, deve-se entender e interpretar o Mapa Isoceráunico de maneira coerente com a realidade de cada região. Isso porque é através dele que é verificado o número de dias com trovoadas por ano para a área em que se está projetando o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Esse índice, chamado de índice ceráunico, é fundamental para avaliar a necessidade do SPDA. Na figura 3.8 é apresentado Mapa Isoceráunico do Brasil:



Figura 3.8 – Mapa Isoceráunico do Brasil. [18]

Para verificar a necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, temos que multiplicar uma série de índices serão descritos a seguir: [18]

Densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g): é o número de raios para a terra por quilômetros quadrados por ano. O valor de N_g para uma dada região pode ser estimado pela equação:

$$N_g = 0,04 \times N_t^{1,25} [Km^2/ano]$$

onde N_t é o índice ceráunico da região 't', ou número de dias com trovoadas por ano. É verificado no Mapa Isoceraúnico.

- *Área de Exposição Equivalente (A_e)*: é definida como a área de captação de uma descarga por uma estrutura normal, sem Sistema de Proteção contra Descarga Atmosférica. Para exemplificar o conceito de *Área de Exposição Equivalente*, basta verificar a figura 3.9:

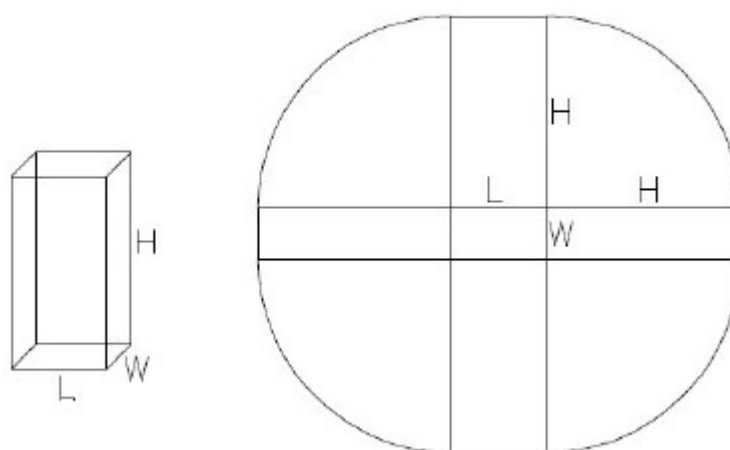


Figura 3.9 – Área de exposição equivalente de uma edificação. [26]

Para obter o índice A_e utiliza-se a seguinte equação:

$$A_e = L \cdot W + 2 \cdot L \cdot H + 2 \cdot W \cdot H + \pi \cdot H^2 \quad [m^2],$$

onde L, W e a H são respectivamente o comprimento, largura e altura da estrutura em questão.

- *Frequência média anual de descargas (N_{pr})*: é o número provável de descargas atmosféricas que podem atingir uma determinada edificação em um intervalo de um ano. É obtido pela multiplicação dos índices anteriores:

$$N_{pr} = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad [1/ano]$$

- *Fatores de ponderação*: são responsáveis por tornar mais precisa a decisão sobre a necessidade de se instalar um SPDA. É conveniente calcular a Probabilidade Ponderada de que essa edificação seja atingida, pois ela leva em conta algumas características da edificação e de arredores, o que dá mais confiabilidade no momento de tomada da decisão [20]. Abaixo as tabelas de fatores de ponderação, encontradas no anexo B da norma ABNT 5419.

A tabela 3.3 se refere ao tipo de ocupação da estrutura, ou seja, a sua finalidade. Quanto maior a necessidade de proteção, maior o fator multiplicador “A”.

Tabela 3.3 – Fator de ponderação A (tipo de ocupação da estrutura). [18]

Tipo de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa ¹⁾	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, lojas de departamento, correios, estações e aeroportos, estádios de esportes)	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades	1,7
¹⁾ Para requisitos para instalação de antenas, ver anexo A.	

A tabela 3.4 faz alusão aos tipos de material de construção da estrutura e de seu arranjo.

Tabela 3.4 – Fator de ponderação B (tipo de construção da estrutura). [18]

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 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
¹⁾ Estruturas de metal aparente que sejam contínuas até o nível do solo estão excluídas desta tabela, porque requerem apenas um subsistema de aterramento.	

Já a tabela 3.5 se refere ao conteúdo interno da estrutura, se ela possui fluxo de pessoas, equipamentos de alto valor, ou conteúdo inflamável.

Tabela 3.5 – Fator de ponderação C (conteúdo da estrutura). [18]

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
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1,7
¹⁾ Instalação de alto valor ou materiais vulneráveis a incêndios e às suas consequências.	

A tabela 3.6 é direcionada para a ponderação do local em que a estrutura se encontra.

Tabela 3.6 – Fator de ponderação D (localização da estrutura). [18]

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

Finalmente, a tabela 3.7 faz referência ao tipo de topografia de onde essa edificação se localiza.

Tabela 3.7 – Fator de ponderação E (topografia da região). [18]

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

- O Fator de probabilidade ponderada (P_0): é o resultado da multiplicação da Frequência média anual de descargas (N_{pr}) por todos os Fatores de ponderação:

$$P_0 = N_{pr} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \text{ [1/ano]}$$

O Fator de Probabilidade Ponderada (P_0) nos fornece o número de descargas que atingirão a edificação no período de um ano [20]. O método apresentado destina-se a orientar uma avaliação que, em certos casos, pode ser complexa. Se o resultado obtido 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} , por exemplo, 10^{-4} (1 em 10 000), devem existir razões bem fundamentadas para não instalar um SPDA. [18]

É importante mencionar que a constatação da não necessidade de instalação de um SPDA não garante que a estrutura nunca será atingida por uma descarga atmosférica. Levando em conta a segurança da vida humana, não é aceitável o convívio com nenhum risco que possa ser evitado.

3.4. Dispositivo de proteção contra surtos (DPS)

Uma das causas mais frequentes da queima de equipamentos eletrônicos – como computadores, TVs e aparelhos de fax, por exemplo – é a sobretensão causada por descargas atmosféricas ou manobras de circuito. Apesar de pouco conhecido pela população em geral, os Dispositivos de proteção contra surtos (DPS), são capazes delimitar as sobretensões e descarregar para a terra os surtos de corrente originários de descargas atmosféricas nas redes de energia.

3.4.1. Princípios de funcionamento.

Apesar de objetivos idênticos, existem três princípios de funcionamento para os DPS [10]:

- *DPS comutador de tensão ou curto-circuitante* - dispositivo que tem a propriedade de mudar bruscamente o valor de sua impedância, de muito alto para praticamente desprezível, função do aparecimento de um impulso de tensão na instalação.
- *DPS limitador de tensão ou atenuador* - dispositivo que tem a propriedade de mudar paulatinamente o valor de sua impedância, de muito alto para praticamente desprezível, quando do aparecimento de um impulso de tensão na instalação.
- *DPS combinado* - dispositivo que incorpora as propriedades dos DPSs comutadores e dos limitadores.

Para melhor compreender esses conceitos, faz-se a seguinte analogia: dois reservatórios de água, são posicionados conforme mostra a figura 3.10. O reservatório 2 está equilibrado sobre um rolete, e o conjunto (reservatório + rolete) está posicionado de forma a perder esse equilíbrio no momento em que a água atingir o nível de desequilíbrio. Quando a água atinge esse nível, o conjunto se desequilibra e o reservatório 2 derrama toda a água armazenada de uma só vez pelo solo.



Figura 3.10 – Sistema para analogia de um DPS comutador de tensão. [10]

Se torna intuitiva então a confecção do gráfico da figura 3.11, que mostra a variação do nível de água no reservatório 2 em função do tempo decorrido:

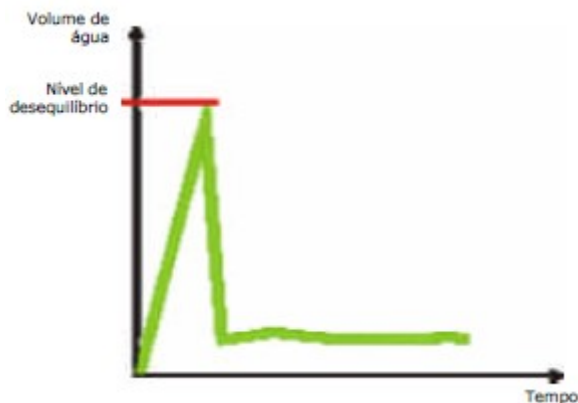


Figura 3.11 – Representação gráfica da analogia do DPS comutador de tensão. [10]

Basta substituir o parâmetro “volume de água” por “tensão do surto” para obter-se a curva de um DPS comutador de tensão.

Já para o DPS atenuador de tensão, utiliza-se da mesma analogia, porém agora com alguns furos no reservatório 2, situados abaixo do nível de desequilíbrio. Agora a água armazenada no reservatório 1 cai para o reservatório 2, e a partir deste escoar aos poucos para a terra sem atingir o nível de desequilíbrio.



Figura 3.12 – Sistema para analogia do DPS atenuador de tensão. [10]

A partir dessa representação, confecciona-se o gráfico da figura 3.13:

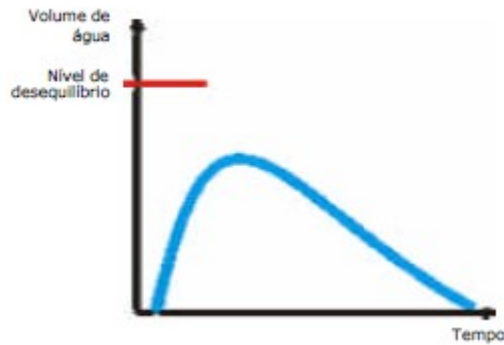


Figura 3.13 - Representação gráfica da analogia do DPS atenuador de tensão. [10]

Novamente substitui-se o parâmetro “volume de água” por “tensão do surto” para obter a curva do DPS atenuador de tensão.

3.4.2. Parâmetros do DPS

Para o correto dimensionamento do DPS em qualquer instalação elétrica, deve-se ter conhecimento dos seus parâmetros de funcionamento. São esses [10]:

- *Nível de proteção de tensão do DPS (U_p)*: Valor que é caracterizado pela limitação de tensão do DPS entre seus terminais;
- *Tensão de operação contínua do DPS (U_c)*: Máxima tensão que pode ser aplicada continuamente ao modo de proteção do DPS sem comprometer seu funcionamento. É a tensão nominal do DPS;
- *Corrente nominal do DPS (I_n)*: Fração do valor de crista de uma forma de onda tempo x corrente, utilizada para ensaio e classificação de DPS classes II e subsequentes. Em geral, este parâmetro é utilizado para estimarmos a vida útil do DPS. O mesmo deve suportar pelo menos 15 surtos com o valor de I_n ;
- *Corrente máxima do DPS ($I_{m\acute{a}x}$)*: Valor de crista de uma forma de onda tempo x corrente, utilizada para ensaio do DPS;
- *Tensão residual do DPS (U_{res})*: Valor de pico da tensão entre os terminais do DPS devido à passagem da corrente de descarga gerada pela atuação do DPS;
- *Corrente de impulso do DPS (I_{imp})*: Fração do valor da corrente de pico de uma forma de onda tempo x corrente utilizada para ensaio e classificação de DPS classe I. Outro parâmetro importante a ser utilizado na classificação deste DPS é a carga (Q), em Ampère por segundo;

Os DPS possuem três classes distintas, cada uma delas associada a um nível de proteção diferente:

- Classe I – destinado à proteção contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas diretas, com uma grande capacidade de escoamento, recomendado para instalações em locais de alta exposição a descargas atmosféricas na entrada da distribuição elétrica das edificações com SPDA. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente 10/350 μ s;
- Classe II – com uma capacidade de escoamento menor que o da Classe I, é recomendado para proteção das instalações elétricas e equipamentos eletroeletrônicos em edificações sem SPDA, mas que podem sofrer os efeitos indiretos das descargas atmosféricas. O DPS Classe II é caracterizado por uma onda de corrente 8/20 μ s;
- Classe III – os DPSs desta classe são destinados à proteção fina dos receptores sensíveis (computadores, etc.), possuem uma capacidade baixa de escoamento e devem ser instalados à jusante de um DPS Classe II. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente combinada 1,2/50 μ s e 8/20 μ s.

As ondas de *corrente x tempo* citadas acima são ilustradas abaixo, pelas figuras 3.14 e 3.15:

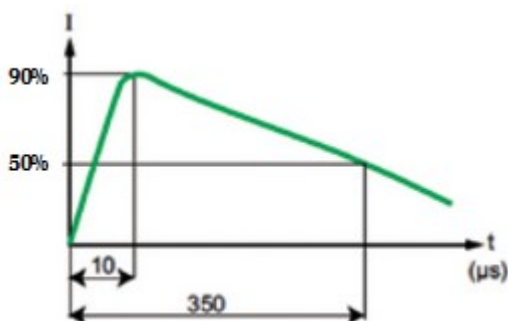


Figura 3.14 – Onda *corrente x tempo* 10/350 μ s. [9]

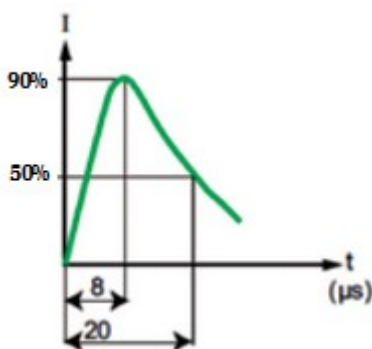


Figura 3.15 - Onda *corrente x tempo* 8/20 μ s. [9]

Com a simples análise dos gráficos, percebe-se que o DPS (10/350) é ensaiado com um pulso de corrente traduzido por uma curva cuja frente de onda atingiu 90% de $I_{m\acute{a}x}$ em 10 μs e a cauda chegou 50% $I_{m\acute{a}x}$ em 350 μs . Já o DPS (8 /20) foi ensaiado com um pulso de corrente traduzido por uma curva cuja frente de onda atingiu 90% de $I_{m\acute{a}x}$ em 8 μs e a cauda chegou 50% $I_{m\acute{a}x}$ em 20 μs . Percebe-se também que a energia de uma descarga 10/350 é muito maior que uma de 8/20, e é por esse motivo que o DPS classe I é mais robusto que os de classe II e III.

A norma ABNT 5410 determina, em quais condições as instalações devem ou não receber a proteção dos DPS. A tabela 3.8 mostra essas classificações.

Tabela 3.8 – Classificação de influencias externas. [21]

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AQ1	Desprezíveis	≤ 25 dias por ano	-
AQ2	Indiretas	> 25 dias por ano Riscos provenientes da rede de alimentação.	Instalações alimentadas por redes aéreas.
AQ3	Diretas	Riscos provenientes da exposição dos componentes da instalação.	Partes da instalação situadas no exterior das edificações.

- AQ-1: Classificação atribuída às instalações que não necessitam de proteção.
- AQ-2: Classificação atribuída às instalações que se encontram em regiões com índice ceráunico > 25 e condutores alimentadores instalados, total ou parcialmente, de forma aérea. Quando uma instalação se enquadra em AQ-2 significa que ela está exposta, pelo menos, aos efeitos indiretos causados pelas descargas atmosféricas (riscos indiretos);
- AQ-3: Classificação atribuída a edificações ou estruturas onde há alta probabilidade de incidência direta de descargas atmosféricas na instalação, seus componentes ou muito próximo a eles. Quando uma instalação se enquadra em AQ-3 significa que a probabilidade da mesma ser danificada pelo impacto direto de uma descarga atmosférica direta é considerável (riscos diretos). O cálculo de probabilidade de dano por impacto direto de descarga atmosférica é feito através do roteiro encontrado no anexo B da norma 5419;

Apresentadas as classificações existentes, fica claro o entendimento do seguinte trecho da norma ABNT 5410:2004:

“Deve ser provida proteção contra sobretensões transitórias, com o uso dos meios indicados em 5.4.2.1.2, nos seguintes casos:

- a) Quando a instalação for alimentada por linha total ou parcialmente aérea, ou incluir ela própria linha aérea, e se situar em região sob condições de influência externas AQ2 (mais de 25 dias de trovoadas por ano);
- b) Quando a instalação se situar em região sob condições de influências externas AQ3.”

Observando o mapa isoceráunico do Brasil, percebe-se que o Distrito Federal encontra-se em uma região acima de 25 dias de trovoadas por ano, tornando assim obrigatório a utilização de DPS em suas instalações de baixa tensão.

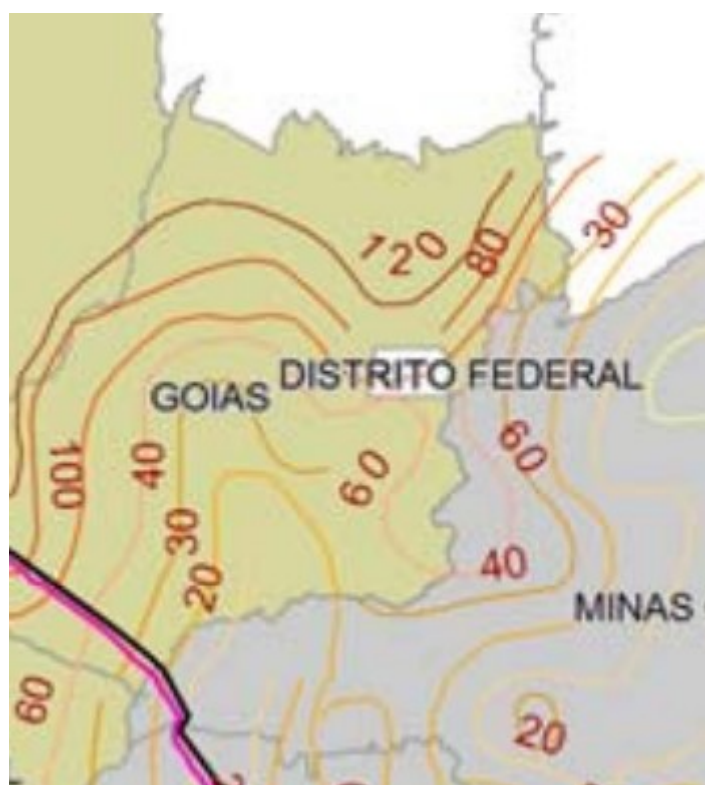


Figura 3.16 – Mapa isoceráunico de Goiás e Distrito Federal. [2]

3.5. Considerações sobre a ABNT NBR 5419:2015

Entrou em vigor no dia 22 de junho de 2015, a norma ABNT NBR 5419:2015, uma revisão da norma que estava em vigência desde 2005. Essa nova norma é dividida em quatro partes [9]:

- i. Princípios gerais, que estabelece os requisitos mínimos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas, bem como fornece subsídios para a utilização dos conceitos em projetos de proteção contra descargas atmosféricas.
- ii. Gerenciamento de risco, que estabelece os requisitos para análise de risco em estruturas devido às descargas atmosféricas para a terra e tem o propósito de reger a avaliação de tais riscos, permitindo a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco de dano causado por raio ao limite ou abaixo do limite tolerável.
- iii. Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Provê os requisitos para proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA e para proteção de seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo nas vizinhanças de um SPDA. Aplica-se a projeto, instalação, inspeção e manutenção do SPDA para estruturas sem limitação de altura, bem como o estabelecimento de medidas para proteção contra lesões a seres vivos causadas pelas tensões de passo e toque provenientes das correntes impulsivas.
- iv. Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Parte que fornece informações para projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de sistemas de proteção para equipamentos elétricos e eletrônicos (Medidas de Proteção contra Surtos - MPS), a fim de reduzir o risco de danos permanentes internos à estrutura devido aos impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas, mas que não cobre a proteção total contra essas interferências.

Lançada no mercado no dia 22 de maio de 2015, a ABNT 5419:2015 ainda não está bem difundida e compreendida no setor elétrico. Diversos cursos e palestras são oferecidos pelos membros integrantes da comissão revisadora da norma. Porém, através de pesquisas, pode-se enumerar alguns pontos básicos de diferenças entre a norma antiga e a nova [22]:

- 1) A primeira grande mudança entre as duas normas está na quantidade de páginas. A norma anterior possuía 42 páginas, e a norma atual passou a ter aproximadamente 309 páginas.
- 2) O anexo B da norma de 2005, (análise de necessidade de proteção), na norma 2015 passou a ser chamado de Análise de Risco, onde, além dos fatores de ponderação existente, novos fatores de risco para a edificação que até então não eram analisados passaram a ser observados com mais rigor. É nesta parte da norma que são definidos: o nível de proteção e quais medidas complementares deverão ser tomadas para garantir uma proteção eficiente à edificação, pessoas e instalações.

- 3) Com relação à quantidade de métodos de proteção, não houve alterações, continuando a serem usados os métodos dos Ângulos (Franklin), Modelo Eletrogeométrico e Método das Malhas. As maiores mudanças ocorreram no Método dos Ângulos com o aumento significativo do alcance de pequenos captosres, particularmente até 2 metros. O Método das Malhas teve seus *meshs* (reticulados) reduzidos para: classe 1 = 5x5m; classe 2 = 10x10m; classe 3 = 15x15m e classe 4 = 20x20m. Também o espaçamento das descidas e dos anéis horizontais passaram a ser: classe 1 = 10m; classe 2 = 10m; classe 3 = 15m e classe 4 = 20x20m. O Método Eletrogeométrico permaneceu inalterado.
- 4) O gráfico de comprimento mínimo de eletrodo enterrado versus resistividade do solo, agora foi estendido também para nível 2 de proteção já que antes só havia relação direta entre os 2 parâmetros no nível 1.
- 5) A tabela de condutores de captação, descidas e aterramento foi aprimorada com novos materiais (aço cobreado, alumínio cobreado), e algumas dimensões mínimas e tolerâncias foram estabelecidas.
- 6) Os testes de continuidade das estruturas de concreto armado foram normalizados em duas etapas com melhor detalhamento dos seus procedimentos.
- 7) A medição da resistência ôhmica do aterramento do SPDA, bem como o anterior valor sugerido de 10 ohms, foram retirados da norma.
- 8) O arranjo A (aterramento pontual) foi retirado da norma, permanecendo apenas o arranjo B (em anel) circundando a edificação e interligando todas as descidas. Este anel deve estar no mínimo, 80% em contato com o solo.

Outra mudança de destaque foi a maneira de conferência da densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g). Como citado anteriormente, na norma antiga esse índice era obtido a partir da relação $N_g = 0,04 \times N_t^{1,25}$. O valor de N_t era retirado do mapa isoceraúnico, que foi confeccionado a partir da observação da ocorrência de trovões entre os anos de 1970 e 1980, ou seja, são dados extremamente imprecisos.

A partir de agora, graças ao desenvolvimento tecnológico e do aperfeiçoamento de técnicas de medição e detecção de descargas atmosféricas, o parâmetro N_g pode ser retirado diretamente da página do ELAT, na internet. Pode-se inserir latitude e longitude, bem como o endereço do local desejado, pois o sistema é ligado ao já consolidado *Google Maps*[23]. A figura 3.17 mostra uma visão geral do sistema:

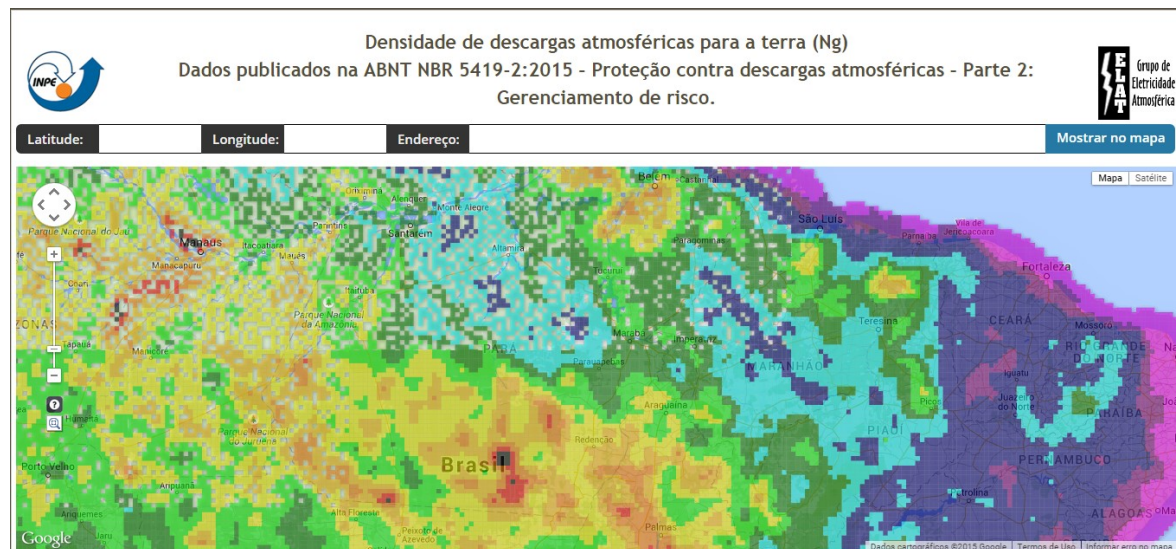


Figura 3.17- Visão geral do novo sistema de consulta do parâmetro N_g . [1]

Para o caso do Distrito Federal, nota-se uma variedade considerável de densidades de descargas atmosféricas, com valor máximo encontrado de $N_g = 9,2$ no Gama e o valor mínimo de $N_g = 5,2$ no núcleo rural Bonsucesso (Planaltina), ambos próximos a divisa com Goiás, porém em extremos opostos. A figura 3.18 mostra o layout da busca realizada no web site do ELAT, exemplificado com o N_g da Asa Norte do Plano Piloto:



Figura 3.18 – Densidade de descargas atmosféricas na Asa Norte. [1]

Certamente jamais se teria uma precisão tão grande na determinação do N_g utilizando-se do antigo e impreciso índice cerâmico.

4. DADOS E ANÁLISES

Os dados coletados para análise foram adquiridos por meio de entrevista realizada na concessionária de energia local a Companhia Energética de Brasília (CEB), e pelo preenchimento de formulário *online*, direcionado à pessoas que tiveram algum tipo de dano relacionado à descargas atmosféricas no Distrito Federal.

O questionário foi direcionado à pessoas que tiveram qualquer tipo de experiência com descargas atmosféricas, e foi disseminado pessoalmente e via redes sociais.

Para que esses dados fossem devidamente computados e analisados no contexto da pesquisa, alguns parâmetros são delineados a seguir, classificando as edificações quanto à sua importância ou fragilidade diante as descargas atmosféricas.

4.1. Parâmetros para instalação dos sistemas de proteção

Conforme citados noutro capítulo, existem quatro níveis de proteção definidos pela norma NBR 5419 [21]:

- Nível I - Nível de proteção mais rigoroso e seguro. Usado em estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco para os arredores. Ex.: depósitos de explosivos, materiais sujeitos à explosão, material tóxico ao meio ambiente etc.
- Nível II - Edificação com bens de grande valor ou que abriga um grande número de pessoas. Não representa risco para estruturas adjacentes;
- Nível III - Edificação de uso comum;
- Nível IV - Nível de proteção mais baixo. Usado em estruturas raramente ocupadas por pessoas e que não armazenam material combustível.

A tabela 4.1 traz exemplos de níveis de proteção para cada tipo de estrutura, em consonância com a NBR 5419.

Tabela 4.1. Classificação de risco de estruturas [18].

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns ¹⁾	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 ²⁾
	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 consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I
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 a ABNT NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis. ²⁾ 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.			

Os cálculos necessários para determinação do nível de proteção de cada estrutura foram explicitados na seção 3.3.

Tão importante quanto o correto dimensionamento e instalação, deve ser a manutenção preventiva dos sistemas de proteção, prescrita na NBR 5419 [18]

4.2. Dados das entrevistas

As pesquisas podem ser classificadas de diversas formas, conforme detalhes a seguir. Para situar na forma de pesquisa, o presente trabalho será classificado quanto sua natureza, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos [24]:

- *Aplicada (natureza)*: objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.
- *Quantitativa (forma de abordagem)*: considera o que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão). Esse tipo de pesquisa lida com fatos ou seja, tudo aquilo que pode se tornar objetivo através da observação sistemática; evento bem especificado, delimitado e mensurável;
- *Descritiva (objetivos)*: Assume em geral a forma de Levantamento, visando descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática.
- *Levantamento (procedimentos técnicos)*: quando a pesquisa envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.

Essa pesquisa também pode ser considerada *Factual*[24], ou seja, prevê a mensuração de variáveis pré-determinadas, buscando verificar e explicar sua existência ou influência sobre outras variáveis. Em outras palavras, busca uma regra, um princípio que reflita a uniformidade daquilo que é estudado, centralizando a sua busca em informações matematizáveis e não se aplicando a exceções, mas sim a generalizações.

Uma das motivações deste trabalho foi medir o nível de informação da população em geral, no que se refere às descargas atmosféricas e seus efeitos. Para se cumprir tal tarefa, foi criado um questionário *online* (cópia no anexo) com distribuição a pessoas que, potencialmente, sofreram algum dano provocado por raios no Distrito Federal. Houve um retorno de 156 respostas, que foram compiladas em uma planilha (cópia anexa) e organizadas com os detalhes a seguir.

- Local: tipo de edificação atingida (casa, prédio, comércio etc.);

- Andares: número de pavimentos da edificação;
- Região Administrativa: local no DF da ocorrência;
- Tipo de descarga: direta ou indireta;
- Patrimônio Danificado: se houve alguma perda patrimonial;
- Acidente com pessoas: se houve alguma vítima fatal ou ferida;
- Ano: ano do acontecimento;
- Conhecimento de proteção: se a pessoa sabe o que é um SPDA e um DPS;
- Existência de proteção: se havia SPDA no local atingido.

As questões foram dos tipos fechada e aberta, para que os participantes se sentissem livres em seus relatos. Essas questões serão apresentadas por ocasião das análises dos dados. Compilando as respostas, quadros estatísticos foram elaborados e levantamento de hipóteses aventadas. Inicialmente, casos gerais e, posteriormente, dados particularizados foram analisados.

4.3. Análise dos dados

Em função dos diversos itens disponibilizados aos entrevistados, a tabulação dos questionários resultou em uma extensa tabela (cópia anexa). Como uma amostra, parte da tabela é apresentada da figura 4.1, com os detalhes de local, número de andares, região administrativa, tipo de descarga atmosférica, patrimônio danificado etc.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
LOCAL	ANDARES	RA	TIPO DE DESCARGA	PATRIMÔNIO DANIFICADO	ACIDENTE COM PESSOA	ANO	CONHECE PARA-RAIOS?	HAVIA PARA-RAIOS?	CONHECE DF
Meu prédio.	12	Águas Claras	NÃO SEI	Computador	NÃO	2001	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	6	Asa Sul	DIRETA	mais de um aparelho danificado	NÃO	2009	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	4	Cruzeiro	DIRETA	Sim	NÃO	2009	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	12	Águas Claras	NÃO SEI	modem da internet	NÃO	2015	SIM	SIM	NÃO
Meu prédio.	6	Águas Claras	DIRETA	NÃO	NÃO	2012	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	28	Águas Claras	DIRETA	NÃO	NÃO	2013	SIM	SIM	NÃO
Meu condomínio.	12	Águas Claras	INDIRETA	NÃO	NÃO	2014	SIM	SIM	NÃO
Meu condomínio.	15	Águas Claras	NÃO SEI	NÃO	NÃO	2014	SIM	SIM	NÃO
Meu prédio.	8	Águas Claras	NÃO SEI	Sim - Videocassete	Pegou fogo o móvel da	2011	SIM	NÃO SEI	NÃO
Meu condomínio.	-	Águas Claras	INDIRETA	NÃO - (filtro de linha e disjuntor)	o porteiro sofreu desm	2014	SIM	NÃO SEI	SIM
Meu condomínio.	12	Águas Claras	INDIRETA	NÃO	NÃO	2014	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	6	Asa Norte	NÃO SEI	aparelho da operadora da tv	NÃO	2014	SIM	NÃO SEI	SIM
Meu condomínio.	-	Asa Norte	INDIRETA	NÃO	NÃO	2014	SIM	SIM	NÃO
Meu prédio.	6	Asa Norte	NÃO SEI	NÃO	NÃO	2012	SIM	SIM	NÃO
Minha casa.	1	Asa Norte	NÃO SEI	Sim. Modem	NÃO	2015	SIM	NÃO SEI	SIM
UnB	3	Asa Norte	DIRETA	NÃO	cas em pontas metálicas	2015	SIM	NÃO SEI	SIM
UnB	-	Asa Norte	INDIRETA	NÃO	Sim, morte	1976	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	-	Asa Norte	INDIRETA - Poste de energia	NÃO	NÃO	2013	SIM	NÃO	NÃO
Meu prédio.	3	Asa Norte	NÃO SEI	NÃO	NÃO	2014	SIM	SIM	SIM
Meu prédio.	3	Gama	DIRETA	Tv e queda de energia	NÃO	2012	SIM	SIM	NÃO
Meu prédio.	6	Asa Norte	NÃO SEI	SIM - Videogame	NÃO	2010	SIM	NÃO SEI	NÃO
Minha casa.	1	Gama	DIRETA	Sim	poque enquanto lavava a	2001	SIM	NÃO	NÃO
Minha casa.	1	Guará	DIRETA	ondas, geladeira, videogame, máquina	NÃO	2004	SIM	NÃO SEI	SIM
Meu prédio.	6	Asa Norte	NÃO SEI	microondas, máquina de lavar e sec	NÃO	2013	SIM	SIM	NÃO
Minha casa.	-	Jardim Botânico	DIRETA	TV, PC, Portão elétrica, luzes exteri	NÃO	2009	SIM	NÃO	SIM
Minha casa.	2	Lago Norte	DIRETA	Sim, todos	NÃO	2015	SIM	NÃO	SIM
Minha casa.	3	Lago Norte	DIRETA	o; interfone; linha telefônica; eletro	NÃO	2011	SIM	NÃO	SIM
Meu condomínio.	-	Asa Norte	NÃO SEI	NÃO	Sim, um passante morreu	2015	SIM	SIM	NÃO
Minha casa.	1	Asa Sul	NÃO SEI	Geladeira	NÃO	2011	SIM	SIM	NÃO

Figura 4.1. Parte da tabulação dos questionários.

Extraíndo-se dados significativos para cada tópico-objeto da pesquisa, gráficos são apresentados por assunto e analisados na sequência.

No item sobre o patrimônio, questionou-se:

Algum aparelho elétrico danificado por esse raio? Se Sim, quais?

“Exemplo: SIM - TV, microondas etc. // NÃO.”

O resultado apontou que quase 70%, dos que acusaram ação de descargas atmosféricas nas proximidades tiveram danos ao patrimônio, como ilustrado na figura 4.2. Dado bem significativo, mesmo sem estimar custo financeiro envolvido, uma vez que o gráfico contempla equipamentos eletroeletrônicos.

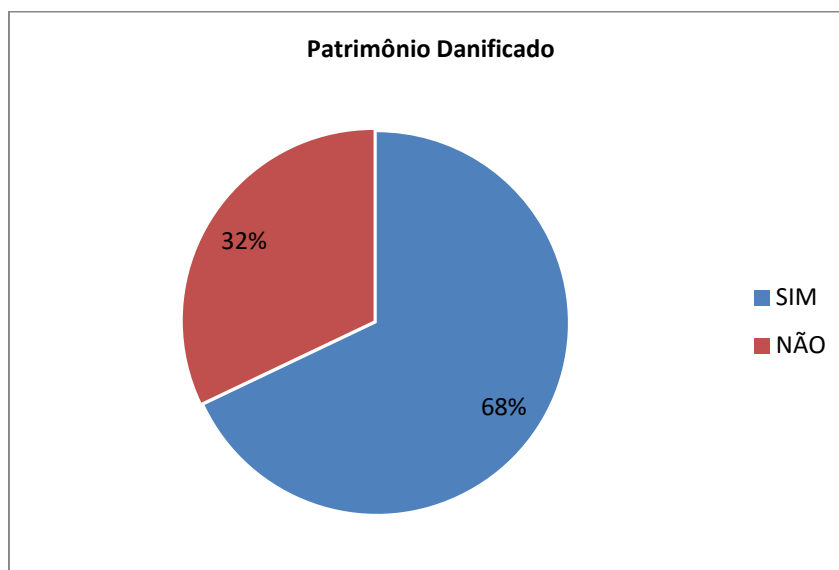


Figura 4.2. Porcentagem de pessoas com patrimônio danificado.

No item ameaça sobre a vida de pessoas, a questão disponibilizada foi:

Houve algum tipo de acidente com pessoas quando o raio caiu? Se Sim, como aconteceu?

Exemplo: SIM - Choque enquanto a pessoa tomava banho, ou falava ao telefone. // NÃO.

Obtendo-se o gráfico da figura 4.3.

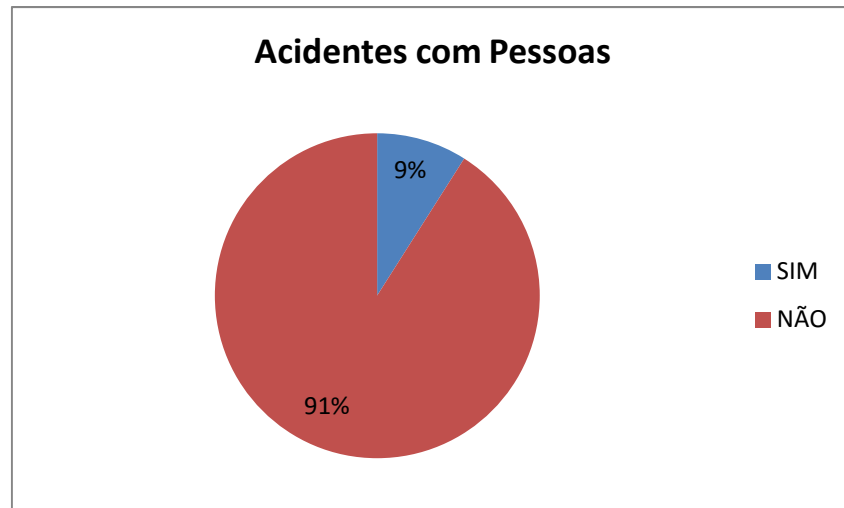


Figura 4.3. Porcentagem de acidentes com pessoas.

Depreende-se da figura 4.3 que as descargas atmosféricas atingem a edificação com prevalência significativa aos danos materiais sem envolvimento direto de danos pessoais. A edificação, em si, já desempenha um papel de proteção às pessoas no seu interior, papel esse a ser avaliado quando do cumprimento das normas para instalação adequada de SPDA.

Quanto ao tipo de descarga (direta ou indireta), muitas pessoas não souberam responder à questão:

Você sabe se o raio atingiu diretamente a edificação ou caiu nas proximidades?

“Diretamente - Exemplo: No telhado da casa, na antena de TV etc.

Proximidades - Exemplo: Em uma árvore no quintal, ou em um poste de energia em sua rua.

Obs.: Caso não saiba a resposta, basta deixar em branco”

A figura 4.4 traz a compilação das respostas, com destaque para descargas indiretas, o que é mais usual em fenômenos de atingimentos em edificações com pequenos danos.

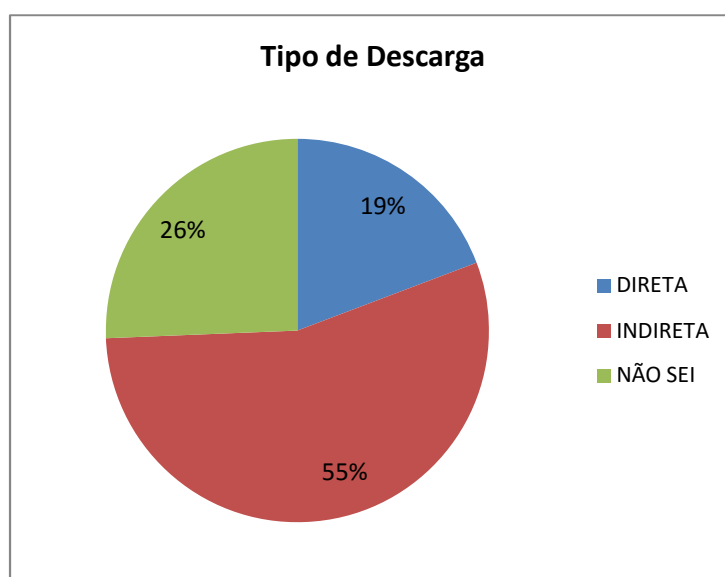


Figura 4.4. Porcentagem dos tipos de descarga.

Realizando-se um levantamento por região, com uso da questão:

Qual a cidade do Distrito Federal e o bairro dessa ocorrência?

Exemplo: Brasília - Asa Norte // Sobradinho - Grande Colorado,

elaborou-se a tabela 4.2, que apresenta a porcentagem da quantidade de ocorrências em cada região administrativa.

Tabela 4.2. Porcentagem da quantidade de ocorrências em cada região administrativa.

Regiões Administrativas					
Águas Claras	7%	Jardim Botânico	3%	Riacho Fundo I	1%
Asa norte	11%	Lago Norte	4%	Samambaia	4%
Asa Sul	10%	Lago Sul	9%	São Sebastião	2%
Ceilândia	1%	Noroeste	1%	SMU	2%
Cruzeiro	2%	Núcleo Bandeirante	1%	Sobradinho	9%
Gama	2%	Paranoá	1%	Sudoeste	7%
Guará	6%	Park Way	8%	Taguatinga	7%
Incra 6	1%	Recanto das Emas	1%	Vicente Pires	2%

Destacando-se os casos em que houve dano patrimonial e que as pessoas sabiam qual o tipo de descarga, em resposta à questão a seguir, foram obtidos 74 formulários, dando origem ao gráfico da figura 4.5.

Você sabe se o raio atingiu diretamente a edificação ou caiu nas proximidades?

“Diretamente - Exemplo: No telhado da casa, na antena de TV etc.

Proximidades - Exemplo: Em uma árvore no quintal, ou em um poste de energia em sua rua.

Obs.: Caso não saiba a resposta, basta deixar em branco”.

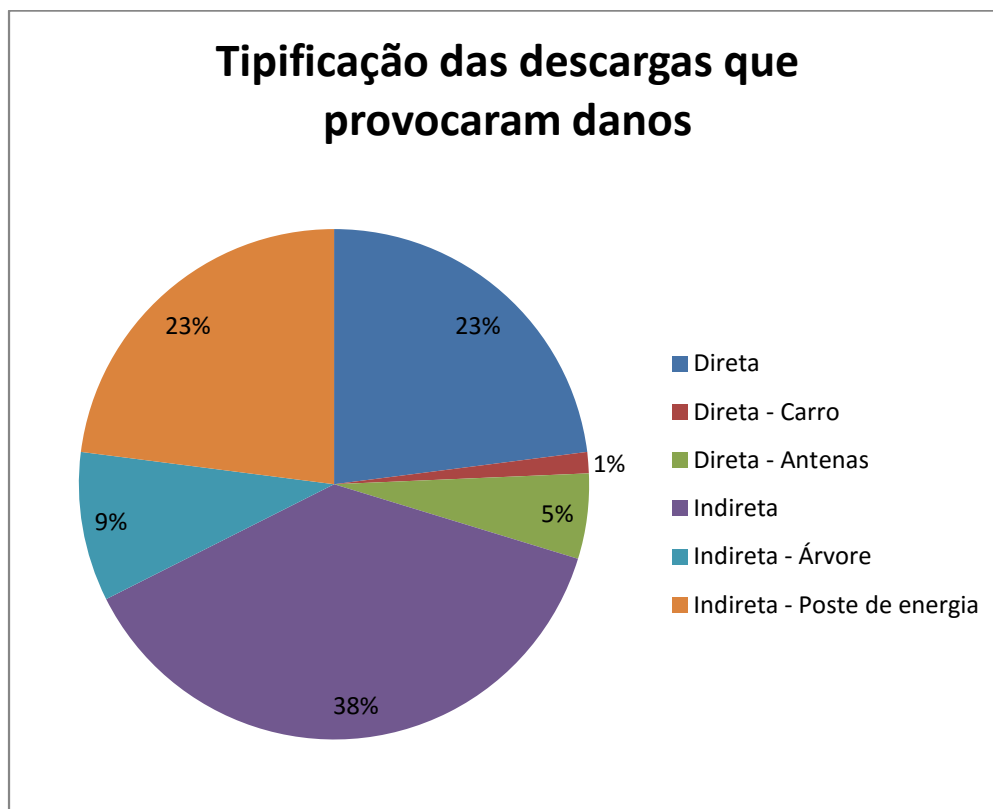


Figura 4.5. Porcentagem de cada tipo de descarga que provocou danos.

A figura 4.5 mostra percentual significativo de evento *descarga indireta* comparativamente com as descargas diretas. Como apontado na figura 4.2, 68% dos danos, perdas patrimoniais, foram computados aos efeitos de descargas indiretas. Esses resultados sugerem as possíveis situações:

- Edificação sem adequado sistema de aterramento, em atendimento às NBR 5410 e NBR 5419.
- Edificação com aterramento em diversos pontos sem o efetivo barramento de equipotencialização principal (BEP).

- Há aterramento atendendo prescrições normativas mas não existe a proteção da instalação com uso dos DPS.

Da tabulação dos dados, podem-se isolar casos para análise pormenorizada com suas peculiaridades. Como exemplo, cita-se o caso isolado da descarga atmosférica que atingiu um prédio na região administrativa de Águas Claras. O prédio possui 30 andares e, segundo testemunha, o raio atingiu uma das antenas na cobertura e queimou um freezer dentro de seu apartamento. Ela não soube dizer se havia SPDA instalado em seu prédio. Como o questionário foi preenchido por pessoas sem a identificação de formação técnica, alguns pontos podem ser levantados:

- É improvável que em um prédio de 30 andares, construído em uma região administrativa (R.A.) relativamente nova como Águas Claras, não exista o SPDA.
- Considerando a existência do SPDA, uma hipótese razoável seria a de que na ocasião da instalação da referida antena, o instalador não a tenha aterrado no mesmo ponto do para-raios, e com uma descarga incidindo sobre este, haveria indução de corrente na antena. Caso esta esteja ligada em um quadro próximo ao quadro do freezer, e não hajam os DPS instalados, o dano no aparelho se torna possível. A pessoa não relata perdas em outros aparelhos ou em apartamentos vizinhos.

Para selecionar casos parecidos com o descrito acima, filtra-se a planilha novamente para locais com a existência do SPDA e que foram relatados danos a aparelhos eletrodomésticos, ocasionados por descargas diretas na edificação. São 7 ocorrências semelhantes.

Dos respondentes, 99% conheciam para-raios e apenas 35% conheciam DPS.

Todo usuário de eletricidade está sujeito a distúrbios originados por causas naturais ou decorrentes do próprio sistema elétrico de potência. Quando os distúrbios causam danos aos equipamentos eletrodomésticos, por exemplo a concessionária local pode ressarcir o consumidor, conforme a relação de causalidade. Para disciplinar esse tema, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com a Resolução Normativa 414/2010 (atualizada até a REN 499/ 2012) orienta o consumidor como proceder em caso de solicitação de reparação de danos em equipamentos e instalações elétricas, detalhado a seguir.

4.4. Ressarcimento pela concessionária

Ressarcimento é o meio através do qual a distribuidora retorna a fruição do consumidor à condição anterior à ocorrência do dano, seja consertando ou substituindo o equipamento danificado, ou ainda pagando valor equivalente para o próprio consumidor fazê-lo[3].

A Seção II, Das condições para a solicitação de ressarcimento, contido no Capítulo XVI, da Resolução Normativa 414/2010, a ANEEL dita:

No processo de ressarcimento, a distribuidora deve investigar a existência do nexo de causalidade, considerando inclusive os registros de ocorrências na sua rede.

A distribuidora pode fazer verificação in loco do equipamento danificado, solicitar que o consumidor o encaminhe para oficina por ela autorizada, ou retirar o equipamento para análise.

No caso de deferimento, a distribuidora deve efetuar o ressarcimento por meio do pagamento em moeda corrente, conserto ou substituição do equipamento danificado.

Não é considerado ressarcimento o conserto parcial do bem danificado, de modo que este não retorne à condição anterior ao dano, nem o pagamento em moeda corrente em valor inferior ao conserto ou em valor inferior ao de um equipamento novo, quando o conserto for inviável [3].

Como exemplo do processo ressarcimento em cumprimento à legislação, a Companhia Energética de Brasília (CEB) disponibilizou registros tabelados da quantidade de pedidos de ressarcimento do ano de 2012 até maio de 2015. Com base nesses dados, (cópia em anexo), percebeu-se que em média 45% das pessoas desistem durante o processo, 40% dos processos são vistoriados e indeferidos e apenas 15% são deferidos.

Os quantitativos dos processos de ressarcimento abertos contra a concessionária local, nos anos 2012 a 2014 estão ilustrados no gráfico da figura 4.6.

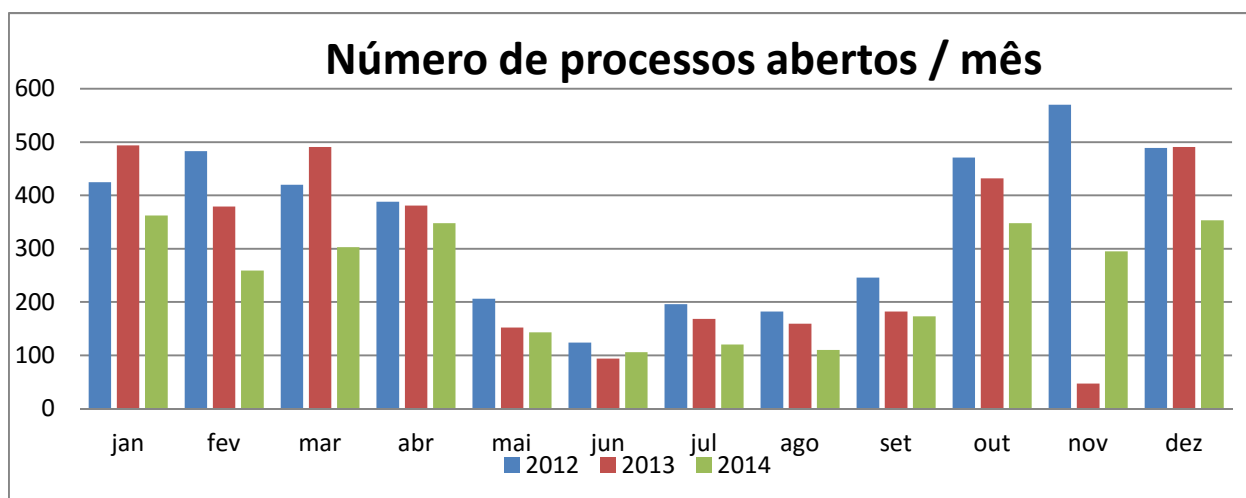


Figura 4.6. Número de pedidos de ressarcimento abertos contra a CEB.

Percebe-se uma concentração de pedidos de ressarcimento durante os meses de janeiro a abril, iniciando-se uma redução a partir do mês de maio e prolongando-se até setembro. Em outubro novo ciclo de processos se inicia, com os acréscimos consideráveis de solicitações.

Na busca de uma correlação entre o número de processos de ressarcimento e fenômenos naturais, pesquisou-se o regime de chuvas nos anos 2012 a 2014 no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), resultado mostrado na figura 4.7. [2]

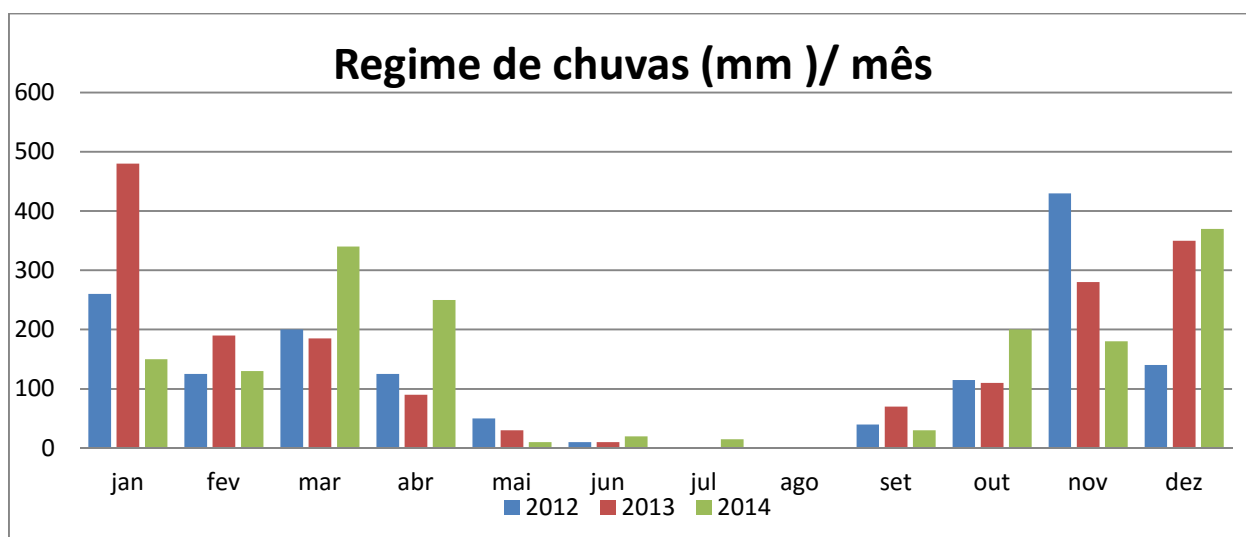


Figura 4.7. Regime de chuvas no DF por mês [2]

O regime de chuvas no Distrito Federal (figura 4.7) mostra comportamento similar ao comportamento dos pedidos de ressarcimento (figura 4.6) por problemas elétricos na perspectiva dos usuários, no mesmo período, demonstrando uma forte ligação com a quantidade de chuvas e consequente período de maior incidência de descargas atmosféricas.

O pedido de ressarcimento, no entanto, não é motivado apenas pelos efeitos das descargas atmosféricas. Verifica-se que em agosto, mês o qual choveu aproximadamente 0 mm, houve registro de uma quantidade considerável de pedidos, reforçando o indicador da existência de outros tipos de perturbações na rede elétrica.

5. CONCLUSÃO

Os dados preliminares da pesquisa evidenciam a importância que cada vez mais deve ser dispensada na prevenção de acidentes de origem elétrica, mormente aqueles motivados por descargas atmosféricas. A proteção contra os efeitos danosos de raios no meio urbano requer rigoroso cumprimento da legislação, desde a concepção de segurança no projeto até as manutenções preventiva e corretiva. Evidência dessa exigência pode ser constatada pela nova versão da NBR 5419:2015, que entrou em vigor em 22/junho/2015, com alteração do número de páginas de 42 (NBR 5419:2005) para além de 300 páginas.

Registros e constantes monitoramentos dos órgãos especializados nos estudos dos fenômenos atmosféricos revelam alteração no comportamento das descargas atmosféricas: ora há um aumento na quantidade, ora há um aumento na severidade dos seus efeitos. A urbanização e industrialização dos grandes aglomerados humanos parecem corroborar para esse comportamento, como ilustra a figura 5.1 [25].

Depois de realizada a análise de dados, foi possível constatar que apesar do avanço considerável das tecnologias de proteção contra surtos nos últimos anos, a desinformação por parte do consumidor e cidadão comum ainda é grande. Uma correta e ampla orientação do público quanto à questão das descargas atmosféricas deve ser reforçada, pois constata-se, ainda, que pessoas perdem a vida por não saberem como proceder diante de uma situação de risco em uma tempestade, por exemplo.

Estatísticas claras quanto aos danos provocados por raios, realizadas por órgãos oficiais do governo, são escassas.

Outro fator de perigo, que diz respeito tanto à vida das pessoas quanto à integridade patrimonial, é o habitual descumprimento das normas vigentes por parte dos instaladores, principalmente pelo fato da grande maioria não possuir especialização em engenharia elétrica. Enquanto não houver uma fiscalização periódica por parte dos órgãos reguladores em instalações comuns de baixa tensão, e o aval de engenheiros eletricitistas continuar a ser deixado de lado, erros simples que colocam em risco a vida de todos, continuarão acontecendo com frequência.

Este trabalho propiciou um panorama geral sobre a necessidade de pesquisas apuradas sobre a relação descargas atmosféricas-e-a-população, tanto nos quesitos exigência e cumprimento normativos, quanto na questão dos meios e formas de proteção individual diante situação de chuvas de tempestades.

Aponta, também, um caminho para os desdobramentos de pesquisa de graduação e de pós-graduação, na busca de melhor compreender o fenômeno das descargas atmosféricas e suas efetivas proteções.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Web site do GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA – ELAT. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em 05/07/2015.
2. Web site do INSITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 05/07/2015.
3. Web Site da Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional -PRODIST. Módulo 9–Ressarcimento de Danos Elétricos. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo9_Revisao_0.pdf. Acesso em 02/07/2015. Acesso em 05/07/2015.
4. Web site da ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP–SP. Disponível em: www.estacao.iag.usp.br/. Acesso em 05/07/2015.
5. UMAN, Martin A. **The lightning discharge**. In: ACADEMIC PRESS, Orlando, Florida, 1987.
6. VISACRO FILHO, S. **Atmosféricas Descargas: Uma abordagem para a engenharia**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.
7. HEIDLER, F., ET AL. **Parameters of lightning current given in IEC 62305-background, experience and outlook**. Proceedings of 29th Int. Conference on Lightning Protection. 2008.
8. KINDERMANN, G.; **Descargas Atmosféricas**, Sagra-DC Luzzatto. Rio Grande do Sul, 1992.
9. Web site da revista O SETOR ELÉTRICO. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/1581-seja-muitissimo-bem-vinda.html>. Acesso em 05/07/2015.
10. MODENA, Jobson. **Manual para Instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos**. Eletricidade Moderna, São Paulo, set./2006.
11. MANGOLD, Vernon. **Life and Lightning The Good Things of Lightning**. Universal Publishers, Orlando, 1999. p 7-19.
12. MEDEIROS, Marcelo Brilhante; FIEDLER, Nilton Cezar. **Ciência Florestal. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: Desafios para a conservação da biodiversidade**. 2004. p 159-161.

13. Web site do Jornal Diário da Manhã. Disponível em:
<http://www.dm.com.br/mundo/2012/09/venezuela-raio-provocou-fogo-em-refinaria-diz-ministro.html#>. Acesso em 05/07/2015.
14. Web site do Jornal O Dia. Disponível em: <http://odia.ig.com.br/noticia/rio-de-janeiro/2015-02-10/acidente-com-aviao-que-partiu-do-tom-jobim-foi-causado-por-raio.html>. Acesso em 05/07/2015.
15. Web site do Correio Braziliense. Disponível em:
http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2015/04/05/interna_cidadesdf,478298/dois-homens-morrem-eletrocutados-durante-temporal-em-condominio-no-lag.shtml. Acesso em 05/07/2015.
16. GOVERNO DE SÃO PAULO. **Manual de Orientação para a manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosférica nas escolas-para-raios**. FDE. Ed.: CTP, São Paulo, 2009. p. 1-24.
17. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Introdução à Eletrostática (notas de aula). Instituto de Física de São Carlos. São Paulo, 2010
18. ABNT, NBR. 5419: 2005 – **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
19. Web site da MSPC Engenharia. Disponível em:
http://www.mspc.eng.br/tecdiv/im02/para_raios_20.png. Acesso em: 05/07/2015.
20. MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 7ª Edição.
21. ABNT, NBR. 5410: 2004 **-Instalações elétricas de baixa tensão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
22. Web site da Termotécnica Para-Raios. Disponível em: <http://www.tel.com.br/informacoes-tecnicas/normas-sobre-spda/nbr-5419/>. Acessado em 02/07/15.
23. Web site do Google Maps. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 05/07/2015.
24. KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. Bahia: Via Litterarum, 2010.
25. Web Site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:
http://www.inpe.br/webelat/imagesNovoLayout/arte/infografico_3_alta.jpg. Acesso em 05/07/2015.

ANEXOS

ANEXO-1

QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA

O presente questionário tem como objetivo levantar dados sobre os danos e transtornos causados por raios no Distrito Federal. Portanto as perguntas seguintes se aplicam a QUALQUER PESSOA que já teve algum tipo de experiência com raios ou conhece alguém que tenha passado por isso, contanto que tenha acontecido no DF.

Você pode relatar também a experiência de qualquer outra pessoa, como amigos, vizinhos etc.

1. O local atingido pelo raio foi:

Na opção "Outro", sinta-se livre para escrever qualquer lugar onde o raio caiu, podendo ser até mesmo na rua, ou em algum poste. Pode ser também no local onde você trabalha. Independente do local, favor informar o tipo de edificação que se trata. Exemplo: Comércio Local - Bloco de 2 andares // Escola - 3 pavimentos.

a) Minha casa.

c) Meu Prédio.

b) Meu condomínio.

d) Outro.

2. Se marcou na pergunta (1) a opção "Minha Casa", quantos andares sua casa possui?

a) 1

d) Não marquei minha casa.

b) 2

e) Outro.

c) 3

3. Se marcou na pergunta (1) a opção "Meu prédio", quantos andares seu prédio possui?

a) 3

c) Não marquei meu prédio.

b) 6

d) Outro.

4. Qual a cidade do Distrito Federal e o bairro dessa ocorrência?

Exemplo: Brasília - Asa Norte // Sobradinho - Grande Colorado

5. Você sabe se o raio atingiu diretamente a edificação ou caiu nas proximidades?

"Diretamente - Exemplo: No telhado da casa, na antena de TV etc.

Proximidades - Exemplo: Em uma árvore no quintal, ou em um poste de energia em sua rua.

Obs.: Caso não saiba a resposta, basta deixar em branco"

6. Algum aparelho elétrico danificado por esse raio? Se sim, qual(ais)?

"Exemplo: SIM - TV, microondas etc. // NÃO."

7. Houve algum tipo de acidente com pessoas quando o raio caiu? Se Sim, como aconteceu?

Exemplo: SIM - Choque enquanto a pessoa tomava banho, ou falava ao telefone. // NÃO.

8. Você se lembra mais ou menos o ano em que isso aconteceu?

9. Você já ouviu falar de para-raios?

a) Sim

b) Não

10. No local onde esse raio caiu, existia para-raios?

a) Sim

b) Não

c) Não sei.

11. Você já ouviu falar de DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos?

a) Sim

b) Não

ANEXO-2

TABELAS DE RESSARCIMENTO DA CEB

PROCESSOS DE RESSARCIMENTO DE DANOS ANO 2012							
Mês	Processos	Processos Analisados			Processos	Valores	Vistorias
	Abertos	Deferidos	Indeferidos c/ Parcer	Indeferidos Dec. de Prazo	Pagos		
Jan	425	49	191	61	41	R\$ 15.265,30	68
Fev	483	25	204	51	22	R\$ 13.552,56	42
Mar	420	64	216	164	75	R\$ 12.734,46	71
Abr	388	124	177	190	68	R\$ 35.881,74	54
Mai	206	54	116	178	112	R\$ 34.248,83	85
Jun	124	32	74	481	42	R\$ 35.109,97	23
Jul	196	77	66	157	63	R\$ 26.287,99	29
Ago	182	66	55	89	68	R\$ 26.371,31	18
Set	246	37	98	43	43	R\$ 15.798,91	10
Out	471	43	147	121	33	R\$ 11.455,43	27
Nov	570	46	217	54	35	R\$ 11.128,85	71
Dez	489	45	192	224	34	R\$ 9.770,73	48
TOTAL	4200	662	1753	1813	636	R\$247.606,08	546
MEDIA/MÊS	350	55,17	146,08	151,08	53	R\$ 20.633,84	45,5
TOTAL DE PROC. ANALISADOS		15,66%	41,46%	42,88%	%	Média p/ Proc.	%
		4228			96,07%	R\$ 389,32	12,91%

PROCESSOS DE RESSARCIMENTO DE DANOS ANO 2013

Mês	Processos Abertos	Processos Analisados			Processos Pagos	Valores	Vistorias
		Deferidos	Indeferidos c/ Parecer	Indeferidos Dec. de Prazo			
Jan	494	60	222	20	26	R\$ 11.143,02	86
Fev	379	78	159	247	36	R\$ 14.586,72	70
Mar	491	102	168	272	82	R\$ 31.092,88	77
Abr	381	84	190	210	83	R\$ 49.562,00	75
Mai	152	90	59	178	59	R\$ 39.809,00	32
Jun	94	53	29	278	37	R\$ 11.086,00	8
Jul	168	42	48	175	64	R\$ 38.015,26	26
Ago	159	40	47	115	35	R\$ 15.799,00	20
Set	182	48	38	56	41	R\$ 24.856,97	13
Out	432	50	170	86	47	R\$ 31.405,80	36
Nov	47	10	12	94	0	R\$ -	0
Dez	491	54	195	100	30	R\$ 55.104,80	0
TOTAL	3470	711	1337	1831	540	R\$322.461,45	443
MEDIA/MÊS	289,166667	59,25	111,42	152,58	45	R\$ 26.871,79	36,91667
TOTAL DE PROC. ANALISADOS		18,33%	34,47%	47,20%	%	Média p/ Proc.	%
		3879			75,95%	R\$ 597,15	11,42%

PROCESSOS DE RESSARCIMENTO DE DANOS ANO 2014

Mês	Processos Abertos	Processos Analisados			Processos Pagos	Valores	Vistorias
		Deferidos	Indeferidos c/ Parecer	Indeferidos Dec. de Prazo			
Jan	362	76	171	176	55	R\$ 33.608,47	0
Fev	259	60	116	103	65	R\$ 39.497,32	0
Mar	303	55	127	86	40	R\$ 18.409,78	0
Abr	348	76	154	154	59	R\$ 33.477,48	1
Mai	143	62	55	201	61	R\$ 46.717,61	13
Jun	106	34	34	118	41	R\$ 21.415,28	8
Jul ***	120	54	40	155	59	R\$ 41.368,88	2
Ago	110	53	27	107	44	R\$ 24.765,27	2
Set	173	28	47	72	31	R\$ 49.363,30	0
Out	348	34	119	38	37	R\$ 21.766,50	0
Nov	295	33	124	78	25	R\$ 23.087,25	12
Dez	353	29	150	96	27	R\$ 19.329,03	7
TOTAL	2920	594	1164	1384	544	R\$372.806,17	45
MEDIA/MÊS	243,333333	49,50	97,00	115,33	45,333333	R\$ 31.067,18	3,75
TOTAL DE PROC. ANALISADOS		18,91%	37,05%	44,05%	%	Média p/ Proc.	%
		3142			91,58%	R\$ 685,31	1,43%