



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DOS RAIOS ATRAVÉS DE CÂMERAS DE VÍDEO E SENSORES DE CAMPO ELÉTRICO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq)

Felipe de Lima Mantovani (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bolsista
PIBIC/CNPq)

E-mail: felipe.mantovani@unesp.br

Marcelo Magalhães Fares Saba (INPE/CCST, Orientador)

E-mail: marcelo.saba@inpe.br

Paola Beatriz Lauria (INPE/CCST, Coorientadora)

E-mail: paola.lauria@inpe.br

INPE
São José dos Campos
2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DOS RAIOS ATRAVÉS DE CÂMERAS DE VÍDEO E SENSORES DE CAMPO ELÉTRICO

Felipe de Lima Mantovani

Relatório Final de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr. Marcelo
Magalhães Fares Saba e Coorientado pela
Mestranda Paola Beatriz Lauria.

INPE
São José dos Campos
2021

RESUMO

Os raios são fenômenos atmosféricos muito recorrentes em baixas latitudes, entre os trópicos, locais mais quentes e úmidos. Os primeiros estudos relacionados a este tipo de fenômeno baseavam-se na estimativa de sua ocorrência. Com o avanço da tecnologia, foi possível adquirir imagens, por intermédio de câmeras de alta velocidade, da propagação dessas descargas, além de dados físicos como sinal de campo elétrico, corrente elétrica e raios-x produzidos pelo canal do raio. Os raios são divididos em três tipos: intranuvem, descendente e ascendente, podendo ainda ser de polaridade positiva ou negativa. O raio analisado neste trabalho foi um ascendente, que parte do solo em direção à nuvem. Esse tipo de descarga ocorre com menor frequência, pois precisa de situações muito singulares para ser iniciada. Ocorre apenas em estruturas consideradas altas, partindo sempre do mesmo ponto de origem. Este trabalho apresenta a classificação dos raios registrados durante a campanha realizada em 2018 e 2021 nas cidades de São Paulo e São José dos Campos, onde foram instaladas câmeras de alta velocidade e sensores de campo elétrico próximos ao local do evento. Primeiramente foi desenvolvida uma tabela contendo o tipo de raio (intranuvem, descendente ou ascendente), a polaridade (negativa ou positiva) e o tempo de sua ocorrência (adquirido por intermédio de antena de GPS). Esses dados foram associados ao sinal de campo elétrico ambiente, para que a ocorrência da descarga elétrica fosse confirmada. Em seguida, com a utilização das informações da tabela e imagens da câmera rápida, foram feitas análises preliminares do comportamento das descargas de retorno subsequentes de um raio ascendente associadas a variação do campo elétrico ambiente produzido por elas. Essas análises irão auxiliar no desenvolvimento da pesquisa referente a raios ascendentes feita no INPE.

Palavras-Chave: Raio Ascendente. Câmera rápida. Campo elétrico.

STUDY OF LIGHTNING THROUGH VIDEO CAMERAS AND ELECTRIC FIELD SENSORS

ABSTRACT

Lightning is a very recurrent atmospheric phenomenon at low latitudes, between the tropics where it is hotter and more humid. The first studies related to this type of phenomenon were based on the estimation of its occurrence. With the advancement of technology, it was possible to acquire images, through high-speed cameras, of the propagation of these discharges, as well as physical data such as an electric field signal, electric current and x-rays produced by the lightning channel. The lightnings are divided into three types: intracloud, downward and upward, and may also be of positive or negative polarity. The radius analyzed in this work was an upward one, which starts from the ground towards the cloud. This type of discharge occurs less frequently, as it needs very unique situations to be initiated. It only occurs in structures considered tall, always starting from the same point of origin. This work presents the classification of the lightning recorded during the campaign carried out in 2018 and 2021 in the cities of São Paulo and São José dos Campos, where high-speed cameras and electric field sensors were installed near the event site. First, a table was developed containing the type of lightning (intracloud, downward or upward), the polarity (negative or positive) and the time of its occurrence (acquired through a GPS antenna). These data were associated with the ambient electric field signal, so that the occurrence of the electric discharge could be confirmed. Then, using the information from the table and images from the fast camera, preliminary analyzes were made of the behavior of the subsequent return discharges of an upward lightning associated with the variation of the ambient electric field produced by them. These analyzes will assist in the development of research on rising lightning carried out at INPE.

Keywords: Upward Lightning. Fast camera. Electric field.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1: Cumulonimbus - Nuvem de Tempestade
- Figura 2.2: Distribuição das cargas elétricas dentro de uma nuvem de tempestade segundo as medições de Simpson e Scrase 1937, Simpson e Robinson 1941 e Williams 1989.
- Figura 2.3: Porcentagem de ocorrência conforme tipo de raios.
- Figura 2.4: Tipos de Descargas Atmosféricas
- Figura 2.5: Raio Intranuvem
- Figura 2.6: Raio Descendente Negativo
- Figura 2.7: Raio Descendente Positivo
- Figura 2.8: Raio Ascendente
- Figura 2.9: Gráfico apresentado em resposta à uma descarga elétrica pelo sensor de campo elétrico
- Figura 3.1: Locais de posicionamento dos equipamentos no Pico do Jaraguá
- Figura 3.2: Câmeras de alta velocidade Phantom.
- Figura 3.3: Câmeras fotográficas Nikon.
- Figura 3.4: Baterias organizadas em uma caixa de proteção
- Figura 3.5: Antena de campo elétrico utilizada e painel solar.
- Figura 3.6: Teste de Fibra Óptica com gerador de função e osciloscópio.
- Figura 4.1: Fragmentos da Tabela do Raio Ascendente de 2018
- Figura 4.2: Fotografia do Ascendente e Montagem através dos vídeos da *Phantom*
- Figura 4.3: Gráfico em resposta do Campo Elétrico de uma DRS do raio Ascendente de 2018
- Figura 4.4: Diferentes raios encontrados nos vídeos.
- Figura 4.5: Ilustração da organização do Diário do Plantonista conforme um raio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 Nuvens de Tempestade	10
2.2 Descargas Atmosféricas	12
2.2.1 Raios intranuvem	13
2.2.2 Raios descendentes	14
2.2.2.1 Negativos	14
2.2.2.2 Positivos	15
2.2.3 Raios ascendentes	16
2.3 Campo Elétrico	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5. CONCLUSÃO	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

Os Raios são fenômenos já observados desde eras antigas, onde os povos do norte acreditavam serem sinais de deuses e tribos no continente africano a orixá Iansã (SANTOS, 2019; MATHIAS, 2020). Ambos os conceitos estão associados à uma força inconstante e grandiosa que se espalha nos ares e até mesmo chegando ao solo, causando grandes danos. Acompanhado dessa força luminosa que rasga os céus, conhecida hoje como raio, vinham as grandes nuvens de tempestade trazendo chuvas torrenciais e enchentes, granizo, ventos intensos e eventualmente os temíveis tornados.

Os primeiros estudos relacionados a este tipo de fenômeno baseavam-se na estimativa de sua ocorrência. Com o avanço da tecnologia, foi possível adquirir imagens, por intermédio de câmeras de alta velocidade, da propagação dessas descargas, além de dados físicos como sinal de campo elétrico, corrente elétrica e raios-x produzidos pelo canal do raio. Os raios são divididos em três tipos: intranuvem, descendente e ascendente, podendo ainda ser de polaridade positiva ou negativa.

O Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) contém uma série de dados armazenados para análise de diversos pesquisadores. O grupo conta com equipamentos sofisticados para o registro dos raios, como câmeras de alta velocidade e sensores de campo e corrente elétrica com a finalidade de registrar os processos físicos da propagação de raios ascendentes, descendentes e intranuvem.

Este trabalho apresenta informações de um vídeo adquirido por uma câmera de alta velocidade a uma taxa de 35.000 fps (*frames* por segundo) associadas à dados de campo elétrico, e a importância de organizar tais dados para prospecção de outras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Nuvens de Tempestade

As nuvens são formadas através dos efeitos do calor irradiado pelo Sol que atinge a superfície da Terra. Este calor evapora a água e, por ser menos denso que o ar ao nível do mar, esse vapor d'água sobe e encontrando regiões mais frias da atmosfera acaba se condensando formando pequenas partículas de água que compõem as nuvens. Porém, as nuvens de tempestade distinguem-se em seus aspectos. O nome técnico dado a essas nuvens é cumulonimbus (Cb) (Figura 2.1), e têm sua formação a partir das cumulus; nuvens baixas que iniciam seu desenvolvimento em aproximadamente 1.000 m de altura (WALLACE; HOBBS, 2006).

Somente as nuvens de tempestades, conhecidas como cumulonimbus, possuem as propriedades necessárias para produzir raios: ventos intensos, grande extensão vertical e partículas de gelo e água em diversos tamanhos, também a eletrização que as compõem. Essa composição não é completamente entendida e continua sendo alvo de investigação. Existem evidências de que a separação de carga elétrica em nuvens de tempestade ocorra através das colisões entre os granizos e os cristais de gelo, devido às suas diferentes velocidades. Os experimentos em laboratório têm mostrado que a carga adquirida pelos granizos depende da temperatura do ambiente, do conteúdo de água líquida da nuvem, da velocidade de impacto e dos tamanhos dos cristais de gelo (SABA, 2001; FERNANDES, 2005; LAURIA, 2021).

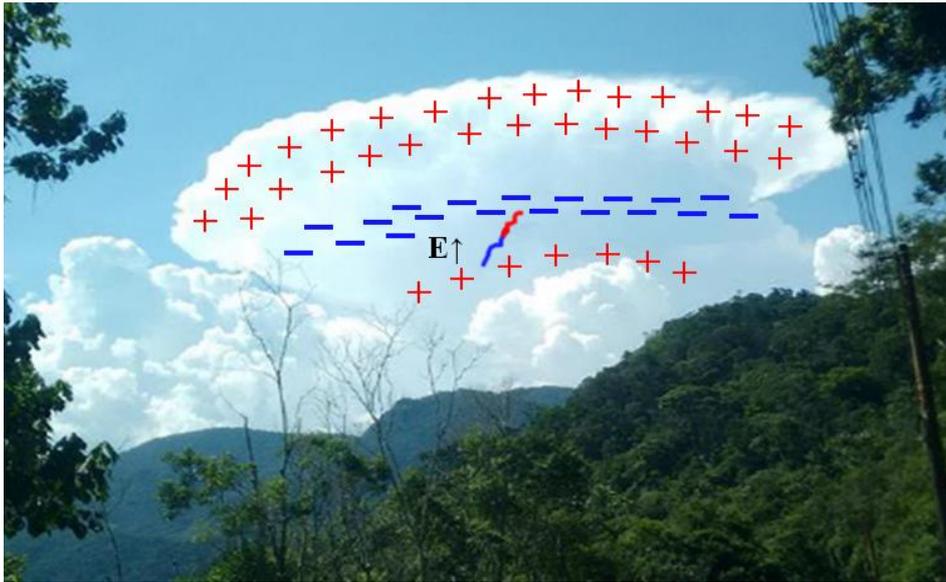
Previamente acreditava-se que nuvens de tempestades típicas eram compostas por duas regiões horizontais carregadas eletricamente e dispostas uma sobre a outra (dipolo). Contendo uma concentração de cargas negativamente na área inferior e outra positivamente na superior e as intensidades da carga total em ambas regiões seriam aproximadamente iguais. Estudos feitos posteriormente através das medições do campo elétrico em função da altura dentro de uma nuvem de tempestade, verificou que em uma tempestade típica as regiões principais formam um dipolo, porém devido ao perfil do campo elétrico observado foi necessário acrescentar uma terceira região positiva, com intensidade menor e abaixo da região negativa (Figura 2.2). Esta disposição de três regiões é denominada de dipolo-tripolar. (SIMPSON; SCRASE, 1937; SIMPSON; ROBINSON, 1941; WILLIAMS, 1989).

Figura 2.1: Cumulonimbus - Nuvem de Tempestade



Fonte: Cedida por Lauria (2015).

Figura 2.2: Distribuição das cargas elétricas dentro de uma nuvem de tempestade segundo as medições de Simpson e Scrase 1937, Simpson e Robinson 1941 e Williams 1989.



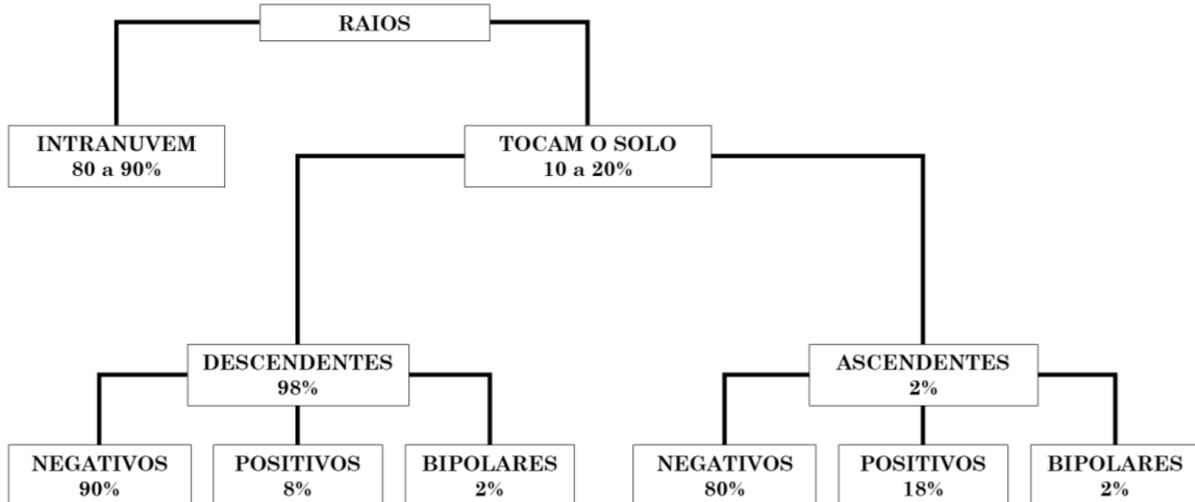
Fonte: Cedida por Lauria (2015), adaptado pelo autor (2021).

Entre as cargas de diferentes polaridades há grande intensidade de campo elétrico. A interação entre essas cargas é tão alta que acaba criando a intensidade luminosa que se espalha pelas nuvens até mesmo chegando ao solo: a descarga elétrica ou raio. Esses raios atingem o chão (descendentes) costumam ter uma extremidade contendo uma carga líquida de polaridade negativa ou positiva. Comumente os negativos ocorrem no início de tempestades durante seu desenvolvimento convectivo - associada a rajadas de vento e raios descendentes. Quando não há mais o auxílio de ventos e a forte precipitação, permanece apenas a parte estratiforme da nuvem com baixa precipitação e excesso de cargas positivas. Nesse momento os raios descendentes positivos e os ascendentes (surge do solo à nuvem) costumam ocorrer (LAURIA, 2021).

2.2 Descargas Atmosféricas

O Raio é uma descarga atmosférica autopropagante muito intensa. As descargas atmosféricas podem ocorrer de várias formas e são classificadas, de acordo com o local onde se originam e terminam, os raios possuem polaridades positiva ou negativa, podendo ser intranuvem, descendentes (nuvem-solo) ou ascendentes (solo-nuvem) (UMAN, 2012; AKINYEMI et al., 2014; ROMERO; PIANTINI, 2015). A Figura 2.3 ilustra os tipos de raios, suas polaridades e frequência de ocorrência (RAKOV; UMAN, 2003).

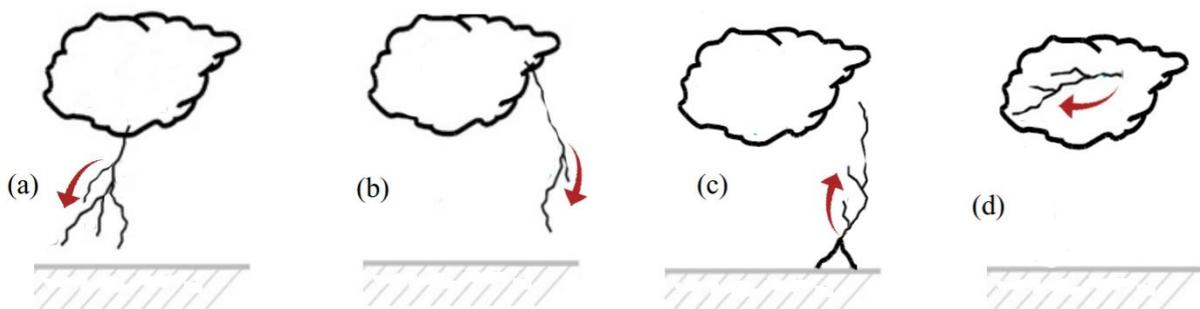
Figura 2.3: Porcentagem de ocorrência conforme tipo de raios.



Fonte: Lauria (2021)

Na Figura 2.4 abaixo vemos uma melhor ilustração do sentido das descargas elétricas sendo a, b e c, raios que tocam o solo, classificam respectivamente como: Raio Negativo, Raio Positivo e Raio Ascendente, e em c vemos um Raio Intranuvem.

Figura 2.4: Tipos de Descargas Atmosféricas



Fonte: Rachidi and Rubinstein (2009), adaptado pelo autor (2021).

2.2.1 Raios intranuvem

Descargas elétricas que ocorrem dentro da nuvem (intranuvem), são as quais não chegam a tocar o solo, do total de ocorrência 80 a 90% dos raios são intranuvem e os 10% a 20% restantes atingem o solo (RAKOV; UMAN, 2003). Geralmente ocorre quando o centro de cargas positivas na parte superior da nuvem interage com o centro de cargas negativas provocando uma descarga elétrica luminosa no interior da nuvem (NAG, 2010; UMAN, 2012). Essa alta porcentagem de ocorrência é consequência do menor caminho para uma descarga se propagar em meio aos centros de cargas localizados no interior da nuvem. A Figura 2.5 apresenta uma imagem de raio intranuvem.

Figura 2.5: Raio Intranuvem



Fonte: INPE (2021).

2.2.2 Raios descendentes

Os raios nuvem-solo, ou descendentes, têm origem no interior da nuvem e se conectam ao solo. Os raios descendentes podem conter uma carga líquida de polaridade negativa ou positiva. Acredita-se que cerca de 90% dos raios que tocam o solo são descargas de raios negativos; enquanto menos de 10% são descargas de raios positivos.

2.2.2.1 Negativos

De acordo com Uman, 1987 e Rakov, 2007, em média, a descarga de raio nuvem-solo negativa é composta de 3 a 5 sequências de descarga de retorno, mas ocasionalmente, duas sequências de descargas de retorno ocorrem no mesmo canal de raio com um intervalo de tempo entre eles tão curto quanto 1 ms ou menos. Ou seja, em uma fração de tempo bem baixa o raio tocou duas vezes o ponto no solo, imperceptível a olho nu.

Em geral, esses raios são mais ramificados e produzem diversas terminações que tocam o solo. Os raios descendentes negativos ocorrem geralmente no início da tempestade (RAKOV; UMAN, 2003). Na Figura 2.6 apresenta um raio negativo e suas ramificações.

Figura 2.6: Raio Descendente Negativo



Fonte: INPE (2021).

2.2.2.2 Positivos

As descargas descendentes positivas estão associadas aos efeitos posteriores de descargas em uma tempestade prolongada, que finalmente resultam em descargas positivas descendentes; portanto, ocorrendo no final das tempestades. (UMAN, 1987; RAKOV, 2007). Constituem a minoria dos raios descendentes, correspondendo de 8 a 10% do total (RAKOV; UMAN, 2003). Embora ocorram com menor frequência, os raios positivos são responsáveis por danos maiores devido à maior intensidade de corrente elétrica, se comparado aos das descargas negativas. Na Figura 2.7 pode-se ver um Raio Descendente Positivo.

Figura 2.7: Raio Descendente Positivo



Fonte: INPE (2021).

2.2.3 Raios ascendentes

Os tipos de descarga atmosférica ascendente ocorreram a partir de estruturas altas (ANDERSON e ERIKSSON, 1980; UMAN, 1987; RAKOV, 2007). Surgindo, em sua maioria, no final da tempestade em resposta à perturbação na nuvem causada geralmente por líderes negativos associados a descargas intranuvem ou a raios descendentes positivos (SABA et al., 2016; SCHUMANN et al., 2019) (Figura 2.8).

Figura 2.8: Raio Ascendente



Fonte: INPE (2021).

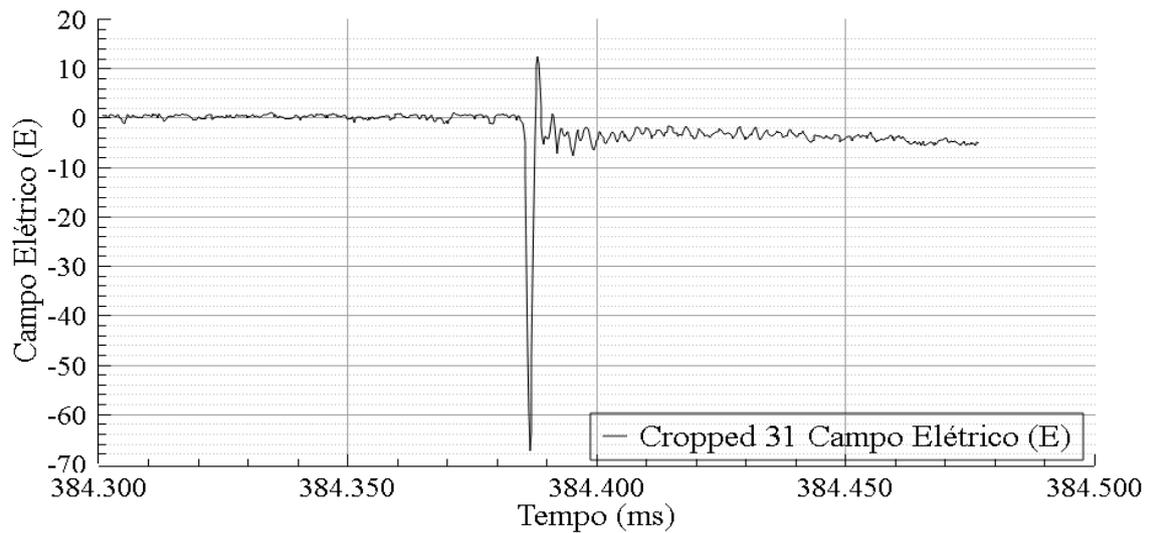
2.3 Campo Elétrico

Todas as descargas atmosféricas estão diretamente associadas ao rápido movimento de cargas elétricas. O estudo da medida da variação do campo elétrico, associada a esse movimento de cargas, auxilia no entendimento dos principais processos físicos do raio. Uma antena rápida tipo prato (“*fast flat antenna*”) é usada para registrar as variações do campo elétrico causadas pela descarga elétrica atmosférica. Apresentando tempo de decaimento de 0.5 milissegundos (ms) e taxa de aquisição de 5.000.000 amostras por segundo, resultando em um intervalo entre amostragens de 200 nanossegundos. Devido a essas características técnicas, a antena apresenta uma excelente resolução temporal, permitindo a reprodução da forma de onda do campo elétrico e visualizando a “assinatura” do campo elétrico característica de cada um dos processos que compõem as descargas elétricas. Permite, também, medidas mais confiáveis da variação na amplitude do campo elétrico durante a ocorrência desses processos (FERRO, 2008).

A Figura 2.9 apresenta a variação do campo elétrico produzido por um raio ascendente obtido através de uma antena de modelo tipo prato, de dipolo simples.

Figura 2.9: Gráfico apresentado em resposta à uma descarga elétrica pelo sensor de campo elétrico

1



Fonte: Autor (2021)

4

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta dos dados do presente trabalho abrange os anos de 2018 a 2020, tendo como perímetro de estudo a cidade de São Paulo. Os equipamentos estavam localizados próximos ao Pico do Jaraguá, situado no bairro do Jaraguá, a oeste da serra da Cantareira (Figura 3.1).

Figura 3.1: Locais de posicionamento dos equipamentos no Pico do Jaraguá



Fonte: INPE (2015).

Para o registro das descargas elétricas foram utilizados três tipos de câmeras:

- a) Câmeras de alta velocidade modelos: V711, V9, V2012;
- b) Câmeras Padrões: MV-CA013-20UM;

c) Câmeras Fotográficas: D200, D300 e D800.

As câmeras utilizadas no presente trabalho são da fabricante *Phantom Research*, Figura 3.3. Tais câmeras operam a uma taxa superior a 30.000 imagens por segundo (*frames per second* – fps). As câmeras foram posicionadas estrategicamente de forma a estarem direcionadas para o ponto mais alto do local. Além da mídia obtida pela gravação, também consta o horário de ocorrência da gravação com precisão de milissegundos obtido através de uma antena GPS (*Global Positioning System*). Os vídeos registrados dos eventos atmosféricos eram analisados no programa “*Phantom Camera Control Application*” utilizado para a análise das imagens e dados de hora.

Figura 3.2: Câmeras de alta velocidade *Phantom*.



Fonte: *Phantom Ametek*.

As câmeras fotográficas utilizadas, registravam o momento das descargas por intermédio da variação de luminosidade do ambiente operando automaticamente. A Figura 3.4 apresenta os modelos das câmeras Nikon D300 (a) e D800 (b), utilizando uma lente de amplificação.

Figura 3.3: Câmeras fotográficas Nikon.



Fonte: Nikon.

Além das câmeras de vídeo, foram instalados sensores de campo elétrico próximo ao Pico do Jaraguá, ativados por um operador no início da tempestade. A medição da variação do campo elétrico foi feita a partir de um modelo de antena, do tipo prato, de dipolo simples abastecida por baterias de 12 Volts (Figura 3.5) ligadas a um painel solar (Figura 3.6) e, para leitura dos dados de campo elétrico, utilizou o programa *SciDavis*, no qual também permite a plotagem e melhor manipulação dos dados.

Figura 3.4: Baterias organizadas em uma caixa de proteção



Fonte: Autor (2021).

Figura 3.5: Antena de campo elétrico utilizada e painel solar.

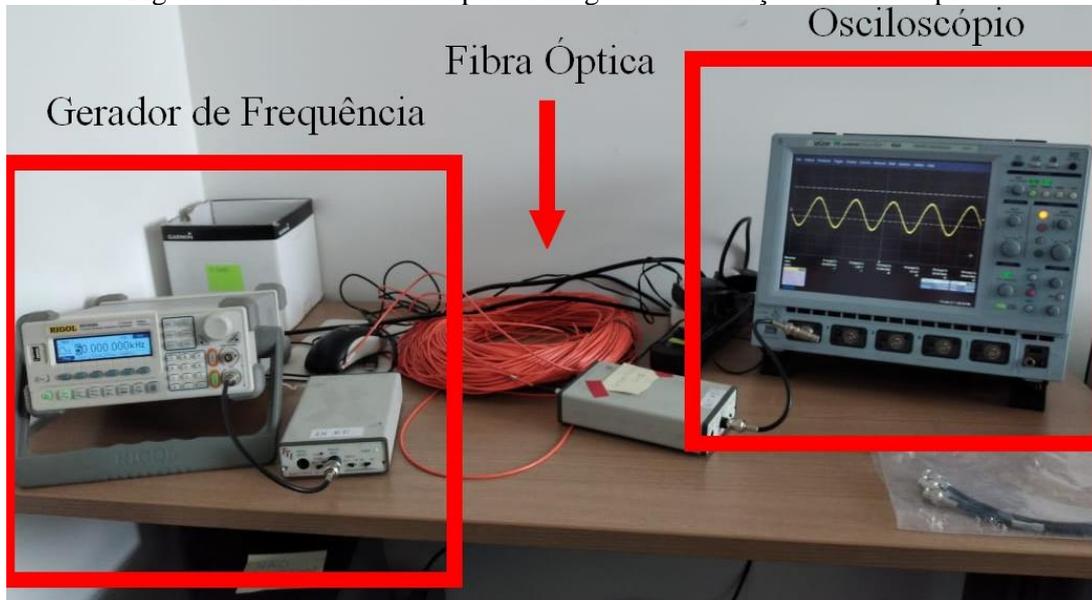


Fonte: INPE (2016).

A antena tipo prato mede a derivada do campo elétrico no tempo. O sinal obtido passa por um integrador, que fornece o sinal de campo elétrico. A frequência de operação do

integrador vai de 300 Hz a 1,5 MHz (SCHUMANN, 2016). O módulo integrador é ligado a um link de fibra óptica que transmite os dados para o módulo de aquisição do computador, a fibra era previamente testada com o uso de um osciloscópio e um gerador de frequência para melhor obtenção de dados diminuindo possíveis falhas no cabo (Figura 3.7).

Figura 3.6: Teste de Fibra Óptica com gerador de função e osciloscópio.



Fonte: Autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma análise prévia dos dados de vídeo e campo elétrico reunindo diferentes informações em uma tabela do Excel em categorias como: raio, data, hora, tipo (intranuvem, ascendente ou descendente), polaridade do raio, quadro detectado no vídeo, dados de luminosidade e amplitude do campo elétrico.

As análises foram executadas individualmente para cada vídeo e separadas na tabela por dia. Foi feita uma divisão organizada dos raios dentro de pastas e diários do plantonista, documento que reúne imagens e principais informações encontradas dos raios; como raios com maior intensidade de campo elétrico ou com muitas ramificações. Assim, padronizando e organizando todos os conteúdos de forma a facilitar a procura e qualificando os dados coletados até então.

Ao tratar de casos especiais como o Raio Ascendente de 2018, que ocorreu no Pico do Jaraguá, foi elaborada uma tabela individual (Figura 4.1), uma vez que seu comportamento era bem diferente dos outros. Este raio foi analisado de forma mais qualitativa para que características semelhantes as encontradas em outras descargas sejam mais fáceis de identificar.

Figura 4.1: Fragmentos da Tabela do Raio Ascendente de 2018

Raio		Data			Tempo								Ramificação	
Stroke	CH	year	month	day	hh	mm	ss	ms	ms Campo	Tempo de início da DRS	Intervalo entre as DRS (ms)	Frame	Quantidade de frames de cada DRS	Retorno
+		2018	11	24	21	20	29	57.116	57.148	57.116				
#0	0	2018	11	24	21	20	29	60.263	60.263	57.116		-16254	-16135	
#1	6	2018	11	24	21	20	29	291.586	291.588	291.542	-	-7388	18	6 → 4
#2	4	2018	11	24	21	20	29	306.640	306.680	306.640	15.054	-6817	13	2 → 3,4,5
#3	5	2018	11	24	21	20	29	324.726	324.576	324.541	18.086	-6140	17	5
#4	1	2018	11	24	21	20	29	332.156	332.052	331.998	7.430	-5858	11	1
#5	3	2018	11	24	21	20	29	334.358	334.360	334.324	2.202	-5770	11	3 → 4
#6	2	2018	11	24	21	20	29	343.024	342.822	342.786	8.666	-5450	12	2
#7	5	2018	11	24	21	20	29	387.921	387.946	387.895	44.897	-3744	8	5 → 4,3,2
#8	2	2018	11	24	21	20	29	409.577	409.293	409.259	21.656	-2936	12	2
#9	2	2018	11	24	21	20	29	430.492	430.132	430.095	20.915	-2148	14	2
#10	5	2018	11	24	21	20	29	433.876	433.693	433.665	3.384	-2013	7	4,5
#11	5	2018	11	24	21	20	29	466.849	466.556	466.505	32.973	-771	21	5 → 2
#12	2	2018	11	24	21	20	29	490.196	489.653	489.615	23.347	103	29	5
#13	2	2018	11	24	21	20	29	495.247	495.196	495.141	5.051	312	6	2
#14	5	2018	11	24	21	20	29	506.008	505.932	505.876	10.761	718	9	5
#15	2	2018	11	24	21	20	29	516.902	516.554	516.505	10.894	1120	19	2
#16	2	2018	11	24	21	20	29	586.073	585.869	585.808	69.171	3741	19	2
#17	2	2018	11	24	21	20	29	616.269	616.073	616.031	30.196	4884	15	2
#18	2	2018	11	24	21	20	29	639.325	639.046	639.008	23.056	5753	8	2
#19	2	2018	11	24	21	20	29	653.604	653.380	653.339	14.279	6295	17	2
#20	2	2018	11	24	21	20	29	668.437	668.169	668.120	14.833	6854	7	2
#21	2	2018	11	24	21	20	29	696.994	696.187	696.148	28.557	7914	8	2
Luminosidade via Vídeo														
Tempo do fim da luminosidade no canal (ms)		Intervalo entre as DRS - corrente (ms)		Tempo de corrente (ms)		Tempo de subida da DRS (µs)		Frame		Kind of Discharge		Pico de Corrent e		Campo Elétrico Amplitude do Campo Elétrico
87.258		-		30		1.2		-15114		CG UP		+		
296.778		-		5.236		2.2		-7190		SRS		-		-28.12679913
312.220		9.862		5.580		1.8		-6006		SRS		-		-31.95204361
327.661		12.321		3.120		1.6		-6022		SRS		-		-27.90178473
333.796		4.337		1.798		1.8		-5790		SRS		-		-32.1770582
337.365		0.528		3.041		1.8		-5655		SRS		-		-17.55112265
347.122		5.421		4.336		1.4		-5286		SRS		-		-34.87723092
394.346		40.773		6.451		1.8		-3500		SRS		-		-90.6800038
411.639		14.913		2.380		1.6		-2846		SRS		-		-37.80241803
432.977		18.456		2.882		2.4		-2039		SRS		-		-33.97717334
439.525		0.688		6.160		1.6		-1780		SRS		-		-25.20161202
471.432		26.680		4.927		1.4		-585		SRS		-		-48.3780945
482.655		18.183		3.040		1.6		218		SRS		-		-20.70132416
497.309		2.486		2.168		1.6		394		SRS		-		-35.10224531
508.758		8.567		2.882		2.2		827		SRS		-		-42.30270589
519.961		7.747		2.856		1.6		1228		SRS		-		-28.35181352
589.987		66.447		4.099		3.6		3896		SRS		-		-51.75331039
618.886		26.124		2.855		1.6		4992		SRS		-		-49.95377897
642.208		20.122		3.200		2		5874		SRS		-		-58.95377897
655.534		11.131		2.195		1		6378		SRS		-		-29.0268567
671.029		12.586		2.909		2		6964		SRS		-		-69.30443305
706.143		25.119		9.995		1.8		8282		SRS		-		-89.55572842
908.525		36.515		165.867		2.2		15946		SRS		-		-53.55342554
1,003.793		80.091		15.177		2		19549		SRS		-		-86.53650414
Luminosidade Tower and Location Info														
Tempo da luminosidade 76 frames (2009 microssegundos) antes da DRS (ms)		Frame		Luminosidade média antes de cada DRS		Tower		Latitude		Longitude		Peak Current (kA)		Time Correction
0		0		0		0		0		0		0		0
1		0		0		0		0		0		0		0
289.533		-7464		65		0		0		0		0		0
304.631		-6893		62		0		0		0		0		0
322.532		-6216		63		0		0		0		0		0
329.989		-5934		63		0		0		0		0		0
332.315		-5846		166		0		0		0		0		0
340.777		-5526		62		0		0		0		0		0
385.886		-3820		61		0		0		0		0		0
407.250		-3012		64		0		0		0		0		0
428.086		-2224		60		0		0		0		0		0
431.656		-2089		70		0		0		0		0		0
464.496		-847		64		0		0		0		0		0
487.606		27		62		0		0		0		0		0
493.132		236		60		0		0		0		0		0
503.867		642		55		0		0		0		0		0
514.496		1044		63		0		0		0		0		0
583.799		3665		60		0		0		0		0		0

Fonte: Autor (2021).

O raio ascendente, classificado como tipo “UP” na tabela do Excel, ocorreu no dia 24/11/2018, o mesmo apresentou 29 descargas de retorno subsequentes, o que indica a visualização do canal inteiro iluminado 29 vezes com a torre do Pico do Jaraguá. Um raio descendente positivo, que deu origem ao ascendente, foi registrado aproximadamente 200 milissegundos antes do raio ascendente surgir na extremidade mais alta da torre no Pico do Jaraguá, Figura 4.2.

Figura 4.2: Fotografia do Ascendente e Montagem através dos vídeos da *Phantom*



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica, adaptado pelo autor (2021)

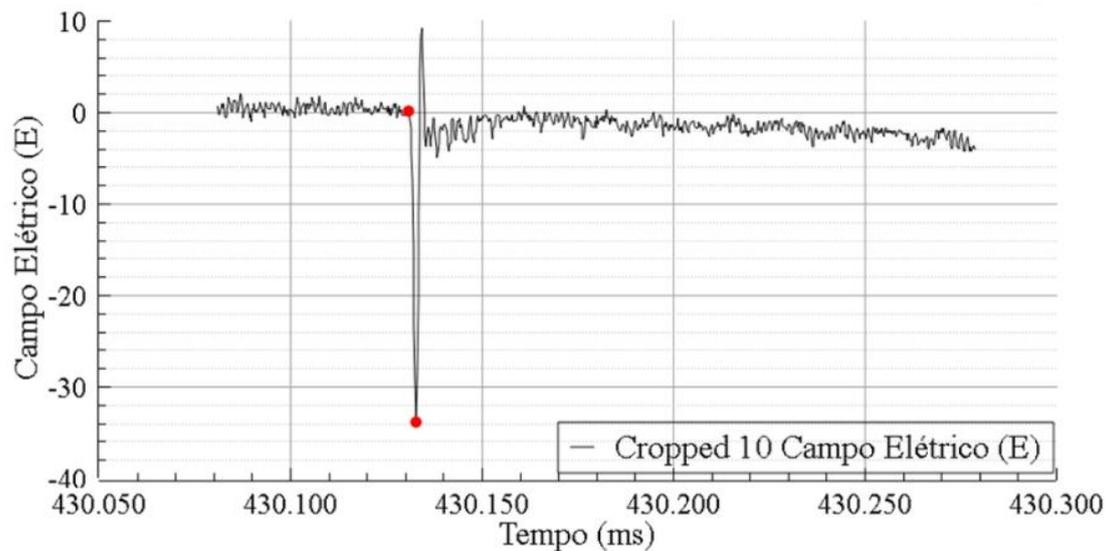
As descargas de retorno subsequentes ocorreram em 6 canais diferentes. O canal com maior número de descargas de retorno foi o de número 2 com 21 descargas, sendo também o qual manteve-se por mais tempo ativo, isto é, em frações de milissegundos. Os canais 1, 3 e 6 tiveram apenas uma descarga de retorno e o canal 5 teve 5 descargas, totalizando as 29 descargas de retorno subsequentes.

Além do intervalo entre as descargas observadas, foi registrado o tempo que a descarga demora para atingir a Torre por intermédio da quantidade de quadros adquiridos pela câmera rápida, para futuramente encontrar a velocidade de cada líder de recuo.

Esses dados foram apurados com a visualização da resposta do Campo Elétrico onde é possível verificar o tempo de ápice da intensidade e, com isso, aferirmos o tempo que aquela descarga ocorreu. Também, computamos o intervalo de luminosidade ativa no vídeo, onde verifica-se a parábola para cada descarga no sensor e, através do seu comprimento, identificarmos o tempo de subida da DRS em microssegundos (ms).

Verifica-se na Figura 4.3, os pontos vermelhos contemplam uma das parábolas utilizadas para averiguar o tempo de subida de uma das 29 descargas de retorno subsequente. A resposta dos dados obtidos pelo Campo Elétrico de um ascendente é sua descarga de retorno subsequente que ocorre previamente a uma elevação semelhante à uma descarga de quebra de rigidez.

Figura 4.3: Gráfico em resposta do Campo Elétrico de uma DRS do raio Ascendente de 2018

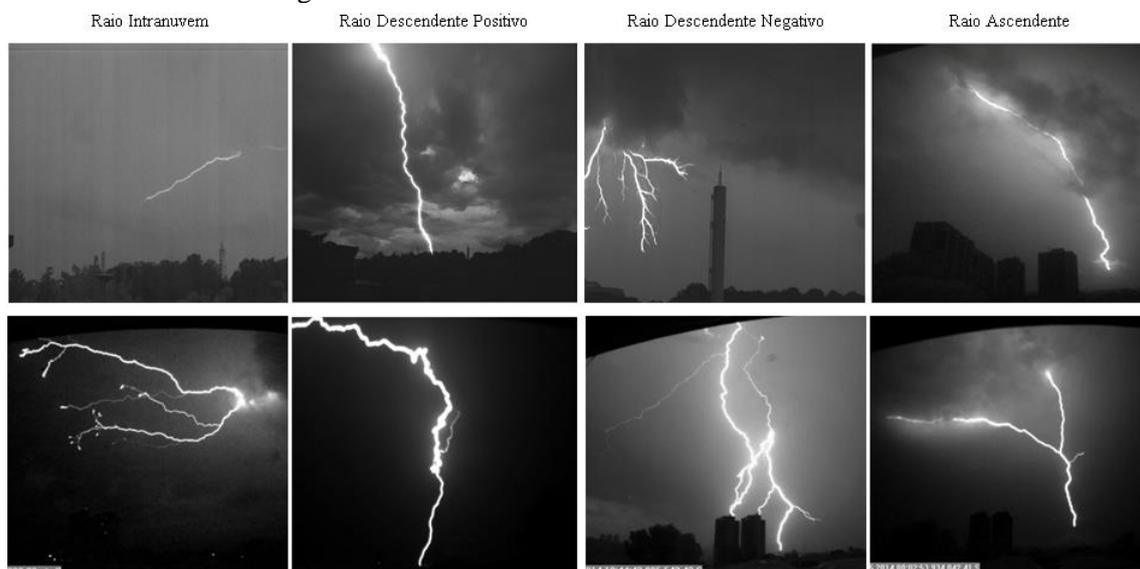


Fonte: Adaptado pelo autor (2021).

A maior intensidade de campo elétrico encontrada nesse caso foi de -98.556 UR (Unidade Relativa) com retorno no Canal 2 e a menor foi de -17.551 UR (Unidade Relativa), com retorno no Canal 3.

Os mesmos procedimentos de análise do vídeo, classificação e organização dos dados identificados nas descargas atmosféricas foram efetuados para o conteúdo disponível nas Matrizes dos anos de 2018 a 2021. Registrando através de imagens e da tabela do Excel todas as informações possíveis, encontrando uma série de raios diferentes em formato e propriedades, assim como no sensor de campo elétrico; sempre os classificando como seu Tipo (Figura 4.4): Intranuvem, Descendente Positivo, Descendente Negativo e Ascendente.

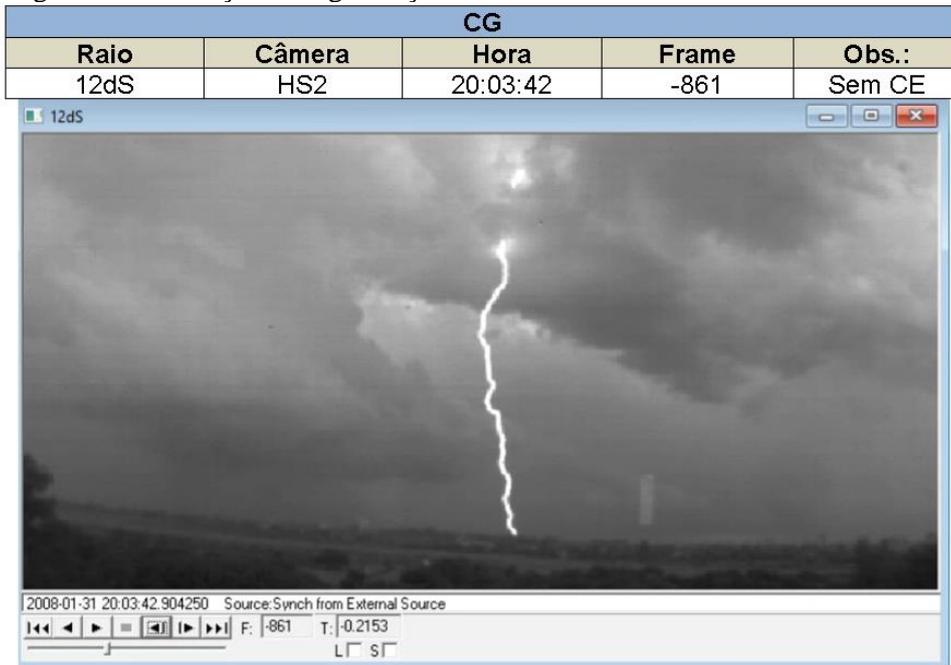
Figura 4.4: Diferentes raios encontrados nos vídeos.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

Quando o raio era visualizado no vídeo marcou-se o frame que conta no reprodutor de mídia para as câmeras lentas, desta forma ao procurar o raio categorizado na tabela ou no diário do plantonista, bastava inserir o frame registrado. Assim, dados como esse foram resumidos no Diário do Plantonista, diferente da tabela do Excel na qual consta todas as propriedades identificadas no raio; o Diário demonstra o principal destaque no vídeo inteiro. Demonstrando o raio que representa o conjunto das descargas contidas no vídeo, o mesmo foi construído em um documento Word com o seguinte destaque: Tipo do Raio - Intranuvem (IC), Nuvem Solo (CG), Ascendente (UP); Nome do arquivo, Tipo de Câmera que registrou, Hora, Frame e observações; acompanhado de uma imagem do raio destaque (Figura 4.5). Por fim executava uma contagem para registro de quantos raios houveram de cada um dos três tipos (IC, CG e UP).

Figura 4.5: Ilustração da organização do Diário do Plantonista conforme um raio



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram revisados vários tipos de descargas atmosféricas, que é um fenômeno importante com comportamento imprevisível. Esta Iniciação Científica procura contribuir para o conhecimento e esclarecimento sobre os estudos dos raios, qualificando e organizando os dados adquiridos. Atualmente, o grupo conta com uma equipe de mestrandos e doutorandos que continuam a contribuir para as pesquisas sobre as descargas atmosféricas, apurando as informações das descargas capturadas através das câmeras de alta velocidade. Pesquisas em andamento estão sendo realizadas para saber mais sobre esse fenômeno

atmosférico e, com o contínuo uso das tecnologias como as câmeras de alta velocidade, sensor de campo elétrico e tabelar os dados e padronizá-los, facilita a pesquisa das ocorrências dos raios para futuras pesquisas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINYEMI, M. L. et al. Lightning a fundamental of atmospheric electricity. **IERI Procedia**, v. 9, p. 47-52, 2014.

ANDERSON, R. B.; ERIKSSON, A. J. Lightning parameters for engineering application CIGRE **Electra** No. 69. 1980.

FERRO, Marco Antonio da Silva. CARACTERÍSTICAS DOS RELÂMPAGOS NUVEM-SOLO NEGATIVOS QUE APRESENTAM MÚLTIPLOS CANAIS. 2008. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geofísica Espacial, Inpe, São José dos Campos, 2008.

FERNANDES, Widinei Alves. Características dos relâmpagos gerados por nuvens de tempestades em ambientes sob a influência das queimadas em Rondônia. **São José dos Campos**, 2005.

Kasemir HW. A contribution to the electrostatic theory of a lightning discharge. *J. Geophys. Res.* 1960; 65: 1873-8.

LAURIA, P. L. Estudo dos líderes Ascendentes Iniciados nos para-raios em resposta às descargas descendentes negativas. **Tese de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, 2021.

MATHIAS, Roberta Filgueiras. Sob os caminhos e as cores de Iansã. **Teoria e Cultura**, v. 15, n. 3, 2020.

NAG, Amitabh et al. On phenomenology of compact intracloud lightning discharges. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, n. D14, 2010.

NAG, A.; MURPHY, M. J.; SCHULZ, W.; CUMMINS, K. L. Lightning locating systems: insights on characteristics and validation techniques. *Journal of Geophysical Research: Earth and Space Science*, v. 2, p. 65–93, 2015.

Rakov VA. Lightning phenomenology and parameters important for lightning protection, 9th International Symposium on Lightning Protection, 2007.

NAG, A.; CUMMINS, K. L.; PLAISIR, M. N.; WILSON, J. G.; CRAWFORD, D. E.; BROWN, R. G.; NOGGLE, R. C.; RASSOUL, H. K. Inferences on upward leader characteristics from measured currents. *Atmospheric Research*, v. 251, p. 105420, 2021.

RACHIDI, F.; RUBINSTEIN, M. 4th International COST Symposium on Lightning Physics and Effects. 2009.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. *Lightning physics and effects*. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2003. 687 p. ISBN 9781107340886.

ROMERO, Fabio; PIANTINI, Alexandre. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS GERADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. 2015.

SABA, M. M. F. A Física das Tempestades e dos Raios: Como as nuvens se formam? A origem de uma nuvem. Grupo de Eletricidade Atmosférica Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, Física na Escola, v. 2, n. 1, 2001.

SABA, M. M. F.; SCHUMANN, C.; WARNER, T. A.; FERRO, M. A. S.; PAIVA, A. R.; HELSDON, J.; ORVILLE, R. E. Upward lightning flashes characteristics from high-speed videos. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 121, p. 8493–8505, 27 jul. 2016.

SANTOS, Vagner José Rocha. O acará de Iansã na festa de Santa Bárbara: breves considerações sobre as comidas de uma festa religiosa popular em Salvador. **Revista Ingesta**, v. 1, n. 2, p. 26-37, 2019.

Simpson, G. C.; Robinson, G. D. The distribution of electricity in thunderclouds, II. *Proceedings of the Royal society A*, v.177, p. 281-329, 1941.

Simpson, G. C.; Scrase, F. J. The distribution of electricity in thunderclouds. I. *Proceedings of the Royal society A*, v.161, p. 309-352, 1937.

Thomson EM. A theoretical study of electrostatic field wave shapes from lightning leaders. *J. Geophys. Res.* 1985; 90: 8125-35.

UMAN, Martin A. **Lightning**. Courier Corporation, 2012.

Uman MA. The Lightning Discharge. p.1- 377, San Diego: Academic Press, 1987.

Williams, E. R. The tripole structure of thunderstorms. Journal of Geophysical Research, v. 94, p.13.151-13.167,1989.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric science: an introductory survey. 2. ed. [S.l]: Academic Press, 2006. 488 p. ISBN 9780127329512.