



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

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO REGIONAL DA REDE
BRASILEIRA DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
(BrasilDAT) UTILIZANDO IMAGENS DE CÂMERAS DE ALTA
VELOCIDADE**

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

Igor Augusto de Carvalho Godoi (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: igorc.godoi@hotmail.com

Dr. Kleber Pinheiro Naccarato (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: kleber.naccarato@inpe.br

COLABORADORES

MsC. Amanda Romão de Paiva (CCST/INPE)

Julho de 2019



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

*A minha família e meus amigos,
que me incentivam a crescer profissionalmente!*

*Aos meus orientadores,
que me auxiliaram a entender a pesquisa!*



AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar e com sua graça me conceder aquilo que eu não sou merecedor.

A minha família e amigos que se importam com meus estudos e sempre me perguntam sobre o andamento do Projeto.

A Fundação Lucia e Pelerson Penido, que através de sua bolsa de estudos me permite cursar Licenciatura em Física na Universidade de Taubaté.

À CNPQ, que mantém financeiramente a bolsa PIBIC/INPE

Ao Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST) que disponibilizou os vídeos que formam a base do Projeto.



SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	10
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	19
5. ANÁLISES E RESULTADOS	25
6. CONCLUSÕES	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura1-1– Frequência de ocorrência de relâmpagos em São Paulo.....	9
Figura3-1– Exemplo de Cumulonimbus.....	11
Figura3-2 – Modelo idealizado dos centros de carga elétrica dentro de uma nuvem de tempestade.	13
Figura3-3 - Tipos de Relâmpagos que atingem o solo, com as respectivas cargas transferidas: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN positivo; (d) SN negativo.	14
Figura3-4 – Relâmpago intra-nuvem.....	16
Figura3-5 – Processos de um relâmpago solo-nuvem.	17
Figura3-6 – Processos de um relâmpago nuvem-solo.	18
Figura4-1 – Torres do Pico do Jaraguá.....	20
Figura4-2 – Relevo do Pico do Jaraguá.....	20
Figura4-3 – Câmera Phantom V310.....	21
Figura4-4 – Software da câmera Phantom.	22
Figura4-5 – Localização dos sensores BrasilDAT em Abril de 2016.	23
Figura4-6 – Exemplo de variação do Campo Elétrico, característica de um relâmpago ascendente.....	24
Figura4-7 – Localização dos instrumentos de medição. O indicador amarelo marca a localização Pico do Jaraguá, o azul a localização das câmeras e o vermelho a localização do sensor de Campo Elétrico.	25
Figura5-1 – Resultados das Análises do Projeto (Matriz 17).....	26



LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AR	Relâmpago para o Ar
ARSI	Atmospheric Research Systems Inc.
BrasilDAT	Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas
CCI	Corrente Contínua Inicial
CEAG	Circuito Elétrico Atmosférico Global
COCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CRDF	Cathode-Ray Direction Finder
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
EN	Relâmpago Entre-Nuvens
EM	Aspectos Eletromagnéticos
EPRI	Electric Power Research Institute
GAI	Global Atmospheric Inc.
GPS	Global Positioning System
IMPACT	Improved Accuracy from Combined Technology
IN	Relâmpago Intra-Nuvem
LF	Low Frequency
LLP	Lightning and Protection Inc.
LPATS	Lightning Positioning and Tracking System
MDF	Magnetic Direction Finder
NDLN	National Lightning Detection Network
NS	Relâmpago Nuvem-Solo
SN	Relâmpago Solo-Nuvem
RINDAT	Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas
TOA	Time of Arrival Lightning Location Retrieval
VHF	Very High Frequency
WMO	World Meteorological Organization Extranet



RESUMO

O presente trabalho versa sobre o resultado do Projeto: “Avaliação de desempenho regional da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) utilizando imagens de câmeras de alta velocidade”. Essa pesquisa consistiu em analisar e tabelar descargas registradas por câmeras de alta velocidade ocorridas na região de Pirituba, bairro da cidade de São Paulo no período de 2011 a 2019. Após a análise dos vídeos, os resultados foram comparados com as informações fornecidas pela Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) para verificar qual a porcentagem de descargas registradas pela rede. Caso a descarga não fosse detectada pela Rede BrasilDAT, recorriamos a análise da variação do Campo Elétrico da região observada, a fim de encontrar possíveis defasagens no tempo. As análises contabilizaram, até o momento, 412 descargas, sendo 121 Nuvem-Solo (relâmpagos que vem das nuvens e tocam o solo), 233 Intra-Nuvem (relâmpagos que ocorrem no interior das nuvens e suas extremidades), 7 Solo-Nuvem (relâmpagos que vão do solo até alguma nuvem) e 51 descargas classificadas como Componente-M e LC. Os resultados mostraram que a rede BrasilDAT obteve uma eficiência de aproximadamente 50% de detecção das descargas Nuvem-Solo e cerca de 10% de relâmpagos Intra-Nuvem. Espera-se que em trabalho futuro possamos identificar os motivos dessas eficiências.

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade os relâmpagos e trovões despertam curiosidade na humanidade, quando, tentaram explicar primeiramente, de maneira mitológica, os belos desenhos que enfeitam o céu momentaneamente. Aristóteles, no século III a.C elaborou a primeira explicação com algum caráter científico que se conhece, referindo-se ao trovão como um som produzido pelo choque entre as nuvens e o relâmpago como incêndio exalado por essas nuvens (VIEMEISTER, 1961). Com a descoberta da natureza elétrica dos relâmpagos pelo cientista americano Benjamim Franklin (1706-1790), a pesquisa de descargas atmosféricas e seus fenômenos associados têm apresentado avanços significativos (IRIBARNE; CHO, 1980)

O crescente interesse de estudar os relâmpagos se deve ao seu grande poder de destruição. Embora a grande maioria dos relâmpagos ocorra no céu, ou seja, sem o contato com a superfície da Terra (intra-nuvens, entre-nuvens e no ar) (Rakov e Uman. 2003), a parte que atinge o solo é numerosa o suficiente para provocar danos relevantes, como, desligamentos das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, avarias em torres de telecomunicações, em edifícios, queima de equipamentos eletrônicos, além de ser a segunda maior causa de morte por fenômenos meteorológicos no planeta, de acordo com estatísticas mundiais da Cruz Vermelha. (Pinto Jr. 2005).

Muitas têm sido as técnicas utilizadas para estudar os relâmpagos na Natureza. As tecnologias disponíveis permitem filmagens com câmeras de alta velocidade que captam mais que 10000 imagens por segundo, nas quais permitem observar todas as etapas de fenômeno físico (Ballarotti. 2005; Saba et al. 2003, 2004b); medição dos campos eletromagnéticos irradiados próximos e distantes do evento através de antenas capacitivas ou indutivas e raios induzidos artificialmente (Rakov e Uman. 2003; Solorzano. 2003), as quais permitem recuperar a informação da corrente que circula pelo canal, tais como, a intensidade de corrente da carga transferida para o solo (SOLORZANO, 2003), do campo elétrico da nuvem e da descarga (FERRO et al., 2012) e medição da luminosidade do canal a partir de sensores ópticos (Chowdhuri et al. 2005). Contudo, essas medidas e registros de

relâmpagos abrangem somente um certo local pontual, encontram-se, restritas às regiões onde as medidas são realizadas. Para escalas mais amplas, os sensores ópticos instalados em satélites fornecem dados para o estudo dos relâmpagos numa escala global, determinando a frequência e os locais de ocorrência dos relâmpagos; as mesmas informações são fornecidas pelas redes detecção em escala continental.

As tecnologias empregadas nos sistemas de localização de descargas atmosféricas utilizam a faixa de frequência baixa (LF - Low Frequency - entre 30 a 300 kHz) para detectar os relâmpagos que atingem o solo e a faixa de frequência alta (VHF- entre 30 a 300 MHz) para detectar os relâmpagos intra-nuvem.

Através das análises feitas pelos dados gerados da rede RINDAT entre 1999 até 2011 foi constatado uma maior incidência de descargas atmosféricas sobre o Pico do Jaraguá na cidade de São Paulo (análise feita em áreas de 250m x 250m sobre a região urbana de São Paulo), onde a média de descargas atmosféricas é de 15 relâmpagos por km² por ano. Observa-se que na Figura 1.1, há uma incidência mais elevada de relâmpagos centralizada na figura, localizado o Pico do Jaraguá, comparada com os arredores (SABA et al, 2012).

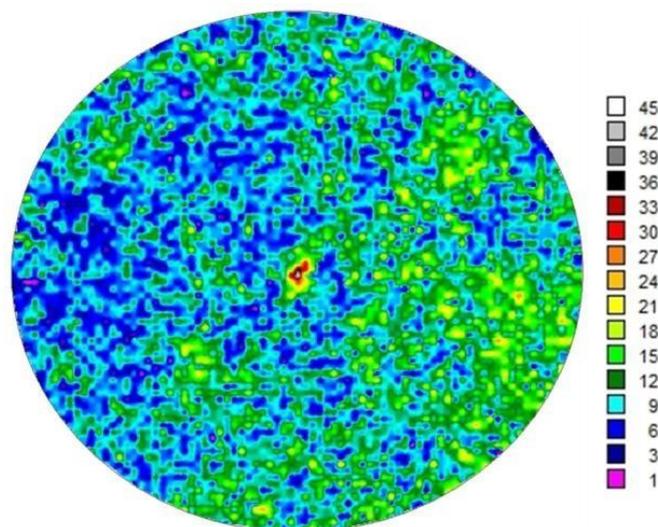


Figura1-1– Frequência de ocorrência de relâmpagos em São Paulo.

FONTE: SABA (2012)



A eficiência dos instrumentos de detecção de relâmpagos é um tópico de estudo relevante. Investigar detalhadamente a eficiência da detecção das redes possibilita a melhoria na apuração dos dados, e conseqüentemente, proporciona projetos de segurança mais eficazes que possam evitar danos materiais e físicos para a sociedade.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho tem por objetivo continuar a avaliação do rendimento da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) a partir da comparação de seus resultados com a análise de vídeos de relâmpagos feitos com câmeras de alta velocidade na região de São Paulo, mais especificamente no distrito de Pirituba, a fim de verificar qual a precisão na caracterização dos relâmpagos (mais especificamente os Intra-Núvem e Nuvem-Solo) e também a probabilidade de detecção dos relâmpagos pela Rede BrasilDAT.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. NUVENS

Uma nuvem de tempestade é produzida a partir do vapor d'água e desenvolve-se na troposfera, podendo atingir até a tropopausa (NACCARATO, 2001). Este vapor d'água se condensa devido a expansão do ar quente em convecção (apud ALBRECHT, 2004) no lugar em que passa do estado de vapor para o estado líquido e sólido em determinadas alturas da atmosfera, adquirindo formas como gotas de água, gotículas de água super-resfriadas, cristais de neve, granizo leve, pedras de granizo e cristais de gelo em função da altitude, da temperatura e da umidade relativa da atmosfera (NACCARATO, 2001). Pelos estudos realizados pela Classificação Internacional das Nuvens (WMO), há diversos tipos de nuvens, mas as que estão relacionados aos relâmpagos, chamadas nuvens de tempestades, são conhecidas como Cumulonimbus (Figura 3.1), onde são caracterizadas pela sua grande altitude vertical, pelo seu formato de bigorna (apud LIMA, 2005 p.4),

possuindo em seu topo uma expansão horizontal devido aos ventos superiores (COTTON e ANTHES 1989 apud HOUZE, 1993). Dispõe, em média, uma base entre 700 e 1500 metros, e seus topos podem chegar até 20 quilômetros de altura (sendo a média de 9 a 12 km).



Figura3-1– Exemplo de Cumulonimbus.

Fonte: CARN (2009)

3.2 RELÂMPAGOS

Desse processo, forma-se uma nuvem a qual pode continuar se desenvolvendo até atingir um estágio maduro, quando então surgem as chamadas células de tempestade (NACCARATO, 2001). Uma nuvem de tempestade pode ser constituída por várias células eletrificadas (apud Pinto. 1987 apud MacGorman e Rust. 1998 apud Pinto Jr. e Pinto. 2000). A eletrificação dessas células é causada pelas colisões mútuas e fricções da água em suas várias fases no interior da nuvem em função dos fortes movimentos ascendentes e descendentes de ar, na qual fazem surgir grandes centros de carga positivos e negativos como resultado da geração e separação de cargas através de processos micro e microfísicos ainda pouco conhecidos (Saunders. 1995 apud Williams. 1988, 1995 apud Pinto Jr. e Pinto. 2000). Os processos físicos relativos a separação de cargas dentro das nuvens ainda são alvo de muitas discussões no meio científico, porém atualmente o processo de eletrificação



colisional não- indutivo é o mais aceito para explicar a estrutura elétrica tripolar das nuvens de tempestades (NACCARATO, 2006).

Com o acúmulo de cargas, o campo elétrico intensifica-se dando origem às descargas atmosféricas ou relâmpagos, causados pela ruptura dielétrica do ar no interior da nuvem de tempestade (NACCARATO, 2001). As extensões vertical e horizontal das nuvens variam em função da região do globo e das estações do ano. Mais especificamente, os fatores que regulam suas dimensões e suas características físicas, elétricas e morfológicas são a latitude, a topografia da superfície, o perfil de temperatura atmosférico e a circulação dos ventos. Da mesma forma, por terem sua origem nas nuvens eletrificadas, os relâmpagos também apresentam uma ampla variedade de características dependendo desses mesmos fatores (Uman. 1987 apud Pinto Jr. e Pinto. 2000), podendo variar de 2 a 5 cm de diâmetro o canal, alguns quilômetros de comprimento e temperaturas que podem chegar até 30.000°C com duração de alguns milissegundos (MCGRAW, 1997).

Os relâmpagos também podem ocorrer em tempestades de areia, neve, erupções vulcânicas, entre outros (RAKOV; UMAN, 2003). Além disso, se desenvolvem relâmpagos artificiais, por meio de explosões nucleares, nos fundos dos oceanos e por lançamentos de foguetes que estendem fios condutores na atmosfera (SABA et al., 2002).

Há um modelo idealizado na distribuição dos centros de cargas em uma nuvem de tempestade, em que se estabelece dois centros principais: um negativo, próximo a base, e um positivo na parte superior da nuvem, ambos com magnitude da ordem de várias dezenas de coulombs (NACCARATO, 2001). Ocasionalmente pode ocorrer também um pequeno centro de cargas positivo na base da nuvem, abaixo do centro negativo principal, como podemos ver na figura 3.2.

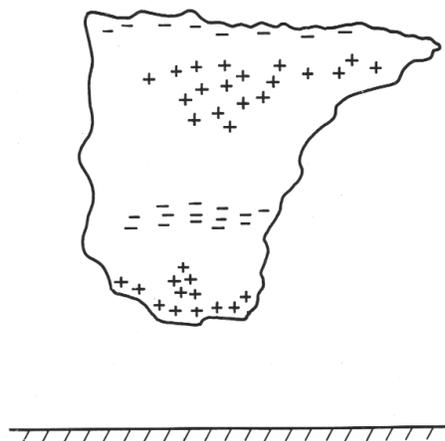


Figura3-2 – Modelo idealizado dos centros de carga elétrica dentro de uma nuvem de tempestade.

FONTE: Pinto Jr. e Pinto (1996, p. 41)

Acredita-se que os relâmpagos possuem um papel fundamental na manutenção do campo elétrico de tempo bom (cerca de 100V/ m apontando para baixo), observável abaixo da ionosfera, que surge devido ao balanço entre a carga negativa líquida da Terra e a carga espacial positiva da atmosfera, constituindo o chamado Circuito Elétrico Atmosférico Global, CEAG (Iribarne e Cho. 1980 apud Uman. 1987 apud Williams. 1988). Além do que, as reações químicas no interior e ao redor do canal da descarga atmosférica resulta em elementos químicos antes não existentes na atmosfera ou, pelo menos, em concentração minoritária (Uman. 1987, Pinto Jr. e Pinto. 1996).

A classificação dos relâmpagos ocorre de acordo com o local que se originam e/ou terminam. Eles podem ser de dois tipos: os que não tocam o solo e os que tocam o solo (OGAWA. 1995).

Os que não tocam o solo pode-se identificar três tipos principais: (1) relâmpagos intra-nuvem (IN), os quais ocorrem no interior de uma mesma nuvem de tempestade; (2) relâmpagos entre-nuvens (EN), que ocorrem entre nuvens diferentes e (3) relâmpagos no ar (AR).

Os relâmpagos que envolvem o solo, também conhecidos como raios, são classificados em dois tipos básicos: (1) relâmpagos nuvem-solo (NS), caracterizados por descargas que, partindo de uma nuvem, atingem a superfície da Terra; (2) relâmpagos solo-nuvem (SN), que ocorrem a partir do solo em direção à nuvem. Os relâmpagos NS e SN também são classificados pela polaridade das cargas efetivamente transferidas ao solo (ou neutralizadas na nuvem), dando origem aos relâmpagos positivos (transferência de cargas positivas) e negativos (transferência de cargas negativas) (NACCARATO, 2001).

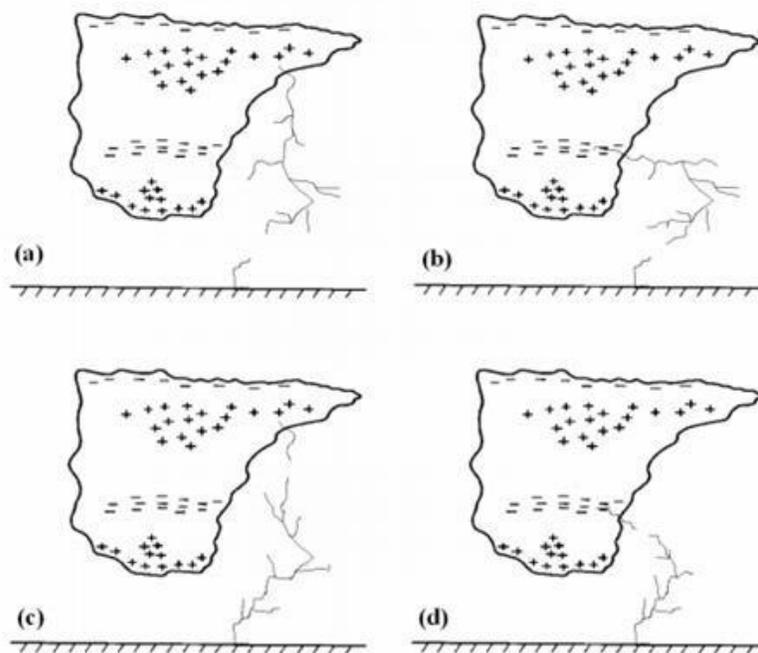


Figura3-3 - Tipos de Relâmpagos que atingem o solo, com as respectivas cargas transferidas: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN positivo; (d) SN negativo.

Fonte: NACCARATO (2001)

3.2.1 RELÂMPAGOS INTRA-NUVEM

Os relâmpagos intra-nuvens são os mais comuns, ocorrem em 80 a 90% dos casos em uma determinada tempestade. Como a maior parte desses relâmpagos ocorrem dentro da nuvem, sua visualização fica comprometida (PAIVA, 2015). Entretanto, medidas da



radiação EM dos tipos de relâmpagos possibilitaram a identificação de suas principais características, principalmente o IN pelos seus elevados índices de ocorrência (NACCARATO, 2001).

Os relâmpagos IN apresentam uma duração total de cerca de meio segundo, valor muito próximo da duração dos relâmpagos envolvendo o solo (Uman, 1987). Ele é seguido, em geral, por cinco ou seis descargas de alguns milhares de amperes, com duração de aproximadamente $10\mu\text{s}$ cada, denominadas descargas K, tais descargas estão associadas aos campos elétricos chamados variações k.

Relâmpagos deste tipo não apresentam descargas de retorno. Devido a geometria dos canais as emissões de radiação dos relâmpagos intra-nuvem é de 100kHz, enquanto os relâmpagos nuvem-solo é de 10kHz.

Sistemas de localização de tempestades pode ainda discriminar os tipos de relâmpagos pela largura do pulso e o tempo de subida que definem a forma de onda da radiação. Uma outra informação obtida a partir da forma de onda da radiação corresponde à polaridade e a intensidade da corrente de pico do relâmpago. Os valores de pico de corrente (e sua polaridade) podem ser estimados a partir dos campos elétricos irradiados através de modelos matemáticos. (NACCARATO, 2001).



Figura3-4 – Relâmpago intra-nuvem.

Fonte: BUSSI (2018)

3.2.2 RELÂMPAGOS SOL-NUVEM (ASCENDENTES)

Os relâmpagos ascendentes iniciam-se em estruturas altas e propagam-se em direção às nuvens de tempestades. Eles ocorrem com menor frequência que os relâmpagos descendentes (PAIVA, 2015). Contudo, sua ocorrência, pode ser muito frequente em locais específicos, devido as estruturas altas, superando até a ocorrência de raios descendentes. Com o crescimento do número de prédios, torres, antenas de telecomunicações, entre outros, o número de ocorrência desse tipo de relâmpago e o interesse em estudá-los também aumentou.



Figura3-5 – Processos de um relâmpago solo-nuvem.

Fonte: BUSSI (2018)

As etapas do relâmpago ascendente acontecem pela intensificação do campo elétrico no topo da estrutura durante uma tempestade, na qual acontece a ruptura dielétrica do ar e um líder ascendente se inicia saindo da estrutura partindo em direção a nuvem (Figura 3.5a). A conexão do líder ascendente com a base da nuvem (Figura 3.5b) ocasiona uma corrente contínua inicial (CCI) de centenas de milissegundos depois de iniciada a descarga. Durante a CCI, há súbitas intensificações de corrente que são denominadas Pulsos de CCI ou componentes M (Figura 3.5c). Cessando a CCI, o raio ascendente pode terminar ou após um curto intervalo de tempo dar início a descarga de retorno subsequente reutilizando o mesmo canal anterior (Figura 3.5d) (PAIVA, 2015).

3.2.3 RELÂMPAGOS NUVEM-SOLO (DESCENDENTES)

Um relâmpago NS são em sua maioria negativos. Iniciam-se na nuvem e, eventualmente, transporta para a Terra dezenas de coulombs de cargas negativas (NACCARATO, 2001). Possui um tempo de duração médio entre 1/3 e meio segundo, sendo constituído por vários pulsos de alta corrente denominados *strokes* ou descargas individuais. Chamamos de multiplicidade de um relâmpago, o número de *strokes* que o compõe, cujo valor típico varia entre três e quatro.

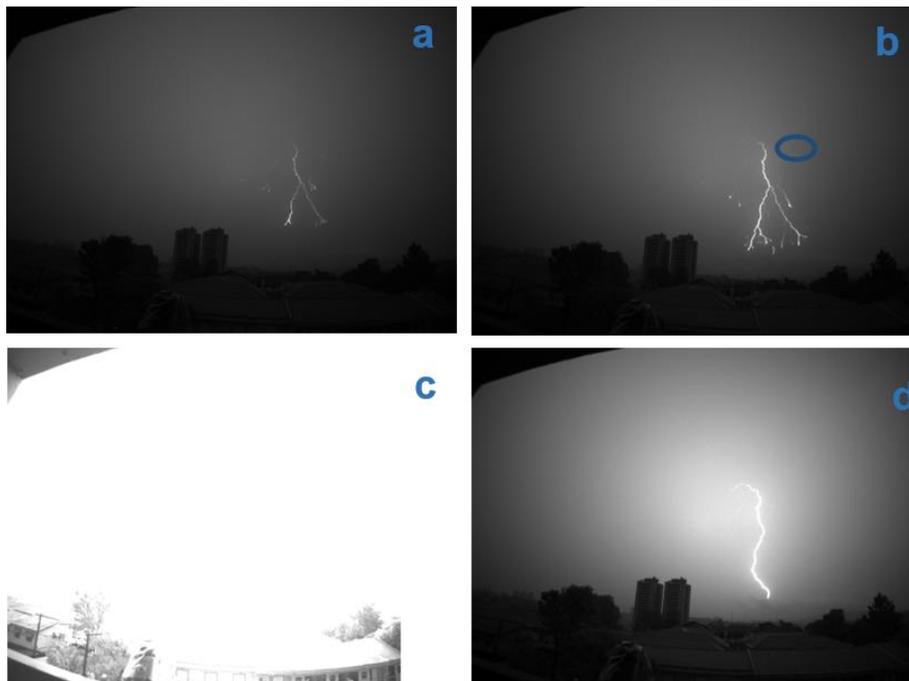


Figura3-6 – Processos de um relâmpago nuvem-solo.

Fonte: BUSSI (2018)

Antes de chegar ao solo, os relâmpagos descrevem um processo descrito a seguir.

Dentro da nuvem ocorre uma sucessão de descargas fracas que dão início a chamada ruptura preliminar (preliminary breakdown). Essa ruptura faz com que haja um deslocamento das cargas no interior da nuvem para sua base, que logo em seguida, caminha em direção ao solo formando o líder escalonado (Figura 3.6a). Quando o líder estiver próximo ao solo, partirá do chão uma *descarga conectante* de cargaoposta ao líder escalonado (Figura 3.6b). Essa descarga conectante ao se encontrar com o líder escalonado

permitirá um fluxo intenso de cargas elétricas, formando a descarga de retorno (Figura 3.6c).

Quando formado o canal, este, poderá ser acompanhado ou não de corrente contínua (Figura 3.6d). A corrente contínua, recebe três classificações: muito curta (3 a 10 ms), curta (10 a 40 ms) e longa (maior que 40 ms) (BALLAROTTI et al. 2005). Durante a corrente contínua, alguns processos dentro da nuvem podem ocorrer, provocando uma repentina intensificação na luminosidade já existente, a essa intensificação denominamos por “componente M”.

Cessando a corrente contínua, poderá ainda ocorrer outra descarga percorrendo o canal que se encontra ionizado, que denominamos líder contínuo. Ao tocar o solo, dá-se início a segunda descarga de retorno, denominada descarga de retorno subsequente (PAIVA, 2015).

A corrente das descargas varia de alguns quiloampères até dezenas de quiloampères e as cargas transferidas para o solo são da ordem de 20 C, podendo em alguns casos, atingirem centenas de coulombs (Uman,1987).

4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

4.1. LOCAL DE OBSERVAÇÃO

Os vídeos analisados foram gravados no Distrito de Pirituba, Zona Noroeste de São Paulo, a câmera ficava apontada para o Pico do Jaraguá, pico conhecido na região por sua altitude de 1135 metros, destacando-se na paisagem, que possui torres de transmissão elevando-se até 139 metro do solo. Das quais foram detectadas descargas em três das torres presentes no pico, denominadas T1, T2 e T3, conforme ilustra a figura 4.1 (PAIVA, 2015).

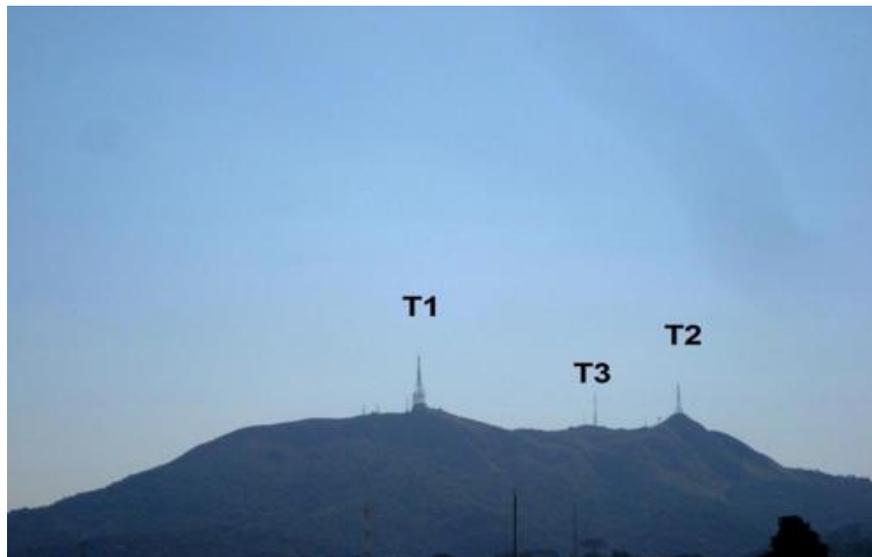


Figura4-1 – Torres do Pico do Jaraguá.
Fonte: PAIVA (2015)

Na Figura 4.2 vemos uma ilustração do Pico com ênfase e informações adicionais das torres.

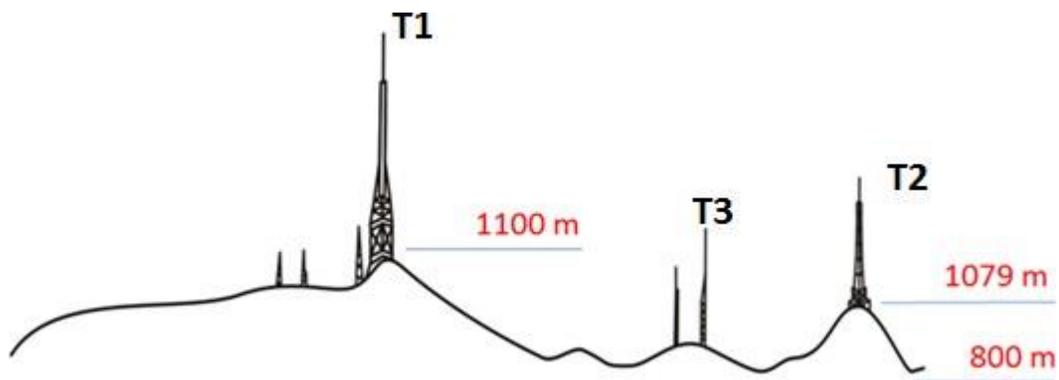


Figura4-2 – Relevo do Pico do Jaraguá.
Fonte: PAIVA (2015)

4.2. CÂMERAS

Os vídeos disponibilizados pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST) para realização do Projeto eram gravados por uma câmera de alta velocidade da marca Phantom modelo V310, que capturava 10.000 imagens por segundo.



Figura4-3 – Câmera Phantom V310.

Fonte: *Data Sheet Vision Research*

A câmera era direcionada para a tempestade e seu sistema ligado a um computador, que também era ligado a um *trigger*, sempre que o operado visualizava uma descarga ele acionava o *trigger* que finalizava a gravação da câmera, de forma que após o ajuste do sistema da câmera ele salvava imagens realizadas antes do acionamento do *trigger*.

Os vídeos da câmera foram visualizados e analisados por um *software* específico disponibilizado pela fabricante do equipamento mostrado na Figura 4.4.

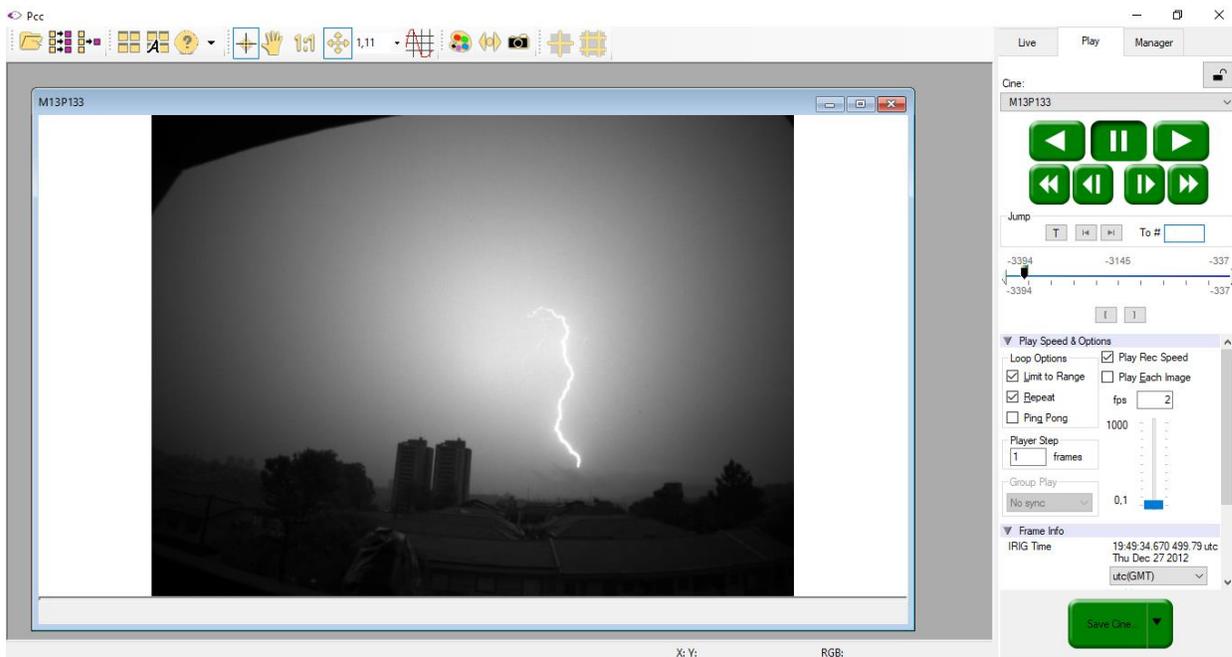


Figura4-4 – Software da câmera Phantom.

Fonte: BUSSI (2018)

4.3. REDE BRASILEIRA DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (BRASILDAT)

A Rede BrasilDAT é uma das principais redes de detecção de descargas atmosféricas do Brasil, hoje ela conta com 70 sensores, sendo considerada a maior rede de detecção da região tropical do planeta e uma das maiores do mundo.

Sendo criada em Agosto de 2011 pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos – SP, a BrasilDAT detecta descargas nuvem-solo e intra-nuvem, fornecendo informações como data e horário com precisão de milissegundos, latitude, longitude e pico de corrente do relâmpago. A Figura 4.5 mostra a localização dos sensores da Rede BrasilDAT em Abril de 2016.

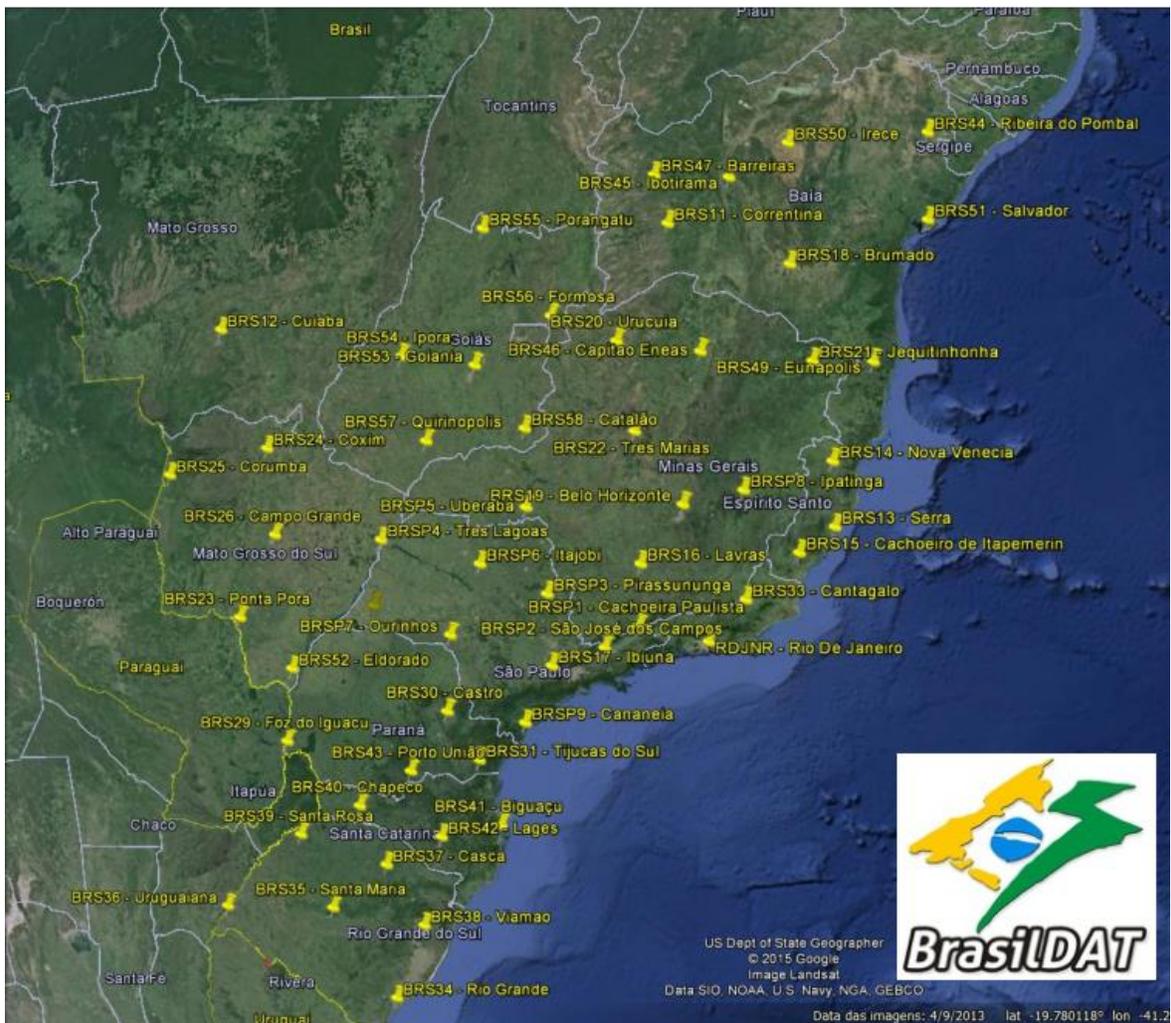


Figura4-5 – Localização dos sensores BrasilDAT em Abril de 2016.

Fonte: NACCARATO (2016)

4.4. SENSOR DE CAMPO ELÉTRICO

Caso houvessem diferenças nos resultados analisados nos vídeos com os resultados obtidos pela Rede BrasilDAT eram utilizados gráficos oriundos de um sensor de Campos Elétricos para confirmar qual informação era correta, este sensor também estava localizado na região próxima ao Pico do Jaragua, de forma que qualquer alteração no Campo Elétrico

da Região era captada e descrita em um gráfico bidimensional, como ilustra a figura 4.6, onde o resultado do sensor é visualizado em um programa específico.

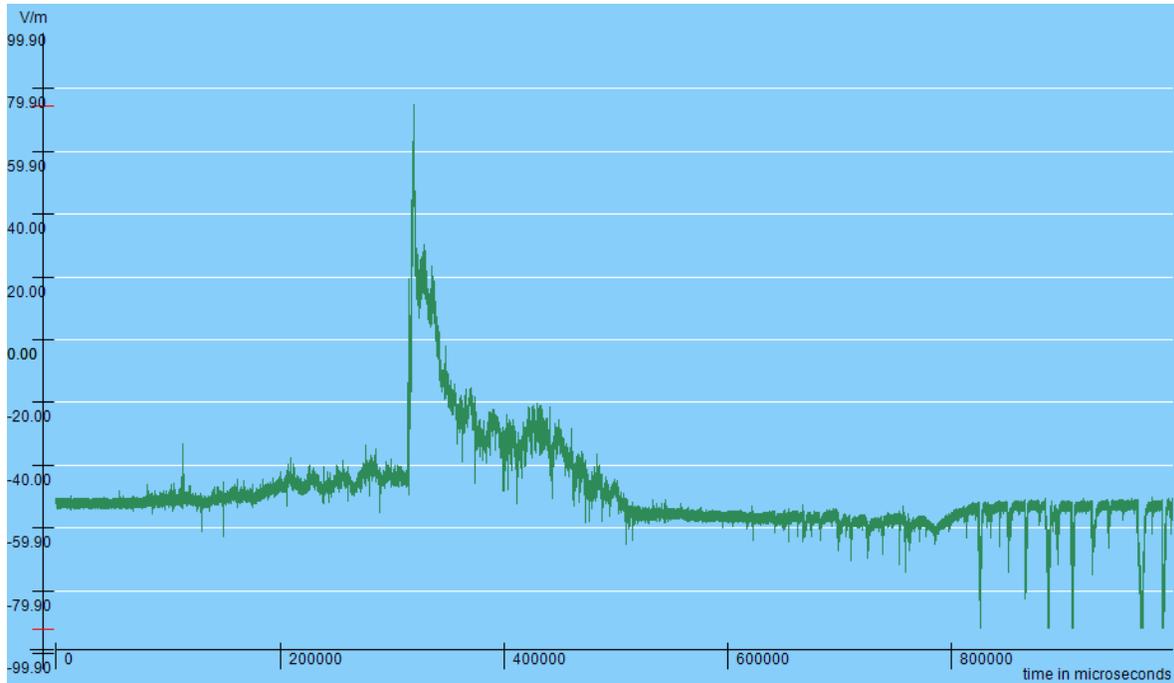


Figura4-6 – Exemplo de variação do Campo Elétrico, característica de um relâmpago ascendente.

Fonte: PAIVA (2015)

A figura 4.7descreve a posição relativa da câmera e do sensor em relação ao Pico do Jaraguá.



Figura4-7 – Localização dos instrumentos de medição. O indicador amarelo marca a localização Pico do Jaraguá, o azul a localização das câmeras e o vermelho a localização do sensor de Campo Elétrico.

Fonte: PAIVA (2015)

5. ANÁLISES E RESULTADOS

Durante o período desse trabalho foram contabilizadas 580 (quinhentos e oitenta) descargas as quais foram comparadas com os dados de relâmpagos fornecidos pela Rede BrasilDAT. Destas 580 (quinhentos e oitenta) ocorrências foram contabilizados 295 (duzentos e noventa e cinco) de caráter Nuvem-Solo, 258 (duzentas e cinquenta e oito) de caráter Intra-Nuvem, 10 (dez) de caráter Solo-Nuvem, 66 (sessenta e seis) Componentes M e 11 (onze) de caráter incerto.

Ao fim de mais um período de análises concluiu-se que das descargas analisadas em vídeo de câmeras de alta velocidade e das descargas registradas pela rede BrasilDAT cerca de 50 % das ocorrências de relâmpagos Nuvem-Solo foram registrados, ou seja, dos 580 (quinhentos e oitenta) relâmpagos contabilizados 235 (duzentos e noventa e cinco) eram de

caráter Nuvem-Solo e destes 119 (cento e dezenove) foram registrados pela Rede BrasilDAT.

Embora não fosse o objetivo principal do trabalho estas análises também obtiveram outros resultados que podem ser observados na Figura 5.1.

Análise dos Vídeos						Rede BRASILDAT				Comparação (Rede BrasilDAT x Vídeos)	
NS	IN	SN	M	OUTROS (LC e ND)	TOTAL	BTNS	BTIN	ND	TOTAL	BTNS	BTIN
235	258	10	66	11	580	119	55	397	571	50,64%	21,32%
Análise dos Vídeos						Rede RINDAT				Comparação (Rede RinDat x Vídeos)	
NS	IN	SN	M	OUTROS (LC e ND)	TOTAL	RDNS	RDIN	ND	TOTAL	BTNS	BTIN
235	258	10	66	11	580	41	6	387	571	17,45%	2,33%

Figura5-1 – Resultados das Análises do Projeto (Matriz 17).

Fonte: Próprio Autor

6. CONCLUSÕES

Embora não tenham sido analisados todos os vídeos disponíveis pelo Grupo ELAT, as análises realizadas consideram-se positivas e capazes de embasar diversos outros trabalhos relacionados ao tema. Os resultados obtidos estão dentro do esperado para a Rede BrasilDAT, que desde sua implantação tem buscado aperfeiçoar-se com a implementação de mais sensores, para assim obter informações cada vez mais precisas.

Espera-se que com a renovação do Projeto possa haver a conclusão das análises e os resultados obtidos possam apresentar um maior rendimento da Rede BrasilDAT. Apresentando também que desde o ano de 2012 até o ano de 2019 devido a implementação de novos sensores e de novas tecnologias o percentual de detecção cresceu. Além disso, no novo trabalho proposto pretendemos identificar os motivos dos relâmpagos não terem sido



detectados. Para tal objetivo utilizaremos dados de sensores de campo elétrico adquiridos pelo grupo.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, R. I. ; SILVA DIAS, M. A. F. Características microfísicas da precipitação convectiva e estratiforme associadas à oscilação de larga-escala no sudoeste da Amazônia. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA., 2004, Fortaleza -CE. Anais ... 2004. CD-ROM. (INPE- 12036-PRE/7382).

BALLAROTTI, M.G.; SABA, M.M.F; PINTO JR. O. High speed camera observations of negative ground flashes on a milisecond-scale. **Geophysical Research Letters**, v. 32, 2005.

BUSSI, Gabrielle de Oliveira. **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq): AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO REGIONAL DA REDE BRASILEIRA DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (BrasilDAT) UTILIZANDO IMAGENS DE CÂMERAS DE ALTA VELOCIDADE.** São José dos Campos: Inpe, 2018. 29 p.

CAMPOS, L. Z. S.; SABA, M. M. F., PINTO JR., O.; BALLAROTTI, M. G. Waveshapes of continuing currents and properties of M-components in natural negative cloud-to-ground lightning from high-speed video observations. **Atmospheric Research**, v. 84, n. 4, p. 302-310. 2007.

CARN, S. A. **Atmospheric observations and meteorology.** 2009. Michigan, EUA. Michigan Technological University, Department of Geological Engineering and Sciences at Michigan Tech. Disponível em: <<http://www.geo.mtu.edu/~scarn/teaching/GE2640.htm>>. Acesso em: 27 de junho de 2019.

CHOWDHURI,P.;Anderson,J.G.;Chisholm,W.A.;Field,T.E.;Ishii,M.;Martinez,J.A.; Marz,M.B.;McDaniel,J.;McDermott,T.R.;Mousa,A.M.;Narita,T.;Nichols,D.K.; Short,T.A.Parametersoflightningstrokes:areview.**IEEETransactionsOnPower Delivery**, v. 20, n. 1, p. 346-358, Jan.2005.

CUMMINS, K. L.; HISCOX, W. L.; PIFER, A. E.; MAIER, M. W. Performance analysis of the U.S. National Lightning Detection Network. In: International Conference on Atmospheric Electricity, 9., 1992, St. Petersburg, Russia. **Proceedings...** St. Petersburg: International Commission on Atmospheric Electricity, 1992.

CUMMINS, K. L.; BURNETT, R. O.; HISCOX, W. L.; PIFER, A. E. Line reliability and fault analysis using the National Lightning Detection Network. In: Precise Measurements in Power Conference, 1993, Arlington, USA. **Preprint...** Arlington: National Science Foundation and Center for Power Engineering at Virginia Tech, 1993, p. II-4.1 to II-4.15.

CUMMINS, K. L.; BARDO, E. A.; HISCOX, W. L.; PYLE, R. B.; PIFER, A. E. NLDN'95: A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. In: International Aerospace & Ground Conference on Lightning and Static Electricity, 1995, Williamsburg, EUA. **Proceedings...** National Interagency Coordination Group, 1995, p. 72-1 to 72-15. (U.S. Navy Report NAWCADPAX--306-PR

FERRO, M. A. S., YAMASAKI, J., PIMENTEL, D. R. M., K. P. NACCARATO, M. M., F. SABA., An Electric Field-Mill Network in Southeastern Brazil for Lightning Warnings. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC ELECTRICITY, 14., 2012, Rio de Janeiro. **Proceedings...** 2012.

GAI (Global Atmospheric). **IMPACT ES advanced lightning direction finder** – Model 141-TES ALDF: installation, operation and maintenance manual. Tucson, 1999. 386p. (40211REV 9904).

HOUZE JR., R. A.; RUTLEDGE, S. A.; BIGGERSTAFF, M. I.; SMULL, B. F. Interpretation of Doppler weather-radar displays in midlatitude Mesoscale Convective Systems. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 70, p. 608-619, 1989.

KRIDER, E. P.; Weidman, C. D.; Levine, D. M. Temporal structure of the HF and VHF radiation produced by intracloud lightning discharges. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, NC9, p. 5760-5762, 1979.

KRIDER, E.P.; Pifer, A.E.; Vance, D.L. Lightning direction findings system for forest fire detection. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 61, n.9, p.980-986, Sept. 1980.

KRIDER, E. P. 75 years of research on the physics of a lightning discharge. In: Fleming, J.R. ed. **Historical essay on meteorology 1919-1995**. Boston: American Meteorological Society, 1996. Cap. 11, p.321-350.

LIMA, K. C. **Descargas elétricas atmosféricas em sistemas convectivos de mesoescala no sul da América do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

MCGRAW-HILL Encyclopedia of Science and Technology. McGraw Hill, p. 74, 1997.

MOREAU, J.; ALLIOT, J; MAZUR, V. Aircraft lightning initiation and interception from in situ electric measurements and fast video observations. **J Geophys Res.**, 1992, doi: 10.1029/92JD01077. issn: 0148-0227 Moreau et al. [11] pioneered the use of high-speed video to observe lightning at 200 images per second

NACCARATO, Kleber Pinheiro et al. Total Lightning Flash Detection from Space: A CubeSat Approach. In: INTERNATIONAL LIGHTNING DETECTION CONFERENCE, 24., 2016, San Diego. 2016. p. 1 - 8.

NACCARATO, K. P. **Estudo de relâmpagos no Brasil com base na análise de desempenho do Sistema de Localização de Tempestades**. 2001. 165p. (INPE-8380-TDI/770). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais, São José dos Campos. 2001. Disponível em:

<<http://marte3.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2002/03.28.19.09/doc/publicacao.pdf>>.

Acesso em: 13 jun. 2019.

NACCARATO, K, P. **Análise das Características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil**. 2006. 316p. (INPE-14083-TDI/1069). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial).

INPE, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <[http://mtc-](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.28.19.00/doc/publicacao.pdf)

[m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.28.19.00/doc/publicacao.pdf](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.28.19.00/doc/publicacao.pdf) >.

Acesso em: 13 jun. 2019.

OGAWA, T. Lightning currents. In: Volland, H. ed. **Handbook of atmospheric electrodynamicics**. Boca Raton: CRC Press, 1995. v. 1, Cap. 4, p. 93-136.

PAIVA, A.R. **Estudo das descargas de retorno e componentes M e sua detecção por sistemas de localização de relâmpagos**. 2015. 106p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2015.

Disponível em: <[http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.05.11.19/doc/publicacao.pdf)

[m21b/2015/02.05.11.19/doc/publicacao.pdf](http://mtc-m21b/2015/02.05.11.19/doc/publicacao.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2019.

PINTO JR., O.; Pinto, I. R. C. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 185p.

RAKOV V.A.;UmanM.A.Somepropertiesofnegativecloud-to-groundlightningflashes versusstrokeorder.**JournalofGeophysicalResearch**,v.95,D5,p.5447-5453,Apr. 1990.

SABA, M. M., Schumann, C., Warner, T. A., Ferro, M. A. S., Paiva, A. R., Helsdon, J., & Orville, R. E. (2016). Upward lightning flashes characteristics from high-speed videos. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 121(14), 8493-8505.



SCHUMANN, C. **Estudo dos raios ascendentes a partir de observações de câmeras de alta resolução temporal e de medidas de campo elétrico**. 2016. 178 p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial/Ciências Atmosféricas) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LKP8ML>>.

SOLORZANO, N. N. **Primeiras medidas de relâmpagos induzidos no Brasil**. 2003. 219p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (Não publicado).

UMAN, M. A. **The Lightning Discharge**. Orlando: Academic Press, 1987. 376p.

VIEMEISTER, P. **The Lightning Book**, Cambridge MA: MIT Press, 1961.