



Ministério da
Ciência e Tecnologia



ESTUDO DOS INTERVALOS DE TEMPO ENTRE A QUEBRA DE RIGIDEZ DIELÉTRICA E A DESCARGA DE RETORNO DOS RAIOS POSITIVOS

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

Raphael Bueno Guedes da Silva (FATEC/INFO, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: raphael_bueno_guedes@yahoo.com.br

Dr. Marcelo Magalhães Fares Saba (DGE/INPE, Orientador)

E-mail: msaba@dge.inpe.br

INPE
São José dos Campos

ESTUDO DOS INTERVALOS DE TEMPO ENTRE A QUEBRA DE RIGIDEZ DIELÉTRICA E A DESCARGA DE RETORNO DOS RAIOS POSITIVOS

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

Raphael Bueno Guedes da Silva (FATEC/INFO, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: raphael_bueno_guedes@yahoo.com.br

Dr. Marcelo Magalhães Fares Saba (DGE/INPE, Orientador)

E-mail: msaba@dge.inpe.br

Julho de 2011

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao doutor Marcelo Saba, por sua dedicação como orientador e por toda a ajuda prestada durante todo esse tempo.

Agradeço também aos mestrandos Leandro Zanella e Carina Schumann, por todo apoio prestado.

RESUMO

Relâmpagos positivos correspondem, em média, somente 10% do número total de raios produzidos durante uma tempestade. Mesmo tendo baixa ocorrência, as descargas de retorno dos raios positivos são responsáveis por danos mais intensos do que as descargas de retorno dos raios negativos, isso se deve ao fato de geralmente possuírem pico de corrente alta e corrente contínua de longa duração.

Raios positivos são precedidos por uma descarga intra-nuvem intensa e de longa duração. O objetivo deste trabalho é estudar a assinatura de campo elétrico das descargas intra-nuvens que precedem as descargas de retorno dos raios positivos. Em particular vão ser estudadas: quebra de rigidez dielétrica (breakdown), tempo de subida do breakdown, trem de pulso do breakdown, intervalo de tempo entre pulsos dentro do trem de pulsos, intervalo de tempo entre o primeiro breakdown e a descarga de retorno. Gravações de sensores de campo elétrico de raios positivos ocorridos no Brasil entre 2003 e 2011 serão usadas para fazer as análises.

ABSTRACT

Positive flashes correspond to approximately only 10% of the total number of flashes produced by a thunderstorm. However, positive strokes are in average much more intense than the negative strokes. Intense peak current and long continuing current are usually present in the same stroke. Therefore, positive flashes are responsible for more intense damage than the negative ones.

Positive flashes often are preceded by significant and long duration intracloud (IC) discharge activity. The objective of this work is to study the electric field signature of these discharges preceding the positive return stroke. Particularly, it will study: breakdown waveforms, breakdown rise time, breakdown pulse train, time interval between pulses in a pulse train, time interval between initial breakdown and return stroke. Recordings from electric field sensors will be used to analyze the intracloud discharge preceding the positive return strokes occurring in Brazil between 2003 and 2011.

LISTA DE FÍGURAS

	<u>Pág.</u>
FIGURA 1.1 – Fotografia de um relâmpago ocorrido em São José dos Campos	2
FIGURA 1.2 – Etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo.....	5
FIGURA 2.1 – Fotografias (a) da câmera <i>8000S MotionScope</i> com sua placa de <i>interface</i> com o PC e (b) do sistema instalado no módulo móvel.....	10
FIGURA 2.2 – Antena plana utilizada em medidas de campo elétrico	11
FIGURA 2.3 – Exemplo de gráfico de campo elétrico versus tempo obtido com o auxílio da antena plana.....	11
FIGURA 2.4 – Torre de observação do CTA/IAE/AEL.....	12
FIGURA 3.1 – Planilha de Controle	14
FIGURA 3.2 – Típico Pulso de Breakdown	15
FIGURA 3.3 – Campo elétrico (a) dos pulsos de breakdown e (b) da descarga de retorno	16
FIGURA 3.4 – Histograma do tempo de subida do pulso de breakdown.....	16
FIGURA 3.5 – Histograma do intervalo de tempo entre o primeiro breakdown e a descarga de retorno	17
FIGURA 3.6 – Trem de pulsos	18
FIGURA 3.7 – Histograma da duração do trem de pulsos	18
FIGURA 3.8 – Histograma do intervalo de tempo entre pulsos no trem de pulsos.	19

Sumário

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
1.1 Histórico.....	1
1.2 Definição, Tipos de Relâmpagos e Características.....	2
1.2.1 Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características.....	3
1.2.2 Breve Descrição do Relâmpago NS Positivo.....	6
1.3 Pulsos de Quebra de Rigidez Dielétrica e Sua Relevância como Objeto de Estudo	7
1.4 Objetivos do Trabalho	8
2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	9
2.1 Materiais Utilizados	9
2.2 Sistema de Imageamento Digital de Alta Velocidade	9
2.3 Antena de Campo Elétrico	10
2.4 Local de Observação.....	12
2.5 Procedimento das Observações	12
3. RESULTADOS.....	14
3.1 Campanha de Coleta de Dados 2010-2011	14
3.2 Análise de Dados	14
3.3 Resultados Sobre a Quebra de Rigidez Dielétrica	15
3.4 Comparações Com Trabalhos Anteriores	19
4. Conclusão.....	20

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Histórico

A ocorrência de relâmpagos em nosso planeta é bastante comum e mais antiga do que a própria humanidade. O estudo destes fenômenos no Brasil teve início há 32 anos, durante este período foi possível observar algumas características diferentes daquelas relatadas na literatura internacional. Este fato, por si só, justifica a continuidade dos esforços já realizados neste sentido.

O relâmpago está entre os fenômenos naturais que mais causam mortes nos Estados Unidos (Wood, 1988), sendo que no Brasil ele é responsável por 100 a 200 mortes por ano além de causar um prejuízo anual em torno de 500 milhões de dólares (Pinto e Pinto, 2000).

Vários setores de atividades são prejudicados diretamente pelos relâmpagos. Transmissão de energia elétrica e telecomunicações são os maiores afetados, mas eles também constituem uma grande ameaça para indústrias e edifícios (comerciais ou residenciais), além da própria segurança das pessoas. Os sistemas de proteção hoje utilizados são desenvolvidos a partir de observações e dados de raios obtidos em outros países (e fora da região tropical, caso em que o Brasil se encaixa), o que aumenta a importância de se possuir mais dados dos casos ocorridos em nossa região.

Os dados colhidos dos relâmpagos no Brasil são baseados em:

- Parâmetros fornecidos pela BrasilDat, um conjunto de 47 sensores localizados no Brasil que pertence a um consórcio de empresas com participação do INPE (Pinto, 2003).
- Raios artificiais (induzidos), cujas características são apenas equivalentes aos naturais, induzidos por foguetes lançados pelo INPE no CIPRIN (Centro Internacional de Pesquisas sobre Raios Induzidos e Naturais), localizado em Cachoeira Paulista (Saba et al, 2005).
- Imagens de câmera rápidas e dados de campo elétrico de raios naturais. Ambos sincronizados e com horário universal (GPS) com precisão de milissegundo (Ballarotti et al., 2005; Saba et al., 2006).

1.2 Definição, Tipos de Relâmpagos e Características

Um relâmpago é definido como sendo uma descarga transitória de alta corrente cujo comprimento percorrido tem dimensão de quilômetros (Uman e Krider, 1989). A rigor, uma nuvem não necessita estar envolvida com o fenômeno, mas geralmente ocorre a participação de um tipo específico de nuvem: a nuvem de tempestade, conhecida por *cumulonimbus*. A FIGURA 1.1 mostra uma fotografia de um relâmpago ocorrido em São José dos Campos.



FIGURA 1.1 – Fotografia de um relâmpago ocorrido em São José dos Campos.

Denominamos os tipos de relâmpagos em função de sua origem e do ponto onde terminam. Eles podem ser classificados em; (1) aqueles que permanecem no céu (chamado Intranuvem ou IN) e, (2) aqueles que tocam o solo (Nuvem-solo, NS ou Solo-nuvem, SN)

Os relâmpagos IN são os mais frequentes (cerca de 80% do número total global de relâmpagos), mas de difícil estudo por ocorrerem em meio à opacidade da nuvem. Sua investigação requer o uso de radares e antenas de rádio frequência. Podem ser

considerados como curto-circuito durante o processo de separação de cargas que ocorre durante a tempestade no interior da nuvem (Pinto e Pinto, 2000).

Os relâmpagos que envolvem o solo, nuvem-solo e solo-nuvem, embora não sejam os mais frequentes, são os mais estudados por estarem mais acessíveis à observação visual – por conseguinte, à observação instrumentada também –, e por causa do perigo que apresentam. Os relâmpagos que envolvem o solo são denominados usualmente por raios. Estes, por sua vez, podem ser divididos em dois tipos: os negativos e os positivos, dependendo da polaridade predominante das cargas na região da nuvem onde se originam. Assim, existem quatro subtipos: NS negativo, NS positivo, SN negativo e SN positivo.

Os relâmpagos nuvem-solo negativos “nascem” no centro negativo de cargas próximo à base da nuvem e, em geral, são mais frequentes que os positivos. Os relâmpagos positivos são menos conhecidos, e só foram estudados mais detalhadamente nas últimas décadas. Acredita-se que, na maior parte das vezes, eles se originam no centro positivo de cargas transportando do solo para nuvem uma carga negativa, ou seja, equivalente à transferência de cargas positivas para o solo (Saba, 1997). A polaridade da descarga é determinada, portanto, pela polaridade da carga (resultante) depositada no solo.

Os relâmpagos Solo-Nuvem são raros em comparação com os nuvem-solo, originando-se geralmente de pontos elevados tais como torres, edifícios, montanhas e árvores.

1.2.1 Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características

Um relâmpago nuvem-solo negativo segue geralmente seis etapas, nesta ordem, a saber: (a) Pulso de Quebra de Rigidez ou descarga p-N, (b) líder escalonado, (c) descarga conectante, (d) descarga de retorno, (e) líder contínuo e (f) descarga de retorno subsequente, sendo que as etapas (e) e (f) podem se repetir várias vezes ou mesmo não ocorrer (Saba, 1997):

a) Os relâmpagos negativos para o solo começam com uma descarga entre o centro positivo menor na base da nuvem e o centro negativo para a liberação dos elétrons ligados às partículas de água ou gelo. Esta descarga é conhecida como Pulso de Quebra de Rigidez;

- b) Uma fraca descarga luminosa (geralmente não visível) se propaga em direção ao solo, criando um canal ionizado (caminho condutor). Essa descarga, denominada líder escalonado (*stepped leader*), propaga-se para baixo até aproximadamente 5 a 50 m do solo, com velocidade média da ordem de 10^5 m/s. O líder escalonado geralmente ramifica-se, mas nem todos os seus ramos estendem-se até o solo (FIGURA 1.2b);
- c) Uma descarga conectante surge com a intensificação do campo elétrico entre a parte frontal do líder escalonado e o solo. Tal descarga geralmente parte de objetos pontiagudos existentes na superfície, como árvores e edifícios, e desloca-se em direção à parte frontal do líder escalonado;
- d) Quando o encontro ocorre, a descarga conectante transforma-se numa descarga forte e de intensa luminosidade, denominada descarga de retorno (*return stroke*). É justamente essa descarga que é vista como um clarão. Ainda que preferencialmente o relâmpago atinja os objetos mais altos, isso nem sempre acontece. Na descarga de retorno, as cargas negativas (elétrons) presentes no canal já ionizado pelo líder escalonado são aceleradas, o que cria uma corrente ascendente (os elétrons fluem da nuvem para o solo) com picos de 30 kA. A velocidade de propagação da frente de onda (ou da luminosidade ao longo do canal) é da ordem de 10^8 m/s (um terço da velocidade da luz). A duração de tal descarga é de aproximadamente 70 microssegundos. Em média, ocorrem três descargas por relâmpago, mas há registros de casos com até 26 descargas (FIGURA 1.2d,e);
- e) O líder contínuo (*dart leader*) se dá quando o canal do raio está fracamente ionizado e, assim, este líder deve ionizá-lo novamente. Caracteriza-se como um líder por possuir baixa intensidade de corrente. Possui velocidade característica de $(1-2) \cdot 10^7$ m/s. Esta etapa ocorre somente quando, de alguma forma, existem cargas disponíveis próximas do canal feito anteriormente (FIGURA 1.2f,h);
- f) Após o líder contínuo ter ionizado o canal, outra descarga ocorre, sendo esta chamada descarga subsequente (*subsequent stroke*). A diferença essencial entre descargas de retorno e subsequente é que a primeira é precedida de líder escalonado, pois não existe canal algum, enquanto que a segunda é precedida por um líder mais veloz, que apenas refaz um canal previamente existente (FIGURA 1.2g,i);

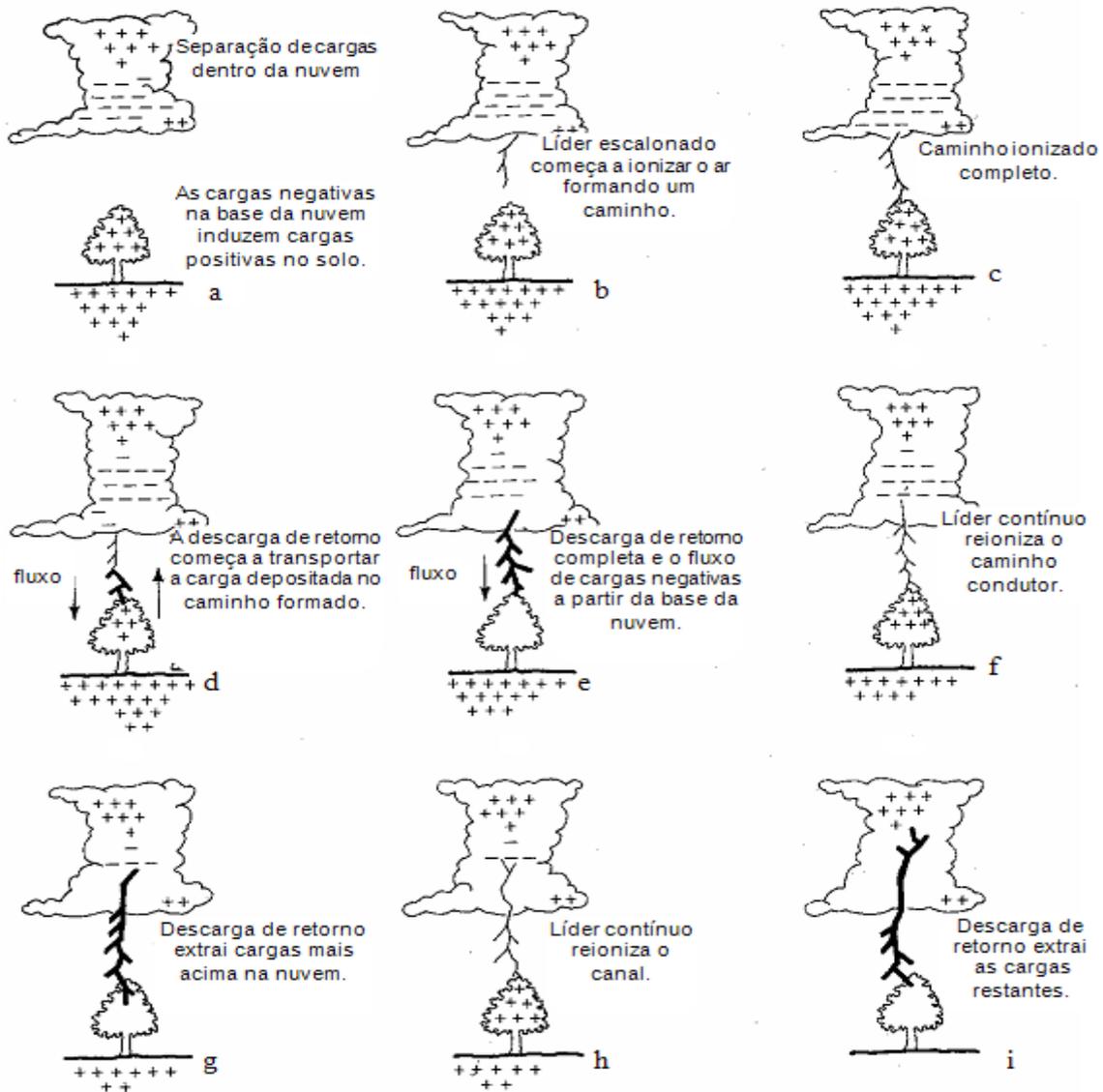


FIGURA 1.2 – Etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo.

FONTE: modificada de Lutgens e Tarbuck (1982, p. 244).

Estas sucessivas descargas subsequentes, em um único relâmpago, podem ser chamadas também de descargas múltiplas. Algumas vezes o olho humano é capaz de perceber essas descargas e ver o canal do relâmpago piscar. À noite, pode-se observar o “efeito estroboscópico” gerado pela luminosidade de tais descargas em objetos em movimento,

como o limpador de para-brisa de um automóvel. Em geral as descargas subsequentes são menos ramificadas do que a primeira descarga de retorno. Cerca de 50% dos casos elas não seguem uma trajetória única, formando os chamados raios de canais múltiplos, que atingem mais de um local (Saba et al., 2006).

As descargas de retorno geralmente são seguida por uma corrente contínua (CC), que pode ser entendida como sendo “um arco quase estacionário entre a fonte de carga na nuvem e o solo. Valores típicos de corrente são dezenas ou centenas de ampères, e de duração de até centenas de milissegundos” (Rakov e Uman, 2003). Normalmente denomina-se corrente contínua curta quando ela dura entre 10 e 40 ms e longa aquelas que ultrapassam 40 ms. Ballarotti (2005) observou uma grande ocorrência de correntes contínuas com duração inferior a 10 ms, até então inexistentes na literatura consultada em seu trabalho, e as denominou minicorrentes contínuas. Entre o pico de corrente (dezenas de kA) da descarga de retorno e o nível quase-estacionário (centenas de ampères) da CC, pode existir uma etapa de transição, chamada de corrente intermediária, da ordem de 1 ms de duração com corrente da ordem de 1 kA (Uman, 1987). Cerca de 70% das descargas de retorno são seguidas por algum tipo de corrente contínua (Saba et al, 2006).

Relâmpagos que contém corrente contínua podem ser chamados “relâmpagos híbridos” e os que não a possuem, “relâmpagos discretos”. Os híbridos são capazes de iniciar incêndios enquanto que os discretos não. Apesar de terem a mesma temperatura, a diferença está em que ela é mantida por mais tempo nos relâmpagos híbridos (décimos de segundos nos híbridos e milésimos de segundos nos discretos). No entanto, também os relâmpagos discretos podem ser muito destrutivos já que o aumento essencialmente instantâneo da corrente dentro de um material com alta resistência à corrente elétrica causa um aquecimento súbito e uma conseqüente vaporização da parte interna do material. Como resultado, uma pressão muito alta é rapidamente gerada dentro do material, podendo levá-lo a explosão (Saba, 1997).

1.2.2 Breve Descrição do Relâmpago NS Positivo

Os relâmpagos nuvem-solo positivos seguem de um modo geral as mesmas etapas descritas para os negativos, porém com algumas diferenças. Em geral, iniciam-se a

partir de um líder com uma luminosidade mais fraca se comparada ao líder escalonado de um NS negativo; tal líder propaga-se a partir de uma região de cargas positivas dentro da nuvem, não apresentando etapas e sim uma luminosidade contínua, porém com variações periódicas de intensidade. Outra característica importante é o número de descargas de retorno: somente uma na maioria das vezes. Costumam também apresentar corrente contínua mais longa (transferem maior quantidade de carga elétrica para o solo) do que os NS negativos, tornando-se mais destrutivos e sendo responsáveis pela maioria dos incêndios.

1.3 Pulsos de Quebra de Rigidez Dielétrica e Sua Relevância como Objeto de Estudo

Um meio dielétrico passa a ser condutor quando o campo elétrico local atinge um determinado valor. A este fenômeno damos o nome de quebra de rigidez dielétrica.

Em tempestades elétricas os pulsos de quebra de rigidez dielétrica do ar (PB, abreviação do inglês *preliminary breakdown pulses*) são descargas de baixa intensidade que ocorrem dentro da nuvem, entre 3 e 5 km do solo, durante períodos que variam de 10 a 100 ms precedendo o líder escalonado do relâmpago (Rakov e Uman, 2003). Elas são observáveis em medições de campo elétrico através de pulsos normalmente bipolares com uma duração média de 50 μ s e cerca de 100 μ s entre eles. Os detalhes quanto à sua origem ainda não possuem uma explicação satisfatória. Medidas de campo elétrico dentro de nuvens de tempestade indicam valores máximos entre 100 e 400 kV/m, bastante inferiores ao que seria esperado como necessário para a quebra da rigidez dielétrica do ar na altura da nuvem, estimado em 1 MV/m (Pinto e Pinto, 2000). Este fato é bastante intrigante e tem levado a diversas especulações distintas, envolvendo desde a polarização de gotículas de água pelo campo no local (causando uma diminuição na intensidade mínima do campo elétrico para causar a quebra de rigidez dielétrica do ar) até a influência de radiação cósmica, ou mesmo uma união das duas possibilidades.

Suas características, ocorrência e influência sobre a descarga de retorno que as seguem ainda não são bem compreendidas, o que justifica uma série de estudos mais

aprofundados que permitiriam uma melhor compreensão do processo envolvido na ocorrência de um relâmpago.

1.4 Objetivos do Trabalho

- Analisar vídeos obtidos em campanhas anteriores paralelamente a um estudo dirigido da literatura.
- Auxiliar em uma nova campanha de coleta de dados em São José dos Campos, e, em paralelo, trabalhar na redução e análise dos mesmos.
- Obter novos dados a respeito dos pulsos de quebra de rigidez dielétrica (PB) que precedem a ocorrência das descargas (iniciais e subsequentes em novo canal) de um relâmpago positivo.
- Analisar os novos dados obtidos e, eventualmente, editar e publicar os resultados obtidos em periódicos especializados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

2.1 Materiais Utilizados

- Câmera rápida *MotionScope 8000S* PCI, fabricada pela *Red Lake*;
- Microcomputador com a interface PCI da câmera rápida e os softwares *MiDAS 2.0* e *Origin 7.0*;
- Antena plana para medições de campo elétrico;
- Módulo de aquisição PCI BNC-6110 da National Instruments, com 12 bits e 8 entradas analógicas;
- Antena GPS para sincronismo dos equipamentos.

2.2 Sistema de Imageamento Digital de Alta Velocidade

Utilizamos o Sistema de Imageamento Digital de Alta Velocidade (ou câmera rápida, forma abreviada utilizada neste trabalho, ou ainda *High Speed Digital Imaging System*, nomenclatura usada pelo fabricante) “*MotionScope* PCI” do fabricante *Red Lake*, modelo *8000S*. Este sistema está baseado num sensor CCD (*Charge Couple Device*) para a captura das imagens. Este adquire e grava uma seqüência de imagens digitais de um evento a uma taxa ajustável de 60 a 8.000 quadros por segundo, sendo que os arquivos de saída, com extensão *avi*, podem ser visualizados em um PC. Possui sincronização de tempo via GPS (*Global Positioning System*), possibilitando comparação com outros instrumentos em análises de um mesmo evento. A FIGURA 2.1 mostra duas fotografias: uma do sistema, que é composto essencialmente de uma câmera e de seu *hardware* de *interface* com o PC, e outra do sistema instalado num módulo móvel para facilitar o posicionamento da câmera durante as aquisições de imagens.

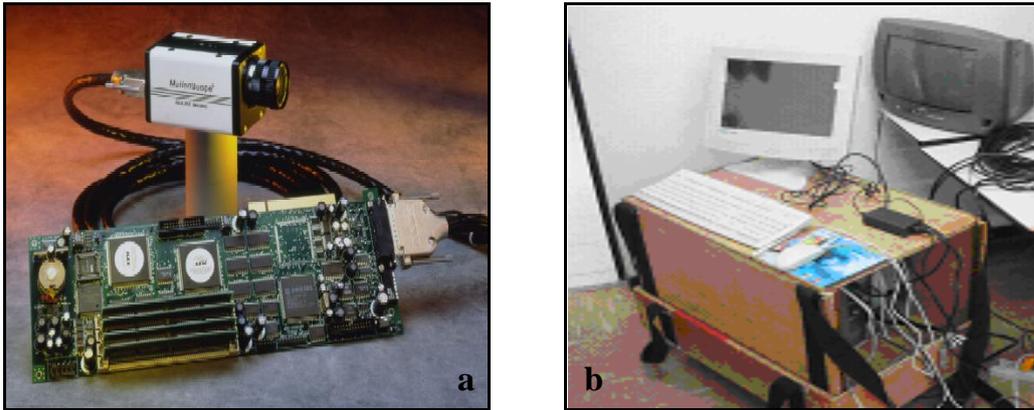


FIGURA 2.2 – Fotografias (a) da câmera 8000S MotionScope com sua placa de interface com o PC e (b) do sistema instalado no módulo móvel.

2.3 Antena de Campo Elétrico

Uma antena plana com largura de banda de 306 Hz a 1,5 MHz serviu para efetuar medições de campo elétrico. Para aquisição de seus dados utilizamos o módulo BNC-6110 da National Instruments, que possui 8 entradas analógicas de 12 bits e sincronização com GPS, configurado para uma resolução de 5 MS/s (*mega-samples* por segundo, ou seja, 5 milhões de aquisições em 1 segundo). As medições são salvas por um software do tipo *data logger* em arquivos *.bin*, possibilitando a gravação, visualização e análise. Seus dados podem ser facilmente confrontados com os vídeos registrados pela câmera rápida graças à sincronização com tempo GPS que as duas possuem, tornando os dois instrumentos praticamente complementares. A FIGURA 2.2 é uma fotografia da antena e a FIGURA 2.3 mostra um exemplo de gráfico do campo elétrico de um relâmpago *versus* tempo obtido com seu auxílio.



FIGURA 2.2 – Antena plana utilizada em medidas de campo elétrico.

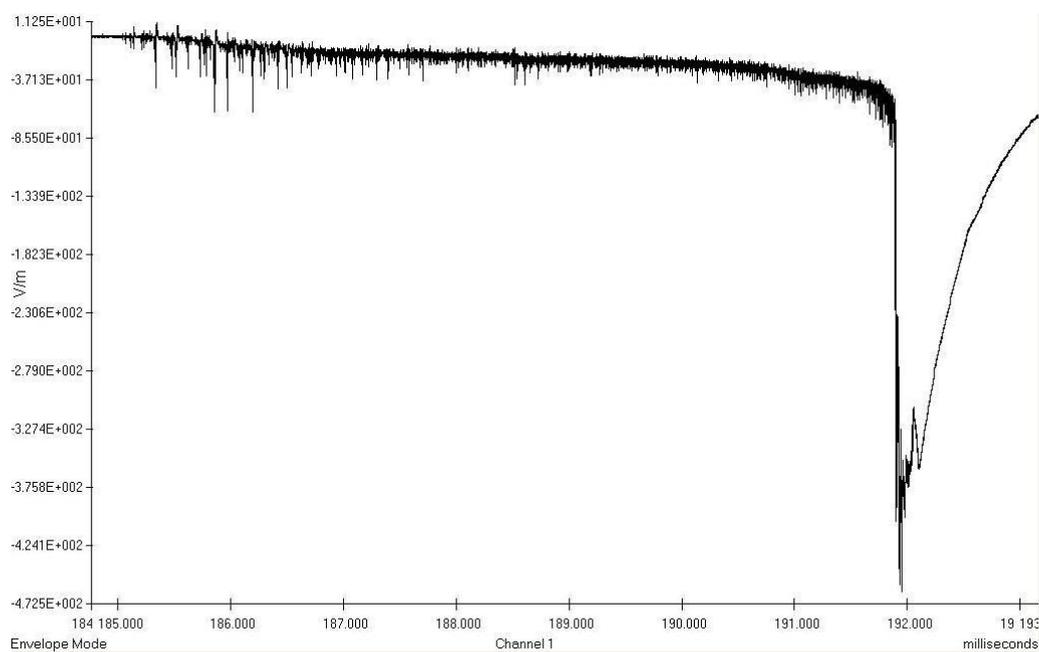


FIGURA 2.3 – Exemplo de gráfico de campo elétrico versus tempo obtido com o auxílio da antena plana. A imagem mostra o instante de ocorrência de uma descarga de retorno (pico maior negativo) juntamente com os pulsos de quebra de rigidez (pequenos pulsos bipolares de pequena amplitude).

2.4 Local de Observação

Para as observações realizadas utilizou-se a Torre de Antenas do IAE/AEL no CTA, locada no município de São José dos Campos (situado no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo), gentilmente cedida ao INPE-DGE-ELAT para a realização dos experimentos. Trata-se de um ponto elevado em comparação com o relevo local, possibilitando boa visibilidade em praticamente 360° ao redor. A FIGURA 2.4 exhibe uma foto do local.



FIGURA 2.4 – Torre de observação do CTA/IAE/AEL.

2.5 Procedimento das Observações

A obtenção dos dados foi realizada com um operador, que, basicamente, realizava as seguintes funções com a câmera rápida: (1) a câmera é direcionada para a tempestade em observação. (2) A luminosidade é ajustada para que se tenha um contraste luminoso adequado do cenário. (3) Ao visualizar um raio, o operador pressiona um botão de *trigger* (acionamento) do sistema; aqui, é utilizado um recurso computacional chamado Fila Circular, que consiste em gravar dados continuamente em uma determinada região de memória e, quando o ponteiro (que indica a posição de memória a ser utilizada)

chega à sua última posição, o programa aponta para a primeira posição da memória. Assim, ao se acionar o pulso de *trigger*, as imagens serão gravadas, consistindo de imagens passadas e futuras em relação ao momento do *trigger*. Ou seja, ao configurar o *trigger* em 50%, a gravação do filme registrará 1,0 segundo de imagens anteriores e 1,0 segundo de imagens posteriores ao momento do *trigger*. Como o tempo de resposta típico dos operadores (intervalo de tempo este entre os momentos do evento e o do acionamento manual) está em torno de 400 ms, geralmente registramos 0,6 s antes da ocorrência da 1ª descarga de retorno e 1,4 s após esta ocorrência. Dado que a duração máxima de um raio está em torno de 1,0 s, tal ajuste de 50% mostrou-se o mais eficaz na captura de todas as fases do raio.

A operação da antena de campo elétrico se dá de forma semelhante, com esta locada sobre a torre de observação na parte exterior desta. O operador pressiona também um botão *trigger* simultaneamente com o da câmera, que faz com que o computador grave os dados obtidos módulo de aquisição BNC-6110 utilizando o mesmo recurso computacional de fila circular (explicado acima). No caso do campo elétrico a aquisição se dá em um período mais longo, normalmente de 2 a 3 segundos antes mais 2 a 3 segundos depois do acionamento do *trigger*, garantindo que todo o intervalo de tempo coberto pela câmera seja também registrado pelo campo elétrico.

3. RESULTADOS

3.1 Campanha de Coleta de Dados 2010-2011

A Campanha de aquisição de novos dados de tempestades teve início em outubro de 2010 e encerrou em fevereiro de 2011. Durante esse tempo foram filmados 635 raios. Esse é o maior número de raios filmados durante uma campanha feita pelo grupo ELAT desde a sua criação.

3.2 Análise de Dados

Em paralelo à obtenção dos dados realizamos a sua redução, possibilitando a seleção dos casos julgados úteis para uma análise mais detalhada dentro do escopo deste estudo. Com os dados obtidos pela campanha 2010-2011 foi criada uma planilha para controle e análise dos dados, conforme figura 3.1.

MATRIZ	Local	Vídeo	Câmera	Ano	Mês	Dia	Hora	Min	Seg	ms	Frame	Visibilidade	Tipo
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,509000	509	-1868	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,522000	522	-1815	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,527000	527	-1794	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,595000	595	-1523	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,619000	619	-1428	d	ic
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,331000	331	-2579	v	rl
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,357250	357	-2475	v	cg
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,375000	375	-2403	v	m
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,223	223	-3010	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,27525	275	-2803	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,29	290	-2744	v	rl
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,365	365	-2444	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,43975	439	-2145	v	rl
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,4655	465	-2042	v	rl
9	SJC	17	HS2	2010	10	26	1	9	41,176	176	-2520	v	cg
9	SJC	17	HS2	2010	10	26	1	9	41,177	177	-2516	v	m
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,03625	36	-3958	v	spider
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,05775	57	-3872	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,17575	175	-3400	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,22125	221	-3218	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,2405	240	-3141	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,26575	263	-3040	v	ic
9	SJC	19	HS2	2010	11	22	18	24	12,9015	901	-3734	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,511750	511	-3879	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,609750	609	-3487	v	ic
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,660500	660	-3284	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,661750	661	-3279	v	m
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,797500	797	-2736	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,798500	798	-2732	v	m
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,417250	417	-2326	v	cg
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,446250	446	-2210	v	cg
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,531250	531	-1870	v	cg

FIGURA 3.1 – Planilha de Controle

3.3 Resultados Sobre a Quebra de Rigidez Dielétrica

1) Pulsos de breakdown ou pulsos da quebra de rigidez dielétrica

a) Características gerais

Um trem de pulsos bipolares(chamados de pulso de breakdown) ocorrem alguns milissegundos antes da primeira descarga de retorno em um raio nuvem-solo. Na maioria dos casos os esses pulsos tem a polaridade inicial similar ao da descarga de retorno.

Todos os 40 casos analisados apresentaram pulso de breakdown precedendo a descarga de retorno. A figura 3.1 mostra um típico pulso de breakdown

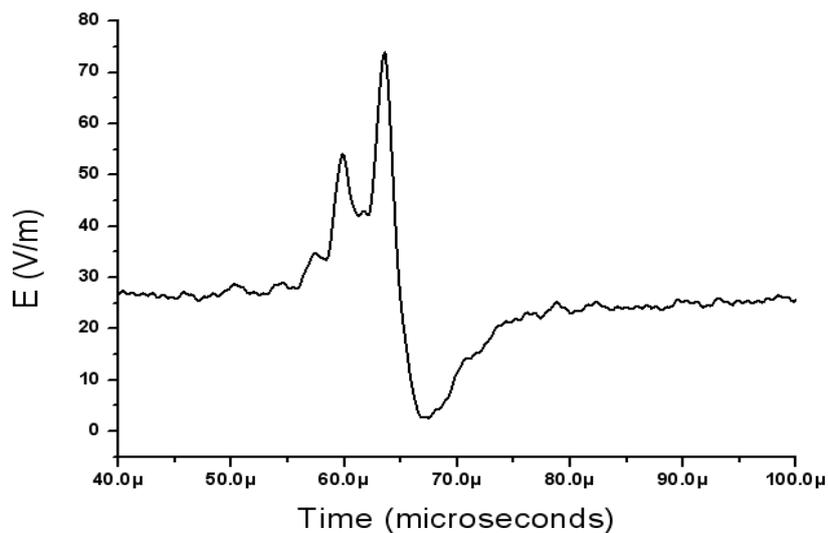


FIGURA 3.2 – Típico Pulso de Breakdown

Ao contrário do que foi encontrado por Gomes e Cooray (2004), em 38 dos 40 casos analisados neste trabalho o primeiro pulso de breakdown apresentava a mesma polaridade da descarga da descarga de retorno(figura 3.3a e 3.3b)

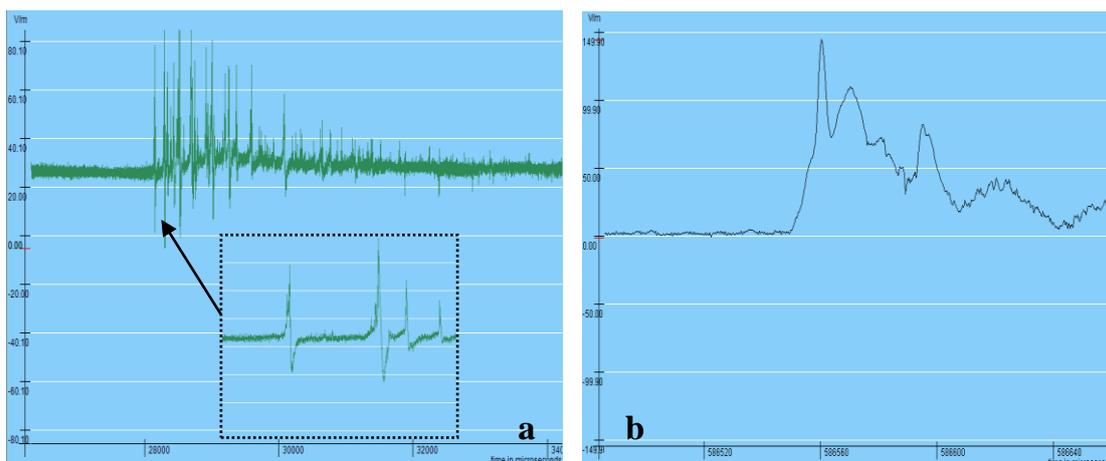


FIGURA 3.3 – Campo elétrico (a) dos pulsos de breakdown e (b) da descarga de retorno

b) Tempo de subida do pulso de breakdown

Para se achar o tempo de subida do pulso, foi medido o tempo de subida inteiro, em seguida foi retirado 10% da parte inicial e 10% da parte final da subida. Este procedimento se faz necessário, pois como o campo elétrico tem um pouco de ruído, não podemos afirmar com certeza o ponto de início dos pulsos.

O tempo de subida dos casos analisados variou de 1 a 17,8 μs . A figura 3.4 mostra a distribuição do tempo de subida do breakdown.

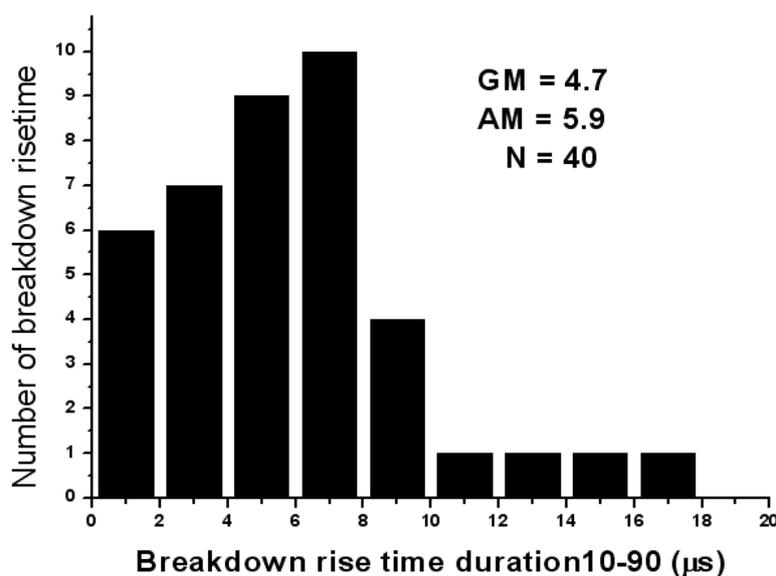


FIGURA 3.4 – Histograma do tempo de subida do pulso de breakdown

(legenda: GM = média geométrica, AM = média aritmética, N = total de casos analisados).

c) Intervalo de tempo entre o primeiro breakdown e a descarga de retorno

O tempo entre o primeiro breakdown (PBP) e a descarga de retorno variou de 59.6 a 653.5ms. A figura 3.5 mostra a distribuição do intervalo de tempo entre o breakdown e a descarga de retorno.

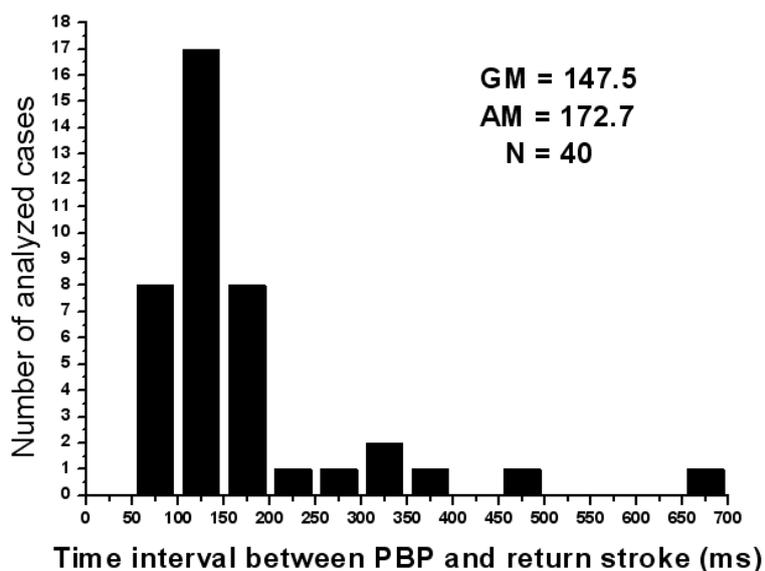


FIGURA 3.5 – Histograma do intervalo de tempo entre o primeiro breakdown e a descarga de retorno

(legenda: GM = média geométrica, AM = média aritmética, N = total de casos analisados).

2) *Trem de pulsos*

Em sua pesquisa, Nag et al. (2008) descobriu que quase todas as descargas positivas na Florida (47 de 51) não apresentam trem de pulsos precedendo a descarga de retorno. Neste trabalho, apenas 2 dos 40 casos analisados não apresentaram trem de pulsos, mas apenas um único pulso bipolar precedendo a descarga de retorno.

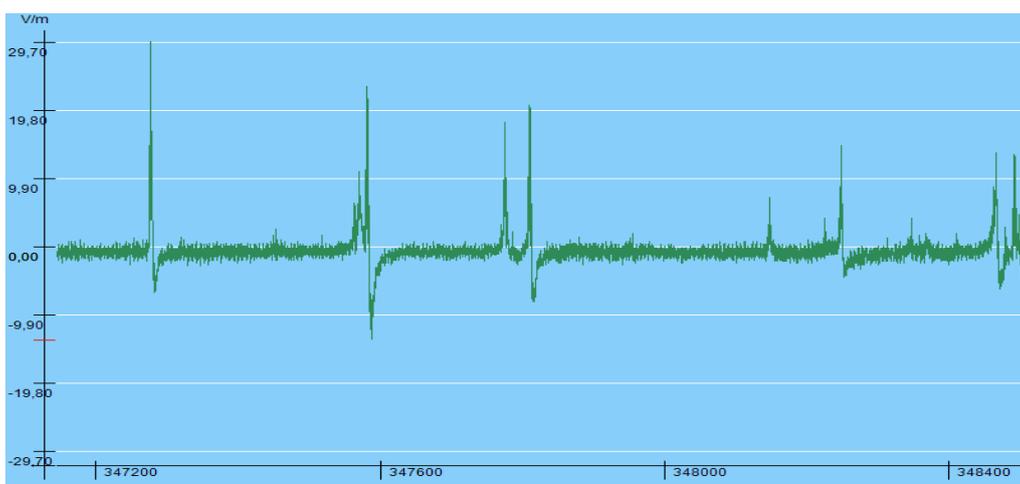


FIGURA 3.6 – Trem de pulsos

a) Duração

Em sua pesquisa, Gomes e Cooray (2004) encontraram mais de um trem de pulsos precedendo a descarga de retorno em 9% dos casos analisados. Neste trabalho, nenhum dos casos analisados tinha mais de 1 trem de pulsos precedendo a descarga de retorno. A duração do trem de pulsos variou de 0.5 a 6.9ms. A figura 3.7 mostra a distribuição da duração do trem de pulsos.

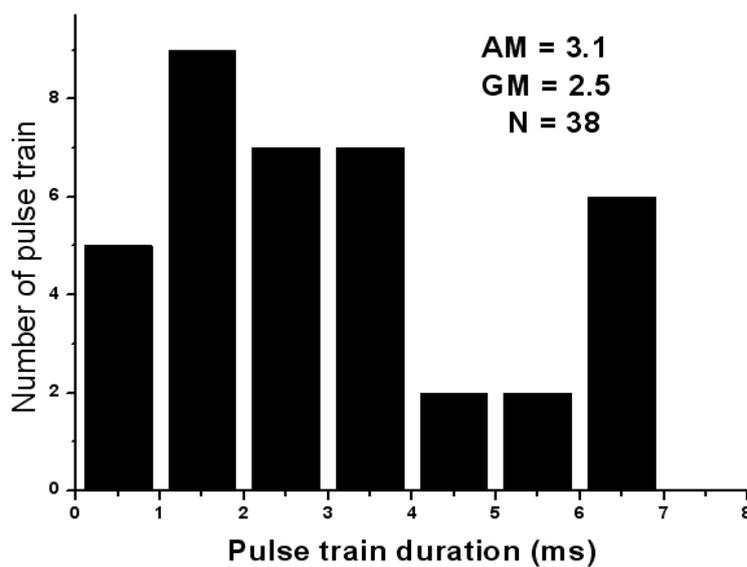


FIGURA 3.7 – Histograma da duração do trem de pulsos

(legenda: GM = média geométrica, AM = média aritmética, N = total de casos analisados).

b) Intervalo de tempo entre pulsos no trem de pulsos

O tempo entre os pulsos foi obtido medindo o intervalo de tempo entre cinco pulsos bipolares consecutivos pertencentes ao mesmo trem de pulsos em 38 raios nuvem-solo. O tempo entre pulsos variou de 36 a 1554 μs . A figura 3.8 mostra a distribuição da duração do intervalo de tempo entre pulsos.

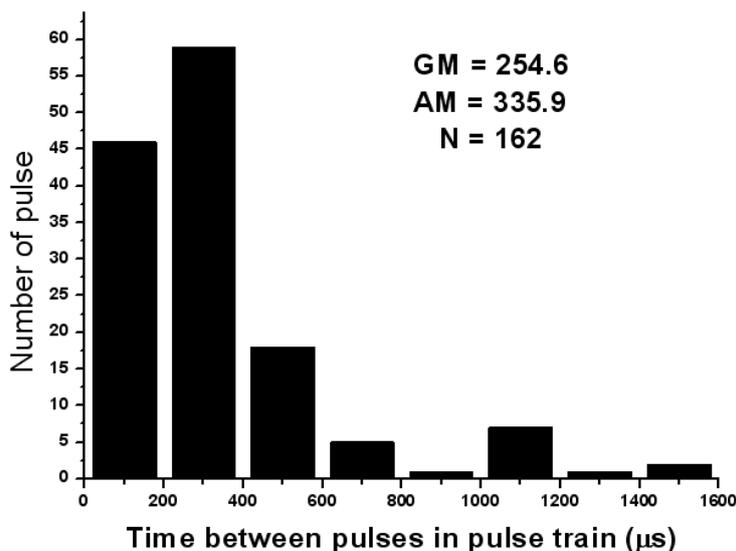


FIGURA 3.7 – Histograma do intervalo de tempo entre pulsos no trem de pulsos

(legenda: GM = média geométrica, AM = média aritmética, N = total de casos analisados).

3.4 Comparações Com Trabalhos Anteriores

Valores dados por média aritmética	Este estudo	Ushio et al. (1997)	Gomes and Cooray (2004)	Nag et al. (2008)
Duração do trem de pulsos (ms)	3.1	1	3	
Intervalo de tempo entre o PBP e a descarga de retorno (ms)	173	12	56	
Intervalo de tempo entre pulsos no trem de pulsos (μs)	336	52	96	160

4. Conclusão

Os processos que dão origem aos relâmpagos ainda não são bem conhecidos e os resultados aqui apresentados são uma contribuição nesta área. A partir de trabalhos como este é que provavelmente no futuro teremos uma rede de proteção contra raios muito mais eficiente.

Pela primeira vez no Brasil, o processo de quebra de rigidez dielétrica (PBP) de raio positivo foi analisado com medições de campo elétrico. Descobrimos que todas as descargas de retorno positivas são precedidas por pulsos de breakdown (figura 3.2). Em 95% dos casos o processo de quebra dielétrica tem apenas um trem de pulso com a mesma polaridade da descarga de retorno.

Diferenças foram encontradas entre trabalhos realizados com dados de tempestades ocorridas em outras partes do mundo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballarotti, M. G. **Estudo de relâmpagos nuvem-solo através de câmera rápida**. 2005-02-21. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Ballarotti, M. G.; Saba, M. M. F.; Pinto Jr, O. **High-speed camera observations of negative ground flashes on a millisecond-scale**. Geophysical Research Letters, Vol. 32, L23802, doi:10.1029/2005GL023889, 2005.

Chandima Gomes, Vernon Cooray, **Radiation field pulses associated with the initiation of positive cloud to ground lightning flashes**, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 66 (2004) 1047 – 1055, 2004.

Kitagawa, N.; Brook, M.; Workman, E. J. **Continuing current in cloud-to-ground lightning discharges**. Journal of Geophysical Research: Vol.67, p. 637-647, 1962.

Lutgens, F. K.; Tarbuck, J. E. The Atmosphere. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Feb. 1982, 528 p.

Amitabh Nag, Vladimir A. Rakov, Dimitris Tsalikis, **Some features of positive and bipolar cloud-to-ground lightning discharges in Florida**, 3^o International Conference on Lightning physics and Effects, 2008.

Pinto Jr., O.; Pinto, I. R. C. A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

Pinto Jr., O. **The Brazilian lightning detection network: a historical background and future perspectives**. In: VII SIPDA, 2003, Curitiba. Proceedings, 2003.

Rakov, V. A.; Uman, M. A. **Lightning: Physics and Effects**. Cambridge University Press. United Kingdom: Cambridge, 2003.

Saba, M. M. F. **Estudo de condutividade, campo elétrico e relâmpagos associados a nuvens de tempestade**. junho, 1997. 180 p. (INPE-6675-TDI/625). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

Saba, M. M. F.; Pinto Jr., O.; Solórzano, N. N.; Eybert-Berard, A. **Lightning current observation of an altitude-triggered flash**. Atmospheric Research, v. 76, n. 1-4, p. 402-411, 2005.

Saba, M. M. F.; Ballarotti, M. G.; Pinto Jr, O. **Cloud-to-ground lightning properties in Brazil from high-speed video observations**. Journal of Geophysical Research, Vol. 111, D03101, doi:10.1029/2005JD006415, 2006.

Uman, M. A. **The lightning discharge**. Academic Press, 1987.

Uman, M. A.; Krider, E. P. **Natural and artificially initiated lightning**. Science: p.457-464, Vol. 246, Oct 1989.

Tomo-o Ushio, Zen-Ichiro Kawasaki, Kenji Matsu-ura, and Daohong Wang, **Electric fields of initial breakdown in positive ground flash**, Journal of Geophysical Research, VOL.103, NO. D12, PAGES 14, 135 – 14, 139. 1998.

Wood, R. A. **When lightning strikes!** Weatherwise, Vol. 41, n. 4, p. 206-210, 1988.