



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



**ESTUDO DOS INTERVALOS DE TEMPO ENTRE AS  
DESCARGAS DE RETORNO DOS RAIOS.**

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

Camila Lopes de Carvalho (FATEC / INFO, Bolsista PIBIC / CNPq)

E-mail: millalc@msn.com

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

E-mail: msaba@dge.inpe.br

INPE  
São José dos Campos



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**



## **ESTUDO DOS INTERVALOS DE TEMPO ENTRE AS DESCARGAS DE RETORNO DOS RAIOS.**

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

**Camila Lopes de Carvalho (FATEC / INFO, Bolsista PIBIC / CNPq)**

**E-mail: millalc@msn.com**

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

**E-mail: msaba@dge.inpe.br**

**Julho de 2011**

## RESUMO

No período da bolsa PIBIC em 2011, foram realizadas diversas análises de relâmpagos positivos e negativos utilizando dados coletados através de duas câmeras de alta resolução temporal e através de antenas sensíveis ao campo elétrico (lento e rápido) obtido durante as tempestades. O uso dos três instrumentos é de grande importância para determinar exatamente o tempo entre as descargas dos raios. As câmeras de alta velocidade às vezes não conseguem visualizar algumas descargas dos raios. Com a ajuda do campo elétrico rápido é possível detectar estas descargas não observadas pela câmera. O campo elétrico lento, pelo fato de observar a corrente contínua, consegue perceber a presença da descarga que antecede a corrente contínua. Essa descarga, geralmente de pequena intensidade pode não ser evidente no registro do campo elétrico rápido.

# **STUDY OF TIME INTERVAL BETWEEN RETURN STROKES IN NEGATIVE AND POSITIVE LIGHTNINGS**

## **ABSTRACT**

In the period of the PIBIC scholarship in 2011, was conducted several tests of positive and negative lightning using data collected from two high-speed cameras and from sensitive antennas of electric field (slow and fast) obtained during storms. The use of these three instruments is of great importance to determine the exact time between lightning discharges. The high-speed cameras sometimes cannot visualize some lightning discharges. With the help of the electric field it is quickly possible to detect these discharges that are not visualized by the camera. As the slow electric field is capable of record the continuing current, the presence of the return stroke prior to the continuing current made evident. The continuing current, being a low intensity discharge, is usually not evident in the record of the fast electric field.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
FIGURA 1.1 – Raio nuvem-solo .....	2
FIGURA 1.2 – Etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo.....	4
FIGURA 2.1 – A câmera <i>PhotronFastcam PCI 512</i> . .....	6
FIGURA 2.2 – Antenas de campo elétrico na torre (a) e no solo (b) .....	6
FIGURA 2.3 – Medida do campo elétrico rápido e lento. O campo elétrico lento foi medido em três lugares: no solo, na região interna do topo da torre na região externa do topo da torre.....	7
FIGURA 2.4 – Detalhes da montagem do sensor de campo rápido .....	7
FIGURA 2.5 – Detalhes da montagem do sensor campo lento .....	8
FIGURA 2.6 – Software Datalogger para a aquisição de campos com GPS integrado.....	8
FIGURA 2.7 – Software Dataviwer usado na análise dos campos.....	9
FIGURA 2.8 – Software BrasilDAT usado para localizar descargas elétricas.....	9
FIGURA 2.9 – Raios negativos observados no dia 26 de janeiro de 2011 .....	10
FIGURA 2.10 – A torre de observação.....	10

## Sumário

1	INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	1
1.1	Histórico.....	1
1.2	Definição, Tipos de Relâmpagos e Características.....	1
1.2.1	Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características.....	2
	Figura 1.2. As etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo. (modificada de Lutgens e Tarbuck (1982, p. 244).....	4
1.2.2	Breve Descrição do Relâmpago NS Positivo .....	4
1.3	Objetivos do Trabalho .....	5
2	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS .....	5
2.1	Materiais Utilizados .....	5
2.2	Instrumentação Observacional.....	5
2.3	Antena de Campo Elétrico .....	6
2.4	Local de Observação.....	10
3	CONCLUSÃO .....	10
4	TRABALHOS FUTUROS.....	11

# 1 INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 Histórico

A ocorrência de relâmpagos no nosso planeta é bastante comum e mais antiga que a própria humanidade. No Brasil, estes fenômenos são estudados pelo ELAT (Grupo de Eletricidade Atmosférica) no INPE, desde sua criação há 30 anos, o grupo pode observar diferentes características daquelas definidas pela literatura internacional. O relâmpago está entre os fenômenos naturais que mais causam mortes, no Brasil causam cerca de 200 mortes por ano acarretando até 500 milhões de reais em prejuízos (Pinto e Pinto, 2000).

Vários setores da sociedade são afetados pela ocorrência de relâmpagos, como a linha de distribuição de energia elétrica, rede de telecomunicações, indústrias e edifícios, além de causar um risco à segurança das pessoas. Os sistemas de proteção que são utilizados hoje são desenvolvidos a partir de observações de raios obtidos em outros países e fora da região tropical, o que aumenta a importância de coletar mais dados de raios ocorridos no Brasil.

Os dados colhidos de relâmpagos no Brasil são baseados em:

- Parâmetros fornecidos pelo BrasilDAT: rede de sensores dispostos geograficamente pela região sudeste do Brasil e arredores (Pinto, 2003).
- Raios Artificiais: São induzidos por foguetes e possuem características equivalentes aos raios naturais (Saba et al, 2005)
- Imagens de câmeras rápidas e campo elétrico de raios naturais: São sincronizadas e possuem GPS.

## 1.2 Definição, Tipos de Relâmpagos e Características

Pode ser definido como relâmpago uma descarga transitória de alta corrente cujo comprimento percorrido tem dimensão de quilômetros (Uman e Krider, 1989). Uma nuvem não está necessariamente envolvida com este tipo de fenômeno, mas geralmente as nuvens de tempestade, chamadas de *cumulonimbus*, estão presentes.

Os tipos de relâmpagos são denominados em função do seu ponto de origem e ponto de término. Podem ocorrer (1) de uma nuvem para o solo (chamado Nuvem-solo ou NS), (2) do solo para a nuvem (chamado Solo-Nuvem ou SN), (3) dentro da nuvem (chamado Intranuvem ou IN).



Figura 1.1. Raio Nuvem-solo.

Os relâmpagos intranuvem são mais frequentes, cerca de 80% do total de relâmpagos ocorridos no mundo. Mas o estudo desse tipo de relâmpago é dificultado devido a opacidade das nuvens, este tipo de relâmpago pode ser considerado como um curto-circuito recorrente a separação de cargas durante a tempestade no interior da nuvem (Pinto e Pinto, 2000).

Os relâmpagos nuvem-solo e solo-nuvem não são tão frequentes, cerca de 20% do total, mas são os mais estudados devido a possibilidade de visualização e o perigo que apresentam. Relâmpagos que envolvem o solo, também denominados usualmente por raios, podem ser de dois tipos: os raios negativos e os raios positivos, dependendo da polaridade das cargas na região das nuvens em que se originam. Sendo assim, existem mais quatro tipos de raios: NS negativo, NS positivo, SN negativo e SN positivo.

Os relâmpagos NS negativos são originados no centro negativo de cargas próximo à base da nuvem, São mais frequentes que os NS positivos. Os positivos são menos conhecidos e 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.

Em comparação com os relâmpagos nuvem-solo, os relâmpagos solo-nuvem são raros e originam-se de lugares elevados como edifícios, torres, montanhas e árvores.

### 1.2.1 Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características

Geralmente um relâmpago nuvem-solo negativo segue seis etapas, nesta ordem: (a) Pulso de quebra de rigidez, (b) líder escalonado, (c) descarga conectante, (d) descarga de retorno, (e) líder contínuo, (f) Descarga de retorno subsequente. As etapas (e) e (f) podem ocorrer diversas vezes ou simplesmente não ocorrer. (Saba, 1997).

- a. Pulso de quebra de rigidez (descarga): Relâmpagos negativos que atingem o solo começam com uma descarga entre o centro positivo menor na base da nuvem e o



- centro negativo que libera elétrons ligados às partículas de água ou gelo. (Figura 1.2a).
- b. Líder escalonado: Uma descarga fraca e pouco luminosa se propaga em direção ao solo, criando um caminho condutor (canal ionizado). Essa descarga é chamada de líder escalonado, propaga-se para baixo até próximo ao solo (5 a 50m), com velocidade média da ordem de  $10^5$  m/s. Um líder escalonado normalmente se ramifica, mas nem todas as ramificações atingem o solo. (Figura 1.2b)
  - c. Descarga conectante: Com a intensificação do campo elétrico entre a parte frontal do líder escalonado e o solo surge a descarga conectante. A descarga conectante geralmente origina-se de objetos pontiagudos existentes na superfície, como árvores e edifícios, e desloca-se em direção à parte frontal do líder escalonado. (Figura 1.2c).
  - d. Descarga de retorno: Quando o encontro com o solo ocorre, a descarga conectante se transforma em uma descarga de intensa luminosidade, denominada descarga de retorno, essa descarga que é vista como um clarão. Normalmente um relâmpago atinge objetos mais altos, mas isso nem sempre acontece. Em uma descarga de retorno as cargas negativas (elétrons) presentes no canal ionizado pelo líder escalonado são aceleradas, fazendo com que os elétrons fluam da nuvem para o solo. Aproximadamente a duração de tal descarga é de 70 microssegundos. Em média, ocorrem três descargas por relâmpago, mas existem registros de casos com até 26 descargas. (Figura 1.2d,e).
  - e. Líder contínuo: Caracteriza-se como um líder por possuir baixa intensidade de corrente, quando o canal do raio estiver fracamente ionizado o líder contínuo deve ionizá-lo novamente. Ocorre quando, de alguma forma, existem cargas disponíveis próximas ao canal feito anteriormente. (Figura 1.2f,h).
  - f. Descarga de retorno subsequente: Uma descarga subsequente é uma descarga que ocorre após a ionização do canal pelo líder contínuo. A principal diferença entre as descargas de retorno e subsequente é que a primeira é precedida por um líder escalonado, pois ainda não existe canal algum, enquanto que a segunda é precedida por um líder veloz, que simplesmente refaz um caminho previamente existente. (Figura 1.2g,i).

Estas descargas subsequentes sucessivas em um único relâmpago também pode ser chamada de descargas múltiplas. Em geral as descargas subsequentes são menos ramificadas que a primeira descarga de retorno, cerca de 50% dos casos elas não seguem uma única trajetória, podendo atingir diversos pontos no solo. (Saba et al., 2006).

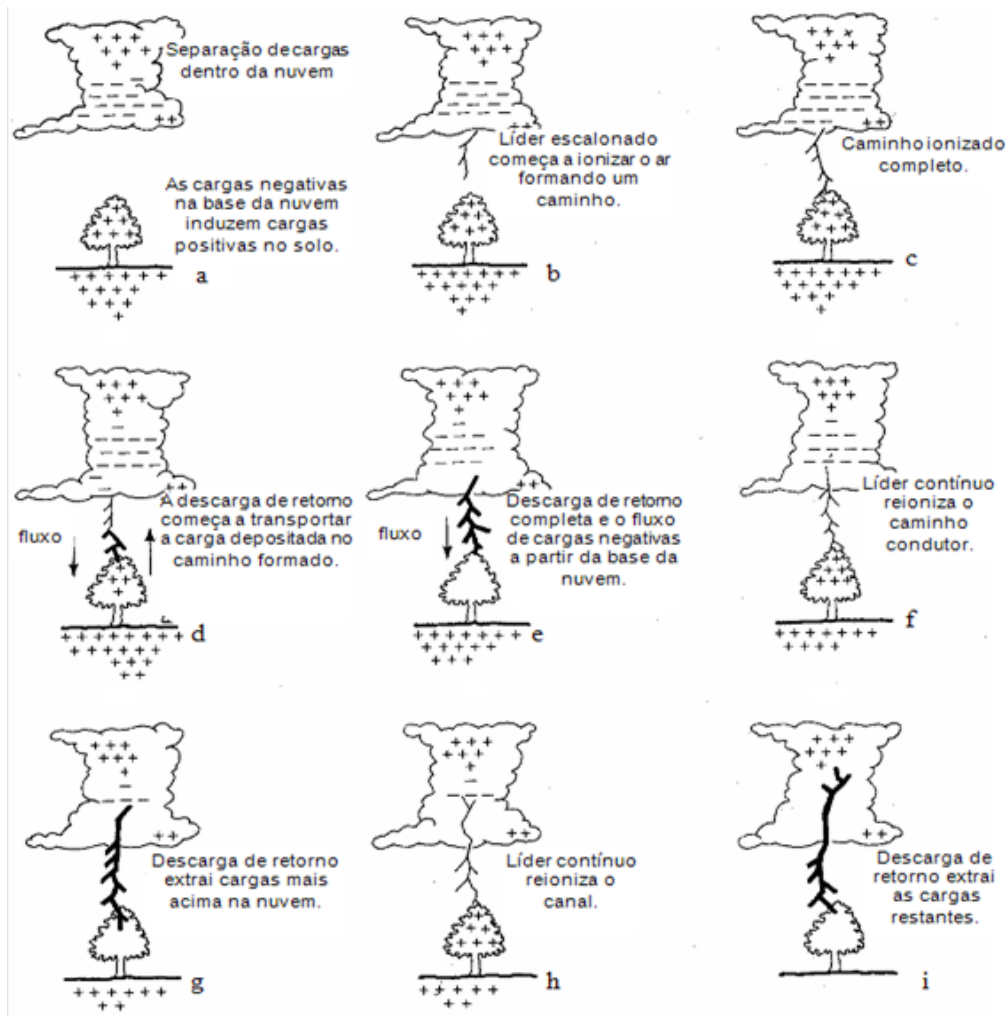


Figura 1.2. As etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo. (modificada de Lutgens e Tarbuck (1982, p. 244).

Uma descarga de retorno normalmente é seguida por uma corrente contínua (CC), que segundo Rakov e Uman, 2003 pode ser entendida como “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”. A corrente contínua curta pode ter de 10 e 40ms, a corrente longa é aquela que ultrapassa 40ms. Cerca de 70% das descargas de retorno são seguidas por algum tipo de corrente contínua (Saba et al, 2006).

### 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” (Pinto e Pinto, 2000). Em comparação com um líder escalonado de um NS negativo, os positivos iniciam-se a partir de um líder com luminosidade mais fraca; esse líder origina-se a partir de uma região nas nuvens com cargas positivas, apresenta uma luminosidade contínua com variações periódicas de intensidade. Uma característica importante é o número de descargas de retorno e a quantidade de ramificações, normalmente somente uma descarga e sem ramificações. Os NS positivos costumam apresentar uma corrente contínua mais longa que os NS

negativos, transferindo uma quantidade maior de carga elétrica para o solo tornando-se assim, mais destrutivos, perigosos e responsáveis pela maioria dos incêndios.

### 1.3 Objetivos do Trabalho

- Identificar as descargas de retorno e outros processos dos raios como: componente m, descargas intra-nuvem, corrente contínua, líder, etc.
- Determinar os tempos de cada descarga de retorno.
- Confirmar a existência da descarga de retorno através do campo elétrico lento e rápido.
- Encontrar os intervalos de tempo entre as descargas.

## 2

## M

## ATERIAIS 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 Instrumentação Observacional

Antigamente, em outros estudos eram usadas câmeras VHS para a filmagem de relâmpagos, mas não era possível obter muitos detalhes, pois eram gravados 30 quadros por segundo, impossibilitando saber a quantidade de descargas ou se houve corrente contínua.

Para realizar as filmagens de relâmpagos hoje, são usadas as câmeras Photron Fastcam 512 PCI (Figura 2.1) e Red Lake Motion Scope 8000S. As câmeras de alta resolução temporal pode-se obter todos os detalhes necessários para a interpretação de um relâmpago, podendo gravar de 1000 à 8000 quadros por segundo.



Figura 2.1. A câmera *PhotronFastcam PCI 512*.

Com as câmeras de alta velocidade pode-se definir a quantidade de quadros que será gravado antes do evento. Cada disparo é iniciado manualmente, pressionando um botão quando o raio ocorre. Geralmente os vídeos têm a duração total de 2 segundos (2.000 quadros), sendo que 1s é o tempo de pré-disparo. O tempo de pré-disparo é necessário para evitar a perda das primeiras descargas elétricas. (Saba et al., 2006).

### 2.3 Antena de Campo Elétrico

Os sensores de campo elétrico foram desenvolvidos para medir a variação do campo elétrico e a duração da corrente contínua produzida pelas descargas elétricas. Um destes sensores está localizado no topo da torre de observação (figura 2.2a), já o segundo está localizado no solo próximo dessa torre (Figura 2.2b).

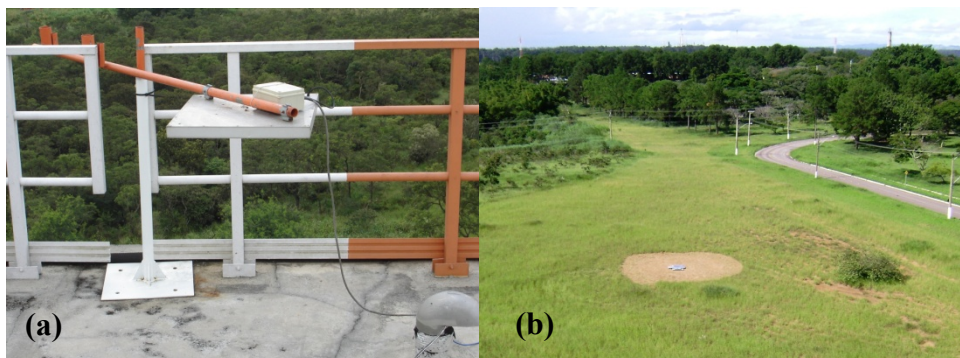


Figura 2.2. (a) Sensor de campo elétrico localizado na torre. (b) Sensor de campo elétrico no solo.

A torre influencia na medição do campo elétrico, com isso o resultado obtido pelo sensor no solo e pelo sensor localizado na torre é diferenciado. Na figura 2.3 podemos observar um caso onde essas diferenças são mostradas.

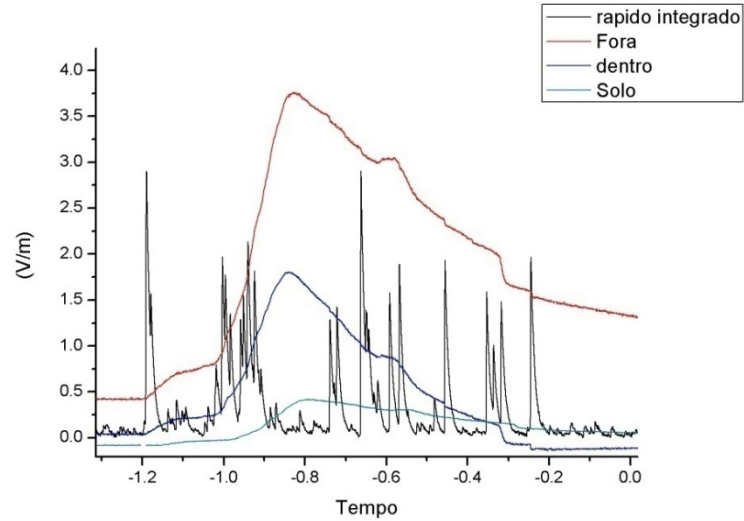


Figura 2.3. Medida de campo elétrico rápido e lento. O campo elétrico lento foi medido em três lugares: no solo, na região interna do topo da torre e na região externa do topo da torre.

Analisando a figura 2.3 é possível notar que a amplificação do campo é de 6,5 vezes na antena localizada na região externa do topo da torre e de 3,5 vezes na antena na região interna do topo da torre de observação.

Para que os sensores de campo rápido e campo lento funcionem corretamente são necessários equipamentos e programas correspondentes ao tipo de sensor. As figuras abaixo mostram o esquema de montagem dos sensores detalhando cada item.

#### Montagem do Campo Rápido:

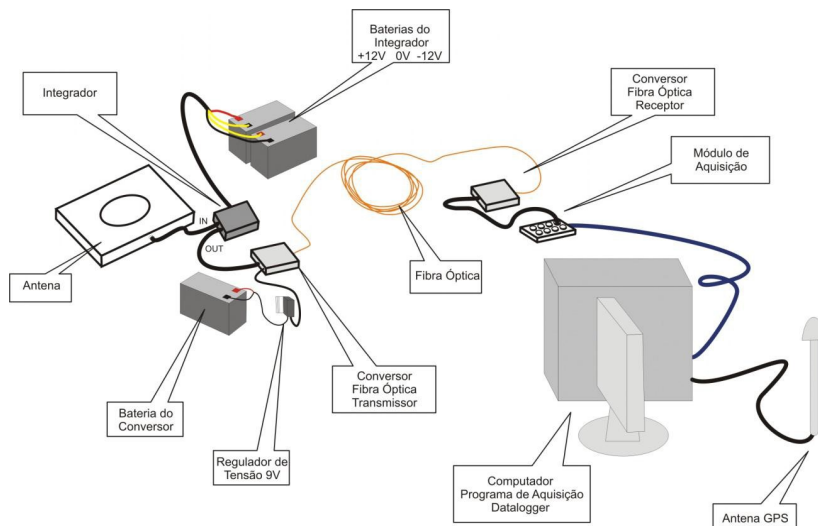


Figura 2.4. Detalhes da montagem do sensor de campo rápido.

## Montagem do Campo Lento:

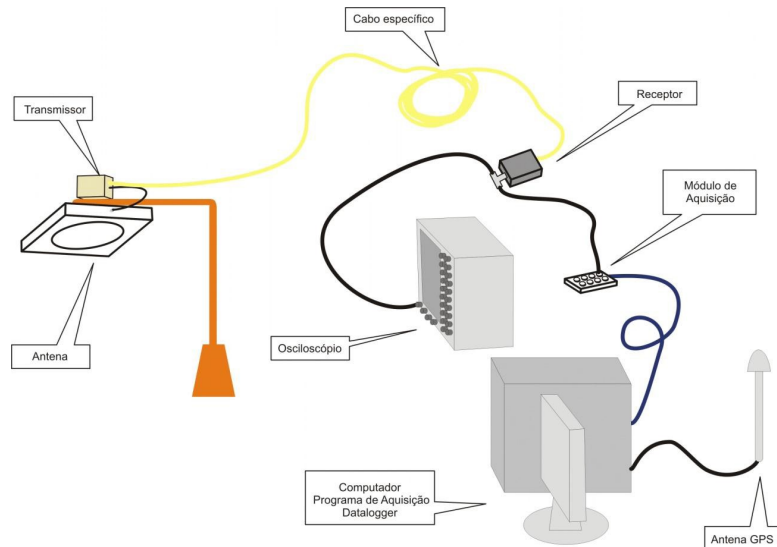


Figura 2.5. Detalhes da montagem do sensor de campo lento.

Além dos equipamentos representados nas figuras, também são necessárias a instalação de uma placa GPS no computador e para que os sensores funcionem perfeitamente é necessário que os *softwares* sejam instalados. Os programas de aquisição são:

- Software GPS e Datalogger: o software GPS permite que as informações de data, hora e local estejam integradas com o momento em que a aquisição do campo acontecer. O software Datalogger é usado para a aquisição dos campos. O programa grava uma sequência de arquivos (.bin) de cada segundo. (Figura 2.6).

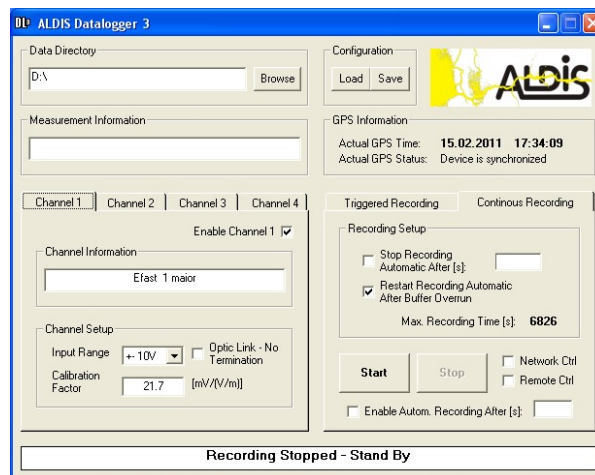


Figura 2.6. Software Datalogger para a aquisição de campos com o GPS integrado.

-Dataviewer: Software usado para visualização dos arquivos dos campos rápido e lento. Neste programa existem quatro canais que permitem uma visualização satisfatória dos campos, podendo ser dois canais para cada tipo de campo. (Figura 2.7).

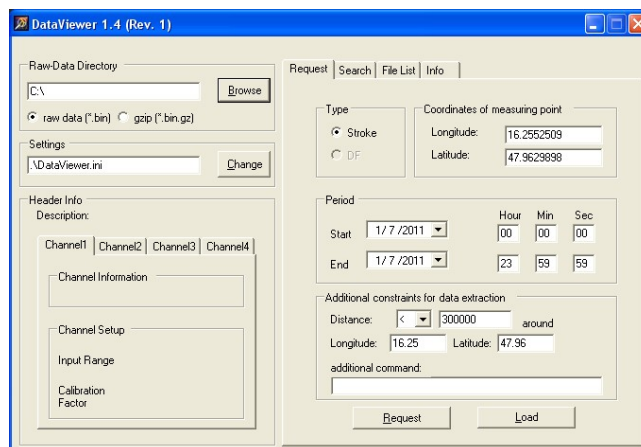


Figura 2.7. Software Dataviewer usado na análise dos campos.

-BrasilDAT: É um software que localiza geograficamente os locais onde as descargas estão acontecendo, pode também identificar a polaridade do raio e o pico de corrente. (Pinto Jr. et al, 2006).

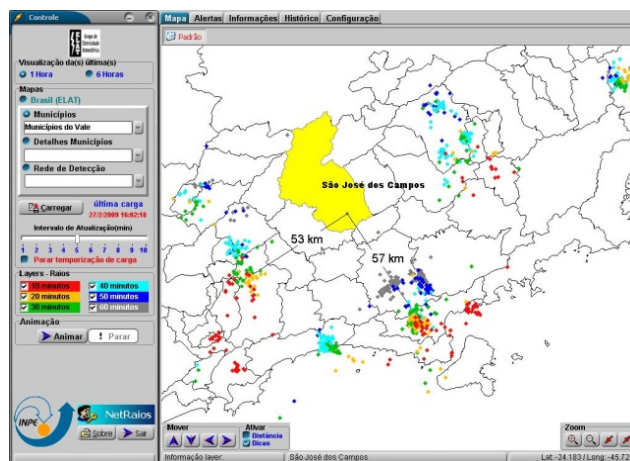


Figura 2.8. Software BrasilDAT usado para localizar descargas elétricas.

Com a análise do campo rápido e lento pode-se chegar a uma conclusão exata sobre descargas elétricas, quantas ocorreram e o momento em que ocorreram.

A seguir, pode-se observar dois exemplos de campo elétrico rápido e o campo elétrico lento. A figura 2.9 demonstra um caso de campo rápido e lento observado no dia 26 de janeiro de 2011.

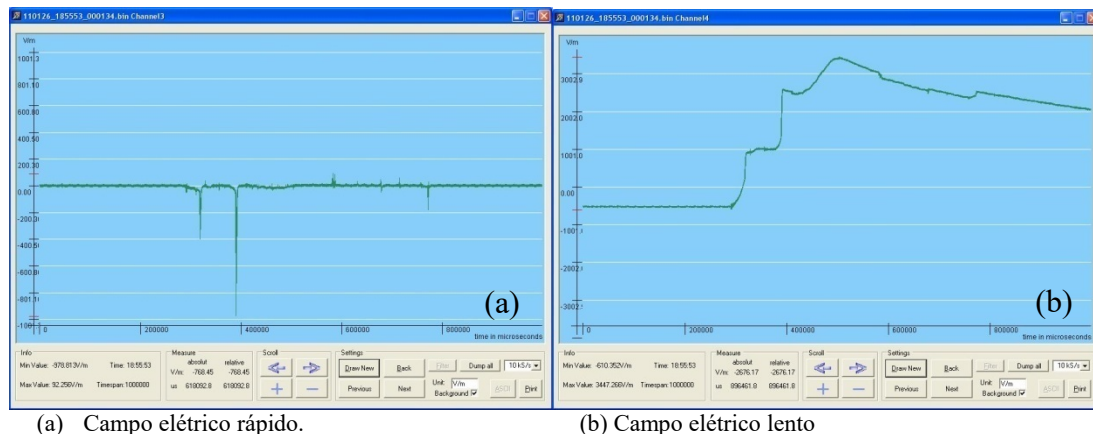


Figura 2.9. Raios negativos observados no dia 26 de janeiro de 2011.

## 2.4 Local de Observação

A torre de observação (Figura 2.10) localizada no CTA, São José dos Campos, possui cerca de 23m de altura e com visibilidade de praticamente 360° ao redor, com isso facilita a observação dos raios que podem ser observados a até 80 km de distância, com o acesso a internet é possível observar o deslocamento das nuvens de tempestades através de imagens de satélite e radar. Na campanha de verão iniciada em 2010 e o período de elaboração deste relatório foi possível observar cerca de 600 vídeos gravados na torre.



Figura 2.10. Torre de observação.

## 3 CONCLUSÃO

No período da bolsa PIBIC em 2011, foi realizada diversas análises de relâmpagos positivos e negativos utilizando dados coletados através de duas câmeras de alta resolução temporal e através de antenas sensíveis ao campo elétrico (lento e rápido) obtido durante as tempestades. O uso dos três instrumentos é de grande importância para determinar exatamente o tempo entre as descargas dos raios. As câmeras de alta velocidade às vezes não conseguem visualizar algumas descargas elétricas. Com a ajuda do campo elétrico rápido é possível detectar estas descargas não observadas pela



câmera. O campo elétrico lento, pelo fato de observar a corrente contínua, consegue perceber a presença da descarga que antecede a corrente contínua. Essa descarga, geralmente de pequena intensidade pode não ser evidente no registro do campo elétrico rápido.

Com o uso dessas ferramentas para a coleta e análise de descargas elétricas pode-se obter ótimos resultados. Os dados coletados e os resultados obtidos são preenchidos em uma planilha de forma padrão, contendo todas as informações sobre os campos elétricos, strokes, corrente contínua e vídeos. Além do tempo do tempo dedicado ao preenchimento da planilha, análise dos campos elétricos e dos vídeos também foi dedicada uma parte do tempo a leitura de artigos que possibilitou uma maior compreensão dos trabalhos realizados anteriormente.

Através destas análises poderemos determinar com exatidão o intervalo de tempo entre as descargas dos raios e entender os fatores que influenciam a variação destes intervalos.

## **4 TRABALHOS FUTUROS**

No próximo período da bolsa PIBIC o trabalho realizado será para identificar o comportamento dos intervalos entre descargas de retorno e verificar qual a tendência destes intervalos. Associar os intervalos com a presença da corrente contínua ou com a formação de um novo canal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

Pinto Jr, O. et al., 2006. Recent upgrades to the Brazilian integrated lightning detection network, 19th International Lightning Detection Conference (ILDC), Vaisala, Tucson, Arizona.

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