



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

## **PRIMEIRAS MEDIÇÕES DA INTENSIDADE DA CORRENTE CONTÍNUA NO BRASIL**

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

Mayara Germano dos Santos Silva (Univap, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Email: [maygermano@gmail.com](mailto:maygermano@gmail.com)

Dr. Marcelo Magalhães Fares Saba (ELAT/DGE/INPE)  
Email: [msaba@dge.inpe.br](mailto:msaba@dge.inpe.br)

### COLABORADORES

Dr. Evandro de Carvalho Ferraz (in memoriam) (ELAT/DGE/INPE)  
Leandro Zanella de Souza Campos (ELAT/DGE/INPE)

Junho de 2010



## **RESUMO**

Este trabalho, iniciado em abril de 2010, tem como objetivo a continuidade ao projeto de Iniciação Científica em andamento desde 2009. Teve início com atividade de coleta e redução de dados adquiridos durante o verão, em seqüência um estudo das literaturas para uma melhor compreensão dos relâmpagos nuvem-solo em uma análise da intensidade da corrente contínua. Este trabalho visa utilizar sensores de campo elétrico (lento e rápido) juntamente com duas câmeras de vídeo de alta resolução temporal e o conjunto das técnicas apresentadas por Ferraz (2009) e associar com a intensidade luminosa das gravações da mesma forma como apresentada por campos et al. (2007 e 2009) o estudo a partir da curva de campo elétrico onde calcula-se a carga transferida por um relâmpago nuvem-solo, verificando como elas variam com o tempo e qual a sua duração total.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>7</b>
1.1 HISTÓRICO.....	7
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>8</b>
2.1 MATERIAIS E SEUS OBJETIVOS.....	8
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>10</b>
3.1 LUMINOSIDADES DAS CORRENTES CONTÍNUAS.....	10
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>13</b>
4. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>13</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Fig. 1– Fotografia da câmera 8000S MotionScope com sua placa de interface.....	8
Fig. 2 – Correlação da corrente com a luminosidade. ....	100
Fig. 3 - Variação de campo elétrico produzido por uma CC e uma componente M....	11
Fig. 4 - Histograma das intensidades de CC.....	111
Fig. 5 - Taxa de transferência versus duração da CC observado no Brasil e no E.U.A. .....	122

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Histórico

Corrente contínua (CC) é um modo de transferência de carga para o solo em um relâmpago nuvem-solo. Aproximadamente 28% dos relâmpagos nuvem-solo negativo e aproximadamente 70% dos positivos possuem CC longa duração (maior que 40 ms). A Corrente contínua presente em alguns raios é de especial interesse porque são responsáveis pelos danos mais sérios de aquecimento devido a relâmpagos. Apesar da sua baixa intensidade, mas por terem longa duração transferem uma grande quantidade de carga elétrica. As suas altas transferências de carga são responsáveis pela maioria dos prejuízos associados aos efeitos térmicos e ao aquecimento de metais e superfícies em contato com a descarga. Este estudo apresenta medidas de 89 CC e medições da intensidade de luminosidade obtidos a partir da antena de campo elétrico capacitivo.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 Materiais e seus Objetivos

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.

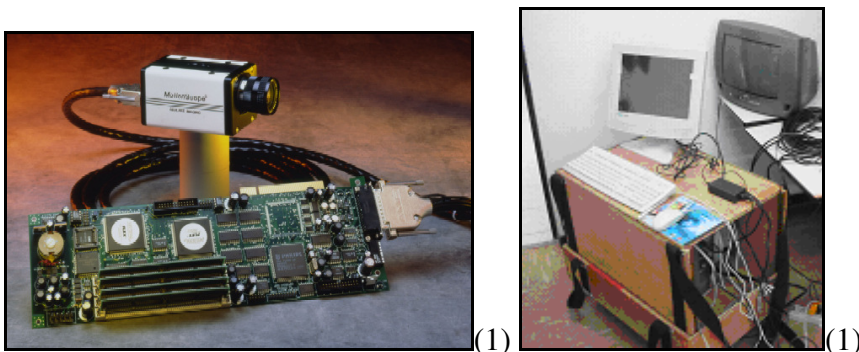


Figura 1– Fotografia da câmera 8000S MotionScope com sua placa de interface com o PC. Fonte: Red Lake(2002).

A taxa de aquisição está configurada para 1.000 fps. Não foi usada a máxima (8.000 fps) porque há um compromisso entre taxa de aquisição e ângulo de abertura (ou, equivalentemente, área utilizável do CCD). Assim, a 1.000 fps, a resolução da imagem é de 240 x 210 pixels (a total do sensor CCD é de 656 x 496 pixels), onde cada pixel possui 7,4  $\mu\text{m}$  x 7,4  $\mu\text{m}$ . Para esta taxa, os ângulos de abertura são 23,72° na vertical e 26,99° na horizontal; o tempo total de gravação é de 2,0 segundos; cada arquivo gerado pela câmera possui 2.000 quadros; e o tempo de exposição de cada quadro é aproximadamente 1,0 ms (é aproximado porque existe um tempo de *refresh* do CCD entre dois quadros, que o fabricante diz ser desprezível e não fornece). Ou seja, em termos práticos, o sistema funciona ininterruptamente. Tal configuração se mostrou bem ajustada para a filmagem dos relâmpagos naturais.



Este sistema é operado basicamente da seguinte forma: (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 operante aperta 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 na 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.

## CAPÍTULO 3

A seguir, descrevemos algumas das características das correntes contínuas e componentes-M observadas.

### 3.1 luminosidades das correntes contínuas

Uma boa correlação entre o atual e os valores de luminosidade foi observada durante os eventos CC. Isso corrobora para raios naturais a correlação observada para raios em torre (Diendorfer et al., 2003).

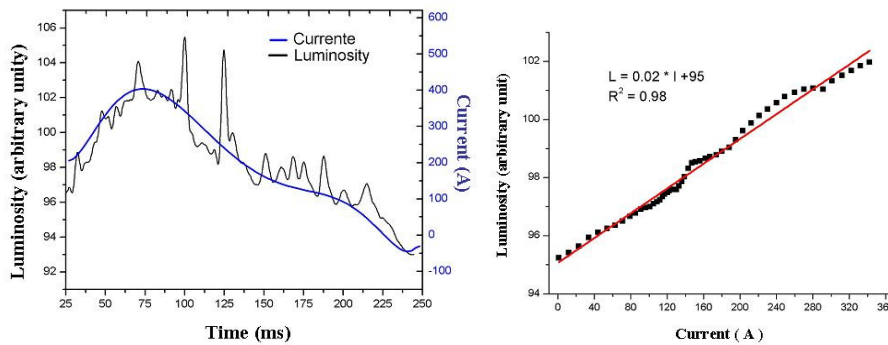


Fig. 2 - Correlação da corrente com a luminosidade.

A Figura 1 mostra a variação da corrente contínua e luminosidade versus tempo para uma CC a uma distância de 10 km da câmera e do sensor de campo elétrico. O valor de luminosidade é dado pelo valor médio dos pixels em torno do canal do raio para cada quadro de vídeo (para mais detalhes, ver Campos et al. 2007).

### 3.2 Valores da corrente contínua

O valor da intensidade de CC foi calculada usando a derivada do campo elétrico corrigido pela amplificação dada pela altura do local onde a antena foi localizada. Para cada evento de CC vários valores médios foram calculados (Figura 2). Às vezes, uma componente-M, identificada como tal pela câmera de alta velocidade, também tinha o seu valor calculado. A taxa total de cada evento CC também foi calculada pela área abaixo da curva corrente versus tempo. Sabendo a carga total e a duração total da CC, a corrente média foi encontrada.

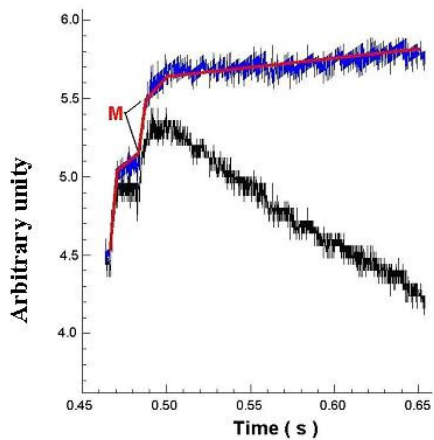


Fig. 3 - variação de campo elétrico produzido por uma CC e uma componente M. A curva em preto representa o Campo Elétrico e a curva azul variação corrigida pelo decaimento constante RC do sensor.

A média aritmética das intensidades de CC foi 321 A. Os valores máximos e mínimos, são respectivamente, 1400 A e 22 A (ver Figura 4). A média aritmética correspondente da taxa de transferência de carga ao solo é de 58 C. Como mostrado na Figura 4, as intensidades de carga encontradas neste estudo são muito maiores do que as observadas em estudos anteriores nos E.U.A.. 37% do valor de transferência de carga CC é superior a 50 C (Figura 5). Esse valor de transferência de carga é considerado suficiente para produzir danos aos cabos OPGW (Alvim et al., 2006). Os valores de CC para a região sudeste do Brasil mostrados aqui pode explicar a alta incidência de problemas de falhas em cabos OPGW no Brasil.

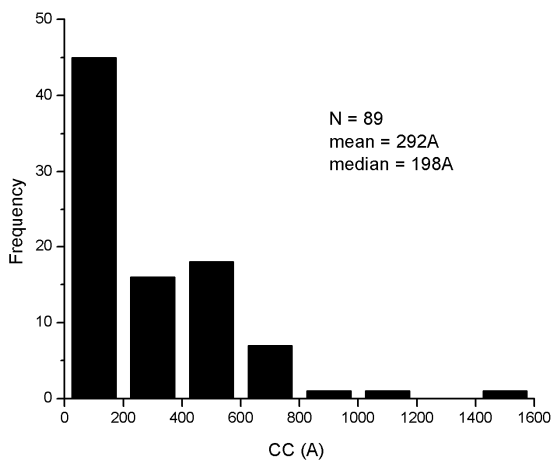


Fig. 4 - Histograma das intensidades de CC.

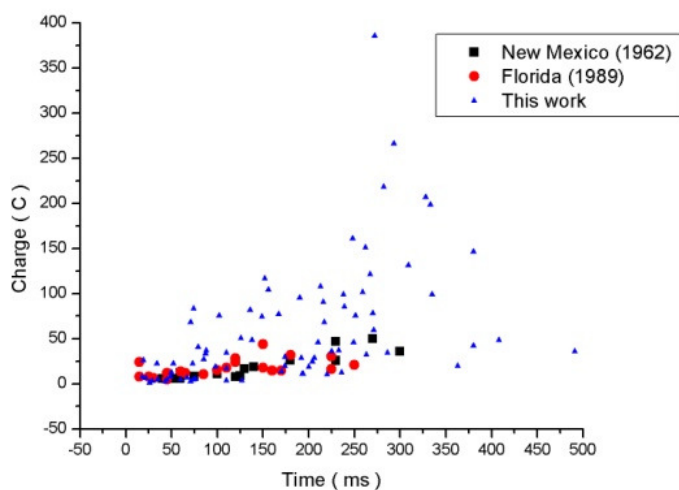


Fig. 5 - Taxa de transferência versus duração da CC observado no Brasil e no E.U.A. (Shindo e Uman, 1989; Brook et al., 1962)

A Tabela 1 mostra a intensidade e duração de alguns componentes M. O valor médio de 6 componentes M foi 4,4 C que é um valor comparável ao da carga total transferida por uma descarga discreta.

Tabela 1 - intensidade e duração de 6 eventos de componentes M.

<b>Descarga</b>	<b>I (kA)</b>	<b>Tempo (ms)</b>	<b>Carga (C)</b>
13	10.1	1.2	12.4
16	2.2	2.2	4.8
91	0.6	3.6	2.3
200	2.1	1.4	2.9
201	1.0	3.0	3.0
201	0.79	1.2	0.9
<b>Média</b>			<b>4.4</b>

## CAPÍTULO 4

### 4. Objetivos do Trabalho

Neste trabalho nós relatamos um estudo da intensidade da CC e de sua luminosidade. As intensidades de carga transferida pela CC são maiores que as relatadas em estudos feitos em E.U.A. As razões por trás dessas diferenças ainda não foram totalmente explicadas. Mais campanhas de observação de CC, especialmente para observar as CC de raios positivos são necessárias.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Alvin, M. G.; Portela, C.; Nóbrega, AR A importância de medições confiáveis de correntes de raio para empresas de energia elétrica. Conferência Internacional Detecções Lightning 19, E.U.A., abril, 2006.

[Brook 2], M., Kitagawa, N., e trabalhador, E.J. 1962. Estudo quantitativo dos cursos e das correntes contínuas em descargas de raios para a terra. Journal of Geophysical Research 67: 649-59.

[Diendorfer 3], G., Viehberger, M., Mair, M. Schulz, W., 2003. Tentativa de determinar Correntes em Lightning Canais Ramos de óptica de dados de um video de alta velocidade do sistema, em Int. Conf. sobre os raios ea eletricidade estática.

[4] Shindo, T. e Uman, MA Continuada atual relâmpago nuvem-solo negativo. Journal of Geophysical Research. v. 94, n. ° D4, páginas 5.189-5.198, Abril 20, 1989.

[5] Rakov, VA e Uman, Lightning MA - Física e Efeitos, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.