



## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Medidas Simultâneas de Campo Elétrico Atmosférico e Radiação X e Gama.  
Bolsista: Michel Yasuyuki Gejima Junior  
Orientador: Marco Antonio da Silva Ferro  
Período a que se refere o relatório: agosto 2013 a julho de 2014

### Resumo

Este projeto de pesquisa visa melhorar o entendimento da evolução do campo elétrico atmosférico durante o desenvolvimento das tempestades e dos processos envolvidos com a iniciação e propagação de relâmpagos. Em relação a estes, o que se propõe é a realização de uma criteriosa investigação para avaliar as contribuições na produção das radiações (ou raios) X e gama durante uma tempestade. Com a análise dos resultados, foi possível verificar variações no comportamento dos raios X no momento em que acontecia uma descarga elétrica. Para o estudo da radiação gama, não foi possível fazer uma criteriosa investigação pela falta de dados.

### 1. Introdução

Estudos recentes vêm apresentando evidências da presença de raios X (Moore et al., 2001; Dwyer et al., 2003, 2004, 2005) e gama (Fishman et al., 1994; Dwyer et al., 2004, 2008) associados a tempestades. Com relação às medidas de raios X apresentadas nesses estudos, em função da rápida atenuação dessa radiação ao se propagar na atmosfera, principalmente na camada próxima ao solo onde a densidade do ar é maior, os resultados apresentados se referem a poucos casos de relâmpagos ocorridos a poucas centenas de metros do local de instalação dos sensores. Vale notar que todos os estudos foram realizados no Hemisfério Norte.

Levando-se em conta o alto índice cerâmico (número de descargas elétricas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano) das regiões metropolitanas de São Paulo e do Vale do Paraíba, e visando obter resultados inéditos para o Hemisfério Sul, nos propusemos a realizar medidas de radiação X e



gama e registros do campo elétrico atmosférico num sítio em São José dos Campos (SJC) e no Pico do Jaraguá, em São Paulo (SP). Diversos tipos de antenas foram instalados na Torre de Observação de Fenômenos Atmosféricos, da Divisão de Ciências Atmosféricas do IAE, em SJC, e nas instalações de uma torre de retransmissão de TV, localizada no topo do Pico do Jaraguá, no município de SP. Em SJC esperava-se realizar registros associados com relâmpagos descendentes, que se iniciam nas nuvens de tempestades e deslocam-se em direção ao solo. Foi observada no Pico do Jaraguá uma grande quantidade de relâmpagos ascendentes, que se iniciam no topo da torre de retransmissão lá instalada e propagam-se em direção às nuvens de tempestade. Neste estudo, até onde sabemos de forma inédita, tentaremos identificar, com base nas medidas de campo elétrico e raios X e gama realizadas, diferenças entre os processos de propagação dos relâmpagos descendentes e ascendentes.

Os relâmpagos descendentes representam cerca de 99% de todos os relâmpagos que envolvem o solo. São, portanto, os mais comuns e os causadores da imensa maioria dos casos de danos materiais e fatalidades. Em razão disso, são, também, os mais estudados. Os ascendentes, por sua vez, sendo bastante raros, são muito pouco conhecidos. Porém, pelo fato de iniciarem-se sempre do mesmo ponto, tornam-se, para esses locais, extremamente danosos, como, por exemplo, para as instalações da torre de transmissão instalada no Pico do Jaraguá. Buscando entender as características de cada tipo de relâmpago, pode-se propor a instalação de proteções mais eficientes, que evitem ou minimizem os danos causados por cada tipo específico de descarga.

## **2. Materiais e métodos**

O processo de coleta de dados ocorre durante uma tempestade quando os sensores são ativados e começam a registrar a variação do campo elétrico atmosférico, da radiação gama e X. O desenvolvimento de uma tempestade é acompanhado através de sites que fornecem dados como imagens de radar, satélite e da ocorrência de relâmpagos na região de interesse. A Figura 1 mostra a tela do aplicativo que informa os relâmpagos ocorridos na região estudada.

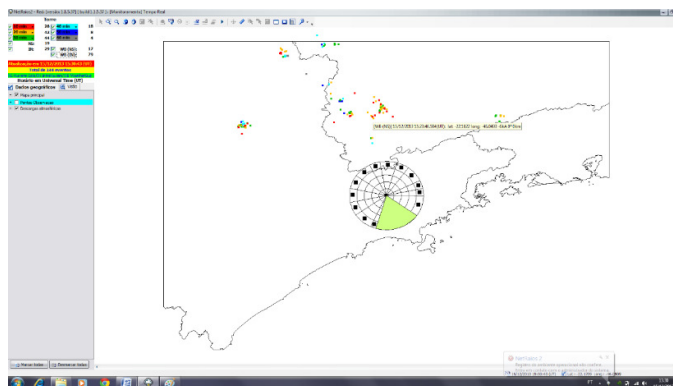


Fig. 1 – Tela do aplicativo daBrasilDat – Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas – mostrando a região de estudo.

Quando há evidências de que uma tempestade atingirá a região estudada, os computadores que controlam e armazenam os dados dos sensores e antenas instalados nos dois sites podem ser acionados tanto no local como remotamente, via internet. As Figuras 2, 3 e 4 a seguir mostram os equipamentos instalados na Torre de Observação de Fenômenos Atmosféricos, da Divisão de Ciências Atmosféricas do IAE, em SJ. A Figura 2 mostra antenas de campo elétrico atmosférico com alta taxa de aquisição de dados (5.000.000 de amostras por segundo).



Figura 2 – Antenas de campo elétrico atmosférico de alta taxa de aquisição instaladas nas laterais da caixa (com blindagem metálica - gaiola de Faraday) que contem parte do sistema de aquisição de dados (fontes de alimentação, componentes do link de fibra óptica, etc.)

Isso possibilita a obtenção de uma forma de onda do campo elétrico rica em detalhes, permitindo a análise de processos rápidos do relâmpago como, por exemplo: a quebra de rigidez dielétrica, a iniciação do relâmpago, a propagação dos líderes e as descargas de retorno. A Figura 3 mostra uma antena de campo elétrico atmosférico com baixa taxa de amostragem (1 amostra por segundo) que permite acompanhar a variação do campo associada

com processos lentos como, por exemplo, a eletrificação das nuvens, campo elétrico de tempo bom e o deslocamento das nuvens.



Figura 3 – Antena de campo elétrico de baixa taxa de aquisição

A Figura 4 mostra o sensor de radiação X responsável por detectar qualquer alteração nas partículas de alta energia durante uma tempestade com relâmpagos.



Figura 4 – Caixa contendo cristal e fotomultiplicadora para detecção de radiação X

Ao lado da Torre de Observação de Fenômenos Atmosféricos foi instalado um container para abrigar detectores de radiação gama e computadores para aquisição dos dados dos mesmos e de uma estação meteorológica instalado na área externa.



Figura 5 – Container instalado ao lado da Torre de Observação

A Figura 6 mostra os equipamentos instalados no interior do container.

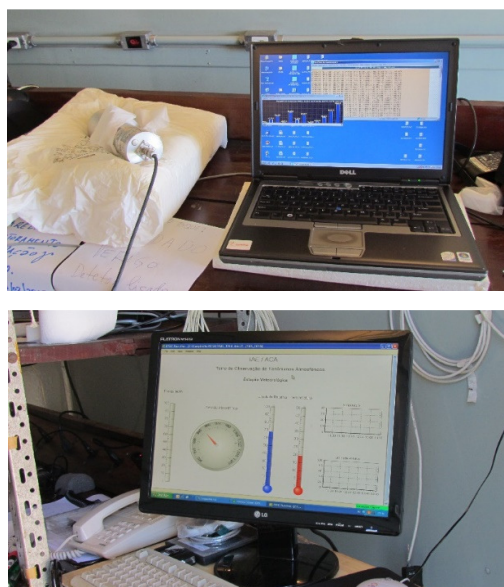


Figura 6 – Em cima o detector de radiação gama e em baixo a tela do sistema que monitora a estação meteorológica mostrando dados em tempo real de pressão atmosférica, temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, etc.

Os registros para a radiação gama serão coletados em SJC apenas, pois atualmente é inviável fazer a instalação do equipamento para a região de SP. Também é necessário que alguém fique presente para acionar as câmeras rápidas quando um raio aparece no campo de visão do observador. A figura 7 mostra uma das câmeras utilizadas.



Figura 7 – Câmera rápida com resolução temporal menor que 1ms (taxa de aquisição maior que 1000 quadros por segundo)

A Figura 8 mostra um exemplo do registro de um relâmpago efetuado com uma câmera rápida.

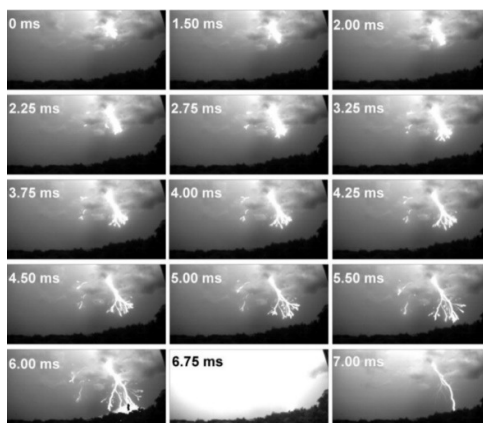


Figura 8 – Alguns quadros do registro de um relâmpago descendente filmado por uma câmera rápida em São José dos Campos.

### 3. Resultados

Como a instalação de todo o equipamento demorou mais que o esperado e as condições meteorológicas não favoreceram a coleta de dados, devido a uma zona de alta pressão que atuou sobre toda região do sul e sudeste no início deste ano, impedindo o desenvolvimento de

nuvens convectivas e, conseqüentemente, impossibilitando a ocorrência dos relâmpagos, somente algumas poucas medidas associadas a relâmpagos foram efetuadas.

A seguir, mostramos como exemplo a análise preliminar dos dados associados a 2 relâmpagos registrados na região do Pico do Jaraguá. Foram analisadas as variações nas formas de onda do campo elétrico e raios X associadas às fases de propagação do líder, descarga de retorno e presença de corrente contínua, mostradas no registro em vídeo. A correlação ente as formas de onda e as imagens de vídeo foi possível graças à sincronização temporal entre os equipamentos via GPS. As figuras 9 e 10 mostram as variações nas formas de onda do campo elétrico e raios X associadas a relâmpagos que ocorreram próximo ao Pico do Jaraguá nos dias 16 de janeiro de 2014 e 01 de março de 2014 respectivamente. O relâmpago do dia 16/01/2014 foi um relâmpago ascendente (teve origem no solo e propagou-se em direção à nuvem de tempestade) e teve início às 00:59:13 UT e o do dia 01/03/2014 foi um relâmpago descendente (originou-se na nuvem de tempestade e propagou-se em direção ao solo) e teve início às 22:27:01 UT. Os 6 dígitos que aparecem nos gráficos de campo elétrico e raios X indicam os exatos milissegundos e microssegundos em que cada evento ocorreu o que permitiu associá-los às respectivas imagens. Também estão indicadas as formas de onda associadas a cada evento do relâmpago (líder contínuo, descarga de retorno, corrente contínua, etc).



Figura 9 – Relâmpago ascendente no dia 16/01/2014 próximo ao Pico do Jaraguá.



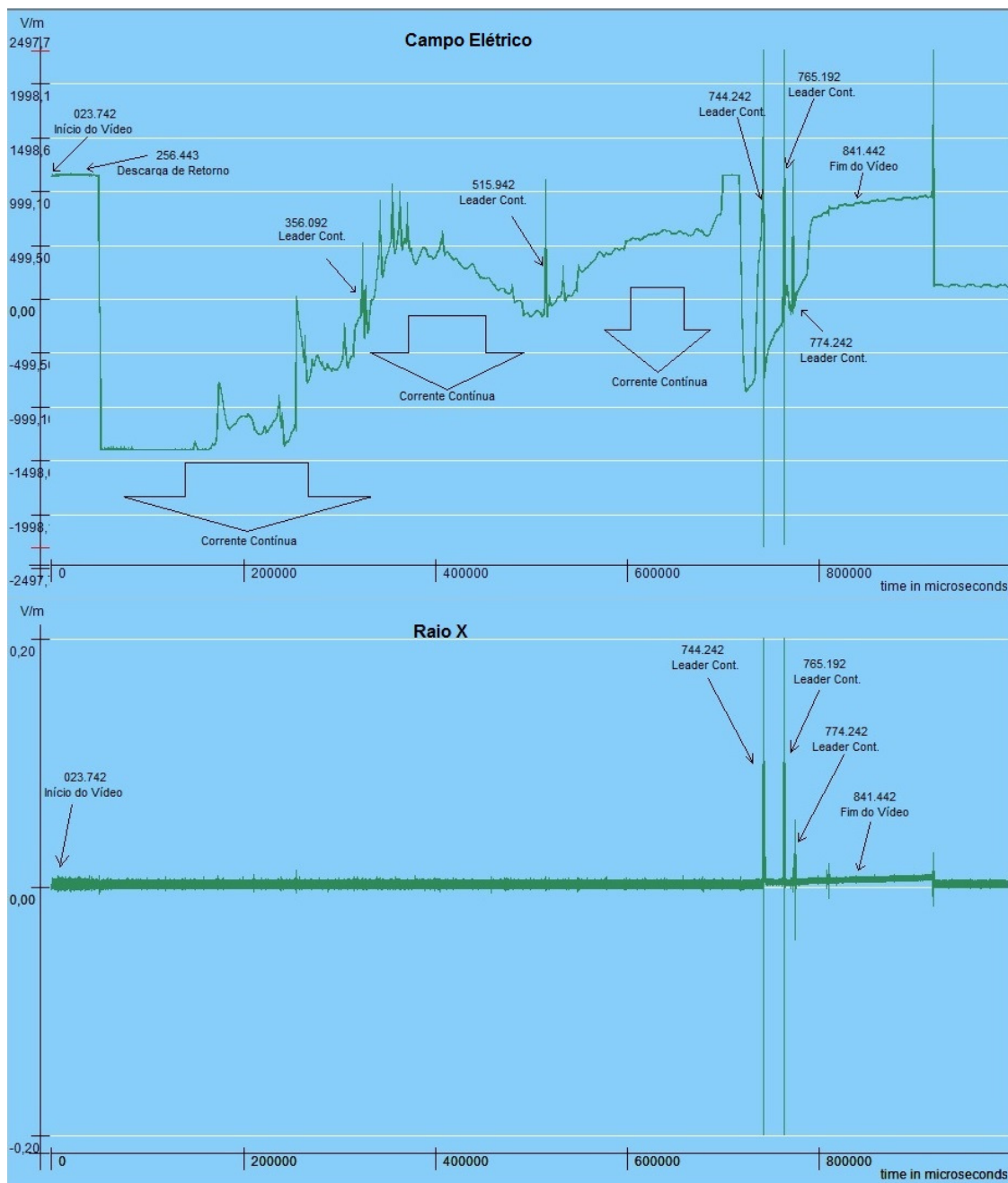


Figura 10 – Variações nos registros de campo elétrico e radiação X de um relâmpago ascendente no dia 16/01/2014 próximo ao Pico do Jaraguá.





Figura 11 – Relâmpago descendente no dia 01/03/2014 próximo ao Pico do Jaraguá.

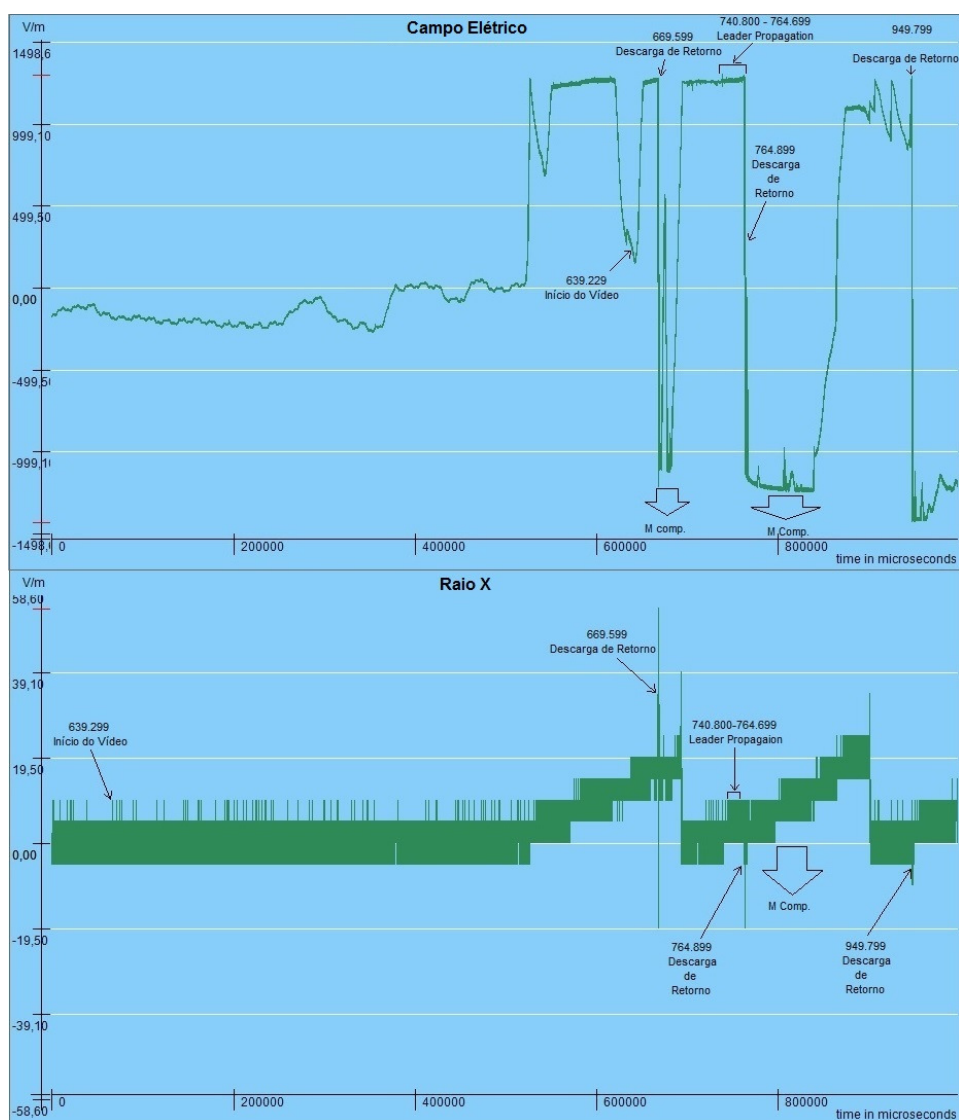




Figura 12 – Variações nos registros de campo elétrico e radiação X de um relâmpago descendente no dia 01/03/2014 próximo ao Pico do Jaraguá.

A partir das análises feitas, pode-se observar uma precisa correlação temporal entre alguns dos eventos mostrados pelas variações na forma de onda do campo elétrico e dos raios X. Os gráficos mostram que o sensor de campo está mostrando adequadamente as alterações no campo geradas pelo transporte e destruição das cargas elétricas da nuvem de tempestade causadas pelo relâmpago. Porém, o mesmo não ocorre com o detector de radiação. O equipamento utilizado apresentou um nível alto de ruído de fundo cuja origem não pode ser determinada. Supõe-se que pode estar relacionado com uma provável baixa eficiência devido ao fato do equipamento ser antiquado (foi adquirido no início da década de 90), o que implica em componentes do estágio de fotomultiplicação com muito tempo de uso e um cristal higroscópico que pode estar contaminado por umidade devido ao longo tempo de utilização. Outra possível origem para o ruído de fundo podem ser falhas na blindagem eletromagnética do equipamento utilizada para evitar indução gerada pelo próprio relâmpago. Como não foi possível registrar nenhum relâmpago em SJC no período, não foi possível fazer análise do comportamento da radiação gama.

#### 4. Conclusões

Como foram poucos relâmpagos examinados e devido a “deficiência” de um dos equipamentos, não foi possível chegar a um resultado claro. O que é proposto para um futuro projeto, seria a substituição do equipamento de medição de radiação por um novo e a obtenção de mais dados para criteriosas avaliações.

#### Referências

G. J Fishman; P. N Bhat; R. Mallozzi; J. M Horack; T. Koshout; C. Kouveliotou; G. N. Pendleton; C. A. Meegan; R. B. Wilson; W.S. Paciesas; S. J. Goodman; H.J Christian. Discovery of Intense Gamma-Ray Flashes of Atmospheric Origin. Science, New Series, Vol. 264, No. 5163 (May 27,1994), 1313-1316.



J. R. Dwyer, H. K. Rassoul, M. Al-Dayeh, L. Caraway, A. Chrest, B. Wright, and E. Kozak. X-ray bursts associated with leader steps in cloud-to-ground lightning. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 32, L01803, doi:10.1029/2004GL021782, 2005

FERRO, M. A. S. Monitoramento da atividade elétrica atmosférica do Centro de Lançamento de Alcântara / M.A.S. Ferro. – São José dos Campos: INPE, 2004. 146p. – (INPE-12333-TDI/994).