

**ATIVIDADE DE RELÂMPAGOS NO PANTANAL MATOGROSSENSE:
EVENTO DE 19 DE SETEMBRO DE 1999**

Margarete Oliveira Domingues¹, Odim Mendes Jr.², Chou Sin Chan¹, Cesar A. A. Beneti³

(margaret@cptec.inpe.br)

CPTEC¹, DGE/CEA²
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Cx. P. 515
12201-970 São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Instituto Tecnológico SIMEPAR³
Centro Politécnico da UFPR, 81531-990 Curitiba, Paraná, Brasil

RESUMO

Fez-se a análise da atividade elétrica de evento de tempestade ocorrida durante uma campanha experimental de coleta de dados no Pantanal Sul Matogossense, Brasil. Utilizaram-se dados de radiossondagens, de descargas elétricas, de imagens do satélite meteorológico geostacionário GOES-8, e de imagens do céu no local do experimento. Os valores elevados de índice CAPE associados aos valores relativamente muito menores do índice CINE e aos valores altos do índice K, favorecidos pela situação dinâmica do evento, foram precursores da atividade elétrica. Constatou-se que os valores de multiplicidade estão subestimados para a região do experimento. Já as percentagens quanto à polaridade nesta região não se diferenciaram significativamente ao se comparar com as percentagens em uma região mais ampla e de maior eficiência de detecção do sistema. Por outro lado, quanto à distribuição horária de ocorrência de relâmpagos, constataram-se distintas percentagens de polaridades, o que implica a necessidade de se estudar mais detalhadamente as atividades elétricas das células convectivas e o acompanhamento da evolução dessas células.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas elétricas atmosféricas, Relâmpagos, Pantanal Matogrossense.

INTRODUÇÃO

Este trabalho é um resultado da cooperação de dois projetos INPE/FAPESP e da Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas (RIDAT). Apresenta-se, assim, a análise da atividade elétrica de um evento durante a campanha experimental do Pantanal Matogossense, fase 2 - Pantanal não alagado, no período de 14 a 23 de setembro de 1999 (Manzi et al, 1998). Essa campanha em si dedica-se ao estudo da camada limite superficial. Uma documentação visual nessa campanha foi realizada pelo Projeto Via-Lux, que promove uma análise observacional e de modelagem numérica de relâmpagos (Mendes et al., 1999). O objetivo deste trabalho é analisar a atividade elétrica no evento do dia 19 de setembro, contando com o auxílio dos dados de radiossondagens, de descargas elétricas, de imagens do satélite meteorológico geostacionário GOES-8, e de imagens do céu.

METODOLOGIA E DADOS

Índices de estabilidade estudados:

As medições das condições atmosféricas por meio de radiossondagens foram realizadas no período entre 12 UTC de 14 de setembro e 21 UTC de 23 de setembro de 1999, em Passo do Lontra, Miranda, Mato Grosso do Sul (19° 57'S 57° 2'W). Havia 2 tipos de sondas, um com Sistema de Posicionamento Global (GPS) e outro com Sistema Omega. Nos horários sinóticos, 0, 6, 12 e 18 UTC foram lançadas sondas medindo pressão, temperatura, umidade e vento, enquanto que nos horários intermediários de 9, 15 e 21 UTC foram utilizadas sondas medindo somente pressão, temperatura e umidade. Medições mais intensivas ocorreram nos dias 17, 18 e 19. Devido ao equipamento disponível no experimento, não se utilizou o sistema de localização Omega.

A avaliação da estabilidade atmosférica muitas vezes é expressa na forma de um índice de estabilidade. O objetivo de tal avaliação é quantificar de uma forma simples as informações termodinâmicas do perfil atmosférico. Um índice utilizado foi o conhecido índice K. Esse índice atinge seus valores máximos para situações em que a baixa atmosfera está instável, geralmente $K > 25$ (MAC, 1979).

A energia potencial disponível para a convecção é denominada por CAPE e a energia associada à inibição da convecção é denominada por CINE. O índice CAPE avalia a energia cinética de uma parcela entre um nível de convecção livre, LFC, e o nível de equilíbrio, EL. O LFC é a altura em que uma parcela de ar tornar-se-ia flutuante ao ser levantada em um processo adiabático. O EL é o nível em que a temperatura da parcela ascendente flutuante torna-se novamente igual a temperatura do ambiente. Em um diagrama SkewT-LogP, o CAPE pode ser obtido pela área positiva compreendida entre a adiabática saturada e a curva de temperatura determinada pela radiossondagem, entre os níveis LFC e EL. O CAPE é um quantificador da estabilidade atmosférica e da precipitação máxima de uma nuvem convectiva. Por outro lado, o CINE, é dado pela área negativa entre a superfície e o LFC, integrando de LFC a EL. O método de cálculo de CAPE se baseia na parcela originada à superfície, diferente daquele proposto por Doswell e Rasmussen (1994) que utiliza a parcela mais instável da baixa troposfera. Valores de CAPE maiores que 1000 J/kg estão classicamente associados a condições de desenvolvimento de tempestades (Williams, 1995).

Relâmpagos:

Os dados de descarga elétrica atmosférica foram obtidos pela RIDAT (Beneti et al. 2000). Essa rede consiste de sensores LPATS, que utilizam a metodologia de detecção do tempo de chegada do sinal produzido pela descarga de retorno, e sensores IMPACT, que combinam essa metodologia com a metodologia baseada na determinação direcional magnética da descarga

(Bent e Lyons, 1984; Kride et al., 1976). O sistema de detecção registra, entre outras informações, o instante de ocorrência da descarga, a localização em longitude e latitude, o pico de corrente elétrica estimado e a polaridade da carga.

De forma a caracterizar os relâmpagos em uma região em torno do experimento (latitude de 22 a 18 graus Sul e longitude de 58 a 54 graus Oeste), analisou-se as descargas elétricas nuvem-solo detectadas pelo RIDAT na região do experimento por meio do programa ThoR-SLA (Mendes e Domingues, 2000), versão 3.0. Nesta caracterização, utilizaram-se os seguintes parâmetros de identificação dos relâmpagos a partir dos registros de descargas: tempo total de descarga = 2,0 s, intervalo temporal entre descargas = 0,5 s, e distância entre descargas = 10,0 km (Mendes et al., 1998). Na região do experimento, o sistema comporta-se com uma eficiência de detecção menor que 30%. De forma a se validar os resultados por meio de comparação, fez-se os cálculos para uma região mais ampla do sistema de detecção (latitude de 25 a 17 graus Sul e longitude de 51 a 43 graus Oeste) em que a eficiência era igual ou maior que 80%, para o mesmo período estudado.

Imagens de satélite:

Quanto às imagens do satélite geostacionário GOES-8, buscou-se dispor das imagens dos canais: visível (Canal 1), vapor de água (Canal 3) e infravermelho (Canal 4). O canal visível pode ser pensado como fotos monocromáticas da Terra tiradas do espaço. Esse último dado somente está disponível durante as horas em que a luz solar ilumina o disco da Terra observado. O canal de vapor de água apresenta o vapor de água e nuvens nos níveis médio e alto da troposfera. O canal infravermelho é o canal em que a radiação em 10,7 μm não é significativamente absorvida pelos gases atmosféricos (Bader et al., 1995). Elas permitiram identificar a evolução da nebulosidade em uma região mais extensa do que a região do experimento e auxiliaram, juntamente com os dados da rede sinótica e a análise do modelo de previsão numérica de tempo Eta, a localização da frente fria e da convecção induzida por essa.

Documentação visual de meteoros:

O experimento contou com uma documentação visual de acordo com a metodologia desenvolvida no Projeto Via-Lux (Mendes et al., 1999). Nessa campanha experimental utilizou-se uma filmadora convencional portátil de maior qualidade técnica (Handycam Sony, CCD-TRV65H18, zoom óptico 18X, tela de cristal líquido colorido) para obter imagens panorâmicas e também detalhes do estado do céu. Diferentemente das outras filmadoras comerciais, esse modelo dispõe de recursos de visão noturna, uma conveniente característica para observação de fenômenos de menor intensidade luminosa. Para aquisição digital das imagens, utilizou-se um vídeo-cassete de ótima qualidade (Panasonic NV-L26HQ) e uma placa de captura de imagens (PixelView PV-BT848P+(W/FM), padrão NTSC).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Da análise das sondagens atmosféricas, observou-se que o experimento foi predominantemente caracterizado por condições de estabilidade atmosférica (Domingues et al., 2001). Um evento de ventos fortes e precipitação ocorreu no dia 19 de setembro, quando houve convecção induzida pela passagem de uma frente fria no Sudeste do Brasil.

No dia 19, as imagens do infravermelho do satélite GOES 8 (Figura 1), correspondentes aos horários de 18 e 21 UTC, mostram como a nebulosidade profunda se desenvolveu e cobriu rapidamente a região de estudo, causando precipitação intensa, com rajadas de vento e relâmpagos. Da documentação visual local, a evolução do estado do céu nesse dia está ilustrada na Figura 2, observando-se uma rápida alteração da nebulosidade presente durante o evento com a ocorrência de Culumoninbi com a base em Stratocumuli. Além disso outros

aglomerados convectivos desenvolveram-se na região central do continente neste dia. O CAPE no dia 19 atingiu o valor de 3000 J/kg, o CINE foi cerca de 7,5 vezes menor do que o CAPE, e o índice K foi superior a 35. Esses indicadores estão associados a tempestades intensas, o que realmente ocorreu. Além disso, observou-se que o índice K cresceu acentuadamente a partir das 16 UTC e atingiu um máximo às 18 UTC, indicando o momento de maior instabilidade convectiva na atmosfera da região em estudo. O mesmo foi observado para a umidade relativa que adquire o valor máximo em torno de 900 a 850 hPa no período de maior instabilidade convectiva. Ventos em altos níveis atingiram a intensidade de 30 m/s provenientes de oeste. Localmente foi observado uma ocorrência significativa de descargas elétricas neste período.

Quanto a polaridade dos relâmpagos, 74,2% foram negativos, 25,6% positivos e 0,2% bipolares de um total de 1340 relâmpagos. Considerando que essa região analisada está em um região de eficiência do sistema de detecção menor ou igual a 30%, comparou-se com valores tratados para uma região de eficiência igual ou maior do que 80%. Essas percentagens não se diferenciaram significativamente, embora os limites inferiores das correntes elétricas detectadas para a região afastada sejam um pouco maiores, como seria de se esperar do funcionamento da técnica de detecção. Essa constatação parece permitir analisar variações nas percentagens quanto a polaridade como associadas a comportamentos físicos dos sistemas convectivos.

Quanto a multiplicidade, o histograma apresentado na Figura 3 mostra um comportamento já esperado. No entanto, comparando os resultados para as duas regiões de eficiência do sistema, na região de maior eficiência há um maior número de ocorrências por múltiplos e se atinge multiplicidades maiores. Os valores de multiplicidade, portanto, estão subestimados para a região do experimento.

Quanto a distribuição horária apresentada na Figura 4, constataram-se na região uma primeira ocorrência em torno das 10-12 UTC, visualmente não percebido no sítio do experimento, e uma segunda ocorrência mais intensa das 17 as 23 UTC, com constatação visual no sítio do experimento, a partir das 20 UTC. A partir dos registros detectados, essas duas ocorrências apresentaram características algo distintas em termos de percentagem das polaridades. Isso implica a necessidade de se estudar mais detalhadamente a atividade elétrica nas células convectivas isoladas e o acompanhamento da evolução dessas células.

CONCLUSÕES

Os valores elevados de índice CAPE associados aos valores relativamente muito menores do índice CINE e aos valores altos do índice K, favorecidos pela situação dinâmica do evento, foram precursores da atividade elétrica. Um outro dia da campanha teve situação semelhante desses índices, porém a situação dinâmica não favoreceu a ocorrência de tempestades. Na caracterização dos relâmpagos na região do experimento, determinaram-se as percentagens quanto as polaridades, as contagens quanto a multiplicidade e a distribuição horária. Os valores de multiplicidade estão subestimados para a região do experimento. As percentagens quanto a polaridade desta região não se diferenciaram significativamente ao se comparar com uma região mais ampla e de maior eficiência de detecção do sistema, o que parece permitir relacionar as variações nessas percentagens com o comportamento físico dos sistemas convectivos. Por outro lado, quanto a distribuição horária de ocorrência de relâmpagos, constataram-se distintas percentagens de polaridades, o que implica a necessidade de se estudar mais detalhadamente as atividades elétricas das células convectivas e o acompanhamento da evolução dessas células.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bader, M. J.; Forbes, G. I.; Grant, J. R.; Lilley, R. B. E.; Waters, A. J. **Images in weather forecasting. A practical guide for interpreting satellite and radar imagery.** Cambridge University, Cambridge, 1995. 500 p.
- Beneti, C. A. A.; Alvim, E. L.; Andrade, S. M. G.; Assunção, L. A. R.; Cazetta, A. F.; Reis, R. J. RIDAT – Rede integrada de detecção de descargas atmosféricas no Brasil: situação atual, aplicações e perspectivas. [CDROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. **Anais.** Microserv, Rio de Janeiro, 2000. Seminário de Meteorologia por radar e física de nuvens (MR00013).
- Bent, R. B.; Lyons, W. A. Theoretical evaluations and initial operational experiences of LPATS (Lightning Positioning and Tracking System) to monitor lightning ground strikes using a Time-Of-Arrival (TOA) technique. In: International Conference on Atmospheric Electricity, 7, Albany, 1984. **Proceedings.** American Meteorological Society, Albany, 1984. p. 317-324.
- Domingues, M. O.; Mendes, O. Jr.; Sá, L. D. A.; Chan, S. C.; Manzi, A. O. **Estado do céu durante o experimento IPE 2 do Projeto de estudo da camada limite superficial do Pantanal Sul Matogrossense.** [CD-ROM]. São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2002. (INPE-8861-NTC/438).
- Doswell, C. A.; Rasmussen, E. R. The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculation. **Weather and Forecasting**, **9**:625-629, 1994.
- Krider, E. P.; Noggle, R. C.; Uman, M. A. A gated, wideband magnetic direction finder for lightning return strokes. **Journal of Applied Meteorology**, **15**:301-306, March 1976.
- MAC **The use of the skew T, Log P diagram in analysis and forecasting.** Air Weather Service. Scott AFB, Illinois, Dec. 1979. (AWS/TR-79/006).
- Manzi, A. O. et al. **Estudo da camada limite do Pantanal Matogrossense.** [online]. São José dos Campos, São Paulo, 1998. (FAPESP 98/00105-5).
<<http://www.cptec.inpe.br/ipe2/html/publicacoes.htm>>.
- Mendes, O. Jr.; Domingues, M. O.; Gin, R. B. B.; Pinto, O. Jr.; Pinto, I. R. C. A. Climatological evaluation of parameters for a more realistic lightning modeling. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1998. **Proceedings.** SBMet/FLISMET, Brasília, DF, Brasil, 1998.
- Mendes, O. Jr.; Domingues, M. O.; Pinto, O. Jr.; Pinto, I. R. C. A.; Saba, M. M. F. Via-Lux Project: a quantitative imagery method for lightning event analysis. [CD-ROM]. In: International Congress of Geophysics, Rio de Janeiro, 1999. **Proceedings.** Brazilian Geophysics Society, Rio de Janeiro, set. 1999. (SBGf-212).
- Mendes, O. Jr.; Domingues, M. O. Programa para análises de relâmpagos: ThoR-SLA. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. **Anais.** SBMet/Microserv, Rio de Janeiro, 2000. p. 2077-2081.
- Williams, E. Meteorological Aspects of Thunderstorms. In: Volland, H. ed. **Handbook of Atmospheric Electrodynamics.** I. CRC, London, 1995. p. 27-60.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP (Projeto Via-Lux, Proc. N^o 1998/3860-9 e Projeto IPE 2, Proc. N^o–1998/0105-5) o apoio financeiro recebido; aos colegas que participaram do experimento IPE 2; e a UFMS o apoio logístico.

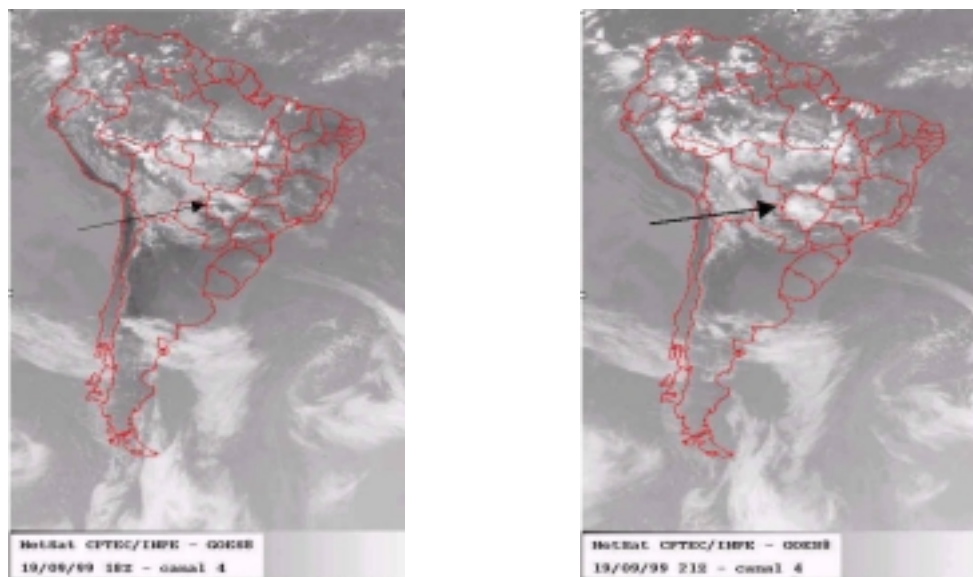


Fig. 1 – Imagens infravermelho do Satélite GOES8 do dia 19/09/1999, nos horários: (a) 18 UTC e (b) 21 UTC (Fonte: DAS/CPTEC/INPE).



Fig. 2 - A evolução do estado do céu durante a manhã e tarde do dia 19 de setembro de 1999, às 20:13 e 20:40 UTC, respectivamente. O dia amanheceu com nebulosidade tipo estratiforme, a cobertura de nuvens aumentou durante o dia; ao final da tarde, as nuvens estão profundas, com ocorrência de Cumulonimbi com a base em Stratocumuli .

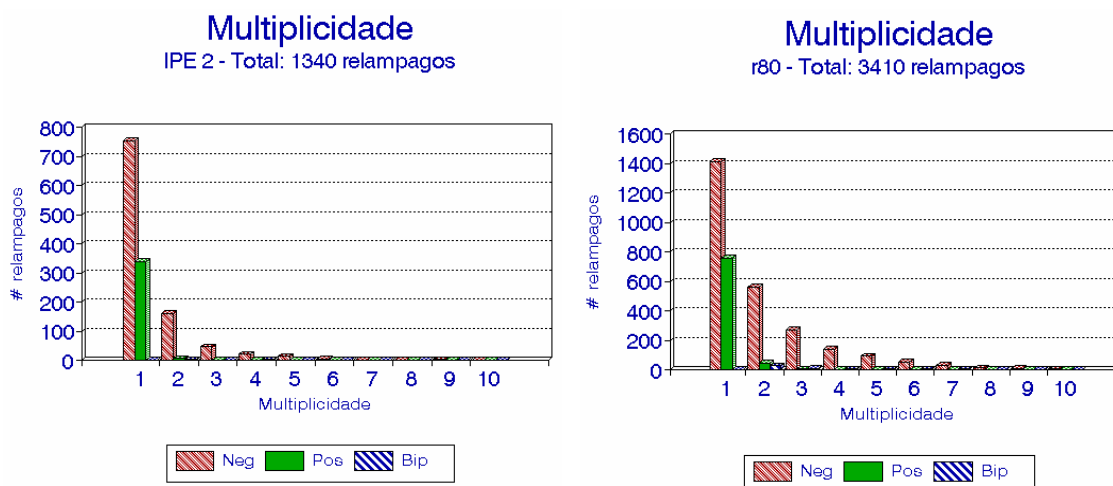


Fig. 3 – Multiplicidade dos relâmpagos nuvem-solo (a) na região do experimento no Pantanal Sul Matogrossense., em que a RIDAT apresenta eficiência de detecção menor que 30% e (b) em região mais ampla em que a RIDAT tem eficiência maior que 80%.

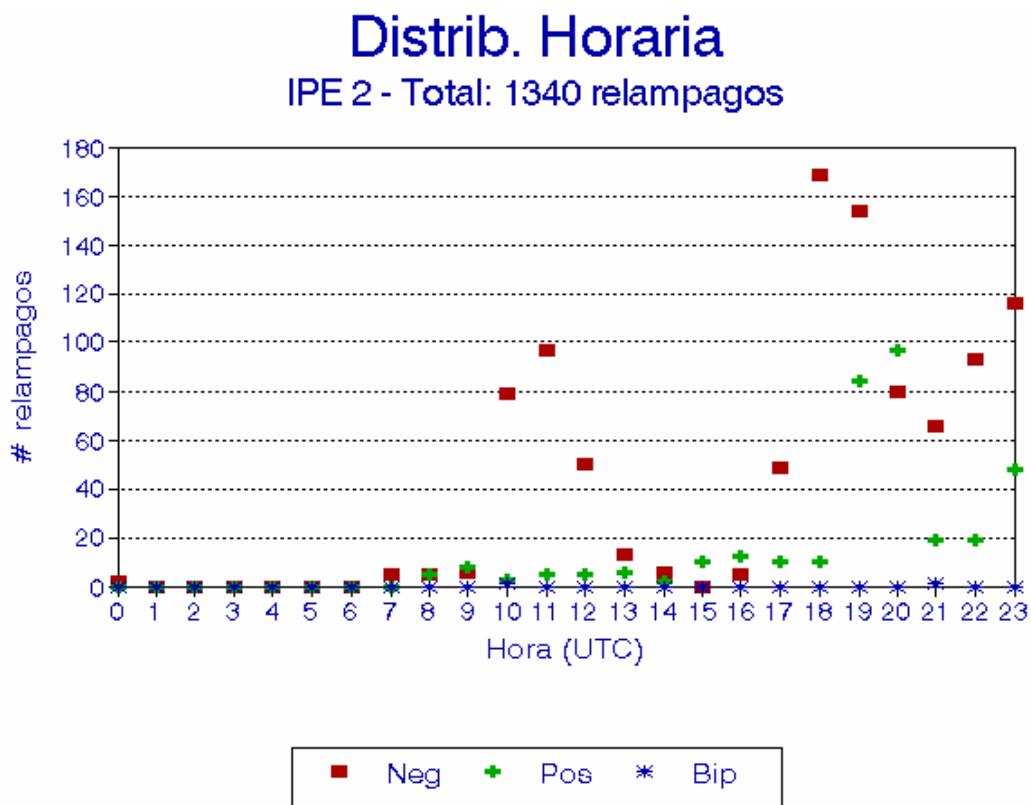


Fig. 4 – Distribuição horária de relâmpagos na região do experimento no Pantanal Sul Matogrossense.