DISCUSSÃO DA FÍSICA DOS RELÂMPAGOS COM BASE EM ANÁLISE DE IMAGENS.

Odim Mendes Jr.[1] e Margarete Oliveira Domingues[2]

Divisão de Geofísica Espacial[1] e Laboratório Associado de Meteorologia e Oceanografia[2]
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-970 São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

(odim@dge.inpe.br e margaret@cptec.inpe.br)

RESUMO

O comportamento complexo dos relâmpagos é analisado com base em um banco de imagens montado. Os pressupostos teóricos da eletrodinâmica utilizados nos trabalhos que estudam a evolução da escarga elétrica são confrontados com os comportamentos físicos identificados por meio dessas imagens. Assim, o modelo de perfil isotrópico utilizado para a condutividade elétrica na baixa atmosfera (< 70 km), ou seja, com essa condutividade crescendo monotonicamente com a altitude, conforme uma exponencial, não é adequado em várias situações apresentadas. No cálculo da trajetória das descargas é necessário incluir na condutividade perturbações localizadas espacialmente, possivelmente variando com o tempo, e/ou também considerar flutuações no campo elétrico.

Introdução

As descargas elétricas atmosféricas da nuvem para o solo originam-se usualmente na parte interior das nuvens, provenientes do acúmulo de cargas elétricas produzidas por meio de vários mecanismos concomitantes e/ou concorrentes sugeridos. Essas descargas são iniciadas por campos elétricos localmente ativos, que se superpõem aos campos elétricos planetários existentes, e elas revelam ter uma natureza complexa (MacGorman e Rust, 1998; Uman, 1987; Volland, 1984). Embora produzam efeitos sensíveis a outras regiões atmosféricas (JASTP, 1998; Sentman e Wescott, 1998), a região principal considerada como condicionante dessas descargas está definida e contida pela fronteira superior com alta ionização elétrica, a Ionosfera, e a superfície da Terra, sendo que o solo não se comporta como um condutor perfeito (MacGorman e Rust, 1998; Uman, 1987; Volland, 1984). Assim um interessante desafio do estudo eletrodinâmico dos relâmpagos é o entendimento da relação entre a morfologia dos relâmpagos (isto é, a formação, evolução e configuração do canal da descarga) e a condição da atmosfera na região da descarga e nas regiões vizinhas.

Com este trabalho, procurou-se exemplificar o comportamento complexo dos relâmpagos com base em um banco de imagens montado (Heijden, 1994; Russ, 1998). Os pressupostos teóricos simples utilizados nos trabalhos que estudam a evolução da descarga elétrica (Mendes et al., 1997; Ma et al., 1998) são confrontados com os comportamentos físicos identificados por meio das imagens de relâmpagos (Martins e Matos, 1997; Takayasu, 1990; Mendes et al., 1999b). Propõe-se, assim, com essa pesquisa uma ênfase no estudo da morfologia dos relâmpagos, por meio do imageamento, voltado para a análise das condições gerais da atmosfera (umidade, condutividade, litometeoros, etc), pois os relâmpagos podem ser caracterizados como traçadores naturais (Cotton e Anthes, 1989).

Metodologia

Tem sido realizado no Brasil uma investigação observacional do canal do relâmpago e de simulação numérica do líder escalonado (stepped leader), denominado Projeto Via-Lux, desenvolvido na Divisão de Geofísica Espacial do INPE (Mendes et al., 1996; Mendes et al., 1999a). Neste estudo ora apresentado, utilizam-se fotografias de relâmpagos (embora estáticas, ainda é técnica com a mais alta resolução de imagem), filmagens com filmadora comercial de boa qualidade (com posterior processamento da imagem para aumentar a resolução para 60 quadros por segundo) e filmagens utilizando uma câmera especial para aquisições rápidas de imagens (1 imagem a cada 2 milissegundos). O comportamento do caminho da descarga, a forma do contato com o solo, a ramificação do canal e a tortuosidade da trajetória são considerados para identificar de uma maneira ainda qualitativa o comportamento da condutividade elétrica atmosférica.

Os recursos experimentais consistem de (a) uma máquina fotográfica Yashica FX-3 Super 2000, com lente Yashica ML 50mm 1:1.9 C; (b) uma filmadora comercial portátil de maior qualidade técnica (Handycam Sony, CCD-TRV65H18, zoom óptico 18X, sensibilidade noturna, display de cristal líquido colorido para fácil ajuste de filmagem); e (c) um analisador de movimentos (Kodak Motioncorder Analyser, Model SR-500), ajustado para obter 500 quadros por segundo, resolução espacial de 512 x 240 pixels e profundidade de imagem monocromática de 8 bits.

A metodologia de digitalização das imagens consiste na aquisição digital utilizando uma placa comercial de captura de imagens de ótima qualidade (MiroVideo DC50, Pinacles) e um scanner de alta resolução óptica e não interpolada (HP Scanjet 6200C, 600x1200 pixels). Na digitalização e na criação de filmes utiliza-se um vídeo-cassete de ótima qualidade (VCR-STE Sony SLV77HFBR) compatível com a filmadora citada.

Resultados

Do formalismo eletrodinâmico (Mendes et al., 1996; MacGorman e Rust, 1998; Ma et al., 1998), a Lei de Ohm simplificada estabelece que a corrente de condução elétrica $\boldsymbol{J}$ na atmosfera pode ser relacionada ao campo elétrico $\boldsymbol{E}$ por meio do produto interno:

$$\boldsymbol{J} = \mathbf{s}_{\mathbf{T}} \circ \boldsymbol{E} \quad , \qquad (1)$$

em que $\mathbf{s}_{\mathbf{T}}$ é o tensor condutividade elétrica. Na Troposfera e Estratosfera, região abaixo de aproximadamente 70 km, devido a interação das partículas ionizadas com o ar neutro, a condutividade elétrica pode ser considerada como uma quantidade escalar (σ). De experimentos, uma curva de comportamento padrão é adotado, em que a condutividade varia com a altitude, dada pela expressão (Equação 2):

$$\sigma = \sigma_s \, e^{2Kz} \, , \qquad (2)$$

em que σ_s é a condutividade na superfície, z é a altura com respeito à superfície e 2K é a escala de altura da condutividade. Deve-se considerar 3 situações para os valores da condutividade: (a) em céu de tempo bom, isto é, sem nuvens de tempestade; (b) próximas a nuvens eletrificadas; e (c) no interior de nuvens eletricamente carregadas. Embora haja discordâncias nos estudos feitos, alguns trabalhos estimaram uma condutividade no interior da nuvem da ordem de *1/3* da condutividade da atmosfera circunvizinha na mesma altitude (Tzur e Roble, 1985; Ma et al., 1998). Isso determina a seguinte relação (Equação 3):

$$\boldsymbol{J} = \sigma \ \boldsymbol{E} \ , \qquad (3)$$

Como a direção da corrente de condução está associada ao caminho e ao comportamento da descarga elétrica, as fotografias de relâmpagos (Figuras 1 a 4, apresentadas a seguir) demonstram que a Equação 2 não é suficiente para descrever o comportamento eletrodinâmico da descarga elétrica atmosférica. Pois nos modelos decorrentes da Equação 3 as soluções de caminho são curvas lisas, bem comportadas.

Fig. 1 – 1ª descarga de retorno.

Fig. 2 – 3ª descarga de retorno

A Figura 1 exemplifica a complexidade do fenômeno da descarga elétrica atmosférica. A imagem refere-se a primeira descarga de retorno (stroke) de um relâmpago nuvem-solo, constituído de 4 descargas. A foto cobre um intervalo de 17 milissegundos (precisão temporal). A descarga apresenta tortuosidade e marcada ramificação. A Figura 2 mostra a terceira descarga desse relâmpago, sem ramificações. Em geral, é observado que a primeira descarga é a mais ramificada, pois fica ao "critério" dela a escolha do caminho a ser seguido. Análise das ramificações sugerem que já existiam caminhos potenciais, mapeados pelo campo elétrico, para serem escolhidos.

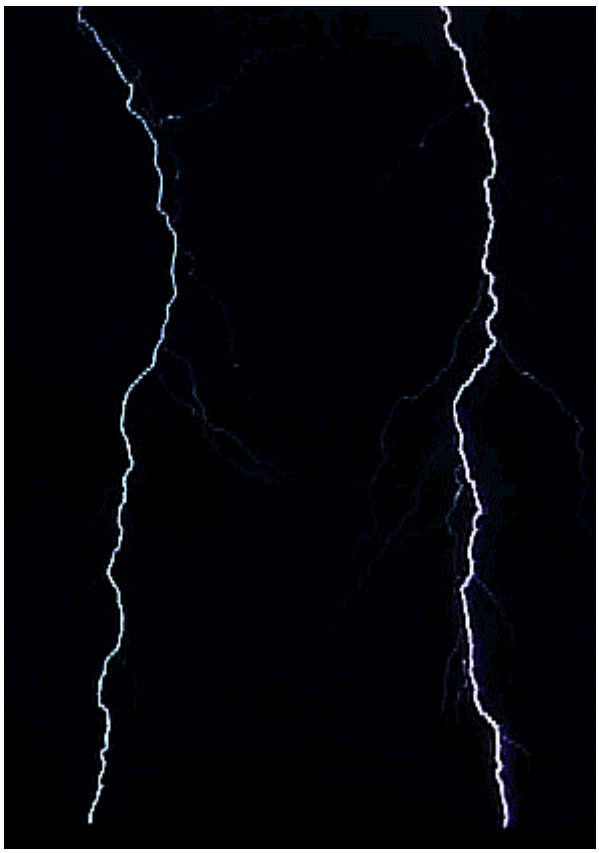

Fig. 3 – Descargas espacialmente próximas.

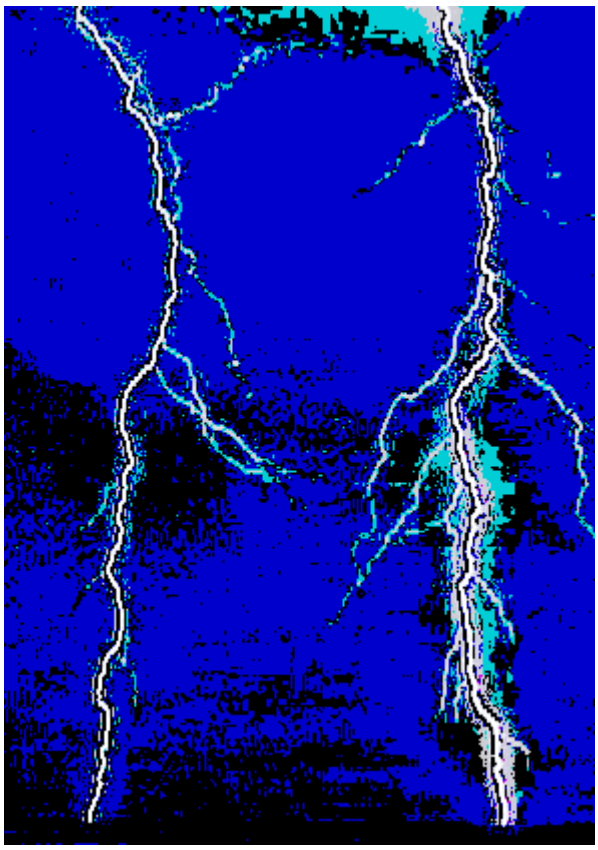

Fig. 4 – Tratamento para evidenciar ramos.

As Figuras 3 e 4 (crédito ser atribuído) apresentam um exemplo de descarga com tratamento de sinais para evidenciar as características de interesse neste estudo. A Figura 3 mostra 2 descargas espacialmente espaçadas (dezenas de metros), destacando no pós processamento o caminho e a tortuosidade. A Figura 4, para essa mesma imagem, ressalta as ramificações. Essas descargas, denominadas gêmeas, pela semelhança de conformação, ajudam a caracterizar a condição atmosférica na região próxima à descarga.

Comenta-se ainda que, como aspecto de aplicação prática desse resultado, uma determinação mais realista do caminho tem importância na avaliação da quantidade de energia transferida no processo do relâmpago.

Conclusões

Como resultado dessas primeiras investigações, identificaram-se descargas com características mais organizadas e que apresentam duplo canal similar, isto é, com tortuosidade e ramificação semelhantes (com fractalidades semelhantes). Essas descargas foram denominadas relâmpagos gêmeos. Esses resultados observacionais permitem discutir e testar os modelos teóricos existentes. Assim, o modelo de perfil isotrópico utilizado para a condutividade elétrica na baixa atmosfera (< 70 km), ou seja, com essa condutividade crescendo monotonicamente com a altitude, conforme uma exponencial, não é adequado em várias situações, como as apresentadas neste trabalho. No cálculo das trajetórias é necessário incluir na condutividade perturbações localizadas espacialmente, possivelmente variando com o tempo, e/ou também considerar no cálculo da trajetória flutuações no campo elétrico.

Referências

Cotton, W. R.; Anthes, R. A. **Storm and Cloud Dynamics**. New York, Academic Press. pp. 883, 1989.

Heijden, F. V. **Image Based Measurement Systems: Object Recognition and parameter Estimation**. John Wiley & Sons, NY, USA. pp. 338,1994.

JASTP Effects of thunderstorm activity on the upper atmosphere and ionosphere**. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, **60**(7-9):667-965, May-June, 1998. (Edição especial).

Ma, Z.; Croskey, C. L.; Hale, L. C. The electrodynamic responses of the atmosphere and ionosphere to the lightning discharge. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, **60**(7-9):845-861, May-June, 1998. (Edição especial).

MacGorman, D. R.; Rust, W. D. **The electrical nature of storms**. New York, Oxford University, 1998. pp. 422.

Martins, A. L. J.; Matos, M. B. Estimando dimensões fractais de relâmpagos. V International Congress of Brazilian Society of Geophysics. **Proceedings**. 2. p. 1192-1193. São Paulo, 1997.

Mendes, O. Jr.; Pinto, O. Jr.; Pinto, I. R. C. A; Chryssafidis, M. Lightning Simulation: the stepped leader paths in the Earth's atmosphere. VI Encontro Brasileiro de Física de Plasmas. **Proceedings**. 1. p. 150-153. Águas de Lindóia, São Paulo, 1996.

Mendes, O. Jr.; Pinto, O. Jr.; Pinto, I. R. C. A.; Chryssafidis, M. Basic Element and Model Comparison in Electrodynamics Lightning Trajectory. V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. **Proceedings**. 2. p. 1149-1151. São Paulo, 1997.

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**.** International Congress of Geophysics of Brazilian Geophysics Society. **Proceedings**. Rio de Janeiro, set. 1999a. (SBGf-212).

Mendes, O. Jr.; Domingues, M. O.; Pinto, O. Jr.; Pinto, I. R. C. A.; Saba, M. M. F. Podem as imagens amadoras de tempestades elétricas auxiliarem nas pesquisas científicas? International Congress of Geophysics of Brazilian Geophysics Society**. Proceedings.** Rio de Janeiro, set. 1999b. (SBGf-213).

Russ, J. C**. The image processing handbook**. Raleigh, North Carolina, CRC/IEEE, 1998. pp. 771.

Sentman, D.D.; Wescott, E. M. Red Sprites and Blue Jets: Transient Electrical Effects of Thunderstorms on Middle and Upper Atmospheres. In: Suess, S. T.; Tsurutani, B. T. , ed. **From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar Flare, Cosmic Rays**. Washington, American Geophysical Union, p. 45-55, 1998.

Takayasu, H. **Fractals in the Physical Sciences**. New York, John Wiley. pp. 170, 1990.

Tzur, I.; Roble, R. G. The interaction of a dipolar thunderstorm with its global electrical environment. **Journal Geophysica Research**, **90**:5989-5999, 1985.

Uman, M. **The lightning discharge**. Florida, Academic Press. pp. 377,1987.

Volland, H. **Atmospheric electrodynamics**. New York, Spring-Verlag. pp. 205, 1984.

Agradecimentos:
Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio e financiamento recebido (Processo Nº 1998/3860-9).