

## DETECÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS CONVECTIVOS COM DADOS DO SIMEPAR

Kellen Carla Lima<sup>1</sup> e Roseli Gueths Gomes<sup>2</sup>

Recebido em 10 abril, 2006 / Aceito em 31 março, 2009  
Received on April 10, 2006 / Accepted on March 31, 2009

**ABSTRACT.** With data from atmospheric electrical discharges detected by the network of sensors of SIMEPAR/PR, this work has as main objective to analyze the electrical activity of three convective systems, relating them to the life of each one. These systems occurred in the southern South American Continent, which identification and selection followed criteria established in this work. Geostationary satellite imagery, enhanced in the infrared has been used in this procedure, for the years 2002 and 2003. One of the systems (the most intense and largest) has developed in the region where the efficiency of detection is lower than 20%, but its dissipation occurred in a region with greater efficiency. The other two systems occurred within the region with detection efficiency greater than 90%. It was found that the electrical discharges were preferentially concentrated in the regions where the nuclei had convective top temperatures lower than 190 K. The maximum detected discharges occurred near or at the time of maturity of the system. The results suggested that the convection intensity of convective systems can be related to the quantity of atmospheric electrical discharges associated to them. Also, it was found that the temporal evolution of the electrical discharges can be related to the stage of development of nuclei embedded within the convective systems.

**Keywords:** atmospheric electrical discharges, southern South America, convective systems.

**RESUMO.** Com dados de descargas elétricas atmosféricas detectadas pela rede de sensores do SIMEPAR/PR, este trabalho tem como principal objetivo analisar as atividades elétricas de três sistemas convectivos, relacionando-as com o ciclo de vida de cada um. Estes sistemas ocorreram no sul do continente sul-americano, cuja identificação e seleção obedeceram a critérios estabelecidos neste trabalho. Imagens de satélite geoestacionário, realçadas no infravermelho, foram utilizadas neste procedimento, para os anos de 2002 e 2003. Um dos sistemas (o mais intenso e maior) se desenvolveu na região onde a eficiência de detecção é inferior a 20% mas, a sua dissipação ocorreu numa região com maior eficiência. Os outros dois sistemas ocorreram dentro da região com eficiência de detecção da rede superior a 90%. Verificou-se que as descargas elétricas se concentraram preferencialmente nas regiões onde os núcleos convectivos apresentavam temperaturas de topo inferiores a 190 K. O máximo de descargas detectadas ocorreu próximo ou no momento de maturação do sistema. Os resultados sugerem que a intensidade da convecção de sistemas convectivos pode estar relacionada com a quantidade de descargas elétricas atmosféricas associadas a estes. Também, que a quantidade de descargas detectada pode estar relacionada com o estágio de desenvolvimento dos núcleos imersos nos sistemas convectivos.

**Palavras-chave:** descargas elétricas atmosféricas, sul da América do Sul, sistemas convectivos.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, Caixa Postal 515, 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil. Tel.: (12) 3945-6821; Fax: (12) 3945-6817 – E-mail: kellen.lima@cptec.inpe.br

<sup>2</sup>Centro de Pesquisas e Previsões Meteorológicas (CPPMet), Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Av. Ildefonso Simões Lopes, 2751, Arco-Íris, 96060-290 Pelotas, RS, Brasil. Tel.: (53) 3277-6690; Fax: (53) 3277-6722 – E-mail: rggomes@ufpel.edu.br

## INTRODUÇÃO

É provável que descargas elétricas atmosféricas ocorram na Terra há bilhões de anos. Também, é possível que elas tenham contribuído para a geração de moléculas orgânicas, necessárias à formação de qualquer forma de vida. Harland & Hacker (1966) registraram a formação de fósseis por descargas elétricas há 250 milhões de anos atrás. Historicamente, descargas elétricas e trovões foram objetos de adoração e fascínio por civilizações antigas. Por exemplo, Gary (1994) e Uman (2001) fazem uma revisão de perspectivas mitológicas de descargas em diferentes culturas. Além disto, uma tempestade elétrica constitui um fenômeno atmosférico de beleza ímpar.

Entretanto, a ocorrência de descargas elétricas atmosféricas pode gerar transtornos para a sociedade. As descargas podem provocar colapsos ou desligamentos na rede de distribuição de energia elétrica, incêndios, acidentes na aviação e em embarcações marítimas, danos aos sistemas de telefonia e de telecomunicações podendo, inclusive, provocar mortes de seres humanos e de animais.

O Brasil, devido à sua grande extensão territorial e pelo fato de estar localizado em uma região predominantemente tropical, é um dos países de maior ocorrência de descargas do planeta. Estima-se que cerca de 100 milhões de descargas nuvem-solo ocorram no Brasil por ano, o que significa três descargas por segundo (Pinto Jr. & Pinto, 2000). A ocorrência de descargas geralmente está associada com a formação de nuvens *Cumulonimbus* (Rakov & Uman, 2003), ou nuvens de tempestade que, quando se agrupam, formam os chamados sistemas convectivos de mesoescala, com escalas espaciais horizontais que variam desde dezenas até centenas de quilômetros (Cotton & Anthes, 1989). O estudo da ocorrência de descargas em uma região pode revelar informações sobre os sistemas que as produziram.

A região subtropical da América do Sul tem uma das maiores densidades espaciais de formação de sistemas convectivos com elevadas taxas de descargas elétricas, como mostraram recentemente Cecil et al. (2005). No seu estudo, os autores utilizaram três anos de dados obtidos pelo satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*, Simpson et al., 1988) que são observações simultâneas de: radar, micro-onda passiva e medidas de descargas. As maiores taxas de descargas foram encontradas em sistemas que continham muitas células convectivas (Zipser et al., 2006), cujas temperaturas dos topos atingem valores inferiores a 218 K (Machado et al., 1998). As taxas de descargas e os valores mínimos de temperatura de brilho são medidas da intensidade da convecção, pois indicam as regiões onde os processos convectivos são mais profundos e vigorosos, dentro de um sistema convectivo de mesoescala.

Dados obtidos pelo satélite TRMM também foram utilizados por Williams et al. (2000) para analisar as mudanças nas taxas de descargas em relação ao número de tempestades nas escalas diária e anual. Os autores encontraram que a quantidade de tempestades constituiu o principal motivo das variações da atividade elétrica observada. Boccippio et al. (2000), com dados semelhantes àqueles de Williams et al. (2000), investigaram a variabilidade das taxas de descargas observadas em regiões continentais e oceânicas, sob diferentes situações convectivas. Um importante resultado encontrado por estes autores foi que variações na densidade espacial de células convectivas são semelhantes às variações na densidade das taxas de descargas observadas, principalmente em regiões continentais. Resultado semelhante foi encontrado por Toracinta & Zipser (2001) ao comparar a distribuição de sistemas convectivos de mesoescala com a distribuição de descargas em 19 regiões, localizadas entre os paralelos 35°N e 35°S durante 12 meses, utilizando dados de temperatura de brilho e de descargas obtidos por sensores embarcados em um satélite. Os sistemas convectivos têm natureza celular e, tipicamente, são vistos como aglomerados de células convectivas. Esta tendência foi utilizada pelos autores para associar um grupo de descargas com um aglomerado de nuvens. Trabalhos posteriores mostraram que, de fato, as descargas resultam de processos termodinâmicos e cinemáticos existentes nas células convectivas (Lang & Rutledge, 2002; Williams et al., 2005).

Goodman & MacGorman (1986) estudaram 10 complexos convectivos de mesoescala (definidos em Maddox, 1980) observados em Oklahoma (EUA), com o objetivo de relacionar a ocorrência das descargas elétricas com o ciclo de vida destes sistemas. Utilizaram dados obtidos por quatro sensores de detecção de descargas instalados em superfície e imagens de satélite geoestacionário (no canal infravermelho). Os autores mostraram que o período mais ativo eletricamente ocorreu próximo da fase de maturação dos sistemas e que o menos ativo na primeira hora de sua formação. Para os casos estudados foi concluído que, apesar da intensidade da atividade elétrica ter sido independente da duração e do tamanho máximo dos sistemas, o aumento das taxas de descargas ocorreu junto com o aumento da área de cobertura das nuvens com temperaturas de topo abaixo de 221 K.

Com os dados de descargas elétricas atmosféricas para os anos de 2002 e 2003, cedidos pelo SIMEPAR/PR, e imagens de satélite geoestacionário o principal objetivo deste trabalho é o de relacionar a atividade elétrica detectada com o ciclo de vida de sistemas convectivos de mesoescala, observados no sul do continente sul-americano. Para que os resultados sejam confiáveis, é preciso que os sistemas convectivos tenham se desenvolvido na região onde a eficiência de detecção da rede é de, pelo menos,

60%. Juntamente com outros critérios de seleção estabelecidos, três exemplos de casos de estudos serão mostrados neste trabalho, para os quais pretende-se verificar como a evolução das suas características morfológicas pode estar relacionada com a atividade elétrica detectada.

## METODOLOGIA

Nesta seção são apresentadas algumas características dos dados de descargas elétricas utilizados, das imagens de satélite e dos critérios de identificação e seleção dos sistemas convectivos analisados neste trabalho.

### Detecção de descargas elétricas atmosféricas

No Brasil, a RINDAT, Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (<http://www.rindat.com.br>), foi criada a partir de um convênio de cooperação técnico-científico entre quatro instituições para detectar, em tempo real, as descargas atmosféricas nuvem-solo em parte do território brasileiro. Estas instituições foram: CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), FURNAS (Furnas Centrais Elétricas), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). A qualidade dos resultados obtidos, em termos de eficiência e precisão na detecção e localização das descargas, é determinada por um grande número de fatores, incluindo a eficiência individual de cada sensor, o número de sensores que contribuem para a localização das descargas e a distância entre eles.

A detecção de descargas elétricas no solo é feita a partir de um conjunto de antenas receptoras que localizam e identificam características das descargas de retorno de uma dada região. Dois tipos básicos de sensores são utilizados pela RINDAT: *Lightning Position and Tracking System* (LPATS) e *IMProved Accuracy from Combined Technology* (IMPACT). A diferença entre os sensores está relacionada às diferentes tecnologias utilizadas para a identificação da localização e do tipo de descarga. O sensor LPATS fornece a localização da descarga de retorno por meio da tecnologia *Time Of Arrival* (TOA), ou tempo de chegada. Esta tecnologia consiste em calcular o tempo que o receptor leva para detectar uma descarga. Quando três ou mais receptores captam a descarga de retorno, usa-se o processo inverso de chegada, ou seja, antena-localização (através do tempo medido) para determinar a localização exata de onde ocorreu a descarga. O sensor do tipo IMPACT combina a tecnologia de precisão *Magnetic Direction Finding* (MDF) com a tecnologia TOA para alcançar maior eficiência e precisão de localização. A tecnologia de precisão da direção do campo magnético é utilizada para haver uma

maior eficiência na localização do sinal. Esta tecnologia permite que se tenha uma boa precisão utilizando-se, no mínimo, dois receptores.

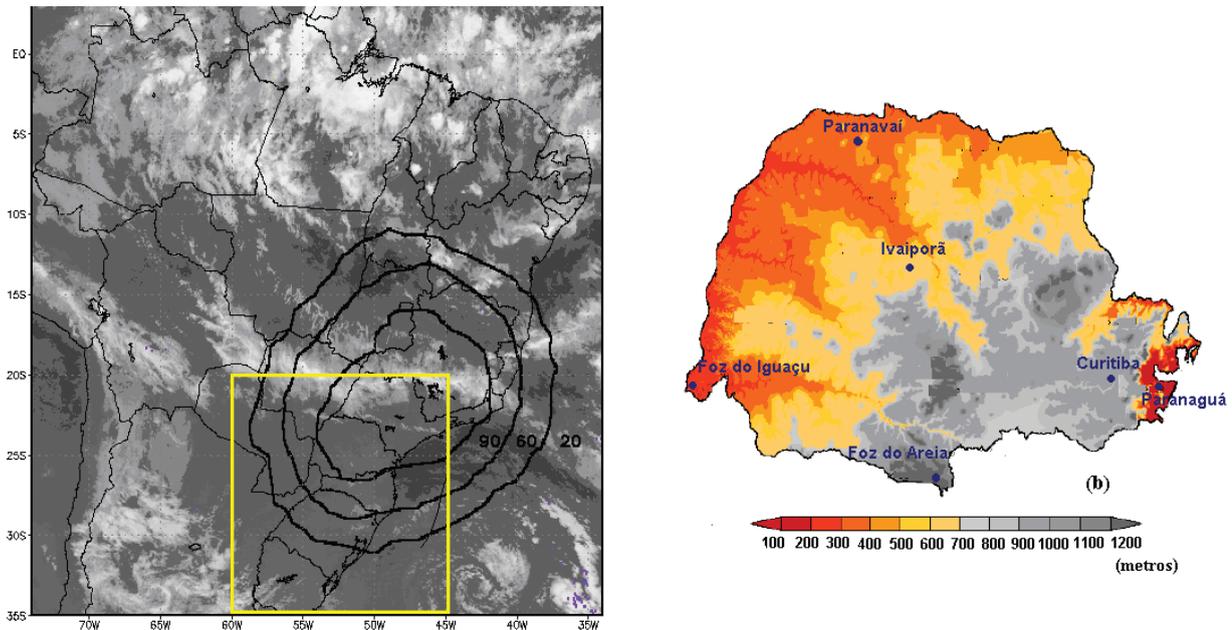
Após serem registrados pelos sensores, os sinais das descargas são enviados às centrais de processamento onde são tratados a fim de serem obtidas informações sobre a localização e diversos parâmetros das descargas, como a polaridade, a intensidade de corrente de pico, a latitude, a longitude, a data e a hora das descargas de retorno. Em seguida, são disponibilizados para visualização em tempo real ou armazenados para análises posteriores. A precisão das informações de localização de raios do sistema é, em média, de 500 metros dentro do perímetro definido pela posição das estações remotas de recepção. O sistema opera através do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS), que fornece informações de temporização de raios com resoluções de até 300 nanossegundos.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos junto ao SIMEPAR que opera, desde 1996, o Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas, com as tecnologias LPATS e IMPACT, da *Global Atmospheric Incorporation* (GAI). A Figura 1a mostra a eficiência de detecção da rede RINDAT, válida para o período analisado neste trabalho, onde o retângulo amarelo mostra a região para a qual foram cedidos os dados de descargas elétricas. Nota-se que somente aquelas descargas detectadas sobre o Paraná e São Paulo apresentam eficiência de detecção igual ou superior a 90%. O restante da área tem eficiência de detecção que diminui rapidamente de 60 a 20%. A Figura 1b mostra detalhes da topografia do estado do Paraná e as seis cidades onde estão instalados os sensores de detecção das descargas.

Os dados de descargas cedidos pelo SIMEPAR vieram com valores de intensidade de corrente filtrados entre  $-15$  kA e  $+15$  kA, característicos de descargas intra-nuvem, que geralmente não são consideradas pelo sistema de detecção LPATS e IMPACT. Valores entre os limites citados acima, na intensidade da corrente, também não foram utilizados nos trabalhos de Naccarato (2001), Gomes (2002) e Faria (2002). A Figura 2 mostra a formatação dos dados de descargas elétricas utilizados.

### Imagens de satélite

As imagens de satélite utilizadas são provenientes dos satélites geoestacionários da série GOES, realçadas no canal infravermelho. A vantagem do uso das imagens realçadas consiste na facilidade de identificação das regiões com atividade convectiva mais intensa, porque quanto mais elevados estiverem os topos das nuvens, mais negativas são as temperaturas. As imagens de satélite realçadas utilizadas aqui foram obtidas no site <http://orbit35i.nesdis.noaa.gov/arad/ht/ff/gilberto.html> (atu-



**Figura 1** – (a) Curvas de eficiência de detecção da rede RINDAT, válidas para o período 2002-2003 e (b) detalhes da topografia do estado do Paraná e cidades onde os sensores estão localizados. O retângulo amarelo indica a área para a qual foram cedidos os dados de descargas elétricas pelo SIMEPAR/PR.

DADOS DEA - WordPad

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ajuda

DIA	MES	ANO	HORA	MIN	SEG	MILESEG	LATITUDE	LONGITUDE	PICO
02	08	2003	04	07	34	92.494800	-31.20000	-53.35570	33
02	08	2003	04	23	52	295.28800	-30.26800	-55.50570	52

Para obter Ajuda, pressione F1

**Figura 2** – Formatação dos dados de descargas elétricas atmosféricas, cedidos pelo SIMEPAR.

almente desativado) e estavam disponíveis em intervalos de tempo de 30 minutos a 1 hora, em média. Entretanto, para muitos dias dos anos de 2002 e 2003, houve intervalos entre imagens consecutivas de 3 horas ou mais, o que impossibilitou por completo o acompanhamento adequado dos sistemas que estavam sendo rastreados, como descrito a seguir.

### **Crítérios de identificação e de seleção dos casos de estudo**

A identificação dos sistemas convectivos com imagens de satélite pode ser feita mediante o estabelecimento de um ou dois limites de temperatura de topo das nuvens. Uma nuvem é definida como nuvem de topo elevado em um sistema convectivo se, em

algum momento ao longo de seu ciclo de vida, ela apresentar convecção profunda ativa, isto é, o topo da nuvem atingir alturas superiores a 12 km (Machado et al., 1992). Assim, é possível definir uma temperatura limiar tanto para a identificação das nuvens com topos elevados, que definem o sistema convectivo, quanto para as regiões com convecção profunda e ativa dentro deste, que definem os núcleos internos. As descargas elétricas geralmente estão associadas com estes núcleos convectivos (Rakov & Uman, 2003) que possuem uma quantidade de água muito grande e, por isto, geralmente provocam intensa precipitação em superfície (Machado et al., 1998).

Machado & Rossow (1993) utilizaram o valor de 245 K para identificar o topo das nuvens mais altas no seu estudo. Machado et al. (1998) utilizaram valores de temperatura inferiores a 245 K

para identificar os sistemas convectivos e temperaturas inferiores a 218 K para identificar os núcleos internos. Em trabalhos anteriores, como o de Maddox (1980), a identificação dos complexos convectivos de mesoescala foi realizada utilizando valores de temperatura inferiores a 241 K e, para as partes internas, convectivamente mais ativas, temperaturas inferiores a 221 K. Velasco & Fritsch (1987) também utilizaram dois limiares de temperatura de brilho para estudar a ocorrência de complexos convectivos de mesoescala no continente americano, com valores limiares de 233 K e 211 K, para um ano de estudo, e 231 K e 209 K para o outro ano. Arnaud et al. (1992), Salio & Nicolini (2005), Morel & Senesi (2002) utilizaram um único limiar de temperatura para identificar os núcleos convectivos em sistemas ocorridos em regiões de latitudes médias, com valores limiares de 235 K, 220 K e 228 K, respectivamente. Esta pequena variação nos valores limiares adotados nos trabalhos citados não é significativa, pois Machado et al. (1992) e Mapes & Houze (1993) mostraram que existe uma relativa insensibilidade quanto à escolha de um valor preciso para os valores limiares de temperatura de brilho, num intervalo de 10 a 20 K, dada a dependência quase linear entre a área convectiva e um valor limiar fixado. Neste trabalho optou-se pelo uso de um único valor limiar de 220 K para a identificação dos núcleos com convecção profunda ativa.

Uma vez estabelecido o limiar de temperatura do topo das nuvens, foi utilizado um procedimento semi-automático de identificação dos núcleos convectivos, na medida em que o usuário participa da tomada de decisões (Silveira et al., 2006). Com este programa, os núcleos começam a ser rastreados a partir do momento em que alcançam área mínima de 2.000 km<sup>2</sup> e temperatura de topo igual ou inferior a 220 K. Uma vez terminado o processamento, as informações armazenadas incluem várias características morfológicas, dentre as quais a direção preferencial de deslocamento, área máxima dos núcleos, temperatura média do topo das nuvens, trajetória do centro de “massa” (ponderado pela temperatura) e outras. A evolução destas características morfológicas mostra as transformações dos núcleos convectivos ao longo de seu ciclo de vida. Nas situações de falhas nas seqüências das imagens, a determinação dos horários de início/término dos núcleos seguiu o critério de um horário intermediário entre imagens consecutivas, desde que o intervalo entre estas não fosse superior a três horas (Macedo et al., 2004). A maturação dos núcleos, baseada nos trabalhos de Machado & Rossow (1993) e Vila (2004), ocorre quando estes atingem seu tamanho máximo. A partir de então, ele entra no estágio de dissipação. Os terminos dos núcleos ocorrem quando as temperaturas dos topos das nuvens passam a ser superiores ao limiar fixado.

Uma vez identificados os núcleos convectivos que ocorreram na região de interesse, foram retidos para estudo somente aqueles núcleos que, em algum momento ao longo de seu ciclo de vida, se *deslocaram/formaram sobre a região com eficiência de detecção de 60% ou mais*. Houve também a preocupação de selecionar sistemas convectivos que ocorreram, preferencialmente, de *forma isolada* na região de estudo, para a homogeneização da amostra. Outro critério adotado para a seleção dos casos foi quanto ao *intervalo de tempo das seqüências de imagens de satélite*. Para um estudo desta natureza, falhas nas seqüências superiores a uma hora já impedem a continuidade da evolução natural das características morfológicas dos núcleos, principalmente em pequenos sistemas convectivos, visto que elas ocorrem muito rapidamente. Nestas condições, não é possível a determinação dos estágios de vida dos sistemas, fundamental para este trabalho. Assim, foram retidos somente os sistemas para os quais, no caso de haver falhas na seqüência de imagens, foi possível realizar o acompanhamento da evolução do sistema sem, portanto, haver variações abruptas nas suas características morfológicas. Este procedimento garantiu a qualidade da seqüência de imagens para os sistemas, mas reduziu bastante a quantidade de casos retidos para estudo.

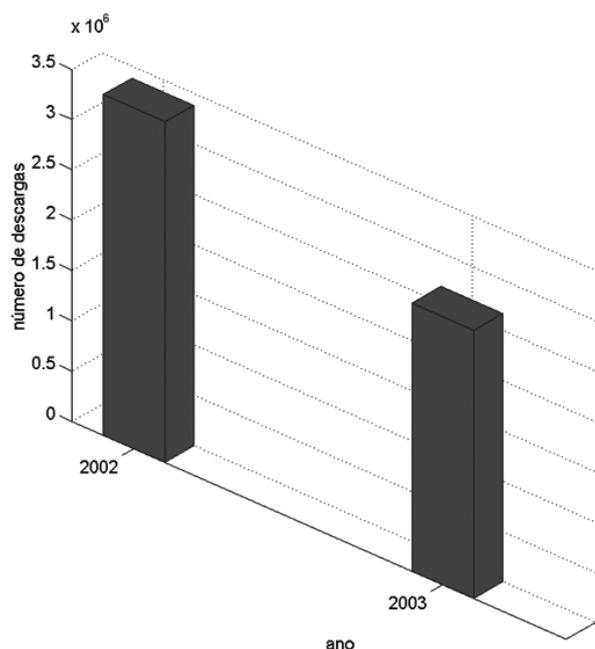
Para os casos que preencheram todos os requisitos fixados, foi feita a sobreposição das descargas elétricas tanto às imagens de satélite quanto aos núcleos convectivos. As descargas sobrepostas foram contabilizadas com base no horário das imagens de satélite. Foram consideradas todas as descargas detectadas 15 minutos antes e 15 minutos depois dos horários das imagens. Neste trabalho serão mostrados os resultados de 3 exemplos de casos, selecionados a partir dos critérios expostos anteriormente. Estes sistemas ocorreram nos dias 13-14 de março de 2002, 19-20 de dezembro de 2003 e 22 de dezembro de 2003.

## DISCUSSÃO

Inicialmente são apresentadas as distribuições anuais e mensais das descargas elétricas detectadas nos anos 2002 e 2003 pela rede de sensores do SIMEPAR. Nesta região, a maior parte dos dados de descarga é obtida com eficiência de detecção superior a 60%, o que assegura a confiabilidade dos resultados. Watson et al. (1994) realizaram um estudo da variabilidade espacial e temporal de descargas nuvem-solo e compararam com as informações de precipitação em superfície, com dados de descargas obtidos em uma região com eficiência de detecção de 50 a 60%. Domingues et al. (2003) e Domingues et al. (2004), utilizaram os dados de descargas do SIMEPAR para avaliar a atividade elétrica de um evento severo ocorrido na região do Pantanal Mato-grossense. Nesta região a eficiência de detecção das descargas é

inferior a 30%. Entretanto, a comparação de resultados obtidos com os dados de descargas para esta região com aqueles obtidos para uma região com eficiência de detecção superior a 80%, mostrou semelhanças nas variações de algumas características das descargas.

As distribuições anuais das descargas detectadas nos anos de 2002 e 2003 são mostradas na Figura 3. Observa-se que em 2002 foram detectadas mais descargas do que em 2003, em aproximadamente 12%, na região de cobertura dos sensores do SIMEPAR. Tendo em vista que os dois anos analisados foram caracterizados como anos de El Niño (INFOCLIMA, 2002, 2003), este fenômeno pode explicar parcialmente estes elevados valores, pois os padrões de precipitação ficam alterados no Brasil, com um aumento da precipitação na região sul (Grimm et al., 1998; Berlato & Fontana, 2003), significando que a taxa local de descargas depende da intensidade da convecção e dos fluxos ascendentes de água.



**Figura 3** – Distribuição anual de descargas elétricas atmosféricas nos anos 2002 e 2003.

Uma vez que a ocorrência de descargas elétricas, na região de interesse, está principalmente relacionada com a formação de nuvens de tempestade, a investigação das distribuições mensais de descargas mostrou que, de fato, os valores máximos são observados nos meses de verão e primavera (Fig. 4). Nestes meses do ano, as condições atmosféricas favorecem o aumento da evaporação (pelo maior aquecimento) e a conseqüente formação de nuvens de tempestade (Reap & MacGorman, 1989; Reap, 1994; Steiger & Orville, 2002), grandes produtoras de descargas.

O valor máximo absoluto de quantidade de descargas detectadas ocorreu em fevereiro/2003, quando foram identificados mais de 100 sistemas convectivos no sul da América do Sul, como mostrou Scaglioni (2006).

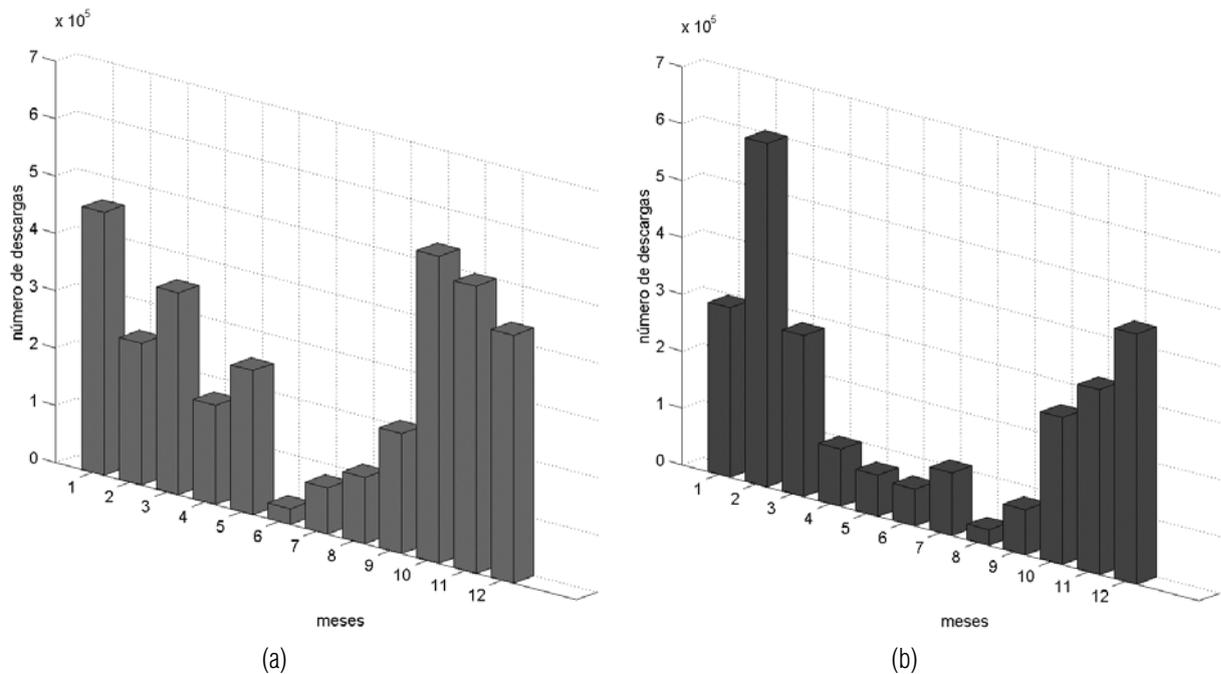
Nos meses de inverno e outono foram detectadas as quantidades mínimas de descargas elétricas na área analisada. No inverno dos dois anos houve valores totais de aproximadamente 200 mil descargas, não havendo, portanto, grande distinção entre o inverno/2002 e inverno/2003. Nesta época do ano sabe-se que, dentre os sistemas meteorológicos que atingem a região de estudo, os mais freqüentes são os sistemas frontais e os ciclones extratropicais. Oliveira (1986), Lemos & Calbet (1996) e Andrade (2005) são alguns trabalhos sobre a atuação de sistemas frontais no sul da América do Sul. A entrada de sistemas frontais no continente é comum em todas as estações do ano, mas estes autores mostraram que existe uma variação sazonal na atividade convectiva associada a estes sistemas que é extremamente baixa durante o inverno (principalmente nos meses de junho e julho), quando a entrada de tais sistemas no continente sul-americano não provoca muita precipitação.

### Descargas Elétricas e os Sistemas Convectivos

A relação entre a evolução de 3 sistemas convectivos, ocorridos no sul da América do Sul, e as descargas elétricas atmosféricas detectadas pela rede de sensores do SIMEPAR é discutida a seguir. Para cada caso são mostrados fragmentos das imagens de satélite, ressaltando o sistema convectivo em análise (primeira coluna), os dados de descargas elétricas sobrepostos aos fragmentos de imagens de satélite (segunda coluna) e dados de descargas sobrepostos aos núcleos convectivos imersos no sistema em análise (terceira coluna). Os horários escolhidos são próximos das fases de formação, transição, maturação do sistema e de máximo número de descargas elétricas detectadas na região.

#### Caso 1: 13-14 de março de 2002

O sistema convectivo que ocorreu nos dias 13-14 de março de 2002 se formou no litoral do estado de Santa Catarina e se deslocou até atingir o litoral do Paraná (Figs. 5a a 5j). Ao longo de todo o seu tempo de vida, esteve localizado dentro da região com eficiência de detecção de 90%. Para este caso, verifica-se que a atividade elétrica esteve presente desde a sua formação. Nos períodos de formação e de transição deste sistema (Figs. 5b e 5e) nota-se que as descargas ocorreram desde o norte do Rio Grande do Sul até o estado de São Paulo, onde foram observados pequenos sistemas convectivos (Figs. 5a e 5d). A área máxima, de 85.420 km<sup>2</sup>, foi atingida às 00:39 HL (Hora Local) do dia 14 de



**Figura 4** – Distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas detectadas nos anos (a) 2002 e (b) 2003, na área de cobertura dos sensores do SIMEPAR.

março (Fig. 5j). Neste momento, de maturação do sistema, o número de descargas detectadas foi quase 4 vezes menor (Figs. 5l e 5m) que o número máximo de 3.219 descargas detectadas (Figs. 5h e 5i) numa área de 76.690 km<sup>2</sup>, 1 hora e 30 minutos antes, quando as áreas com temperaturas de topo inferiores a 200 K eram maiores que na maturação do núcleo. Avaliando as Figuras 5e, 5h e 5l nota-se que as descargas ocorreram de forma mais concentrada sobre estas regiões mais convectivas, onde as temperaturas de topo são iguais ou inferiores a 200 K.

### Caso 2: 19-20 de dezembro de 2003

Este sistema se formou e evoluiu no leste da Argentina. As Figuras 6a, 6d, 6g e 6j mostram fragmentos das imagens de satélite relativas ao desenvolvimento deste sistema. Apesar de ter apresentado maiores área e intensidades, em comparação com os outros casos de estudo, durante todo o seu tempo de vida os núcleos mais ativos (onde as temperaturas de topo foram inferiores a 190 K, Figs. 6d e 6g) permaneceram na região com eficiência de detecção inferior a 20%. Isto indica que houve uma subestimação importante na quantificação das descargas elétricas detectadas ao longo de toda a duração deste sistema. A área máxima deste núcleo foi de 639.220 km<sup>2</sup> às 07:39 HL (Fig. 6g), mas o número máximo de 1.004 de descargas detectadas foi registrado 4 horas depois (Fig. 6m), porque o sistema atingiu a maturação na

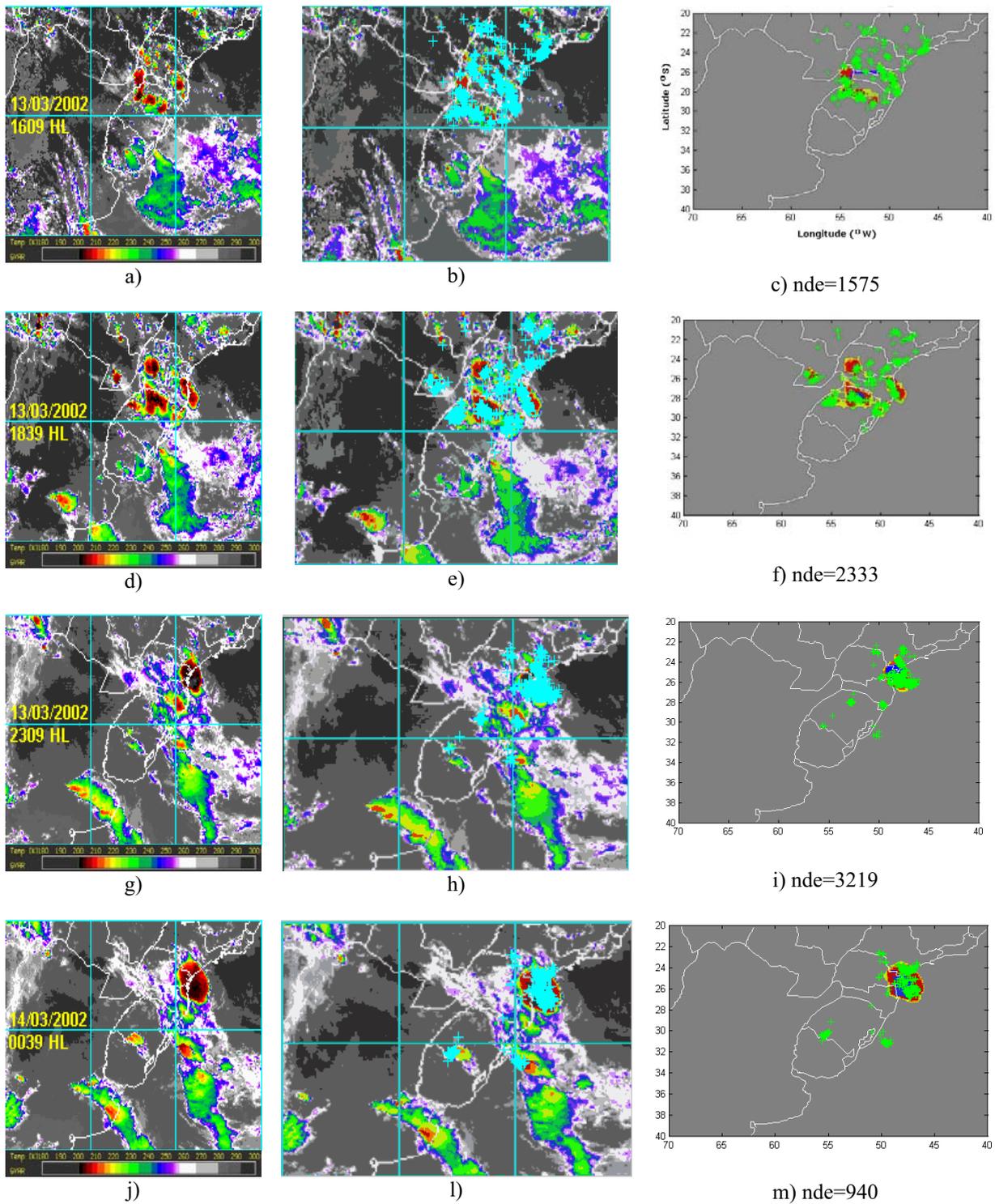
região onde a eficiência de detecção das descargas é inferior a 20%, o que também deve ter induzido uma defasagem espacial da localização destas (Figs. 6j, 6l e 6m).

### Caso 3: 22 de dezembro de 2003

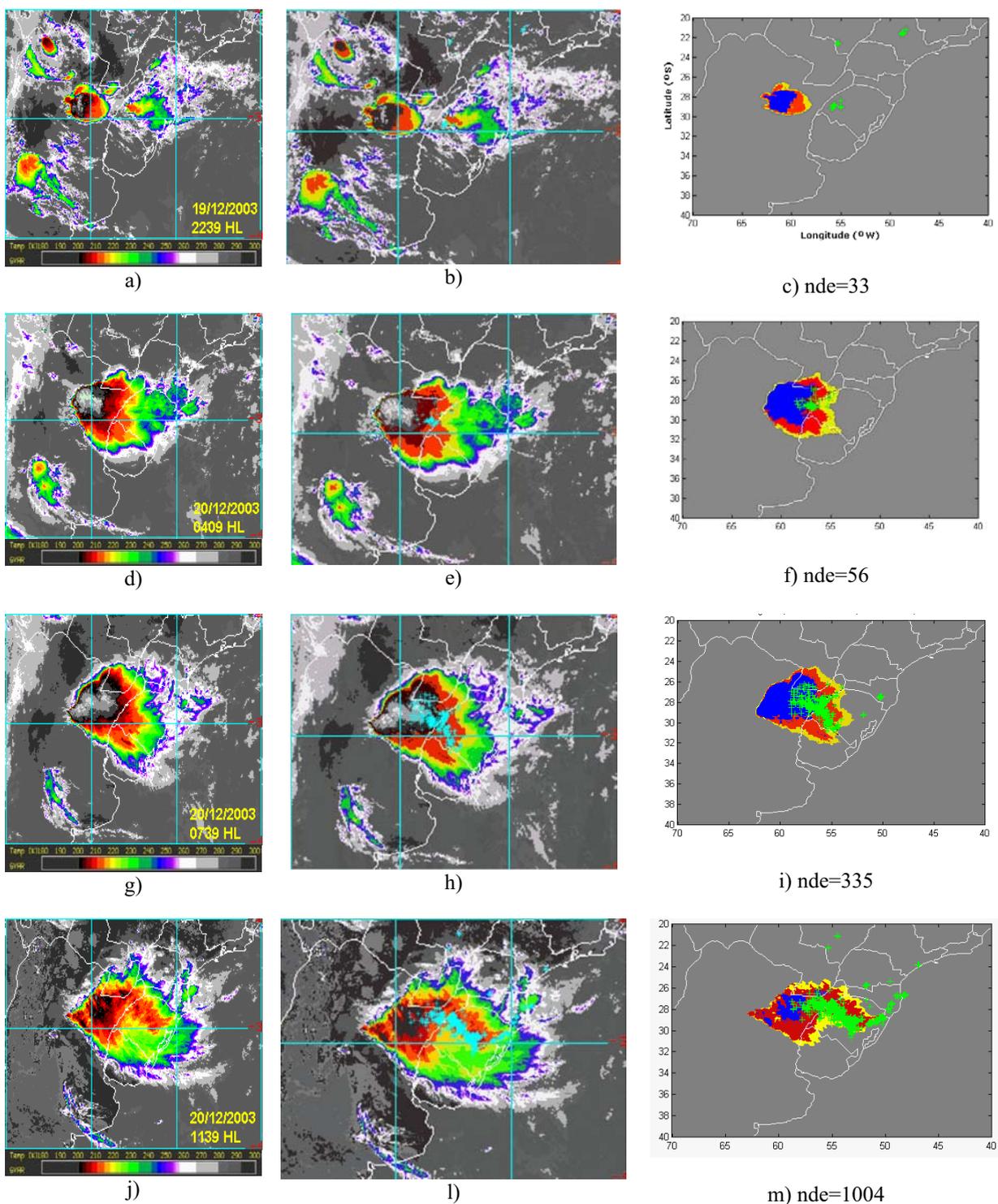
O sistema convectivo que ocorreu no dia 22 de dezembro de 2003 se formou no extremo leste da Argentina (onde a eficiência de detecção é de 60%) e se deslocou para noroeste até atingir o estado do Paraná (Figs. 7a, 7d, 7g e 7j), onde a eficiência de detecção é de 90%. Vários pequenos sistemas convectivos se formaram na sua vizinhança, responsáveis pelas descargas detectadas perto do núcleo principal. Percebe-se também que, durante o processo de evolução deste núcleo, existiu uma localização preferencial das descargas sobre as regiões convectivas com temperaturas de topo inferiores a 200 K, analogamente ao observado no caso 1. Este aspecto pode ser melhor visto nas Figuras 7f, 7i e 7m. A área máxima deste núcleo, de 277.650 km<sup>2</sup>, ocorreu junto com o máximo de descargas, às 18:39 HL (Figs. 7j, 7l e 7m).

## CONCLUSÃO

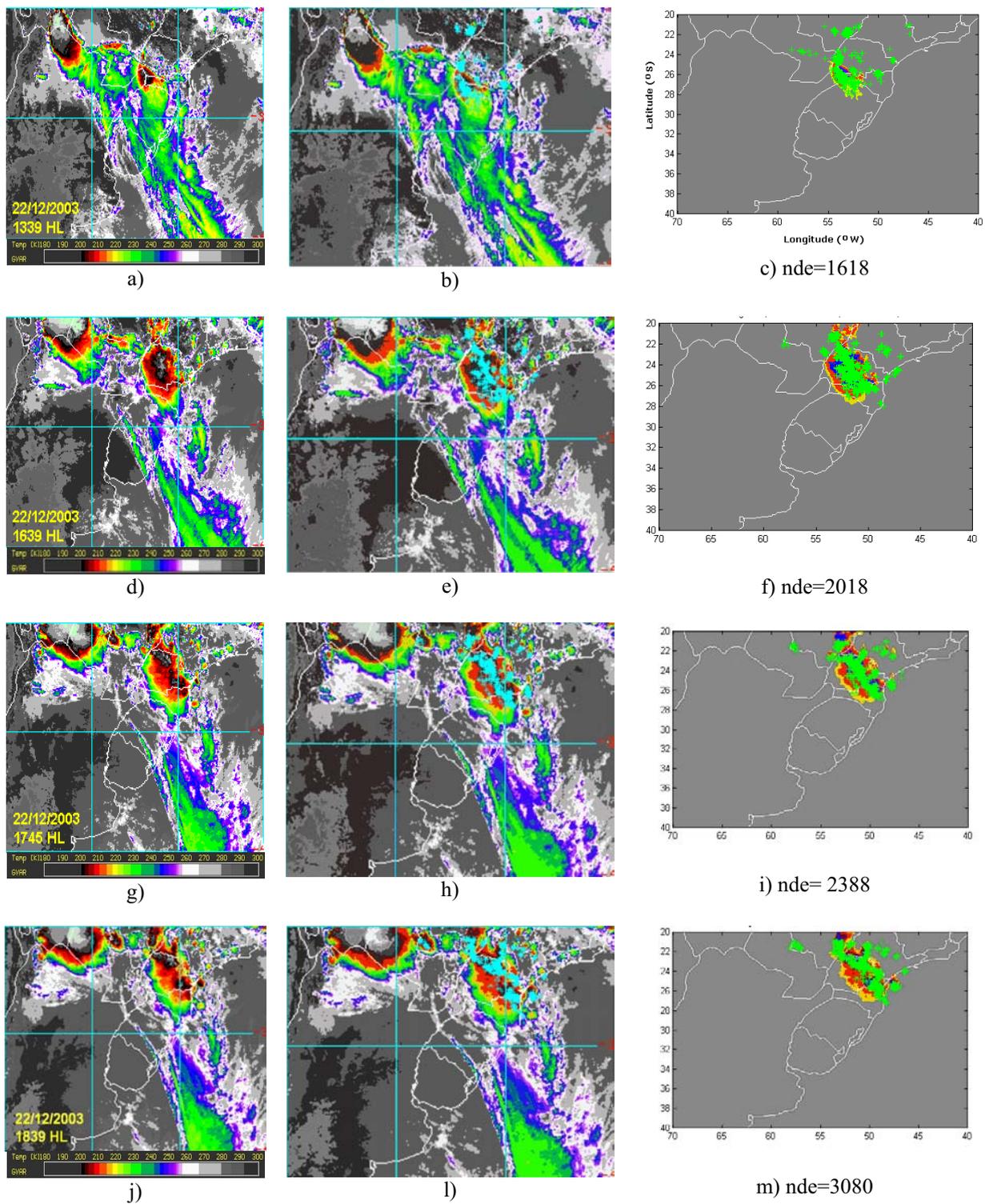
Neste trabalho foram utilizados dois anos (2002-2003) de dados de descargas elétricas atmosféricas detectadas pela rede de sensores do SIMEPAR/PR para avaliar a atividade elétrica de três sistemas convectivos que se formaram no sul do continente sul-



**Figura 5** – Fragmentos de imagens de satélite geoestacionário para o caso 1, ocorrido nos dias 13-14 de março de 2002. Os horários escolhidos são próximos aos períodos de formação, de transição, de maturação e de máxima atividade elétrica dos núcleos. Os dados de descargas elétricas atmosféricas, detectadas pela rede do SIMEPAR estão sobrepostos às imagens de satélites. (nde=número de descargas elétricas).



**Figura 6** – Fragmentos de imagens de satélite geoestacionário para o caso 2, ocorrido nos dias 19-20 de dezembro de 2003. Os horários escolhidos são próximos aos períodos de formação, de transição, de maturação e de máxima atividade elétrica dos núcleos. Os dados de descargas elétricas atmosféricas, detectadas pela rede do SIMEPAR estão sobrepostos às imagens de satélites. (nde=número de descargas elétricas).



**Figura 7** – Fragmentos de imagens de satélite geoestacionário para o caso 3, ocorrido no dia 22 de dezembro de 2003. Os horários escolhidos são próximos aos períodos de formação, de transição, de maturação e de máxima atividade elétrica dos núcleos. Os dados de descargas elétricas atmosféricas, detectadas pela rede do SIMEPAR estão sobrepostos às imagens de satélites. (nde=número de descargas elétricas).

americano. Os sistemas foram identificados com um método semi-automático de acompanhamento e selecionados de acordo com alguns critérios estabelecidos. O estudo teve como objetivo principal a verificação da evolução da ocorrência de descargas elétricas com o ciclo de vida dos sistemas convectivos selecionados. Os resultados obtidos sugerem que a intensidade da convecção de sistemas convectivos pode estar relacionada com a quantidade de descargas elétricas atmosféricas associadas a estes. Também, que a quantidade de descargas detectada pode estar relacionada com o estágio de desenvolvimento dos núcleos imersos nos sistemas convectivos.

Dada a grande variedade de situações meteorológicas observadas e a complexidade do estudo envolvendo a atividade elétrica em tempestades, pretende-se expandir este estudo aos dados de descargas elétricas detectadas pelos sensores da rede recentemente instalada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado e ao SIMEPAR pela concessão dos dados de descargas elétricas atmosféricas utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE KM. 2005. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 185 pp.
- ARNAUD Y, DESBOIS M & MAIZI J. 1992. Automatic tracking and characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 443–453.
- BERLATO AM & FONTANA DC. 2003. El Niño e La Niña – Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul – Aplicações de previsões climáticas na Agricultura. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 110 pp.
- BOCCIPPIO DJ, GOODMAN SJ & HECKMAN S. 2000. Regional Differences in Tropical Lightning Distributions. *Journal of Applied Meteorology*, 39: 2231–2248.
- CECIL DJ, GOODMAN SJ, BOCCIPPIO DJ, ZIPSER EJ & NESBITT SW. 2005. Three Years of TRMM Precipitation Features. Part I: Radar, Radiometric, and Lightning Characteristics. *Monthly Weather Review*, 133: 543–566.
- COTTON WR & ANTHES RA. 1989. *Storm and Cloud Dynamics*. Academic press, 883 pp.
- DOMINGUES MO, MENDES Jr O, CHAN CS & BENETI CAA. 2003. Atividade de Relâmpagos no Pantanal Matogrossense: evento de 19 de setembro de 1999. In: Congr. Lat. Amer. e Ibér. de Meteor., 10.: 2003, Havana-Cuba. Anais... Havana-Cuba, CD-ROM.
- DOMINGUES MO, MENDES Jr O, CHAN CS, SÁ LDA & MANZI AO. 2004. Análise das condições atmosféricas durante a 2ª Campanha do experimento interdisciplinar do Pantanal Sul Mato-grossense. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19: 73–88.
- FARIA HH. 2002. Estudo comparativo da atividade e características dos relâmpagos nas regiões de Rondônia e Sudeste, no período de outubro de 1999 a março de 2000. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 224 pp.
- GARY C. 1994. *La Foudre. Dês Mythologies Antiques à la Recherche Moderne*, Paris: Masson, 208 pp.
- GOMES MASS. 2002. Estudo dos relâmpagos na região sudeste do Brasil em função das características geográficas. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 149 pp.
- GOODMAN SJ & MacGORMAN DR. 1986. Cloud-to-Ground Lightning Activity in Mesoscale Convective Complexes. *Monthly Weather Review*, 114: 2320–2328.
- GRIMM AM, FERRAZ SET & GOMES J. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11: 2863–2880.
- HARLAND WB & HACKER JLF. 1966. "Fossil" lightning strikes 250 million years ago. *Advancement of Science*, 22: 663–671.
- INFOCLIMA. 2002. Boletim de Informações Climáticas. Ano 09, n. 01–12. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 10 nov. 2005.
- INFOCLIMA. 2003. Boletim de Informações Climáticas. Ano 10, n. 01–12. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 10 nov. 2005.
- LANG TJ & RUTLEDGE SA. 2002. Relationships between Convective Storm Kinematics, Precipitation, and Lightning. *Monthly Weather Review*, 130: 2492–2506.
- LEMOES CF & CALBET NO. 1996. Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995). *Climanálise Especial – edição comemorativa de 10 anos*. Cap. 14. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a>>. Acesso em: 15 dez. 2005.
- MACEDO SR, MACHADO LAT, VILA DA, MORALES CA & LAURENT H. 2004. Monitoramento de Sistemas Convectivos de Mesoescala atuantes no Brasil utilizando o FORTRACC (Forecast and Tracking of Active and Convective Cells). In: Congr. Bras. Meteor., 13.: 2004, Fortaleza-Ceará. Anais... Fortaleza-Ceará, CD-ROM.

- MACHADO LAT & ROSSOW WB. 1993. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, 121: 3234–3260.
- MACHADO LAT, DESBOIS M & DUVEL JP. 1992. Structural Characteristics of Deep convective systems over Tropical Africa and the Atlantic Ocean. *Monthly Weather Review*, 120: 392–406.
- MACHADO LAT, ROSSOW WB, GUEDES RL & WALKER AW. 1998. Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas. *Monthly Weather Review*. 126: 1630–1654.
- MADDOX RA. 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61: 1374–1387.
- MAPES BE & HOUZE Jr RA. 1993. Cloud clusters and superclusters over the oceanic warm pool. *Monthly Weather Review*. 121: 1398–1415.
- MOREL C & SENESI S. 2002. A Climatology of Mesoscale Convective Systems over Europe Using Satellite Infrared Imagery. II: Characteristics of European mesoscale convective systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128: 1973–1995.
- NACCARATO KP. 2001. Estudo de relâmpagos no Brasil com base na análise de desempenho do sistema de localização de tempestades. *Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 165 pp.
- OLIVEIRA A. 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 115 pp.
- PINTO Jr O & PINTO IRCA. 2000. Tempestades e Relâmpagos no Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, 196 pp.
- RAKOV VA & UMAN MA. 2003. *Lightning Physics and Effects*, University Press, Cambridge, 687 pp.
- REAP RM. 1994. Analysis and prediction of lightning strike distributions associated with synoptic map types over Florida. *Monthly Weather Review*, 122: 1698–1715.
- REAP RM & MacGORMAN DR. 1989. Cloud-to-Ground lightning: Climatological characteristics and relationships to model fields, radar observations, and severe local storms. *Monthly Weather Review*, 117: 518–535.
- SALIO PE & NICOLINI M. 2005. Ciclo Diario de la Convección asociado a diferentes condiciones de corriente en chorro en capas bajas. In: Congr. Arg. Meteor., 9: 2005, Buenos Aires–Argentina. Anais... Buenos Aires–Argentina, CD-ROM.
- SCAGLIONI TP. 2006. Atividade convectiva no sul da América do Sul. *Dissertação (Mestrado em Ciências)*. Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Pelotas, 105 pp.
- SILVEIRA BB, MÜNCHOW GB, GOMES RG & SCAGLIONI TP. 2006. Procedimento semi-automático para o estudo de sistemas convectivos de mesoescala. In: Congr. Bras. Meteor., 14: 2006, Florianópolis–Santa Catarina. Anais... Florianópolis–Santa Catarina, CD-ROM.
- SIMPSON J, ADLER RF & NORTH GR. 1988. A proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69: 278–295.
- STEIGER SM & ORVILLE RE. 2002. Cloud-to-Ground lightning characteristics over Houston, Texas: 1989–2000. *Journal of Geophysical Research*, 107: 2–13.
- TORACINTA ER & ZIPSER EJ. 2001. Lightning and SSM/I-Ice-Scattering Mesoscale Convective Systems in the Global Tropics. *Journal of Applied Meteorology*, 40: 983–1002.
- UMAN MA. 2001. *The Lightning discharge*. San Diego: Academic Press, 377 pp.
- VELASCO I & FRITSCH JM. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92: 9591–9613.
- VILA DA. 2004. Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre sudamerica: ciclos de vida e circulación en gran escala asociada. *Tese de Doctorado*. FCEyN-UBA. 126 pp.
- WATSON AI, LÓPEZ RE & HOLLE RL. 1994. Diurnal cloud-to-ground lightning patterns in Arizona during the southwest monsoon. *Monthly Weather Review*, 122: 1716–1725.
- WILLIAMS E, ROTHKIN K, STEVENSON D & BOCCIPPIO D. 2000. Global Lightning Variations Caused by Changes in Thunderstorm Flash Rate and by Changes in the Number of Thunderstorms. *Journal of Applied Meteorology*, 39: 2223–2230.
- WILLIAMS E, MUSHTAK V, ROSENFELD D, GOODMAN S & BOCCIPPIO D. 2005. Thermodynamic conditions favorable to superlative thunderstorm updraft, mixed phase microphysics and lightning flash rate. *Atmospheric Research*, 76: 288–306.
- ZIPSER EJ, CECIL DJ, LIU C, NESBITT SW & YORTY DP. 2006. Where are the most intense thunderstorms on Earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87: 1057–1071.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Kellen Carla Lima** concluiu o Curso de Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará. Obteve o título de Mestre em 2004 pelo Programa de Pós-Graduação em Meteorologia/UFPel. Atualmente é bolsista de doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

**Roseli Gueths Gomes** concluiu o Curso de Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Pelotas (RS) em 1986. Ingressou como professora da Faculdade de Meteorologia em 1987 e concluiu seu curso de doutoramento pela Universidade Paul Sabatier (França) em 1993, recebendo o título de Doutor em Física da Atmosfera. Realiza projetos de pesquisa nas áreas de Meteorologia de Mesoescala, Sensoriamento Remoto e Modelagem Atmosférica.