

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



**Dissertação**

Estudo das Descargas Elétricas Atmosféricas  
associadas a Sistemas Convectivos de Mesoescala  
para a região Sudeste do Brasil

**Mirlen Tássia Filgueira da Silva**

Pelotas, 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Mirlen Tássia Filgueira da Silva

Estudo das Descargas Elétricas Atmosféricas  
associadas a Sistemas Convectivos de Mesoescala  
para a região Sudeste do Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

Orientador: Prof. Dra Roseli Gueths Gomes

Pelotas, 2009

*Dados de catalogação na fonte:*

Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901

Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

S586e      *Silva, Mirlen Tássia Filgueira da*

*Estudo das descargas elétricas atmosféricas associadas a sistemas convectivos de mesoescala para a região sudeste do Brasil / Mirlen Tássia Filgueira da Silva ; orientador Roseli Gueths Gomes. – Pelotas, 2009. – 117f. : il. Color. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2009.*

## **Banca Examinadora**

Prof. Dra. Roseli Gueths Gomes

Prof. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Prof. Dr Kleber Pinheiro Naccarato (convidado externo)

Dedico esta dissertação ao meus pais.

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter colocado essa oportunidade em minha vida;

Em segundo aos meus pais, Reginaldo Fernandes da Silva e Francinete Socorro Filgueira da Silva, que sempre tiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, apesar da distância, sempre me incentivado a nunca desistir dos meus objetivos, e mostrando que o maior tesouro que temos é o nosso conhecimento, o qual jamais será tirado de nós.

Ao meu noivo Deyvid Andersonn Raposo de Andrade, pelo apoio, compreensão e acima de tudo pelo companheirismo e respeito.

A minha orientadora Roseli que me deu o conhecimento necessário para esta pesquisa, dedicando boa parte do seu tempo a este trabalho.

A Prof. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos e ao Dr. Kleber Pinheiro Naccarato que aceitaram fazer parte da minha banca e que ajudaram a melhorar este trabalho dando suas sugestões e críticas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas por ter me recebido.

A FURNAS Centrais Elétricas S.A. pela concessão dos dados de descargas elétricas para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela concessão das as imagens de satélites.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) , pela bolsa de pesquisa, que possibilitou a realização desta pesquisa.

O meus amigos de aula, em especial Aline Falck Jesck e Milena Machado João que se tornaram uma família pra mim, sempre dispostas a me ajudarem em tudo o que fosse preciso.

Aos meus amigos em especial Jordana Marques Kneipp, que me ajudou muito a terminar a tempo esse trabalho.

Aos funcionários de CPPMet, em especial Sônia Maria Machado das Neves, Vânia Lúcia Acosta Rodrigues, Eliane Grala Pereira Alves e aos demais profissionais , que sempre estiveram ao meu lado dispostos a me ajudar no que fosse preciso.



## Resumo

SILVA, Mirlen Tássia Filgueira da. **Estudo das Descargas Elétricas Atmosféricas associadas a sistemas convectivos de mesoescala para a Região Sudeste do Brasil**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Neste trabalho é apresentado o estudo de 6 anos de dados de descargas elétricas atmosféricas (DEA) detectadas em associação com a ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala na região compreendida entre 15°S e 27°S e 35°W e 55°W. Os dados de DEA foram cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A. para o período de 2002-2007. As imagens de satélite geoestacionário, realçadas no canal infravermelho, foram usadas para a identificação dos casos de estudo utilizando o valor limiar de -50°C para temperatura dos topos das nuvens convectivas. Para estes dias, as DEA detectadas na região de estudo deveriam atingir o valor mínimo de 1000 no intervalo de 1 hora em algum momento de ocorrência dos casos identificados. Dos 565 dias contabilizados desta forma, foram selecionados 25 casos de estudo, ocorridos em 33 dias dos anos 2003, 2005 (de outubro a dezembro, por limitações nas imagens de satélite), 2006 e 2007. Para o período de ocorrência de cada um destes 25 casos, foram contabilizadas as DEA no intervalo de 15 minutos antes e depois do horário das imagens de satélite utilizadas em cada caso, para colocar em evidência as DEA associadas aos aglomerados convectivos observados. Ficou evidenciado que a quantidade de DEA detectadas em um aglomerado convectivo esteve relacionada diretamente com o ciclo evolutivo do mesmo.

**Palavras-chaves:** descargas elétricas atmosféricas, sistemas convectivos de mesoescala, região sudeste

## Abstract

SILVA, Mirlen Tássia Filgueira da. **Lightning study in association of mesoscale convective systems in the Southeast region of Brazil**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

In this work it is presented the study of 6 years of detected lightning data in association to the occurrence of mesoscale convective systems in the region located between 15°S - 27°S and 35°W - 55°W. The Lightning data were provided by FURNAS Centrais Elétricas S.A. for the period 2002-2007. Geostationary satellite images, enhanced in the infrared channel, were used to identify the cases of interest utilizing -50°C as cloud top level temperature threshold for convective clusters. For these days, lightning detected in the study region should attain a minimum value of 1000 during 1 hour in some moment of occurrence during the identified cases. From the 565 days that satisfied this criterion, it was selected 25 cases occurred in 33 days during the years of 2003, 2005 (from October to December due to satellite images limitations), 2006 and 2007. For the period of occurrence of each one of these 25 cases, the detected lightning were counted during an interval of 15 minutes before and after the time of the satellite images used in each case to put in evidence the lightning associated to the observed convective clusters. The quantity of detected lightning in a convective cluster were related to its evolutive cycle.

**Palavras-chaves:** lightning, mesoscale convective systems, southeast region

## Lista de Figuras

Figura 1	Exemplo de Descargas elétricas atmosféricas .....	2
Figura 2	Evolução de uma nuvem <i>Cumulonimbus</i> (Cb) .....	5
Figura 3	Exemplo de um sistema convectivo de mesoescala com seu núcleo interno, com temperatura de topo das nuvens a partir de -50°C. ....	11
Figura 4	Composição de um sistema frontal no Hemisfério Sul. A letra B indica o centro do ciclone, em superfície.....	11
Figura 5	Formação de um sistema frontal devido ao (a) campo de deformação horizontal, com a indicação do eixo de dilatação e (b) processo de frontogênese devido à deformação. ....	13
Figura 6	Exemplo de ocorrência do fenômeno ZCAS, com a banda de nebulosidade na direção NW-SE, que ocorreu no dia 26 de janeiro de 2004. ....	16
Figura 7	Nuvem carregada segundo as duas teorias citas acima, com a parte superior carregada positivamente e a parte inferior carregada negativamente. ....	20
Figura 8	Tipos de Descargas Elétricas Atmosféricas que ocorrem no céu: intra-nuvem, entre nuvens e nuvem-ar. FONTE: Lima, 2005. ....	23
Figura 9	Tipos de descargas elétricas atmosféricas que atingem o solo: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN positivo; (d) SN negativo. FONTE: Naccarato (2001).....	24
Figura 10	Etapas de uma descarga elétrica atmosférica nuvem-solo negativa. FONTE: Miranda (2001).....	26
Figura 11	Localização dos sensores de DEA no Brasil. FONTE: RINDAT (2009).....	30
Figura 12	Curvas de eficiência de detecção dos sensores da RINDAT.....	30
Figura 13	(a) Mapa topográfico do Brasil e (b) Região Sudeste do Brasil.....	33

Figura 14	Exemplo de imagem de satélite, retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo do ano de 2002.....	35
Figura 15	Exemplo de imagem de satélite retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo no período de outubro a dezembro de 2005, 2006 e para 2007 (de janeiro a junho). .....	35
Figura 16	Exemplo de imagem de satélite retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para identificação dos casos de estudo no período de julho a dezembro de 2007. ....	36
Figura 17	Exemplo de imagem de satélite retangular, em tons de cinza, do ano de 2004 e de janeiro a setembro de 2005. ....	37
Figura 18	Exemplo de imagem de satélite cilíndrica e realçada, no canal infravermelho, utilizada para identificação dos casos de estudo no ano de 2004 e de janeiro a setembro de 2005.	37
Figura 19	Exemplo de imagem de satélite, retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo do ano de 2003. ....	38
Figura 20	Região de estudo do presente trabalho. ....	40
Figura 21	Distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas nos anos de (a) 2002; (b) 2003; (c) 2004; (d) 2005; (e) 2006; (f) 2007 na região com dados cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A. ....	46
Figura 22	Exemplos de três dias em que foram observadas descargas elétricas atmosféricas em número igual ou superior a 1000DEA/h na região de estudo. ....	49
Figura 23	Exemplos de condições meteorológicas de grande escala complexas com a ocorrência de aglomerados convectivos na região sudeste. ....	51
Figura 24	Exemplos de falhas nas imagens de satélite utilizadas que impediram uma avaliação continuada dos casos de interesse. ....	52

Figura 25	Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas. ....	54
Figura 26	Segmentos de imagens de satélite do dia 15 de dezembro de 2006. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região. ....	60
Figura 27	Segmentos de imagens de satélite dos dias 6 e 7 de outubro de 2006. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região. ....	63
Figura 28	Figura 30 – Segmentos de imagens de satélite do dia 28 de outubro de 2006. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região. ....	65
Figura 29	Segmentos de imagens de satélite dos dias 18 e 19 de outubro de 2007. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região. ....	68
Figura 30	Segmentos de imagens de satélite do dia 21 de outubro de 2007. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre um período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. ....	71
Figura 31	Imagens de satélite do dia 21 de outubro de 2007 às (a) 13:15UTC e (b) 15:15UTC. ....	72

Figura 32	Segmentos de imagens de satélite do caso que ocorreu nos dias 10-11 de janeiro de 2003 na região de estudo. ....	75
Figura 33	Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido nos dias 10-11 de janeiro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.32. ....	76
Figura 34	Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido nos dias 10-11 de janeiro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.32, com as DEA sobrepostas. ....	77
Figura 35	Segmentos de imagens de satélite do caso que ocorreu no dia 9 de dezembro de 2003 na região de estudo. ....	79
Figura 36	Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido no dia 9 de dezembro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.35. ....	80
Figura 37	Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido no dia 9 de dezembro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.35, com as DEA sobrepostas. ....	81
Figura 38	Exemplo, para o dia 28 de outubro de 2006, do procedimento de divisão das regiões convectivas em áreas de 1,5°x1,5°. ....	83

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Quantidade de dias, por mês de cada ano, em que foram observadas pelo menos 1000DEA/h(5000DEA/h) na região de estudo. ....	50
Tabela 2	Casos de estudo selecionados em 2003, 2005 (a partir de outubro), 2006 e 2007 a partir dos dados mostrados na tab.1. Os horários de início e de término estão em UTC (Coordenada de Tempo Universal). ....	53
Tabela 3	Quantidade de núcleos com 200DEA ou mais, em todos os meses dos anos 2003, 2005 (a partir de outubro), 2006 e 2007. ....	84

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ACSL - Linha de Instabilidade Costeira na Amazônia  
APA - Advanced Position Analyzer  
Cb - Cumulonimbus  
CEMIG - Companhia Elétrica de Minas Gerais  
CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos  
DEA - Descargas Elétricas Atmosféricas  
EN- entre-nuvem  
ES - Espírito Santos  
FURNAS - FURNAS Centrais Elétricas S.A  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IMPACT - Improved Accuracy from Combiend Technology  
IN - intra-nuvem  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LI – Linha de Instabilidade  
LIP - Linha de Instabilidade que se Propagam  
LIP1 - Linha de instabilidade com propagação do tipo 1  
LIP2 - Linha de instabilidade com propagação do tipo 2  
LIC - Linha de Instabilidade Costeira  
LPATS - Lightning Positioning and Tracking System  
MDF - Magnetic Direction Finder  
NA - nuvem-ar  
NS - nuvem-solo  
NS-N - nuvem-solo negativa  
NS-P - nuvem-solo positiva  
PRE-STORM - Preliminary regional Experimente for STROM  
RINDAT - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas  
RNA - Rede Neural Artificial  
SCM - Sistema Convectivo de Mesoescala  
SF – Sistema frontal  
SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná  
TOA - *Time of Arrival*



TMG – Tempo Médio de Greenwich

UTC - Coordenada de Tempo Universal

UHF - Ultra High Frequency

VLF - very Low Frequency

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 OS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA.....	4
2.1.1 IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA .....	10
2.2 SISTEMAS FRONTAIS .....	11
2.2.1 FRONTOGÊNESE E FRONTÓLISE .....	12
2.3 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL .....	15
2.4 AS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	18
2.4.1 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS DENTRO DE UMA NUVEM .....	18
2.4.2 ELETRIFICAÇÃO DE NUVENS .....	20
a ) Captura de íons (Seletivo) .....	20
b ) Mecanismo indutivo partícula-partícula .....	21
c ) Mecanismo não-indutivo .....	21
d ) Carregamento durante o derretimento .....	21
2.4.3 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	21
2.4.4 TIPOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	22
a) Descargas elétricas atmosféricas Nuvem-solo (NS) .....	24
b) Descargas elétricas atmosféricas Intra-nuvem (IN) .....	27
c) Descargas elétricas atmosféricas solo-nuvem (SN), entre-nuvens (EN) e nuvem-ar (NA) .....	27
2.5 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	28
2.5.1 MONITORAMENTO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	29
2.5.2 MÉTODOS PARA LOCALIZAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS ...	31
2.5.3 SENSORES DA INSTITUIÇÃO FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. ....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3.1 REGIÃO SUDESTE DO BRASIL .....	33
3.2 IMAGENS DE SATÉLITE .....	34

3.3 DADOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS .....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1 DESCARGAS ELÉTRICAS OCORRIDAS NOS ANOS DE 2002 A 2007 .....	42
4.2 DESCARGA ELÉTRICA ATMOSFÉRICA DETECTADAS DURANTE UMA HORA .....	49
4.3 AVALIAÇÃO DA QUANTIDADE DE DEA DETECTADAS EM SCM ISOLADOS .....	51
4.4 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....	58
4.4.1 TIPO 1: SCM CIRCULAR COM INTENSA ATIVIDADE CONVECTIVA .....	59
4.4.2 TIPO 2: SCM LINEAR .....	62
4.4.3 TIPO 3: SCM CIRCULAR, FORMADO A PARTIR DE PEQUENOS AGLOMERADOS CONVECTIVOS .....	64
4.4.4 TIPO 4: FORMAÇÃO DE VÁRIOS SCM NA REGIÃO DE ESTUDO .....	67
4.4.5 TIPO 5: SCM COM FORMAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL QUE ADENTROU NA REGIÃO SUDESTE .....	70
4.5 ESTUDO DETALHADO DE DOIS CASOS DE ESTUDO DO TIPO 5 .....	73
4.5.1 CASO DE ESTUDO: 10-11 DE JANEIRO DE 2003 .....	73
4.5.2 CASO DE ESTUDO: 09 DE DEZEMBRO DE 2003 .....	77
4.6 PREPARAÇÃO DOS DADOS DE DEA PARA USO NA RNA .....	81
5 CONCLUSÕES .....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	88
APÊNDICE .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores estão voltados para o estudo de um fenômeno de natureza espetacular, que são as descargas elétricas atmosféricas, conhecidas popularmente como relâmpagos. Elas encantam os olhares de muitas pessoas com os seus shows de “luzes” no céu, mas há aquelas que têm muito medo desse fenômeno, principalmente quando escutam um barulho “estrondoso”, conhecido como trovão. O que as pessoas vêem são os raios e o que escutam são os trovões. Existem muitas crenças populares a respeito dessas descargas, como as que os espelhos devem ser cobertos.

O filósofo grego Tales de Mileto é considerado um dos pioneiros a estudar a eletricidade de acordo com registros históricos, mas não se sabe muito a respeito, pois nada foi preservado. Foi com o cientista norte-americano Benjamin Franklin que ficou comprovado que as nuvens induzem eletricidade, com sua famosa experiência na qual um mastro metálico foi colocado embaixo de uma nuvem de tempestade. Desde então, muitos outros pesquisadores se interessaram pelo assunto e tentaram descobrir a razão da eletricidade das nuvens (RAKOV; UMAN, 2003).

Apesar de sua natureza encantadora e magnífica (Fig. 1), as descargas elétricas atmosféricas podem ser muito perigosas e destrutivas. Interrupções na distribuição de energia podem ser causadas por descargas elétricas atmosféricas, incêndios, danos materiais e até mesmo a morte de pessoas e animais.



Figura 1 – Exemplo de descargas elétricas atmosféricas.

Fonte: <http://www.blognet.repres.com.br>

As descargas elétricas atmosféricas ocorrem quando o campo elétrico, gerado pelas cargas elétricas que existem dentro da nuvem, quebra a rigidez dielétrica do ar (RAKOV; UMAN, 2003). As que ocorrem no céu, sem atingir a superfície da terra, são as menos perigosas para a população humana. As que atingem o solo são as mais perigosas, pois podem ter grande poder de destruição, principalmente as do tipo nuvem-solo positivas.

O Brasil é considerado um dos países com maior incidência de descargas elétricas atmosféricas do planeta. Isto se deve, pelo menos em parte, devido à sua grande extensão territorial e por estar localizado numa região de clima predominantemente tropical (PINTO Jr; PINTO, 2000). Apesar deste fato, o estudo a respeito deste assunto é recente no Brasil. Os primeiros sensores foram instalados na década de 1980 pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), empresa localizada em Minas Gerais. Alguns anos depois, as Instituições FURNAS (Furnas Centrais Elétricas), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) instalaram mais sensores nos estados da região sudeste e no estado do Paraná (NACCARATO, 2006). Atualmente, a rede de sensores está ampliada, cobrindo outros estados do Brasil.

Em função da qualidade e da quantidade de dados armazenados de descargas elétricas atmosféricas detectadas na região sudeste, decidiu-se investigar a ocorrência destas descargas durante um período de 6 anos (2002 a 2007). No

âmbito deste trabalho, a investigação foi detalhada para o caso de descargas ocorridas em associação com sistemas convectivos de mesoescala. Assim, o objetivo principal deste trabalho consistiu em analisar as descargas elétricas atmosféricas detectadas na região sudeste quando associadas à ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala.

Para a região de estudo, os objetivos específicos são:

1. obtenção da ocorrência total de descargas elétricas atmosféricas nos anos de 2002 a 2007, mês a mês;
2. identificação dos casos ocorridos em condições de forçantes meteorológicas de grande escala não intensas, no período de 2002 a 2007;
3. quantificação e localização das descargas elétricas atmosféricas detectadas em associação aos casos de estudo selecionados;
4. preparação dos dados de descargas elétricas atmosféricas para uso no método de previsão de descargas a ser desenvolvido.

Na próxima seção será feita uma revisão mais detalhada a respeito dos sistemas meteorológicos que atingem a região sudeste do Brasil e das Descargas elétricas atmosféricas. A seção 3 apresentará uma explicação sobre os dados utilizados e sobre a metodologia aplicada. Na seção 4 são apresentados os resultados e discussões e, na seção 5, as conclusões do presente trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 OS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

Sistemas convectivos de mesoescala (SCM) são eventos meteorológicos constituídos por aglomerados de nuvens *Cumulonimbus* (Cb) e têm duração variável, dependendo da quantidade de nuvens Cb envolvidas. Uma típica nuvem Cb tem duração (ou tempo de vida) de aproximadamente 1 hora, nas regiões de latitudes médias. Em regiões tropicais, o seu tempo de vida é menor. O desenvolvimento de uma nuvem Cb compreende três fases: formação, maturação e dissipação (BYERS; BRAHAM, 1949). A Fig.2 mostra as etapas do ciclo evolutivo de uma nuvem Cb. Na fase inicial, predominam os movimentos ascendentes dentro da nuvem (Fig.2a,b). O movimento da nuvem (velocidade e direção) será o mesmo do vento ambiente. A medida em que a profundidade da nuvem aumenta (Fig.2c) e atinge níveis próximos da tropopausa, o seu topo se espalha (Fig.2d), formando a chamada “bigorna”. Nesta etapa, as gotas d’água dentro da nuvem tornam-se muito pesadas para serem sustentadas pelas correntes ascendentes e atingem a superfície, na forma de precipitação pluviométrica. O ar frio descendente forma um domo de ar frio. A frente de rajada associada com este domo se espalha quando atinge a superfície (Fig. 2d,e). A frente de rajada resulta da diferença de temperatura entre o ar quente ascendente (do ambiente) e o ar frio descendente (de dentro da nuvem). Se houver condições adversas de tempo em superfície como granizo, ventos fortes, é nesta fase que elas ocorrem. A duração do tempo severo em superfície é pequena, e a nuvem entra em processo de dissipação e movimentos descendentes predominam em toda a nuvem. Estas nuvens podem dar origem a novas nuvens Cb, o que explica o tempo de duração dos sistemas convectivos, de várias horas.

Para analisar a ocorrência de sistemas convectivos é preciso avaliar as condições nas quais as nuvens Cb, que os compõem, se formaram e evoluíram. Isto porque não somente as nuvens Cb interagem umas com as outras, como

também os sistemas convectivos podem interagir uns com os outros, resultando em regiões com atividade convectiva superior a 30 horas.

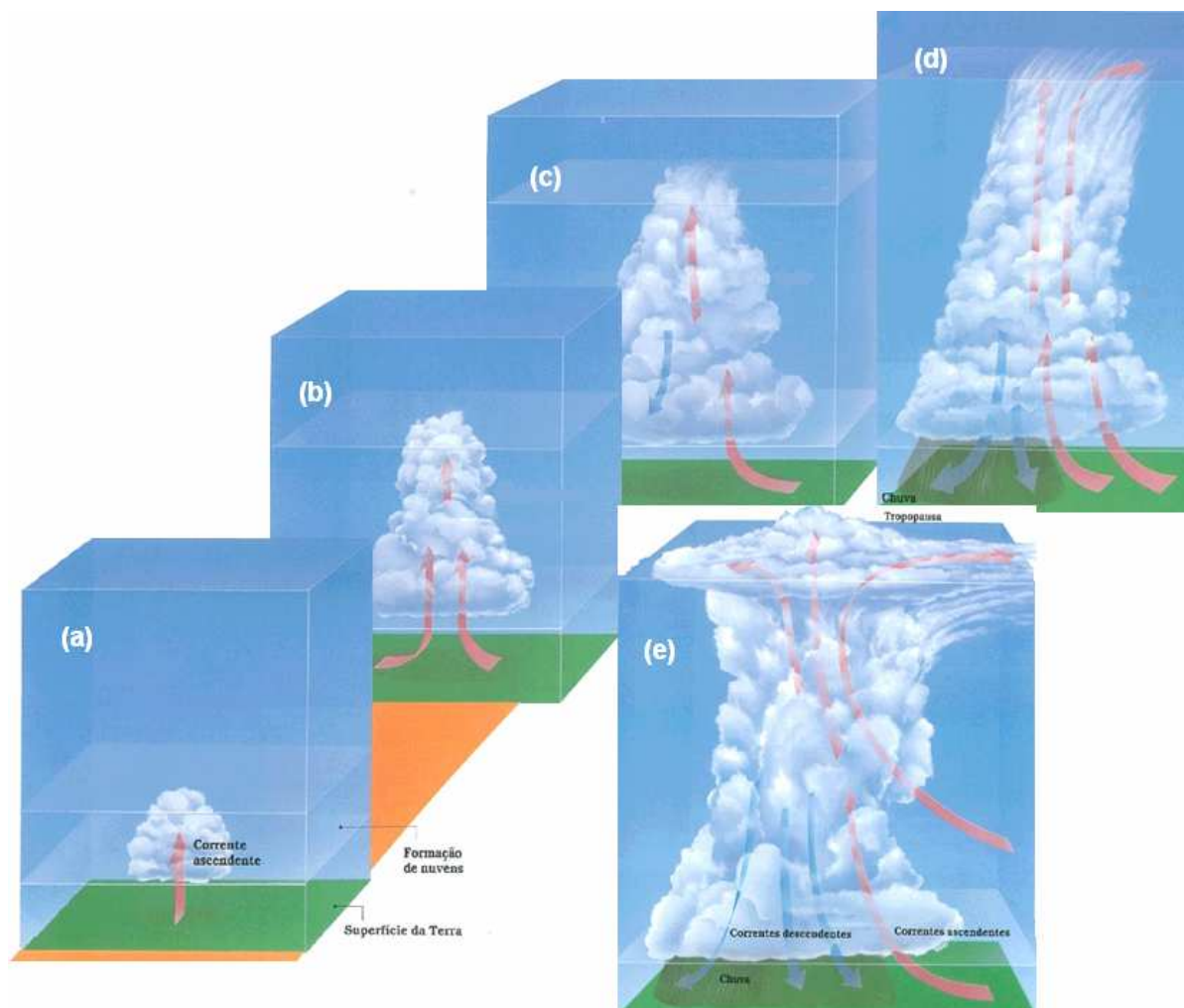


Figura 2 – Evolução de uma nuvem *Cumulonimbus* (Cb).

De acordo com diversos autores como Maddox (1980), Anderson e Arritt (1998), Houze et al. (1989) e Jirak et al. (2003), os sistemas convectivos de mesoescala podem ser classificados de acordo com o seu formato, tamanho e duração. Para diferenciar cada tipo de sistema, foram criadas nomenclaturas, por esse autores.

Linhas de Instabilidade (LI) são bandas de nebulosidade de atividade convectiva organizada, não necessariamente contínua. Estas linhas, por apresentarem características diferentes, como tempo de vida e velocidade de propagação, receberam denominações específicas, vinculadas às diferenças observadas (HUSCHKE,1959). Como exemplo, podem ser citadas as LI estudadas



por Barnes e Sieckman (1984). Utilizando dados de radiossondagem na região do experimento GATE, classificaram as linhas de acordo com a magnitude de velocidade de propagação, linhas com velocidade maior ou igual a 7 m/s e linhas com velocidade menor ou igual a 3 m/s.

Cohen (1989) utilizou imagens dos satélites GOES-E e GOES-W, nos canais visível, infravermelho e vapor d'água, para caracterizar as LI. Fazendo uma análise subjetiva, classificou as linhas que ocorrem nas regiões norte e nordeste do Brasil como "linhas de instabilidade que se propagam" (LIP) e "linhas de instabilidade costeiras" (LIC). As linhas do tipo LIP foram divididas em duas categorias: as "linhas de instabilidade com propagação do tipo 1" (LIP1), que tem propagação horizontal entre 170km e 400km, e as "linhas de instabilidade com propagação do tipo 2" LIP2, que tem propagação horizontal acima de 400km. Cohen obteve que, no período de 1979 a 1986, foram observadas 268 linhas de instabilidade, sendo que 62% foram classificadas como LIC, 11% como LIP1 e 27% como LIP2.

Garstang et al (1994) estudaram a estrutura e a cinemática de linhas de instabilidade na Bacia Amazônica, para o período de abril a maio de 1987. Verificaram que estes sistemas se formam ao longo da costa N-NE da América do Sul. Os autores chamaram estas linhas de linhas de instabilidade costeiras na Amazônia (ACSL) à convecção induzida pela brisa marítima. Essas linhas propagam-se continente adentro, alcançando Manaus e até a encosta dos Andes, cerca de 48 horas após sua formação.

Pontes e Dias (2002) estudaram as características físicas e termodinâmicas de uma linha de instabilidade que ocorreu no dia 08 de outubro de 2002, no estado de Rondônia. Para tal objetivo utilizaram imagens do radar da Tecsate e imagens satélite GOES-8, dados de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) e de radiossondagens. Observaram que a passagem da linha de instabilidade provocou uma série de mudanças nos perfis de diversas variáveis termodinâmicas na atmosfera, especialmente na temperatura potencial equivalente. Esta LI teve origem a leste da área de Rondônia, sendo classificada de SLE, conforme Cohen et al (2000). Neste último trabalho, os autores fizeram uma classificação das LI observadas durante o período do WETAMC. Encontraram vários tipos de LI como: LI Costeira (SLC), LI originada sobre a área local do WETAMC/LBA (SLL) e as LI originadas no leste da área do WETAMC/WETAMC (SLE).

O primeiro pesquisador a estudar as características morfológicas dos de um tipo particular de sistema convectivo que apresentava um formato predominantemente circular foi Maddox (1980). Esse sistema foi demonimado por Maddox como Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM). Para seu objetivo, utilizou imagens de satélite geoestacionário realçadas, disponíveis a cada 3 horas, e analisou as temperaturas de brilho dos topos das nuvens, verificar os seus formatos, tamanhos e tempos de vida. Para ser considerado um CCM tais sistemas deveriam apresentar as seguintes características:

- ✓ Tamanho: área A maior ou igual a  $100.000\text{Km}^2$  , para nuvens com temperatura de topo menor ou igual  $-32^\circ\text{C}$ ;  
                   área B maior ou igual a  $50.000\text{ Km}^2$ , para nuvens com temperatura de topo menor ou igual  $-52^\circ\text{C}$
- ✓ Iniciação: quando as definições dos tamanhos A e B fossem satisfeitas;
- ✓ Duração: quando os tamanhos A e B persistirem 6 horas ou mais;
- ✓ Formato: predominantemente circular, com excentricidade (relação entre o eixo maior e o eixo menor) igual ou superior a 0.7;
- ✓ Término: quando não fossem mais satisfeitos os critérios dos tamanhos A e B.

Desse modo Maddox (1980) definiu CCM como aglomerados de nuvens *Cumulonimbus* que tem um formato predominantemente circular e seguem as características morfológicas acima.

Anderson e Arritt (1998) estudaram outro tipo de sistema, que denominaram Sistemas Convectivos Alongados Persistentes (PECS), utilizando imagens de satélite geoestacionário, realçadas. Estes sistemas seguiam o mesmo tamanho e tempo de vida dos CCM, mas apresentavam um formato diferente. Apresentavam as seguintes características:

- ✓ Tamanho: área igual ou maior que  $50.000\text{Km}^2$  , para nuvens com temperatura de topo menor que  $-50^\circ\text{C}$ ;
- ✓ Tempo de vida: igual ou superior a 6 horas;
- ✓ Formato: com excentricidade (relação entre o eixo maior e o eixo menor) entre 0.2 e 0.7.

Jirak et al. (2003) estudaram sistemas convectivos de mesoescala nos Estados Unidos e verificaram a existência de outros tipos, utilizando imagens de satélite geostacionário. Esses sistemas seguiam os mesmos critérios de formatos e excentricidade dos CCM e PECS, mas tinham tamanhos e tempo de vida menor. Para diferenciar estes sistemas (menores) dos CCM e PCES, foram denominados M $\beta$ CCS e M $\beta$ ECS. Deveriam obedecer os seguintes critérios:

Para os M $\beta$ CCS

- ✓ Tamanho: área maior ou igual 30.000Km<sup>2</sup>, para região fria da nuvens com temperatura de topo menor ou igual que -52°C;
- ✓ Tempo de vida: igual ou superior a 3 horas;
- ✓ Formato: com excentricidade (eixo maior/eixo menor) maior ou igual 0.7;

Para os M $\beta$ ECS

- ✓ Tamanho: com área maior ou igual 30.000Km<sup>2</sup> para região fria da nuvens com temperatura menor ou igual que -52°C; l
- ✓ Tempo de vida: igual ou superior a 3 horas;
- ✓ Formato: com excentricidade (eixo maior/eixo menor) entre 0.2 e 0.7.

A existência de CCM na América do Sul foi estudada por Velasco e Fritsch (1987), indicando que esses sistemas são formados, dentre outros fatores, pela interação entre jatos de altos e baixos níveis. Os autores encontraram características dinâmicas dos CCM observados na América do Sul similares às observadas na América do Norte. Entretanto, os CCM da América do sul apresentaram uma tendência a se desenvolver após o anoitecer, tendo uma duração maior que os observados na América do Norte. Ainda, os CCM da América do Sul foram, em média, 60% maiores (em tamanho) que os da América do Norte.

Figueiredo e Sclar (1996) estudaram 25 casos de SCM que ocorreram na América do Sul nos meses de verão de 1992, com o objetivo de analisar a trajetória dos sistemas. Encontraram como resultado que 70 % dos sistemas se deslocaram para leste e sudeste (atingindo o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e 30% se deslocaram para nordeste e norte, atingindo a região Sudeste do Brasil.

Machado et al. (1998), utilizando imagens do *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) identificaram diferentes tipos de sistemas convectivos sobre a região tropical da América do Sul. Estimaram a evolução temporal de

importantes propriedades físicas inerentes a cada sistema convectivo, tal como: raio, forma geométrica, direção e velocidade de propagação, área de maior desenvolvimento convectivo, temperatura do topo, dentre outras. Observaram uma relação direta entre o raio e o tempo de duração dos sistemas convectivos, além de variações semelhantes das suas propriedades físicas durante o seu ciclo de vida.

Menezes et al (2000) fizeram um estudo observacional de quatro casos de SCM ocorridos no verão de 2004 no estado do Rio de Janeiro. Dois se propagaram e atingiram o estado e os outros dois se dissiparam antes de atingi-lo. Com o objetivo de avaliar como as condições ambientais, principalmente termodinâmicas, poderiam estar associadas com a propagação das tempestades nos dois primeiros casos estudados e com a inibição da convecção nos outros dois. Para isso eles, usaram imagens do satélite GOES-8 e do radar Doppler. Mostraram que a direção de deslocamento dos SCM é fortemente influenciada pela direção média do vento entre os níveis baixos e médios sendo que as células convectivas associadas às tempestades tendem a se deslocar nesta mesma direção. Observaram que os SCM que atingiram o estado do Rio de Janeiro, tem uma forte tendência de se formarem em regiões que apresentam convergência de umidade em uma camada relativamente profunda, em geral entre 1000 e 850 hPa. Além disso, verificaram que a instabilidade atmosférica sobre o estado do Rio, se mostrou como um fator bastante importante no ponto de vista de condições dos sistemas se propagarem sobre o estado.

Silva Paiva e Menezes (2000) fizeram um estudo observacional de casos de SCM acontecidos no final da tarde dos dias 25 e 31 de janeiro do ano 2000 que ocorreram no estado do Rio de Janeiro. Com o objetivo de verificar os padrões de grande e mesoescala, associados com a ocorrência de SCM e chuvas fortes no Estado do Rio de Janeiro, utilizando dados do radar Doppler e imagens do satélite GOES-8. Esses SCM apresentaram padrões multicelulares, em forma de linhas de instabilidade, com células convectivas. A dinâmica de manutenção e evolução destas linhas de instabilidade esteve sempre associada a um mecanismo de retroalimentação na qual, os sistemas, depois de estabelecidos, tiveram a propriedade de se manter por si só, devido ao ambiente favorável aos redesevolvimentos de suas células convectivas, sem que houvesse necessidade de sustentação por parte da dinâmica de grande escala e forçantes externas.

### 2.1.1 IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

Em imagens de satélite realçadas (ver seção Material e Métodos, para detalhes), é possível verificar com facilidade as temperaturas dos topos nuvens. Como dito anteriormente, SCM são formados por nuvens Cb, que são nuvens de topo elevado. Uma nuvem de topo elevado apresenta convecção profunda ativa, isto é, o topo da nuvem atinge alturas superiores a 12km (MACHADO ET AL., 1992).

A metodologia para identificação de um SCM e de suas características utilizando imagens de satélite é baseada nas informações da temperatura de brilho do topo da nebulosidade, fixando-se um valor limiar. Machado et al. (1998) fazem uma excelente revisão sobre o estabelecimento de valores limiares de temperatura de topo de aglomerados de nuvens e suas implicações.

De acordo com publicações encontradas na literatura, existem métodos manuais, semi-automáticos e automáticos para identificação dos SCM e dos núcleos convectivos internos (ARNAUD ET AL., 1992; MACHADO ET AL, 1998; CARVALHO; JONES, 2001; MATHON; LAURENT, 2001; MOREL; SENESI, 2002; SILVEIRA ET AL, 2006). Nestes métodos, o início do SCM é identificado sempre que, na imagem de satélite, a temperatura dos topos das nuvens atingirem um valor limiar, de aproximadamente  $-30^{\circ}\text{C}$ . Os núcleos convectivos imersos no SCM devem atingir temperaturas de topo das nuvens de aproximadamente  $-50^{\circ}\text{C}$ . A partir deste valor há certeza da existência de atividade convectiva associada a nuvens Cb (MACHADO; ROSSOW, 1993; VILA ET AL, 2008). O término dos núcleos é considerado quando a temperatura do topo passa a ter valores superiores a este limiar. As descargas elétricas atmosféricas 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). A maturação dos núcleos ocorre quando estes atingem seu tamanho máximo (MACHADO; ROSSOW, 1993; VILA ET AL, 2008) após o que, ele entra no estágio de dissipação. A Fig.3 mostra um exemplo de núcleo convectivo inserido dentro da nebulosidade associada ao SCM, visto utilizando uma imagem de satélite geostacionário, realçada no canal infravermelho. Ao lado da figura do núcleo está indicada a escala de cores relativa à esta imagem.

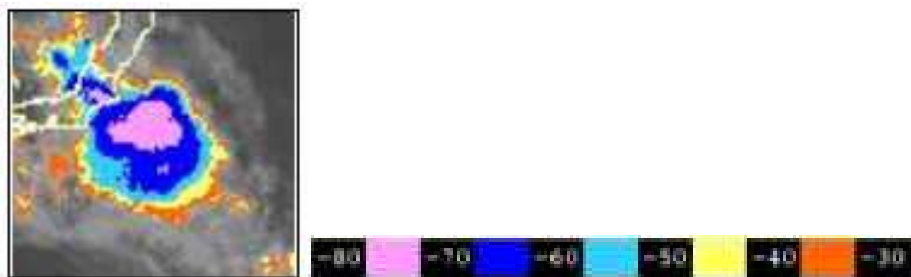


Figura 3- Exemplo de um sistema convectivo de mesoescala com seu núcleo interno, com temperatura de topo das nuvens a partir de  $-50^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 SISTEMAS FRONTAIS

É a zona de transição entre duas massas de ar de diferentes densidades e temperaturas a qual está associada com grande mudança nas variáveis meteorológicas. Um sistema frontal é composto classicamente por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone (que gira no sentido horário no Hemisfério Sul e no sentido anti-horário no Hemisfério Norte), que é mostrado na Fig. 4.

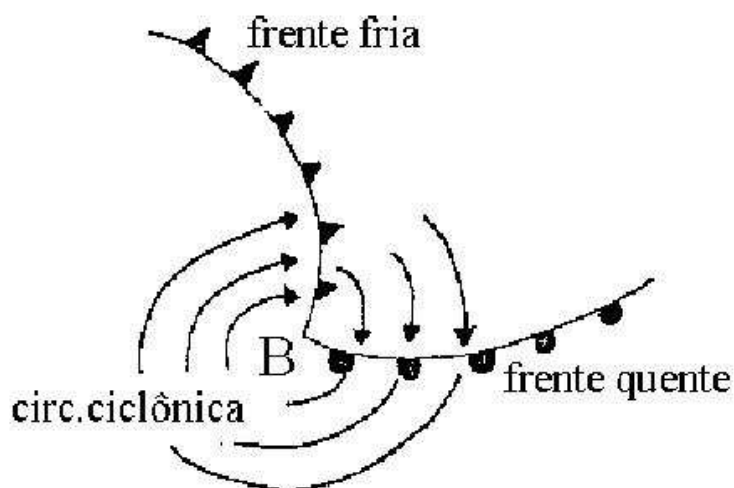


Figura 4 - Composição de um sistema frontal no Hemisfério Sul. A letra B indica o centro do ciclone, em superfície.

As frentes podem ser classificadas pelo movimento relativo entre as massas de ar quente e fria envolvidas, resultando nas ana-frentes e kata-frentes. Observa-se uma frente do tipo ana-frente quando a massa de ar frio avança sobre a massa de ar quente à superfície. Esta última massa sofre intensa ascensão, originando nuvens com grande desenvolvimento vertical. Estas frentes podem se deslocar

rapidamente ou lentamente. As que se deslocam mais rápido são mais inclinadas (VIANELLO, 2002).

A ana-frentes geralmente movem-se mais rapidamente e tem um declive mais acentuado do que as kata-frentes. Quando o ar quente envolvido numa situação de ana-frente é úmido e estável, as nuvens são predominantemente estratiformes (*nimbostratos*, *altostratos* e *cirrostratos*) com precipitação moderada. Entretanto quando o ar quente é úmido e instável, as nuvens são predominantemente cumuliformes e a precipitação é na forma de chuvas moderadas a forte (WALLACE; HOBBS, 2006).

Antes da chegada de uma ana-frente ocorre uma redução na pressão, aumento da temperatura e intensificação dos ventos. Após sua passagem, a pressão aumenta, a temperatura diminui e o vento muda de direção (normalmente de sudoeste para noroeste no Hemisfério Norte, e de norte ou nordeste para de sul ou de sudoeste no Hemisfério Sul) (MATTOS, 1986; OLIVEIRA et al., 2001).

Na kata-frente, o ar quente se desloca mais rapidamente que o ar frio. Elas movem-se relativamente com pouca velocidade e, em geral, possuem declives suaves. O ar atrás de uma kata-frente está a uma temperatura mais elevada e com mais umidade que o ar à sua frente. Normalmente a precipitação é contínua e considerada de leve a moderada e podem durar horas até dias. As nuvens associadas com as kata-frentes são, predominantemente, estratiformes e aparecem na seguinte sequência com a aproximação da frente: *cirros*, *cirrostratos*, *altostratos* e *nimbostratos* (WALLACE; HOBBS, 2006).

A aproximação de uma kata-frente é caracterizada por pequena ou nenhuma queda da pressão, bem como pequenas variações na temperatura. Após a sua passagem, a pressão e a temperatura podem aumentar (BLUESTEIN, 1992).

### **2.2.1 FRONTOGÊNESE E FRONTÓLISE**

Na década dos anos 1920, Bergeron introduziu os termos “frontogênese”, para o processo de formação ou intensificação de uma frente, e “frontólise”, para o seu enfraquecimento e posterior dissipação (PETTERSEN, 1956). Afirmou que a frontogênese atmosférica é causada pelo campo de deformação do vento horizontal atuando em um pré-existente gradiente de temperatura horizontal. Orlanski et al.

(1985) concluíram que o campo de deformação horizontal é o principal agente frontogenético em baixos níveis.

Os sistemas frontais se formam ao longo do eixo de dilatação de um campo de deformação horizontal, quando as isotermas apresentam uma disposição favorável, relativamente ao eixo de dilatação como mostra a Fig.5. Ao longo do eixo de dilatação o gradiente horizontal de temperatura é muito maior que o da vizinhança, de maneira que este campo cinemático induz uma descontinuidade no gradiente horizontal de temperatura, originando a zona frontal em poucas horas. Estudos mostraram que o campo de deformação é o principal mecanismo frontogenético (BLUESTEIN, 1992).

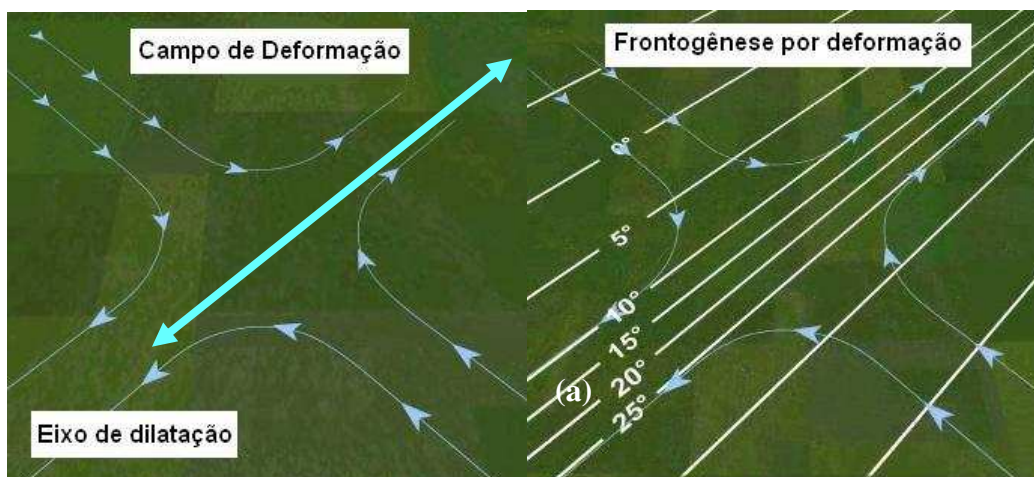


Figura 5 – Formação de um sistema frontal devido ao (a) campo de deformação horizontal, com a indicação do eixo de dilatação e (b) processo de frontogênese devido à deformação.

Aparentemente, a frontogênese acompanha o desenvolvimento das perturbações sinóticas em uma atmosfera baroclínica. Segundo Holton (1979) o processo de desenvolvimento de distúrbios baroclínicos tende a diminuir o gradiente meridional de temperatura e a frontogênese faz o contrário. Em resumo, o desenvolvimento de distúrbios baroclínicos e a frontogênese tendem a anular o gradiente meridional de temperatura de grande escala, criando deste modo zonas estreitas de transição térmica, chamadas frentes.



Segundo Quadro et al. (1996), as frentes frias atuam o ano todo no Brasil e afetam mais significativamente as regiões sul e sudeste e estas regiões são bastante frontogenéticas, como verificado no trabalho de Mattos (1986). Andrade (2005) fez um estudo climatológico da passagem de sistemas frontais considerando um período de 23 anos de dados (1980 a 2002). Verificou que a frequência dos sistemas frontais diminui à medida que elas Mattos (1986) define frontogênese como o processo pelo qual o gradiente horizontal de densidade ou de temperatura é intensificado. Nas regiões sul e sudeste, os sistemas frontais ocorrem com maior frequência na primavera, mesmo resultado encontrado por Rodrigues (2004) que fez uma climatologia para 10 anos.

Fernandes e Campos (2006) fizeram um estudo sobre a passagem de sistemas frontais no Brasil para o período de 1996 a 2006, dando continuidade aos trabalhos de Oliveira (1986) e Lemos e Calbete (1996), os quais apresentaram uma climatologia para o período de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, respectivamente. Além disso, Fernandes e Campos (2006) compararam seus estudos com os estudos de Oliveira (1986) e Lemos e Calbete (1996). Fernandes e Campos (2006) dividiram sua região de estudo em três setores:

- setor 1 (entre as latitudes de 35°S-25°S),
- setor 2 (entre as latitudes de 25°S-20°S) e
- setor 3 (entre as latitudes de 20°S-10°N).

Dentre os resultados, os autores encontraram que entre os anos de 1996 a 2004, as frequências dos sistemas frontais aumentaram em comparação ao período de 1975 a 1984. A média de passagem de sistemas frontais para o período de estudo ficou entre 5,5 a 7. Durante os meses de abril a dezembro no setor 1, o número de sistemas observados foi superior a quatro. Especificamente, a média para o mês de abril foi 5,4 e para o mês de dezembro foi de 6,9. Para o setor 2, as médias mensais, de abril a dezembro, de passagens de sistemas frontais variaram entre 3,4 e 5,5. Nos meses de abril a junho e de outubro a novembro os sistemas que foram observados no setor 3 variaram entre 2 a 2,5 sistemas frontais.

### **2.3 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL**

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno típico de verão na América do Sul. Sua principal característica é a persistência de uma faixa

de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE). Sua área de atuação engloba o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e prolonga-se até o Atlântico sul-central (QUADRO, 1994; KOUSKY ET AL, 1988).

Há uma relação distinta entre a ocorrência de JBN e ZCAS e o transporte de umidade a partir da Amazônia. Segundo Peagle (2000), o JBN ocorre frequentemente a leste dos Andes e em todas as estações do ano. Este escoamento transporta grandes quantidade de vapor d'água da região tropical para os subtropicais da AS. Quando o fluxo de umidade dirigido para o sul da AS, via escoamento de baixos níveis, é forte, a atividade convectiva na região da ZCAS é fraca. Quando este fluxo é dirigido para sudeste à atividade convectiva na região da ZCAS é intensificada (LIEBMANN et al. 1999).

Carvalho et al (2004) fizeram um investigação da variabilidade das ZCAS, utilizando dados diários de Radiação de Onda Longa (ROL) para o período de 1979 a 2000 com resolução horizontal de 2,5°, e dados de reanálise do NCEP/NCAR, com o objetivo de caracterizar aspectos de grande escala durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Foram utilizados índices para classificar os eventos ZCAS (definidos em Carvalho et al., 2002). As ZCAS foram classificadas em: intensas, fracas, oceânicas e continentais. As categorias intensas ou fracas foram utilizadas independentemente da localização geográfica das ZCAS (se no oceano ou no continente). Analogamente, as ZCAS oceânicas ou continentais foram determinadas independentemente da intensidade do fenômeno. Foram contabilizados 1750 dias com ROL menor ou igual a  $200\text{W/m}^2$  (valor utilizado pelos autores para caracterizar uma ZCAS). Deste total, em 438 dias houve a identificação do evento ZCAS. Para ser considerada como ZCAS, a nebulosidade observada deveria persistir por, pelo menos, um dia. Em relação às categorias de ZCAS definidas pelos autores, foram encontradas 193 ZCAS na categoria intensa, 197 na categoria de fraca, 215 na categoria de oceânica e 242 na categoria de continental. De maneira geral, os resultados mostraram que eventos de ZCAS fracas se localizaram sobre a Amazônia enquanto que, no caso de ZCAS forte, a nebulosidade se estendeu até o oceano Atlântico.

A Fig. 5 mostra um exemplo da nebulosidade associada a um fenômeno ZCAS, vista em imagem de satélite geoestacionário. Devido a sua permanência durante o verão, a ZCAS exerce um papel importante no regime de chuvas na região

atuante, acarretando em altos índices pluviométricos na região sudeste do Brasil (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

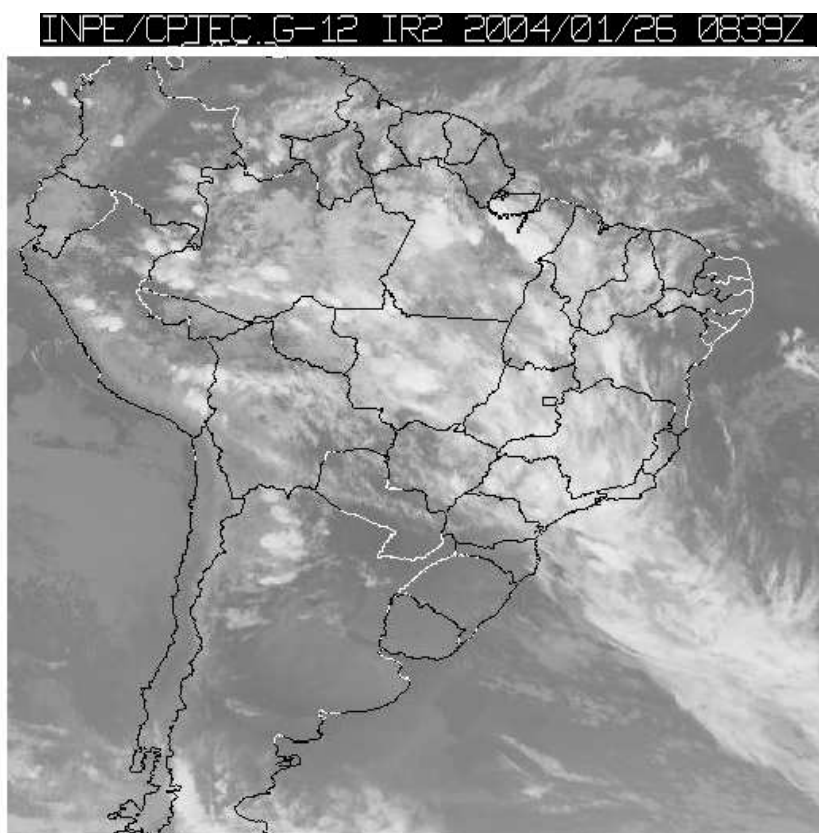


Figura 6- Exemplo de ocorrência do fenômeno ZCAS, com a banda de nebulosidade na direção NW-SE, que ocorreu no dia 26 de janeiro de 2004.

Fonte: INPE/CPTEC.

Apesar da influência da TSM na ZCAS não ser muito conhecida, Teixeira (2002) mostra em seu trabalho que a TSM influencia no posicionamento e intensidade da ZCAS.

Os mecanismos de formação, intensificação, manutenção e dissipação da ZCAS ainda são pouco conhecidos. Diversos autores tentaram explicar a formação da ZCAS. Kalnay et al. (1986), usaram um modelo de circulação geral sobre a América do Sul, para os meses de janeiro e fevereiro de 1979. Encontraram importantes resultados para que houvesse a geração de uma onda quase-estacionária. São eles:

- A Cordilheira dos Andes não foi responsável pela formação da onda estacionária;
- quando foi diminuída a convecção tropical, não se formou mais a onda estacionária e

- quando foi diminuída a convecção no Oceano Pacífico, foi fraca a formação da onda estacionária.

Estes resultados sugerem a importância da convecção tropical na formação da ZCAS.

Quadro (1994) realizaram um estudo de episódios de ZCAS para a região sudeste, analisando 10 anos (1980 a 1989) de dados. Verificaram que as características mais marcantes foram:

- convergência de umidade em baixos e médios níveis na região de estabelecimento da ZCAS;
- em níveis médios existe um cavado sobre a costa leste da América do Sul e uma faixa de movimento vertical ascendente, ambos orientados na direção da ZCAS e um gradiente intenso de temperatura ao sul da faixa;
- vortacidade relativa anticiclônica em altos níveis na região do Chaco (conhecida como Alta da Bolívia) caracterizando as regiões típicas para a manifestação do fenômeno.

Figuroa et al. (1995), utilizaram um modelo numérico em coordenadas-eta, para os meses de verão de 1993. Encontraram como resultado uma zona de convergência na baixa troposfera com inclinação NW-SE, semelhante à orientação da ZCAS, como resposta a uma forçante térmica na Amazônia. Outros resultados deste trabalho também foram:

- geração de uma banda de convergência independente dos Andes;
- a intensificação da zona de convergência, com a inclusão do escoamento médio zonal;
- intensificação da zona de convergência na direção de sua posição climatológica com os Andes.

Tanajura (1996), utilizando o modelo Eta (resolução de 80x80km) do NCEP, para estações de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), encontrou que a ZCAS se forma sem os Andes. Porém, não encontrou uma significativa influência na sua intensificação e no seu posicionamento, decorrente da presença dos Andes. Lenters e Cook (1997) usaram um modelo de circulação geral só para o mês de janeiro de

1986 a 1993 e encontraram uma importante influência dos Andes no posicionamento da ZCAS.

Meireles e Palmeira (2006) analisou a equação ômega, campos de vento e de precipitação, além das imagens de satélite (GOES-8), para o período de 14 a 24 de janeiro de 2003, no estado de Minas Gerais. O objetivo era saber como esses campos se comportam durante um evento ZCAS e encontrou os seguintes resultados:

- valores negativos de Omega, que indicam movimento ascendente na região da ZCAS;
- precipitação elevada para o período de estudo;
- em níveis altos, encontrou a Alta da Bolívia e o cavado do nordeste.

Como se pode observar existem muitas controvérsias sobre a formação das ZCAS, muitos estudos ainda precisam ser feitos para esclarecer tais dúvidas.

## **2.4 AS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS**

São definidas como um tipo de fenômeno meteorológico que ocorre na atmosfera quando há a quebra da rigidez dielétrica, que é quebrada devido ao grande campo elétrico gerado pelas cargas elétricas que existem na nuvem.

### **2.4.1 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS DENTRO DE UMA NUVEM**

As descargas elétricas atmosféricas ocorrem dentro de nuvens Cb e para haver a formação de uma nuvem é necessário que exista um aquecimento diferencial na superfície, o qual é produzido pelo sol, ou por efeitos orográficos (topografia) ou por efeitos dinâmicos. Segundo Heilmann (2006) esse aquecimento diferencial próximo à superfície é um fator determinante para a criação da instabilidade condicional ou latente, causa primária das tempestades convectivas.

Com a superfície da terra aquecida o ar próximo dela começa a se aquecer, com isso há a formação de correntes ascendentes que são necessárias para haver a formação de nuvens. Com a superfície da terra e o ar próximo dela aquecidos começa a ocorrer a elevação de uma parcela de ar quente e úmida chamadas de térmicas ou bolhas (DINIZ, 2006). Conforme a parcela de ar vai subindo na atmosfera, a pressão atmosférica vai diminuindo, ou seja, a pressão no interior da

parcela irá aumentar, fazendo com que a pressão da parcela seja maior que a do meio ambiente, como consequência a parcela irá se expandir adiabaticamente e sua temperatura diminuirá. Esse resfriamento da parcela irá provocar uma diminuição da sua capacidade em reter vapor d'água e fazer com que a umidade relativa do ar aumente (HEILMANN, 2006).

Se considerarmos que a temperatura da parcela é a maior que a temperatura do ambiente, essa parcela continuará subindo até o momento em que o vapor d'água se condensará com a ajuda de pequenas partículas chamadas de núcleos de condensação dando início a formação de gotículas, com raio de aproximadamente 10-20  $\mu\text{m}$  (MIRANDA, 2005). Sem a presença desses núcleos de condensação não ocorre a formação de gotículas, a menos que a umidade relativa do ar seja maior que 105% (VIANELLO; ALVES, 2002).

Essas gotículas formadas adquirem cargas elétricas através do atrito entre elas ou pelo processo de colisão-coalescência também chamado de processo de captura. Esse processo consiste no seguinte: as gotículas de diferentes diâmetros se movem no interior da nuvem com diferentes velocidades, o que possibilita que umas colidam com as outras, produzindo desta maneira gotículas cada vez maiores. Assim uma gotícula poderá crescer até atingir o tamanho de uma gota de chuva (VIANELLO; ALVES, 2002).

Para explicar a separação de cargas dentro de uma nuvem existem duas teorias que são mais aceitas no meio científico, que são: a Teoria da convecção e a Teoria da precipitação. Ambas são baseadas nas estruturas elétricas de nuvens na forma de um dipolo elétrico, com excesso de cargas positivas na parte superior da nuvem e cargas negativas localizadas na sua parte inferior. A Fig. 7 mostra a configuração de cargas em uma nuvem.

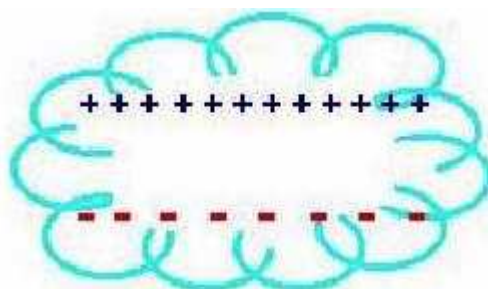


Figura 7 – Nuvem carregada segundo as duas teorias citadas acima, com a parte superior carregada positivamente e a parte inferior carregada negativamente.

### 2.4.2 ELETRIFICAÇÃO DE NUVENS

A estrutura elétrica das nuvens é bastante complexa, isso é resultado de processos microfísicos, que atuam em escalas de quilômetros, e processos microfísicos, que atuam em escalas de milímetros, ambos ocorrendo simultaneamente dentro da nuvem. Isto faz com que além de identificar os diversos processos seja necessário determinar a importância relativa de cada um. Como resultado destes processos, cargas intensas são produzidas no interior da nuvem com valores que podem variar de algumas poucas dezenas até poucas centenas de coulombs. Os processos de eletrificação de nuvens mais aceitos no meio científico serão descritos a seguir:

#### a ) Captura de íons (Seletivo)

Devido à existência de um campo elétrico na atmosfera, os hidrometeoros (gotas de água, cristais de gelo, granizo, etc) quando precipitam se tornam polarizados. Ao caírem em relação aos íons que se movem sob a influência do vento e do campo elétrico, os íons de mesmo sinal, tais como na parte inferior dos hidrometeoros seriam repelidos, e os íons de sinal oposto seriam atraídos e capturados. Mas para que este mecanismo funcione, o movimento dos íons associados ao campo elétrico tem que ser menor que a velocidade dos hidrometeoros (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006).

#### b ) Mecanismo indutivo partícula-partícula

Baseia-se em um grau de polarização elétrica de partícula por indução de um campo elétrico existente, sendo que este grau é diretamente proporcional à força aplicada pelo campo elétrico (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006).

Quando dois hidrometeoros carregados colidem a transferência de carga entre eles é bem complicada, pois a indução de cargas em cada hidrometeoro é modificada com a aproximação de um outro hidrometeoro.

Mas para que esse mecanismo seja eficiente é necessário que quando as partículas colidirem, elas devem se separar e que o tempo de contato entre elas, quando colidem, dever ser longo o suficiente para que as cargas se transfiram de uma superfície a outra.

c ) Mecanismo não-indutivo

É qualquer mecanismo que não requer uma polarização sob a ação de um campo elétrico, ou seja, a transferência entre cargas durante a colisão das partículas independe do campo elétrico. Esse mecanismo pode ocorrer entre interações de cristal de gelo/grão de gelo e de esfera/grão de gelo (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006).

d ) Carregamento durante o derretimento

De maneira geral esse mecanismo sugere que o gelo se carrega positivamente quando ocorre seu derretimento. Isso acontece pelo fato de que quando o gelo derrete libera bolhas de CO<sub>2</sub>, e devido à superfície molhada do gelo essas bolhas se quebram. Essas bolhas carregam consigo cargas negativas o que induz o gelo ficar carregado positivamente. (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006)

### **2.4.3 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS**

As descargas elétricas atmosféricas consistem em uma corrente elétrica de grandes proporções que ocorre na atmosfera quando ocorre a quebra da rigidez dielétrica do ar. Nestas condições, o ar passa a ser um condutor. A descarga elétrica forma um longo canal ionizado, ou caminho condutor na atmosfera, e essa descarga, na maioria das vezes, é dotada de diversas ramificações que se estendem por vários quilômetros, tanto na vertical quanto na horizontal. Este canal de ionização atua como uma efetiva antena de irradiação de ondas eletromagnéticas em um amplo espectro de frequências, denominadas *sferics*, que se propagam ao redor do planeta através da atmosfera (NACCARATO, 2006). Podem gerar vários fenômenos, não só próximos ao local de sua ocorrência como também a grandes distâncias, desde a superfície da Terra até as camadas atmosféricas mais altas



(NACCARATO, 2006). Devido a este campo eletromagnético irradiado (formados) pelo canal ionizante, é possível descrever cada etapa das descargas elétricas atmosféricas. Isto porque cada etapa possui assinaturas distintas que se reproduzem a cada novo fenômeno. Com isso, é possível diferenciar as descargas elétricas que atingem o solo das descargas que ocorrem no céu, através das variações nas assinaturas da radiação eletromagnética associada a cada evento.

#### **2.4.4 TIPOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS**

As descargas elétricas atmosféricas podem ser classificadas em função do local onde se originam até o ponto onde terminam, existindo desse modo, cinco tipos básicos de descargas elétricas, ilustrados nas Fig.8 e 9, que são:

- Descargas elétricas atmosféricas intra-nuvem (IN), que ocorrem no interior de uma mesma nuvem;
- Descargas elétrica atmosféricas entrenuvem (EN), que ocorrem entre duas ou mais nuvens diferentes;
- Descargas elétricas atmosféricas nuvem-ar (NA), que partem de uma nuvem e terminam na própria atmosfera, sem entrar em contato com outras nuvens ou com o solo;
- Descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo (NS), que se originam na nuvem e terminam no solo;
- Descargas alétricas atmosféricas solo-nuvem (SN), que se originam no solo e terminam na nuvem.

As descargas nuvem-solo e solo-nuvem (Fig. 9) podem, ainda, ser classificadas de acordo com o tipo de carga neutralizada na nuvem, dando origem a descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo positiva (transferência de íons positivos) e negativa (transferência de íons negativos), solo-nuvem-positiva e solo nuvem-negativa.

De todos os tipos de descargas elétricas, as intra-nuvens são as mais comuns de acontecerem, pelo fato da capacidade isolante do ar diminuir com a altura em função da sua densidade. Segundo Miranda (2001) elas ocorrem com uma

frequência de 90% em relação a todos os outros tipos e elas são as menos perigosas.

As descargas elétricas nuvem-solo são as mais estudadas pelos pesquisadores pelo fato delas terem uma ação mais destrutiva sobre a terra, visto que elas podem até causar a morte de seres humanos e animais. Em relação as descargas elétricas atmosféricas do tipo nuvem-solo, as negativas são mais frequentes que as positivas (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2001; HEILMANN; 2006).

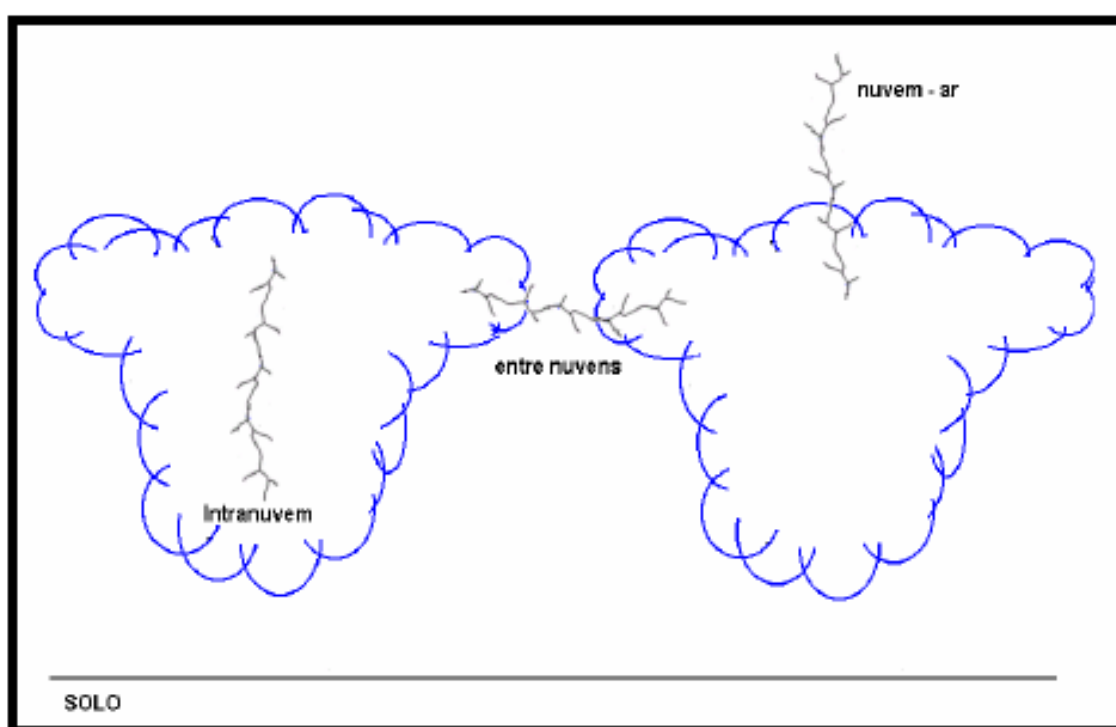


Figura 8 – Tipos de Descargas Elétricas Atmosféricas que ocorrem no céu: intra-nuvem, entre nuvens e nuvem-ar.

Fonte: LIMA, 2005.

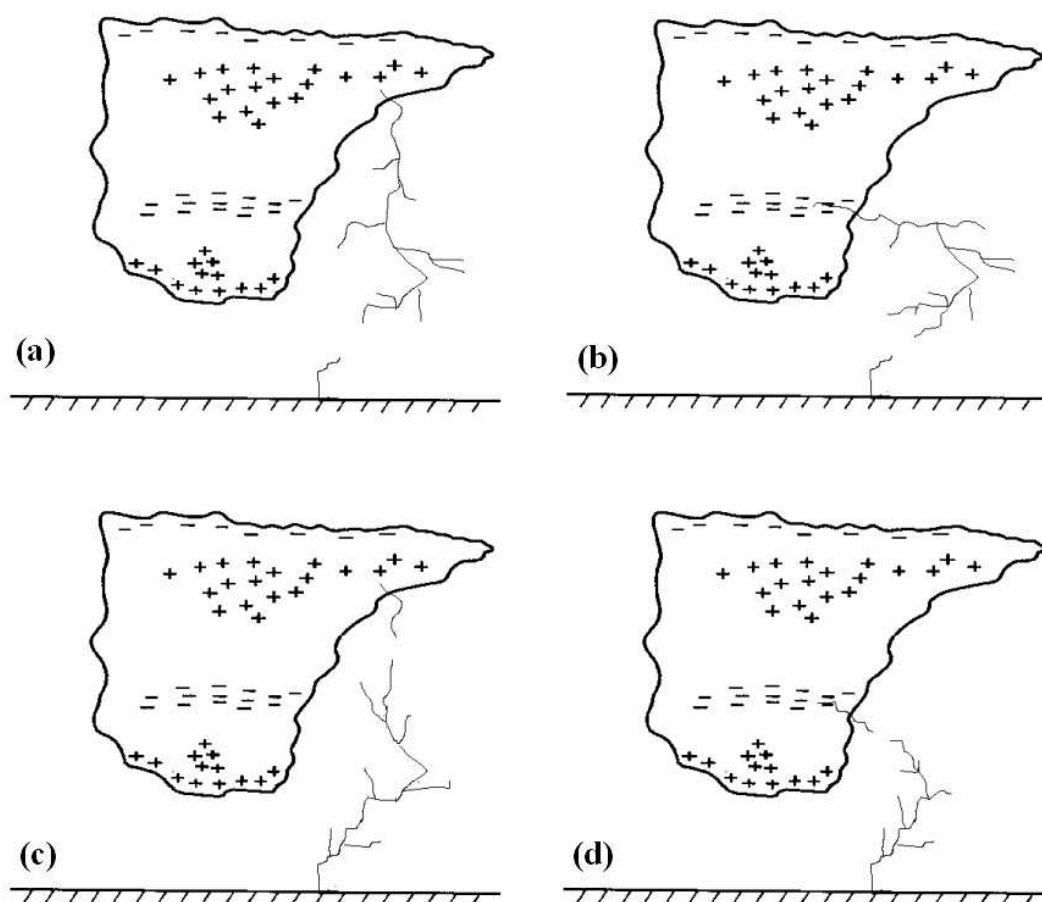


Figura 9 – Tipos de descargas elétricas atmosféricas que atingem o solo: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN positivo; (d) SN negativo.

Fonte: NACCARATO, 2001.

#### b) Descargas elétricas atmosféricas Nuvem-solo (NS)

As descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo representam um total de 10% - 20% de todas os tipos de descargas . Elas podem ser classificadas de acordo com sua polaridade, ou seja, em função da carga elétrica (positiva ou negativa) transportada da nuvem para o solo. Deste modo, há dois tipos de descargas nuvem-solo: as nuvem-solo positivas e as negativas (FERNANDES, 2001; MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2001).

### Descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo negativa (NS-N)

Essas descargas passam por várias etapas até chegarem ao seu destino. Após a formação da nuvem, as gotículas carregadas são separadas com concentração de cargas negativas (ânions) na parte inferior da nuvem e centro de cargas positivas (cátions) no topo da nuvem. A descarga nuvem-solo negativa se inicia quando o campo elétrico gerado pelas cargas das nuvens quebram a rigidez dielétrica do ar no centro de cargas negativas. Quando há essa quebra, uma primeira descarga chamada de *breakdown* se inicia. Logo em seguida, uma segunda descarga, chamada de líder escalonado, sai de dentro da nuvem e se propaga pela atmosfera em direção ao solo. Durante este caminho, o líder escalonado procura um percurso que apresente maior condutividade elétrica, provocando ramificações e tortuosidade nas descargas elétricas. Após algumas dezenas de metros, o líder tem seu extremo inferior, com cargas negativas, próximo ao solo. Essas cargas causam a quebra da rigidez dielétrica do ar em alguns pontos do solo. Assim, uma descarga ascendente, denominada de descarga conectante, com carga oposta (no caso positiva – íons positivos) parte do solo em direção a parte inferior do líder escalonado (GOMES, 2003; MIRANDA, 2005; NACCARATO, 2001).

Quando o líder escalonado entra em contato com a descarga conectante, ocorre uma quarta descarga, chamada de descarga de retorno, de maior intensidade. Segundo Miranda (2001) seu valor médio de pico de corrente é de 30 kA, podendo atingir valores superiores a 100kA e leva aproximadamente 100ms para atingir a base da nuvem, com uma velocidade de propagação entre  $10^7$ m/s e  $10^8$ m/s. Todo este processo é ilustrado na Fig.10.

A radiação eletromagnética emitida pelas descargas de retorno permite identificar o tipo de descarga, visto que os sensores são capazes de registrá-la. O espectro desta radiação engloba a faixa do visível, podendo variar desde VLF (*very low frequency*) até UHF (*ultra high frequency*).

O caminho ramificado e tortuoso, feito pelo líder escalonado, é denominado de canal ionizado ou caminho condutor, esse canal é composto por gases ionizados, também chamados de plasmas (HEILMANN, 2006). Sua temperatura pode alcançar cerca de 30.000°C e, devido a esse alto aquecimento do canal, uma súbita

expansão do ar dentro do canal e em sua vizinhança faz com que gere um som conhecido com trovão.

Durante a ocorrência da descarga elétrica atmosférica nuvem-solo pode acontecer uma ou mais descargas de retorno. Quando ocorre a descarga de retorno e em seguida o fenômeno acaba, essa é denominada de descarga de retorno simples. Se após a pausa de alguns milissegundos iniciar uma nova descarga da nuvem para o solo, aproveitando o caminho ionizado pelo líder escalonado, essa descarga é chamada de líder contínuo. Desta forma, haverá uma nova descarga de retorno denominada de subsequente, dando origem as descargas elétricas atmosféricas múltiplas (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006).

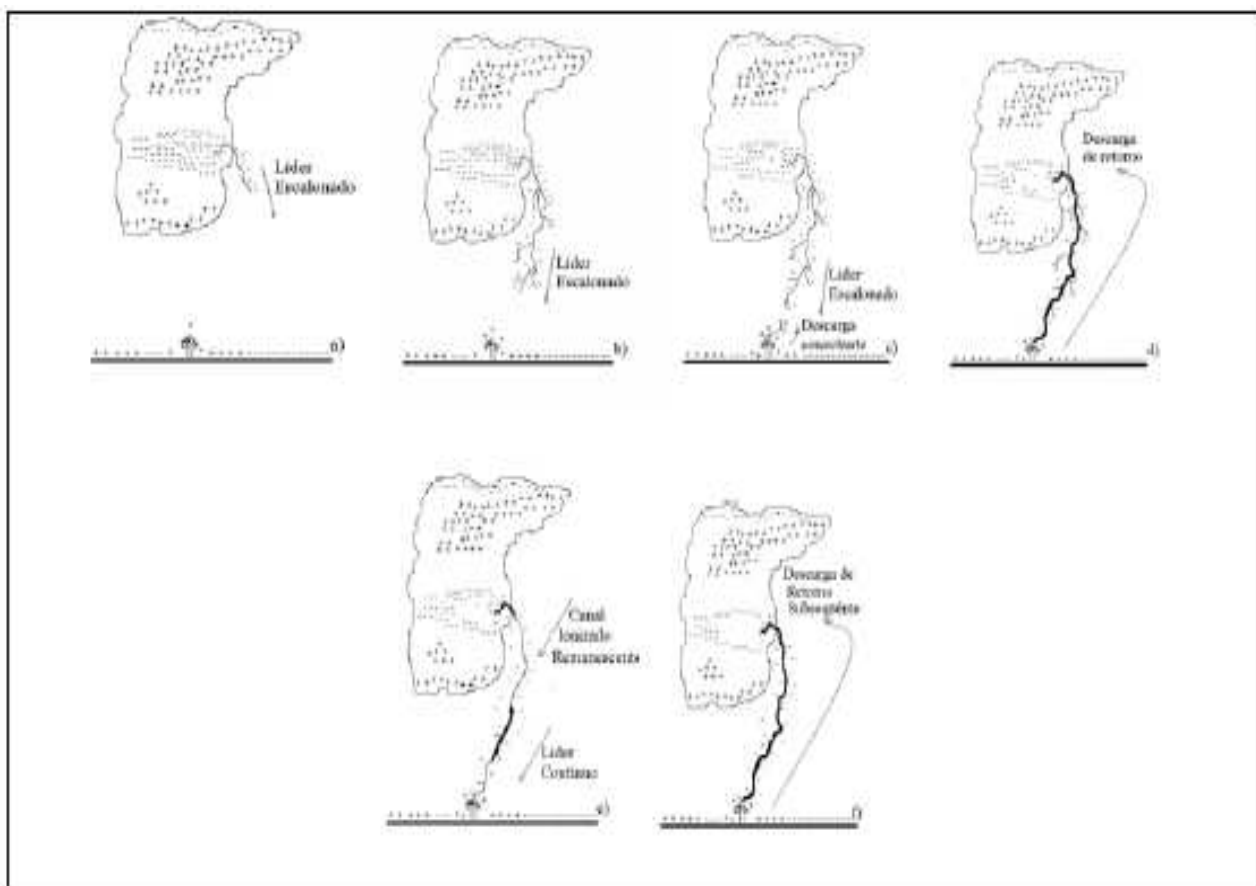


Figura 10 – Etapas de uma descarga elétrica atmosférica nuvem-solo negativa.

Fonte: MIRANDA, 2001.

### Descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo positiva (NS-P)

Essas descargas também iniciam devido a quebra da rigidez dielétrica do ar, com a diferença de que ocorrem no centro de cargas positivas da nuvem. Até o momento, sabe-se que não apresentam os mesmos passos das descargas nuvem-solo negativa. Segundo Pinto Jr. e Pinto (2000), as descargas positivas tem um poder de destruição maior quando comparadas com as negativas. Isso ocorre porque a descarga de retorno tem uma quantidade maior de cargas, fazendo com que a intensidade seja maior do que a das negativas.

#### d) Descargas elétricas atmosféricas Intra-nuvem (IN)

Embora essas descargas ocorram com uma frequência maior, elas são as menos estudadas e conhecidas pelos pesquisadores. São geralmente vistas como clarões no céu. Em geral iniciam na parte inferior da nuvem com cargas negativas e se propagam em direção a parte superior, com cargas positivas, ocorrem ramificações horizontais. Na maioria das vezes, elas não apresentam descargas de retorno (PINTO JR. ; PINTO, 2000). A diferença entre a descarga elétrica do tipo intranuvem da nuvem-solo é a radiação eletromagnética emitidas por elas. De acordo com Krider (1996) as intranuvens imitem radiação na faixa entre 100 à 800MHz.

#### e) Descargas elétricas atmosféricas solo-nuvem (SN), entre-nuvens (EN) e nuvem-ar (NA)

As descargas solo-nuvem são raras de acontecer e, geralmente, ocorrem no topo de montanhas ou estruturas altas (PINTO JR.; PINTO, 2000; GOMES, 2003) Não há na literatura muitas informações sobre esses três tipos de descargas, principalmente os que ocorrem no ar como entre-nuvens e nuvem-ar.

## 2.5 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS

Um sistema de detecção de DEA é constituído por instrumentos de medida, utilizados para detectar descargas elétricas atmosféricas que ocorrem tanto no céu quanto aquelas que atingem o solo. Estes instrumentos devem identificar com precisão a localização das descargas do tipo nuvem-solo. A detecção é feita através de uma rede de sensores remotos que detectam a radiação eletromagnética emitida pelas descargas elétricas atmosféricas na faixa *low frequency*. São analisados os sinais recebidos por intermédio de algoritmos específicos, sendo eliminados aqueles cujas fontes não sejam descargas atmosféricas. Essa faixa de frequência possibilita justamente a detecção das descargas de retorno das descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo, uma vez que a máxima potência da radiação eletromagnética associada a essas descargas está concentrada nessa faixa (RAKOV; UMAN, 2003).

Os dados obtidos pelos sensores são:

1. Horário do evento;
2. Intensidade do sinal;
3. Tempo de subida;
4. Largura do pulso.

Cada sensor envia os dados obtidos para um sistema centralizado de processamento, que tem por objetivo comparar os horários informados a fim de assegurar que os dados sejam de um mesmo evento e, em seguida, calcular a localização ótima do ponto de impacto daquela descarga nuvem-solo. Além da localização, este sistema pode determinar várias outras características como a intensidade da corrente de pico, multiplicidade, polaridade, entre outras. (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006). A polaridade é obtida através da forma de onda do campo elétrico da radiação detectada pelo sensor. A intensidade do pico de corrente da descarga é obtida, através da medida do valor de pico da radiação eletromagnética gerada pela corrente. A multiplicidade é um parâmetro que descreve a quantidade de descarga de retorno que compõe uma descarga elétrica atmosférica (FERNANDES, 2001).

### 2.5.1 MONITORAMENTO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS

No ano de 2004 houve a integração completa dos sensores de detecção de descargas elétricas atmosféricas das empresas CEMIG, SIMEPAR, INPE e FURNAS, dando origem à RINDAT (Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas, <http://www.rindat.com.br>). A RINDAT era composta por 25 sensores dos tipos IMPACT (*Improved Accuracy from Combiend Technology*) e LPATS (*Lightning Positioning and Tracking System*), cujas localizações são mostradas na Fig. 11.

De acordo com Naccarato (2006), nem todas as descargas elétricas atmosféricas que acontecem em uma nuvem *Cumulonimbus* são detectadas pelos sensores. Cada tipo de sensor tem uma área de detecção. Assim, se uma descarga ocorrer fora desta área, o sensor não irá localizá-la. O autor define eficiência de detecção como a capacidade que um sistema tem em detectar as descargas elétricas atmosféricas. A Fig. 12 mostra o mapa de eficiência de detecção da RINDAT, feito pelo próprio autor. Pode-se observar na Fig. 12 que a região sudeste do Brasil está localizada em uma área onde a eficiência de detecção é, predominantemente, superior a 90%. Próximo dos sensores, a eficiência de detecção é de 95%. Isso mostra que os dados de descargas utilizados nesse trabalho têm uma excelente confiabilidade.

Segundo Cummins et al (1995) existem quatro fatores que podem afetar a eficiência de detecção de um sistema de detecção de descargas. São eles: a eficiência de detecção individual de cada sensor; o número médio de sensores de cada sistema; as linhas de base do sistema e a distribuição da corrente de pico das descargas elétricas atmosféricas.



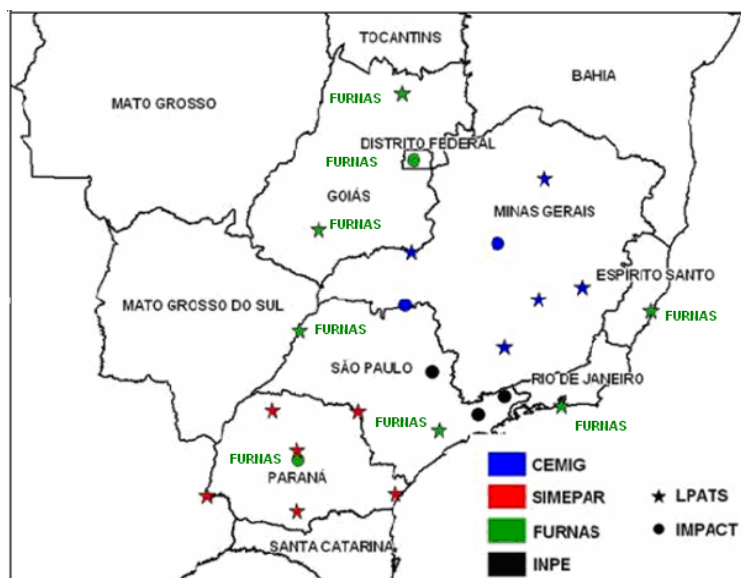


Figura 11 – Localização dos sensores de DEA no Brasil.

Fonte: RINDAT, 2009.

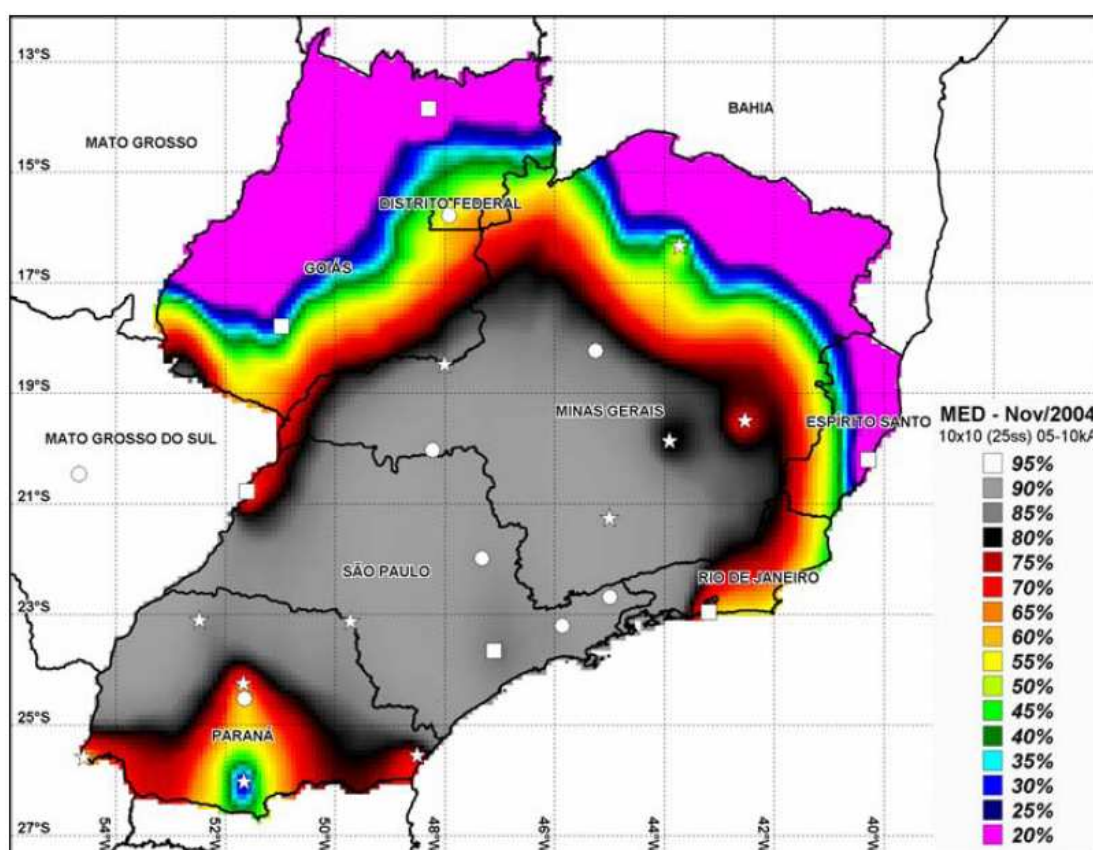


Figura 12 – Mapa da eficiência de detecção dos sensores da RINDAT.

Fonte: NACCARATO, 2006.

## 2.5.2 MÉTODOS PARA LOCALIZAÇÃO DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS

A RINDAT opera com a utilização de 3 métodos para obter a localização das descargas elétricas atmosféricas, que são:

- O método da Localização da Direção Magnética (*Magnetic Direction Finder – MDF*) que utiliza o sensor do tipo MDF;
- O método do Tempo de Chegada (*Time of Arrival – TOA*), que utiliza o sensor do tipo LPATS (*Lightning Positioning and Tracking System*); e
- O método *Improved Accuracy from Combiend Technology* que utiliza o sensor do tipo IMPACT.

O método TOA (Tempo de Chegada) utiliza três ou mais sensores do tipo LPATS, os quais detectam o campo elétrico magnético gerado pelas descargas elétricas. Após um rápido processamento, em que são detectados os tempos de chegada e de subida bem como a largura de pulso do campo magnético, essas informações são enviadas para uma central de processamento. Nesta fase, é calculada a diferença entre o tempo de chegada registrado pelos vários sensores com o tempo de chegada da descarga. Assim, é possível estimar o instante de ocorrência da descarga de retorno (MIRANDA, 2001; NACCARATO, 2006). A precisão na localização das descargas de retorno vai depender do número de sensores e da disposição geométrica de cada sensor.

O método IMPACT utiliza o sensor do tipo IMPACT, que faz a combinação dos métodos MDF e TOA, para a localização da descarga de retorno. Pelo fato de ser um método combinado, ele acaba possuindo informações redundantes que permitem uma estimativa otimizada da localização da descarga, mesmo quando a descarga elétrica é registrada por apenas dois sensores. Assim, esse método fornece as mesmas informações dadas pelos dois outros métodos, além da amplitude de pico, do tempo de subida e a largura de pulso da descarga de retorno.

O método MDF utiliza o sensor do tipo MDF, esse método determina a direção pela qual a radiação da descarga elétrica atmosférica chega até o sensor. Cada sensor MDF, além da detecção da direção de propagação da radiação, detecta características da forma de onda da radiação (tempo de subida,

largura do pulso de radiação, amplitude etc.) e as envia para uma central de processamento de dados. Este método é utilizado por FURNAS de maneira indireta, por causa do método IMPACT.

### **2.5.3 SENSORES DA INSTITUIÇÃO FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

Atualmente, a empresa FURNAS Centrais Elétricas S.A. opera utilizando dois tipos de sensores o LPATS e o IMPACT, sendo que com versões diferentes.

O sensor LPATS contém uma antena capacitiva que é usada para medir o campo elétrico em função do tempo e um dispositivo eletrônico para o registro do instante em que a radiação gerada pela descarga de retorno chega até o sensor. Este sensor determina a localização de uma descarga elétrica pela diferença do tempo de chegada do sinal eletromagnético (HEILMANN, 2006; MIRANDA, 2001).

Com o objetivo de aumentar cada vez mais a precisão da localização das descargas elétricas, estes sensores passaram por uma série de aperfeiçoamento ao longo dos anos, dando origem a diferentes séries de sensores, como exemplos, têm-se os LPATS III e o LPATS IV, atualmente usados na RINDAT.

O sensor IMPACT possui antenas receptoras de rádio frequência que estima a localização das descargas elétricas, a partir das medidas dos campos eletromagnéticos. Esses sensores possuem tecnologia tanto para detectar as descargas elétricas atmosféricas do tipo Nuvem-solo quanto para as que ocorrem no céu. Segundo Miranda (2001) as informações desses sensores são as que têm a menor possibilidade de contaminação por descargas elétricas atmosféricas do tipo intra-nuvens.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

A região sudeste é definida pelo [IBGE](#), como a região composta pelos estados de [São Paulo](#), [Minas Gerais](#), [Rio de Janeiro](#) e [Espírito Santo](#). Situa-se na parte mais elevada do Planalto Atlântico, onde estão as serras da Mantiqueira, do Mar e do Espinhaço. A Fig.13 mostra o mapa topográfico do Brasil e um destaque indicando a localização da região sudeste.

Os sistemas frontais predominam no inverno, com poucas chuvas e geadas freqüentes. No verão, as temperaturas elevadas e as chuvas abundantes estão associadas, principalmente, ao aquecimento superficial, à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aos sistemas de mesoescala, dentre os quais os sistemas convectivos de mesoescala (SCM). O relevo é importante na distribuição das temperaturas e das precipitações (VIANELLO; ALVES, 2002).

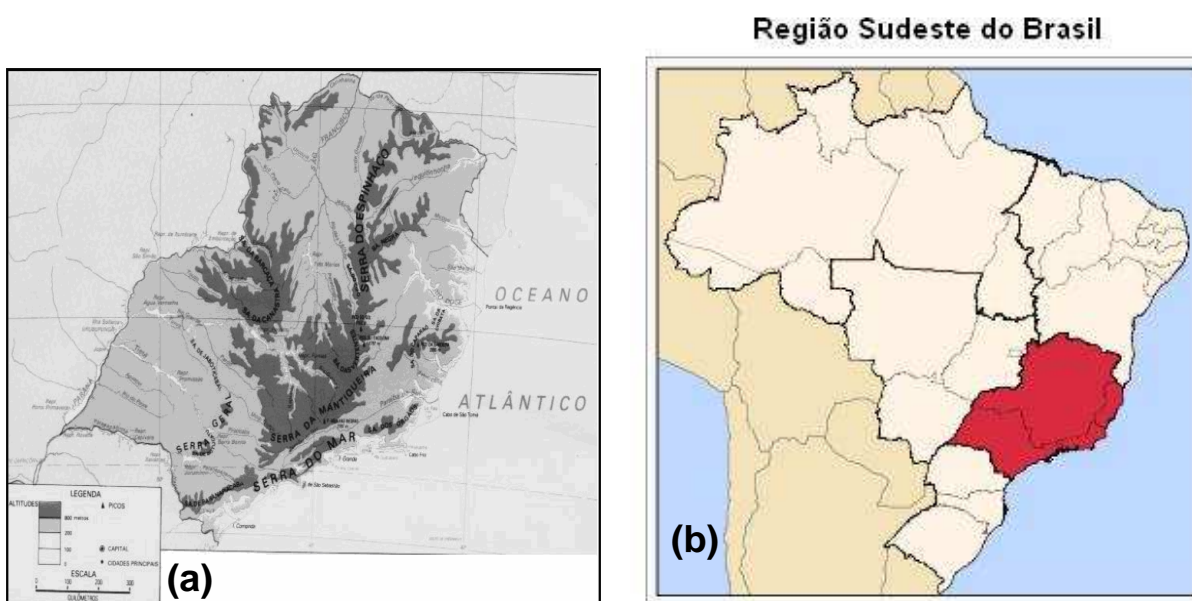


Figura 13 - (a) Mapa topográfico do Brasil e (b) detalhe mostrando Região Sudeste do Brasil.

### 3.2 IMAGENS DE SATÉLITE

Para este trabalho foram utilizadas imagens de satélite geoestacionário em tons de cinza e realçadas no canal infravermelho, bem como imagens cilíndricas realçadas no canal infravermelho. Imagens realçadas são aquelas que apresentam as temperaturas dos topos das nuvens indicadas por cores diferentes, para cada intervalo de temperatura, dada em graus Celsius ou Kelvin. Nas imagens de satélite em tons de cinza, a distinção entre a temperatura do topo das nuvens é dada pela tonalidade do branco. Quanto mais branca for a nebulosidade em uma região, mais baixa é a temperatura do topo da mesma. Imagens de satélite cilíndricas apresentam distorções devido à curvatura da Terra. Nas imagens retangulares, este efeito é corrigido.

As imagens dos anos 2002, 2004, 2005, 2006 e 2007 foram obtidas junto ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE <http://www.satelite.cptec.inpe.br/home/>) e as de 2003 pela NOAA. Os intervalos de tempo entre as imagens consecutivas para estes anos foram diferenciados. O intervalo entre imagens consecutivas dos anos 2002 e 2004 foi de 3 horas. As imagens dos anos 2005, 2006 e 2007 apresentaram intervalos que variaram de 15 minutos a 1 hora. As Fig. 14 a Fig.15 mostram exemplos das imagens utilizadas para analisar a nebulosidade na região de interesse nos anos de 2002, 2005, 2006 e 2007. Ao lado de cada exemplo de imagem de satélite encontra-se uma ampliação da escala de cores utilizada nos processos de realce das imagens de satélite. Nota-se que, apesar das escalas de cores serem diferentes, os intervalos dos valores de temperatura dos topos das nuvens nas imagens cedidas pelo CPTEC/INPE foram mantidos, variando de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ . Nas legendas em que aparece o valor de  $-80^{\circ}\text{C}$  na escala de cores, não há indicação de cor à direita deste número. Quando as temperaturas dos topos das nuvens atingem valores desta magnitude o interior da nebulosidade com  $-70^{\circ}\text{C}$  aparece esbranquiçado.

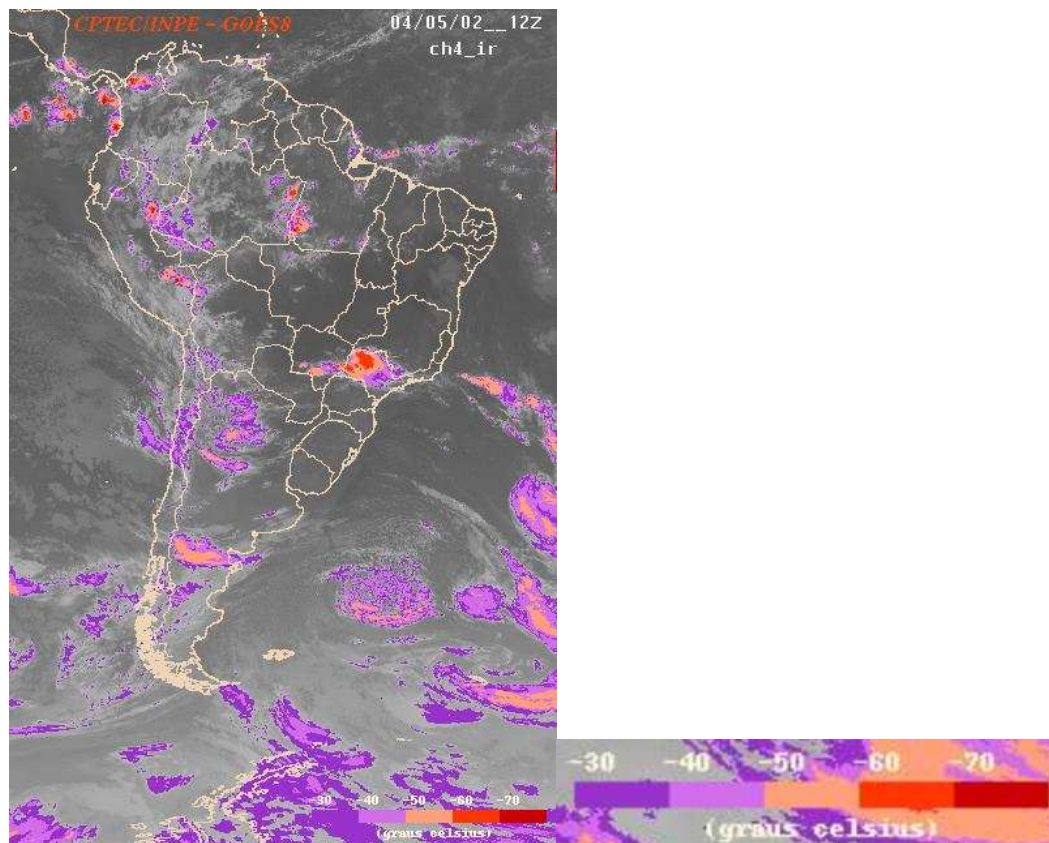


Figura 14 - Exemplo de imagem de satélite, retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo do ano de 2002.

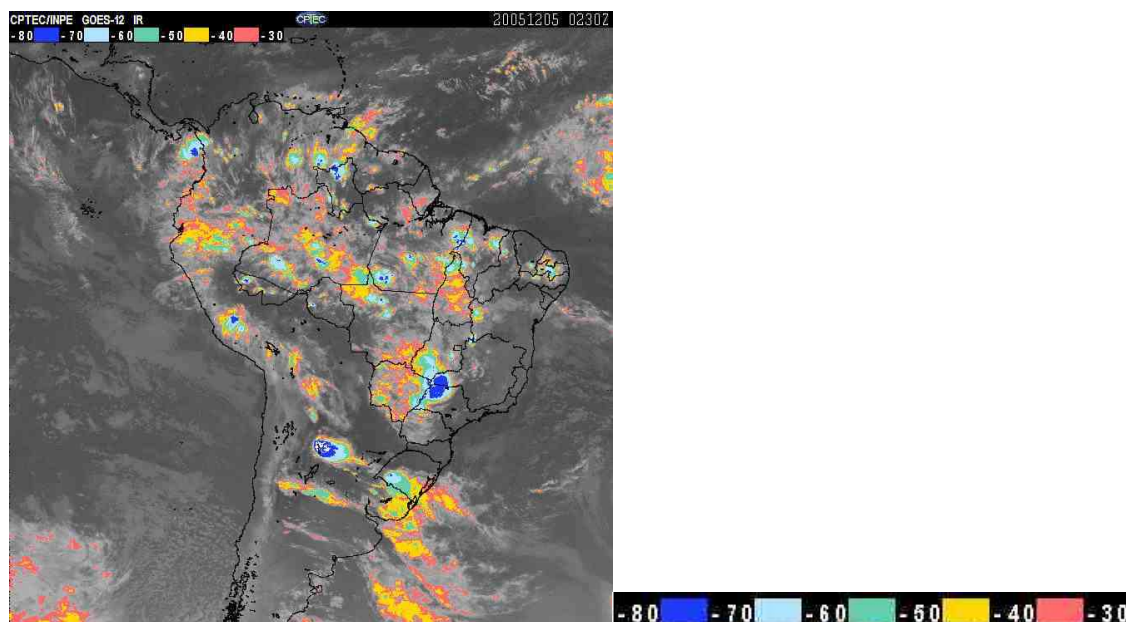


Figura 15 - Exemplo de imagem de satélite retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo no período de outubro a dezembro de 2005, 2006 e para 2007 (de janeiro a junho).

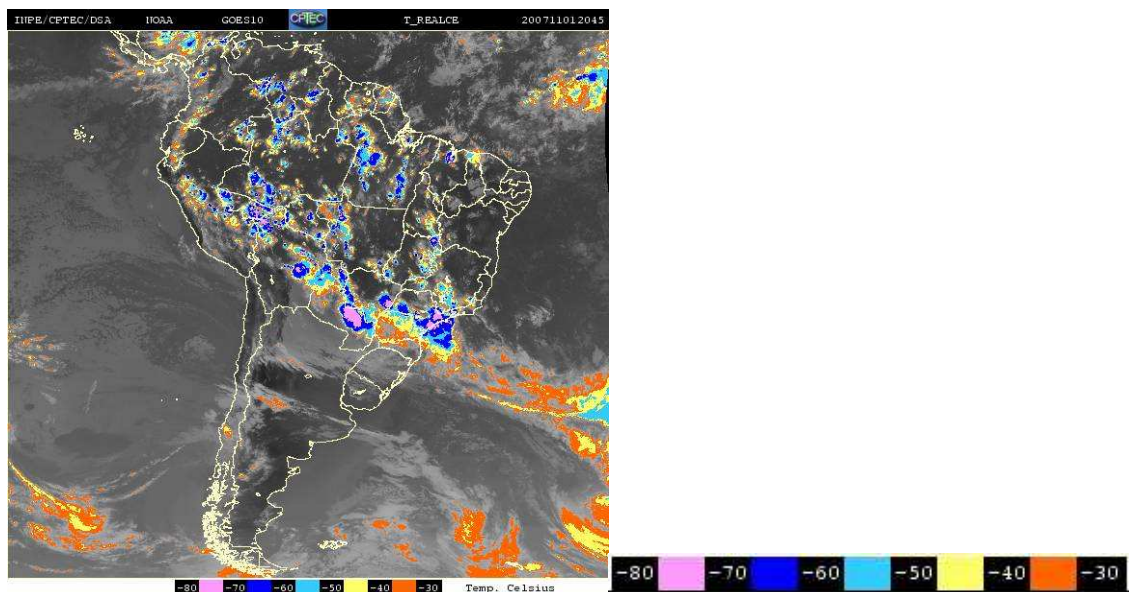


Figura 16 - Exemplo de imagem de satélite retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para identificação dos casos de estudo no período de julho a dezembro de 2007.

No caso do ano de 2004 e de janeiro a setembro de 2005, as imagens retangulares disponíveis estavam em tons de cinza. Desta forma, para fins de avaliação de situações interessantes para estudo, foram utilizadas imagens cilíndricas. A Fig. 17 e Fig.18 mostram exemplos das imagens retangulares e cilíndricas utilizadas neste período.

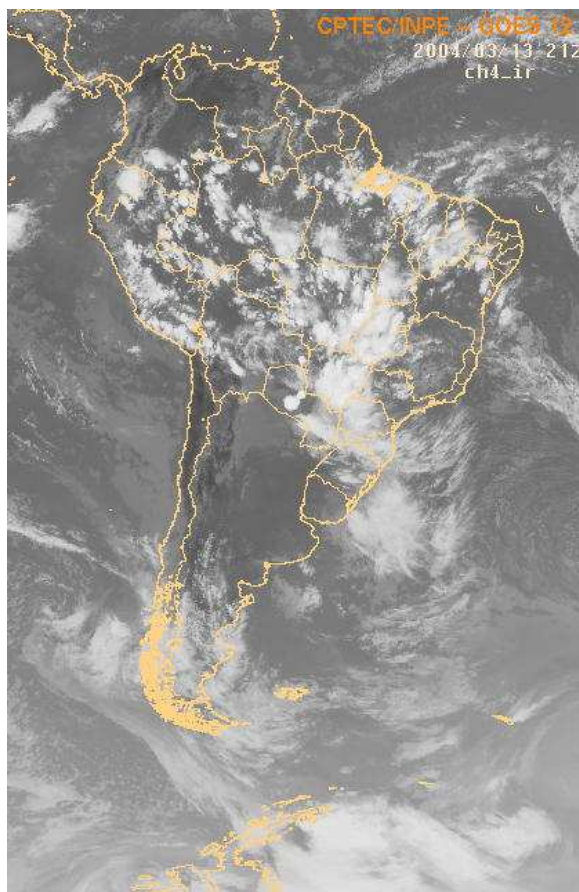


Figura 17 - Exemplo de imagem de satélite retangular, em tons de cinza, do ano de 2004 e de janeiro a setembro de 2005.

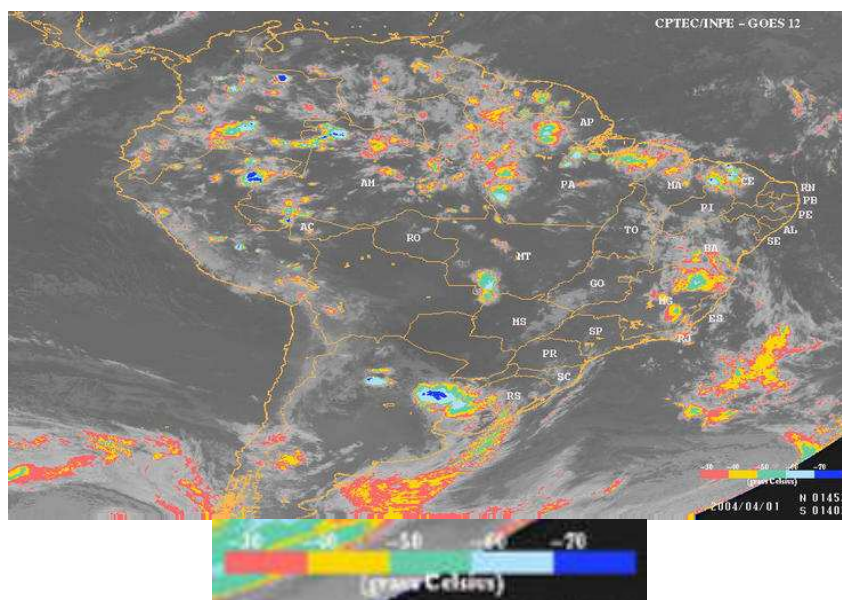


Figura 18 - Exemplo de imagem de satélite cilíndrica e realçada, no canal infravermelho, utilizada para identificação dos casos de estudo no ano de 2004 e de janeiro a setembro de 2005.



As imagens de satélite para o ano de 2003, foram obtidas no site <http://orbit35i.nesdis.noaa.gov/arad/ht/ff/gilberto.html> (atualmente desativado) e estavam disponíveis em intervalos de tempo de 30 minutos a 1 hora, em média. A Fig.19 mostra um exemplo deste tipo de imagem.

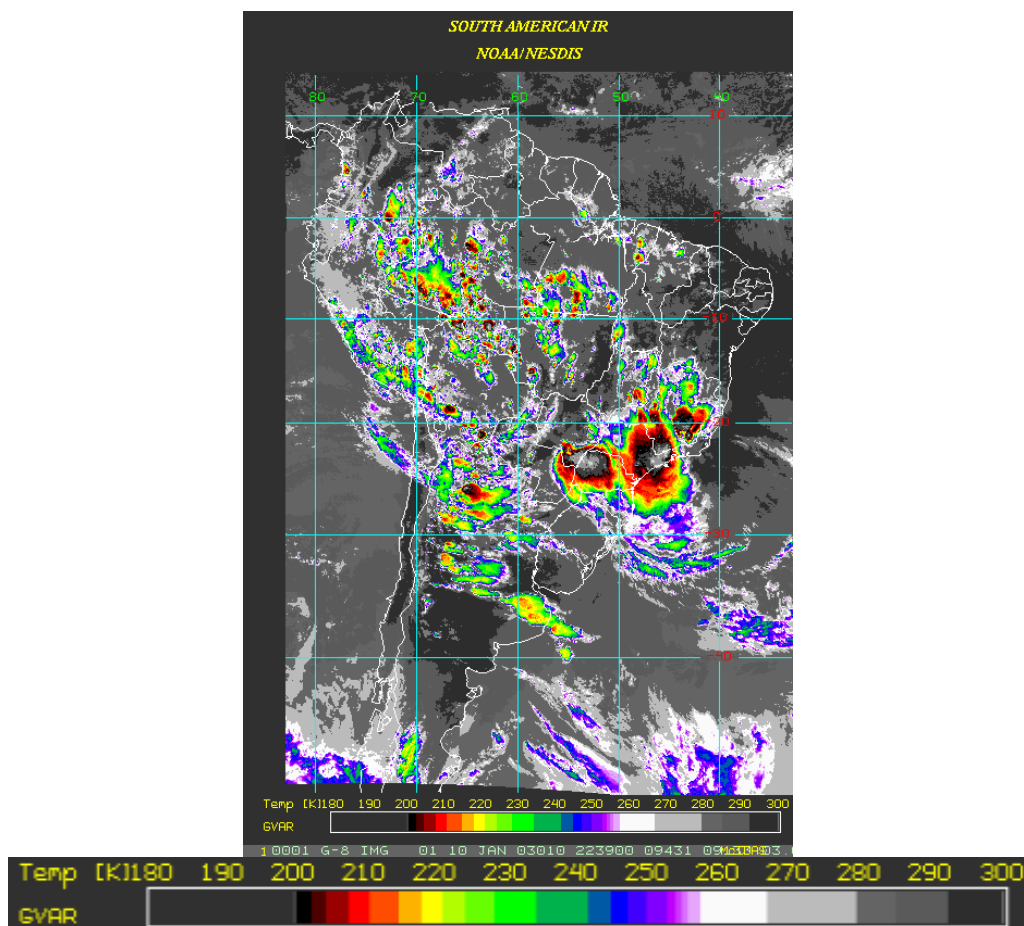


Figura 19 - Exemplo de imagem de satélite, retangular e realçada, no canal infravermelho, utilizada para a identificação dos casos de estudo do ano de 2003.

A identificação dos casos de estudo, com o uso das imagens de satélite, foi feita utilizando, como limiar de temperatura de topo das nuvens, o valor de  $-50^{\circ}\text{C}$ . Como visto anteriormente, um SCM é formado por um aglomerado de nuvens Cb, que são nuvens de topo elevado. Nuvens com topo elevado são caracterizadas por apresentar convecção profunda ativa e topo localizado em altitudes superiores a 12 km (MACHADO ET AL., 1992). Estas regiões com convecção profunda ativa, imersas em um SCM, identificam os núcleos convectivos. As descargas elétricas atmosféricas geralmente estão associadas a estes núcleos convectivos (RAKOV; UMAN, 2003) que possuem uma quantidade de água muito grande e, por isto, geralmente provocam intensa precipitação em superfície.

Uma vez identificados os núcleos convectivos que ocorreram na região de interesse, foram retidos para estudo aqueles que ocorreram sem estar associados a situações meteorológicas de grande escala complexas. Significa que os casos de estudo deveriam ter ocorrido sem a presença de forçantes intensas, como é o caso, por exemplo, de situações meteorológicas do tipo ZCAS, sistemas frontais, ciclones extratropicais. Além disto, era preciso que não houvesse interrupções nas seqüências de imagens de satélite, para assegurar a continuidade das análises. Assim, falhas de imagens de satélite constituíram um fator limitante extremamente crítico nesta fase.

### **3.3 DADOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS**

Os dados de descargas elétricas atmosféricas foram cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A. para os anos de 2002 a 2007. A região para a qual os dados foram cedidos está compreendida entre as latitudes  $15^{\circ}\text{S}$  e  $27^{\circ}\text{S}$  e entre as longitudes  $35^{\circ}\text{W}$  e  $55^{\circ}\text{W}$ , mostrada na Fig.20. Todos os resultados a serem comentados na próxima seção, serão referidos para esta localização geográfica. Acrescenta-se o fato de que as avaliações das quantidades de DEA detectadas em associação aos casos de estudo referem-se à região localizada dentro da área com eficiência de detecção de igual ou superior 90%.

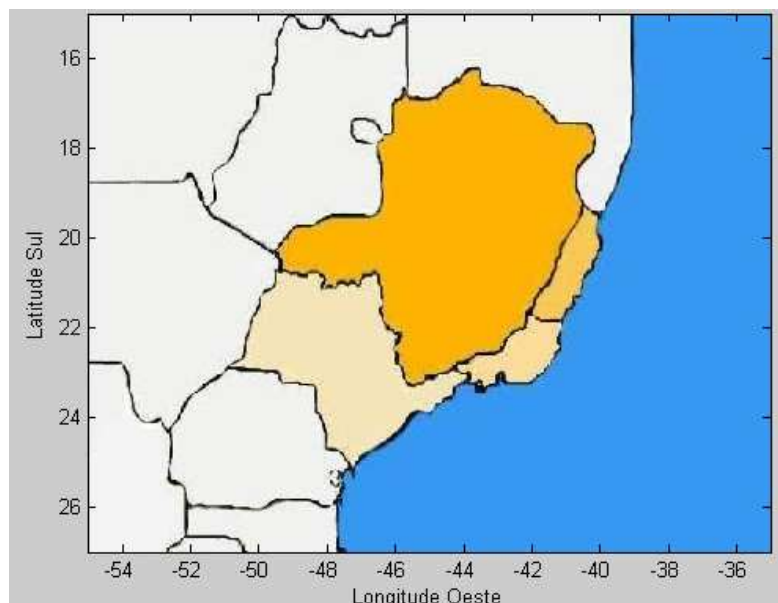


Figura 20 - Região de estudo do presente trabalho.

O formato do arquivo de dados de descargas utilizado neste trabalho foi o seguinte:

Coluna 1- Hora TMG (com resolução de milissegundos)

Coluna 2- Data no formato MM/DD/AA

Coluna 3- Latitude em graus, com três casas decimais

Coluna 4- Longitude em graus, com três casas decimais

Coluna 5- Intensidade da corrente de pico da descarga, em quiloamper (KA)

Coluna 6- Polaridade da corrente da descarga

Coluna 7- Tipo de descarga (G- NuvemXSolo e C- Intranuvem)

Coluna 8- Latitude em graus, com quatro casas decimais

Coluna 9- Longitude em graus, com quatro casas decimais

Para estes dados, foram desenvolvidos vários programas no ambiente MATLAB para gerar várias informações:

1. Soma das DEA detectadas na região de estudo no intervalo de 1 hora;
2. Sobreposição das DEA em imagens de satélite, 15 minutos antes e depois do horário das mesmas, compatíveis com o formato das imagens utilizadas;
3. quantificação das DEA positivas e negativas e geração de histogramas relativos a cada período de 30 minutos tendo como horário central aquele da imagem de satélite analisada;

4. Soma das DEA em um elemento de área, de dimensões definidas pelo usuário, com a quantificação das DEA positivas e negativas;
5. Sobreposição das DEA nos núcleos dos sistemas convectivos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESCARGAS ELÉTRICAS OCORRIDAS NOS ANOS DE 2002 A 2007

A Fig. 21 mostra, para os anos de 2002 a 2007, a distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas detectadas na região de estudo. Nota-se que, de forma geral, as descargas elétricas atmosféricas são mais freqüentes nos meses de primavera e verão. Um dos meses mais marcantes foi janeiro, quando comparados os dados de DEA detectados em 2002 relativamente aos demais anos. Os valores mínimos de DEA detectadas ocorreram nos meses de maio a setembro em todos os anos, com exceção de 2002 (Fig.21a). Os valores desprezíveis de DEA neste mês podem estar relacionados à pouca atividade convectiva na região, pois de acordo com o Climanálise (2002a), na região sudeste “foi observada alta variabilidade espacial das chuvas, porém estas ficaram acima da média no norte e leste de Minas Gerais e abaixo da média nas outras áreas”. Por outro lado, nos meses de novembro e dezembro de 2002 (Fig.21a), dezembro de 2003 (Fig.21b), dezembro de 2004 (Fig.21c), outubro de 2005 (Fig.21d), fevereiro de 2006 (Fig.21e) e janeiro de 2007 (Fig.21f) as DEA detectadas atingiram os valores máximos. Abaixo seguem as discussões extraídas dos Boletins Climanálise, relativamente a cada um destes meses:

Novembro/2002 (CLIMANÁLISE, 2002b):

Ocorreram chuvas entre 150 mm e 250 mm em grande parte do Estado de São Paulo, com anomalias positivas maiores que 50 mm, chegando a 100 mm em algumas áreas. Estas chuvas estiveram associadas à passagem de frentes frias que se organizaram sobre a Região entre os dias 10 e 18. Ocorreram eventos extremos, com vários pontos de alagamento e sérios prejuízos em alguns centros urbanos de São Paulo e Rio de Janeiro.

Dezembro/2002 (CLIMANÁLISE, 2002c):

As chuvas continuaram intensas em dezembro, com sérios prejuízos em cidades localizadas nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Os maiores totais variaram entre 250 mm e 400 mm nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. As frentes frias que atuaram durante a segunda quinzena do mês proporcionaram a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), com chuvas acima da média em

até 200 mm no norte de Minas Gerais. Contudo, os totais mensais ficaram abaixo da média em grande parte da Região.

#### Dezembro/2003 (CLIMANÁLISE, 2003):

Predominaram chuvas abaixo da média histórica em Minas Gerais, no Rio de Janeiro e em São Paulo. O Espírito Santo apresentou total acumulado superior a 250 mm, ultrapassando a média histórica em até 100 mm em áreas isoladas.

#### Dezembro/2004 (CLIMANÁLISE, 2004):

A atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), em dois episódios ao longo do mês, proporcionou aumento das chuvas em Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e em áreas no litoral do Estado de São Paulo. Nestas áreas, as chuvas ficaram acima da média histórica.

#### Outubro/2005 (CLIMANÁLISE, 2005):

Todos os sistemas frontais que atuaram no mês favoreceram a ocorrência de chuva no sul da Região, contudo, apenas dois conseguiram avançar até o Espírito Santo. Alguns episódios de chuva convectiva, típicos das estações de primavera e verão, foram observados na Região. Áreas de instabilidade causaram chuvas fortes e alguns transtornos, como o forte temporal ocorrido no Rio de Janeiro no dia 24. O total acumulado de precipitação variou de 50 mm a 200 mm em São Paulo e foi inferior a 25 mm no norte de Minas Gerais. Nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, prevaleceram valores entre 50 mm e 100 mm abaixo da média. Em São Paulo, as chuvas superaram a média em até 100 mm.

#### Fevereiro/2006 (CLIMANÁLISE, 2006):

O primeiro episódio de ZCAS, que iniciou no final do mês anterior, e o segundo, que atuou entre os dias 09 e 13, proporcionaram a ocorrência de fortes pancadas de chuva, em particular sobre o Estado de São Paulo, com perdas humanas e materiais. Houve inundações na capital, no dia 07, em Bebedouro, no dia 09, e no Vale do Paraíba, entre os dias 10 e 15. Em Ubatuba-SP, houve alagamentos em bairros e deslizamentos de encostas, com o registro de pelo menos 62 pessoas desalojadas. As chuvas foram escassas no norte de Minas Gerais e no Espírito Santo, onde houve predominância de valores abaixo da média histórica.

#### Janeiro/2007 (CLIMANÁLISE, 2007):

As chuvas mais intensas estiveram associadas aos dois episódios de ZCAS que ocorreram durante o mês. Os maiores totais acumulados, superiores a 400 mm, ocorreram no Rio de Janeiro, sul de Minas Gerais e norte do Estado de São Paulo, onde foram observados transtornos em várias localidades. Destacaram-se as chuvas diárias registradas em Votuporanga-SP (162,6 mm, no dia 02), Ribeirão Preto-SP (95 mm, no dia 03) e Cravinhos-SP (120 mm, no dia 14). Esta última ocorrência provocou o transbordamento de duas represas em Ribeirão Preto, assim como do rio que corta a cidade de Guaxupé, sul de Minas Gerais (Fonte: Estação Experimental da Secretaria de Agricultura de Ribeirão Preto e INMET). A cidade de Votuporanga-SP acumulou 662 mm de chuva no mês, mais que o dobro da média registrada nos últimos 17 anos (284 mm), segundo a Casa da Agricultura. Nos dias 21 e 23, choveu 89,8 mm em Resende-RJ e 92,7 mm na cidade de Viçosa-MG, respectivamente, devido à atuação do

segundo episódio de ZCAS. No dia 23, houve inundações na zona ribeirinha de Bauru-SP. Um terceiro episódio de ZCAS, que iniciou no final de janeiro de 2007, causou perdas humanas na cidade de Petrópolis-RJ e, segundo a Defesa Civil, vários municípios ficaram em estado de emergência no Estado de São Paulo. Na cidade de Itaperuna-RJ, choveu 94,6 mm no dia 30 (Fonte: INMET). Apesar destes eventos, as chuvas ficaram abaixo da média histórica no norte dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e no extremo leste do Estado de São Paulo.

Pelo exposto acima, fica evidente que a detecção de DEA na região de estudo esteve associada com a ocorrência de fenômenos meteorológicos tais como ZCAS, sistemas frontais e sistemas convectivos de mesoescala. Tendo em vista a metodologia que se pretende desenvolver futuramente para a previsão de DEA na região sudeste utilizando rede neural artificial, foi preciso escolher o fenômeno meteorológico para o qual seria desenvolvida a rede. No caso deste trabalho, optou-se por selecionar os dias em que foram observadas elevadas quantidades de DEA em associação a sistemas convectivos de mesoescala.

Pinto Jr. et al (2003) realizaram um estudo sobre a ocorrência de descargas elétricas na região sudeste do Brasil, mais especificamente Minas Gerais, no período de novembro de 1998 a dezembro de 1995, com dados do sistema de localização de descargas (LLS), precipitação e dados de sensores de satélite ópticos. Os meses em que foram detectadas as maiores quantidades de descargas elétricas foram os de primavera e verão (de novembro a março). Os meses de inverno foram aqueles com a menor incidência de descargas (junho a agosto). Verificaram também que as descargas elétricas atmosféricas, na região sudeste, estavam associadas com fenômenos meteorológicos do tipo ZCAS, sistemas frontais e SCM.

Pinto e Pinto Jr. (2003) obtiveram a distribuição geográfica das descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo, desta vez envolvendo todo o território nacional, para o período de novembro de 1988 a dezembro de 1995, com dados do sistema de localização de descargas (LLS). Acharam que, em grande parte do país, as descargas atmosféricas ocorreram em mais de 100 dias por ano. Por outro lado, em 140 dias por ano, os autores verificaram que ocorreram tempestades na Amazônia e na região sudeste, sugerindo que estas tempestades seriam responsáveis pelas elevadas ocorrências de descargas elétricas atmosféricas encontradas. Além disto, observaram que os dias em que ocorreram precipitações foram semelhantes aos dias em que ocorreram descargas elétricas atmosféricas. Ainda, os autores fizeram uma climatologia da cobertura de descargas elétricas atmosféricas no Brasil para 3 anos (1998 a 2000), utilizando dados do *Lighning Location Systems* (LIS). Encontraram que a região com maior atividade de descargas atmosféricas foi à região Amazônica e que cerca de 50-70 milhões de descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo ocorreram a cada ano no Brasil. Este número corresponde a uma densidade média de 6-8 descargas atmosféricas  $\text{km}^{-2} \text{ano}^{-1}$ , com maior concentração nas regiões norte, centro-oeste e sudeste do Brasil.

Pinto Jr. et al (2006) fizeram uma comparação entre os dados do sistema de localização de descargas (LIS), com dados em vários países (Estados Unidos, Áustria, Itália e Espanha) e os dados da rede RINDAT (composta por 24 sensores). Realizaram comparações entre os seguintes dados: média mensal do número de descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo, percentagem de descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo positivas e picos das correntes negativas e positivas das descargas, para o período de 1999 a 2004.

Os mesmos verificaram que o período de maior atividade elétrica atmosférica no Brasil foi maior do que nos outros países (Estados Unidos, Áustria, Itália e Espanha). No Brasil este período durou seis meses, enquanto que nos outros países, de três a cinco meses. Todos os países apresentaram semelhanças nas distribuições do número de descargas nuvem-solo, na percentagem de descargas elétricas atmosféricas nuvem-solo positiva e no pico de corrente das descargas nuvem-solo positiva. Porém a média mensal, feita entre os meses de agosto e setembro, mostrou que a intensidade do pico de corrente da descarga nuvem-solo negativa no Brasil foi diferente da dos outros países. De acordo com os autores, isso pode estar relacionado com um aumento do número de incêndios nestes meses.

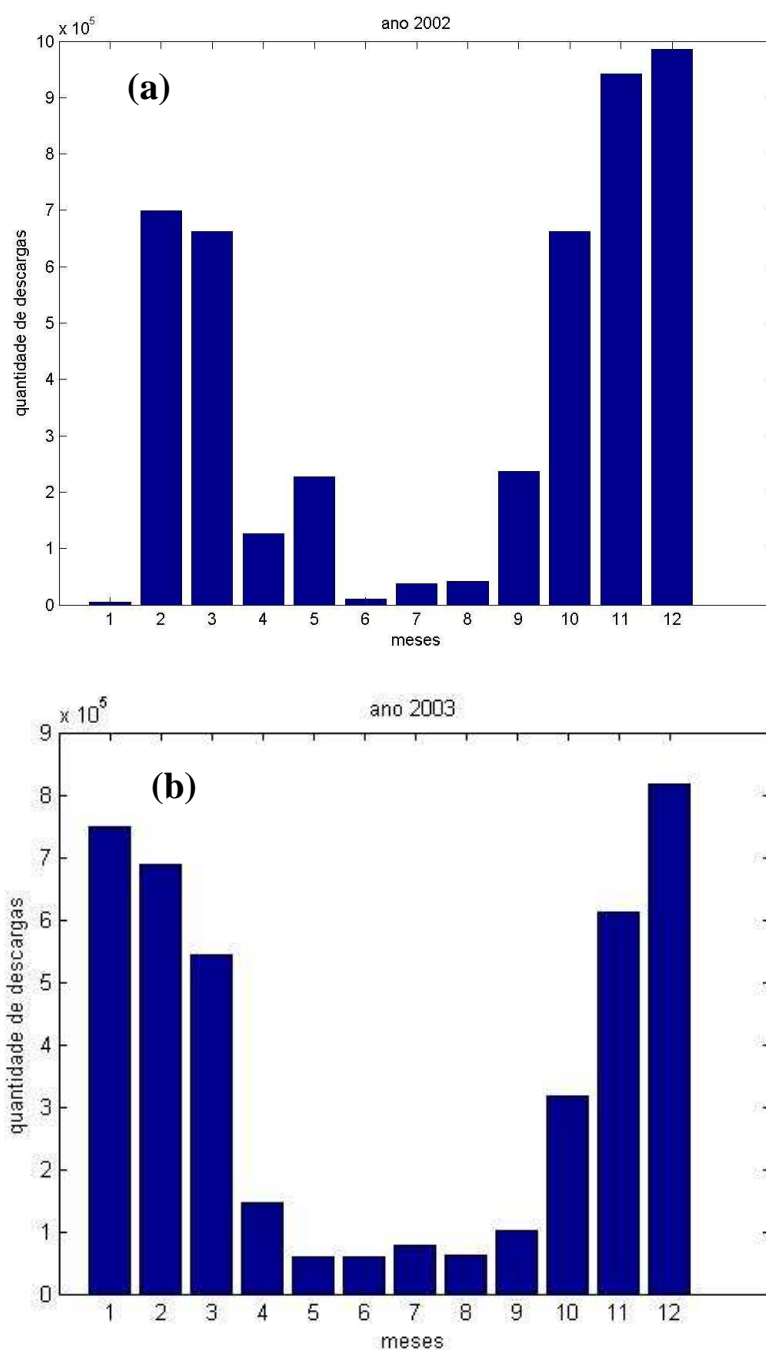


Figura 21 – Distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas nos anos de (a) 2002; (b) 2003; (c) 2004; (d) 2005; (e) 2006; (f) 2007 na região com dados cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A.

(continua)



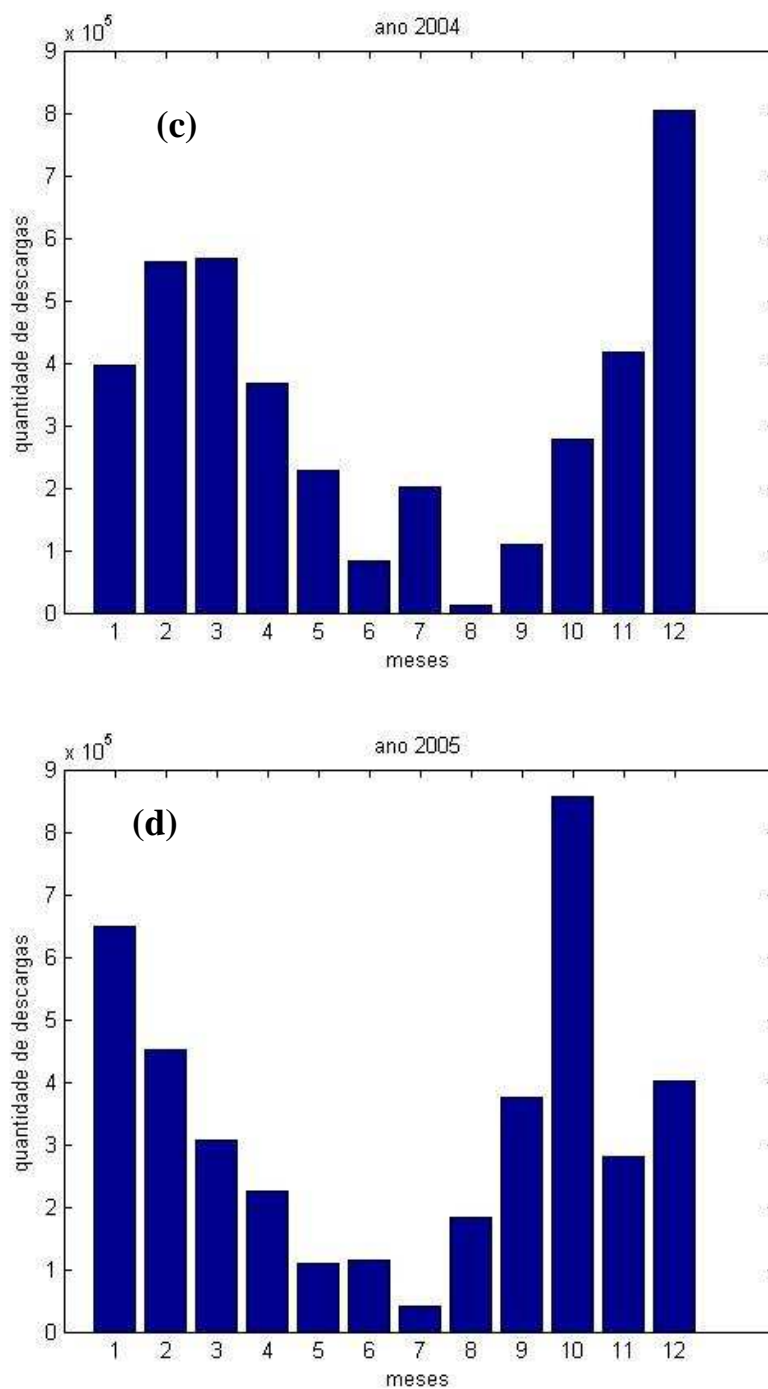


Figura 21 – Distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas nos anos de (a) 2002; (b) 2003; (c) 2004; (d) 2005; (e) 2006; (f) 2007 na região com dados cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A.

(continua)

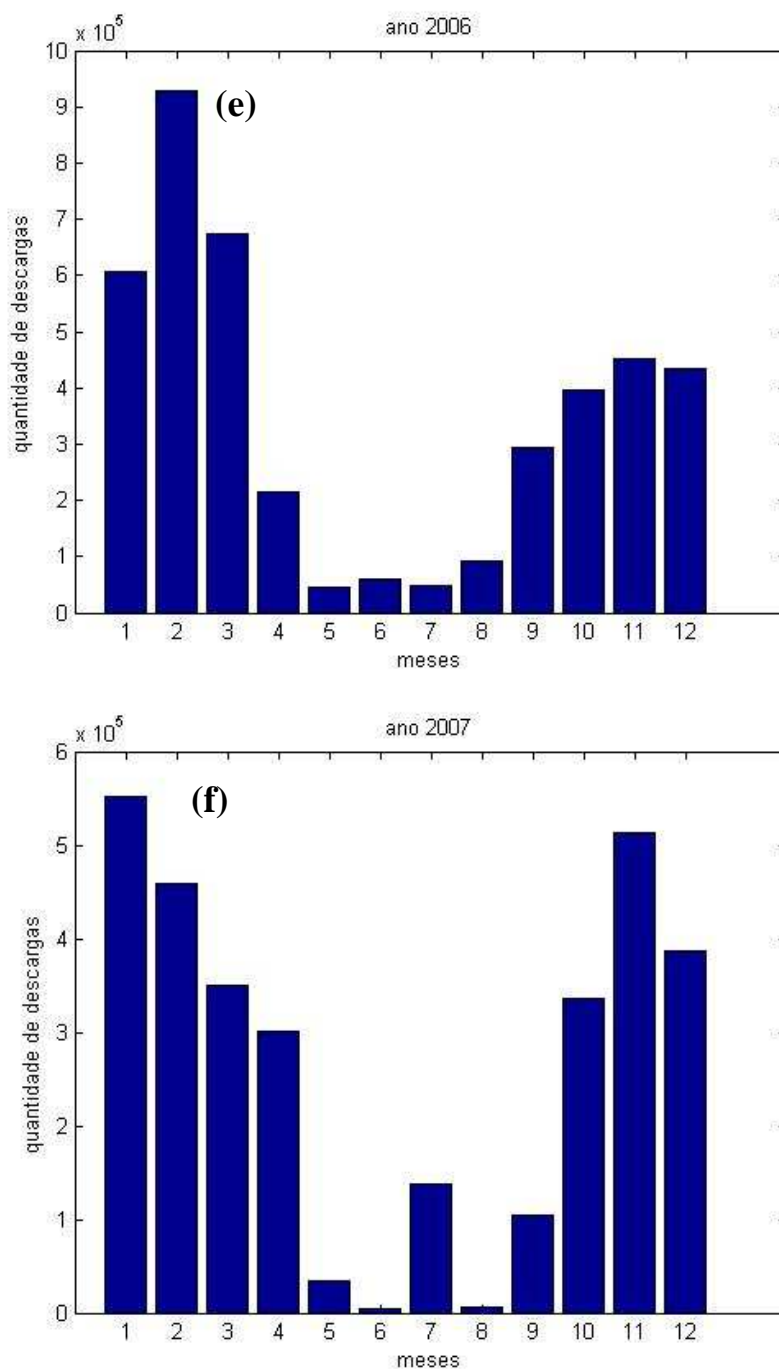


Figura 21 – Distribuição mensal das descargas elétricas atmosféricas nos anos de (a) 2002; (b) 2003; (c) 2004; (d) 2005; (e) 2006; (f) 2007 na região com dados cedidos por FURNAS Centrais Elétricas S.A.

## 4.2 DESCARGA ELÉTRICA ATMOSFÉRICA DETECTADAS DURANTE UMA HORA

Com a finalidade de identificar os dias com maior quantidade de DEA em associação a sistemas convectivos de mesoescala, primeiramente foram analisadas as imagens de satélite disponíveis de 2002-2007. A partir desta seleção preliminar dos dias em que houve nebulosidade convectiva sobre a região de estudo, foi feita a quantificação horária das DEA estabelecendo-se o valor limiar de 1.000DEA/h. A Fig.22 mostra três exemplos de dias em que, durante uma hora, foram detectadas, no mínimo, 1000DEA/h na região de estudo. As figuras da direita foram obtidas considerando como hora inicial o horário das imagens de satélite (figuras da esquerda). Este procedimento eliminou vários dias selecionados previamente pelas imagens de satélite.

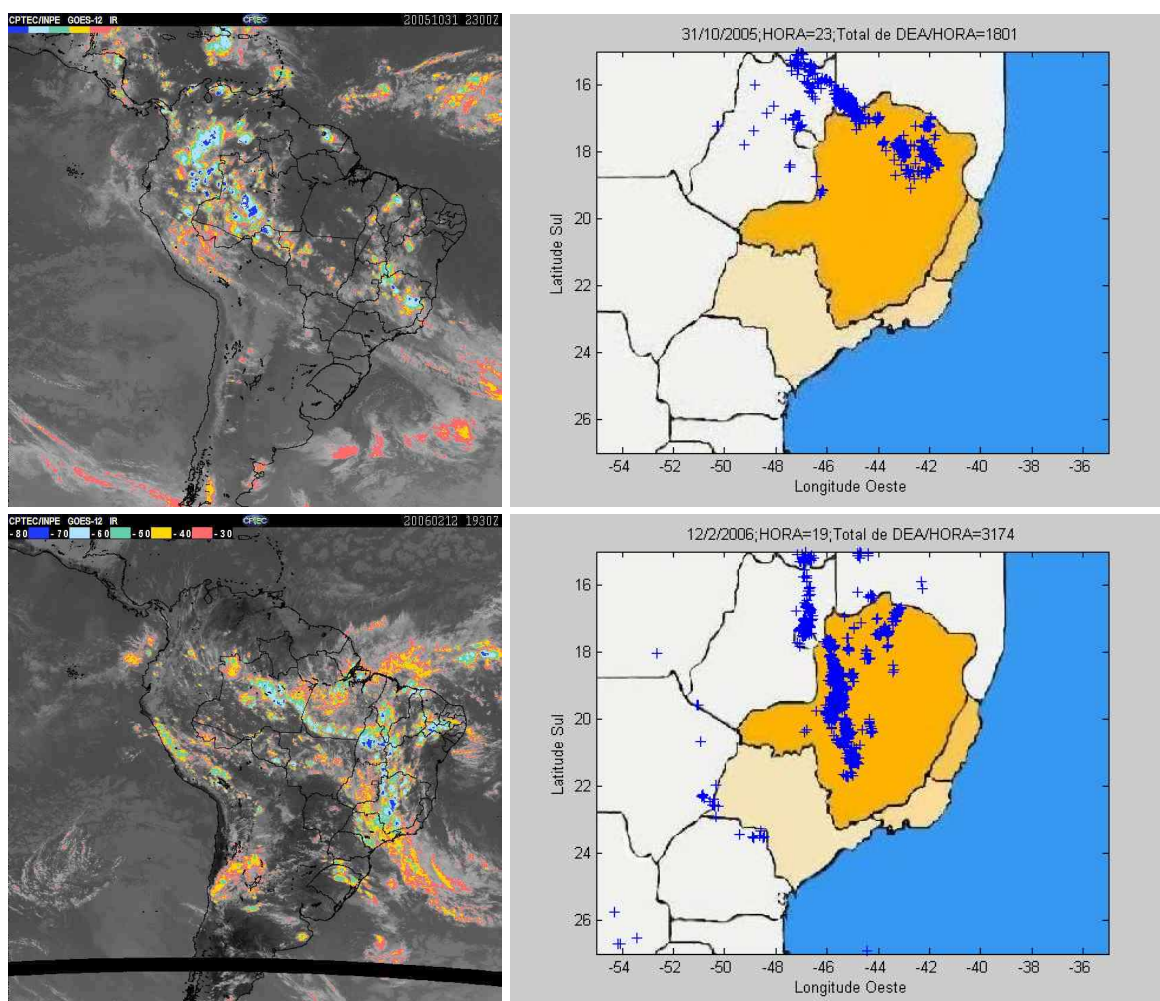


Figura 22 – Exemplos de três dias em que foram observadas descargas elétricas atmosféricas em número igual ou superior a 1000DEA/h na região de estudo.

(continua)

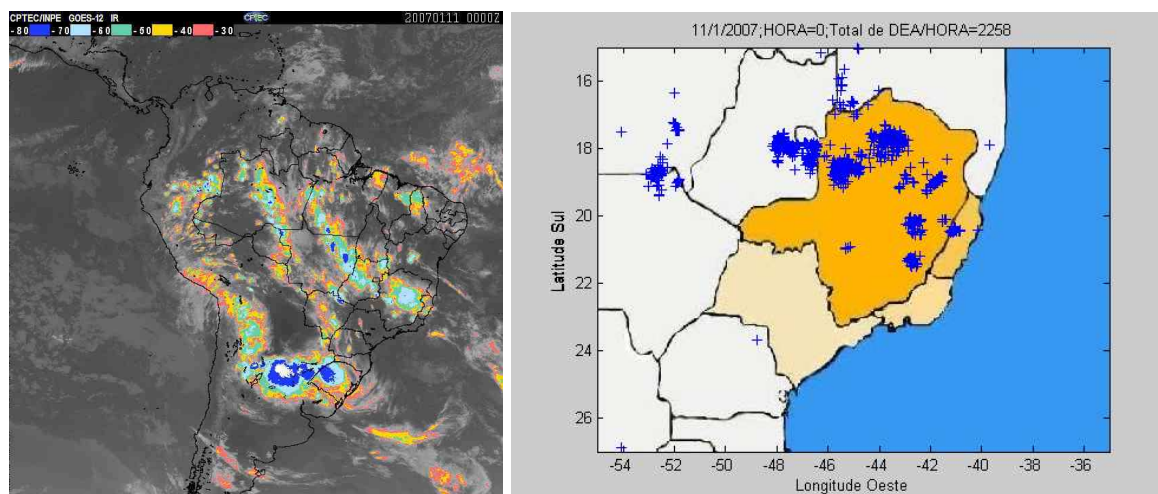


Figura 22 – Exemplos de três dias em que foram observadas descargas elétricas atmosféricas em número igual ou superior a 1000DEA/h na região de estudo.

Ao todo, foram contabilizados 565 dias, nos seis anos analisados, em que foram detectadas, no mínimo, 1000DEA no intervalo de uma hora na região de estudo (as datas estão indicadas no Apêndice). Destes 565604 dias, cuja distribuição por mês e por ano está mostrada na tab. 1, em 15 dias as descargas detectadas foram iguais ou superiores a 5000DEA/h (número entre parênteses na referida tab.1). Ainda, observa-se que o número de dias com DEA com, no mínimo, 1000DEA/h foi maior nos meses de janeiro, março e dezembro, em relação aos outros meses do ano.

Tabela 1 – Quantidade de dias, por mês de cada ano, em que foram observadas pelo menos 1000DEA/h(5000DEA/h) na região de estudo.

	jan	fev	Mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2002	1		17	2	7								27
2003	19(2)	13	3	6					1	5	19	23	89
2004	16	16	17	12	5	2				10	16	29	123
2005	25(2)	15	11	7	4	2			13(1)	12(2)	6	10	105
2006	18(2)	22(4)	14(1)			1	1		7	19	11	17	110
2007	23	12	17	11			5		4	12	19(1)	8	111
total	102	78	79	38	16	5	6		25	58	71	87	565

A continuação das análises sobre a ocorrência das DEA requereu a realização de uma triagem relativamente às situações meteorológicas associadas às ocorrências das DEA detectadas na região de estudo.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA QUANTIDADE DE DEA DETECTADAS EM SCM ISOLADOS

Nesta etapa procurou-se identificar, dentre os dias dispostos na tab.1, aqueles em que foram observados casos de SCM na região de estudo ocorridos preferencialmente de maneira isolada, ou seja, em condições meteorológicas com forçantes de grande escala não intensas. Esta situação meteorológica não foi muito comum na região sudeste durante o período analisado (ver item 4.1 para detalhes). A Fig. 23 mostra dois exemplos de situações em que, apesar da observação de aglomerados convectivos na região sudeste, estes não ocorreram de maneira isolada. Na Fig. 23a nota-se a ocorrência de aglomerados na região sudeste, mas existe um ciclone extratropical no Oceano Atlântico interagindo com as referidas áreas instáveis. A Fig. 23b mostra um exemplo de aglomerados na região sudeste em associação ao fenômeno ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). Em casos como estes, as condições meteorológicas de grande escala são muito complexas, não seguindo os critérios estabelecidos previamente para a seleção dos casos para estudo.

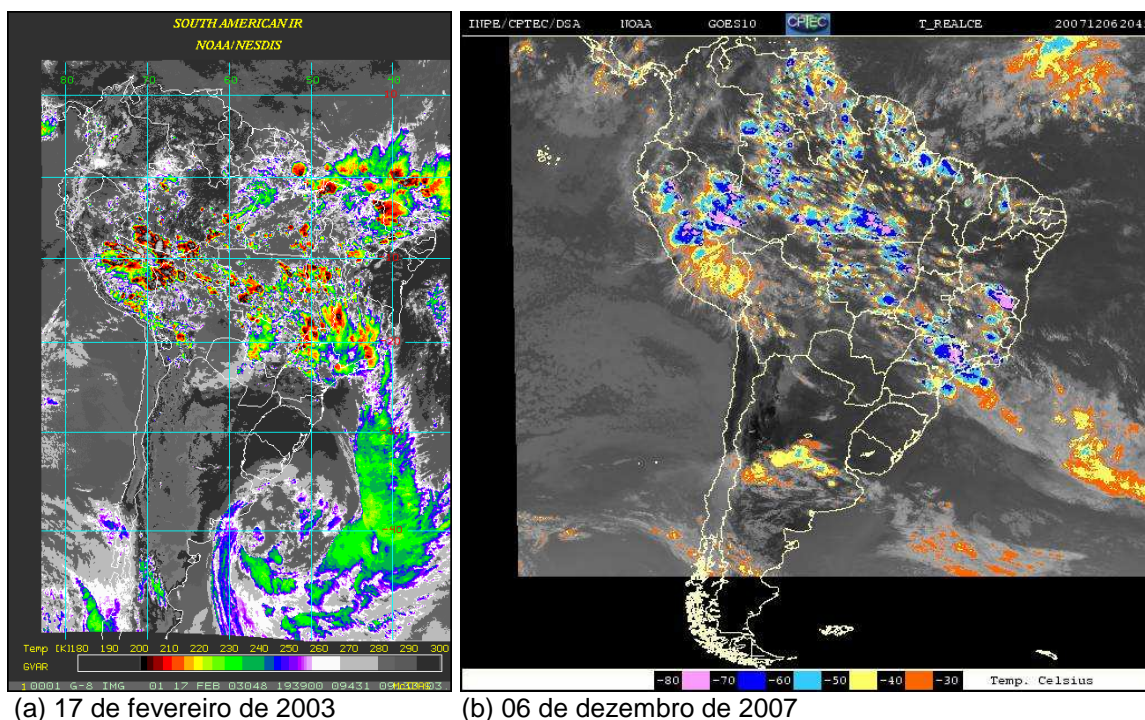


Figura 23 – Exemplos de condições meteorológicas de grande escala complexas com a ocorrência de aglomerados convectivos na região sudeste.

Outro fator que coibiu análises posteriores envolvendo a observação dos casos de estudo com as DEA, esteve relacionado com situações em que ocorreram falhas nas imagens de satélite. A Fig.24 mostra dois exemplos em que partes das imagens aparecem sem sinal, impedindo totalmente uma avaliação adequada.

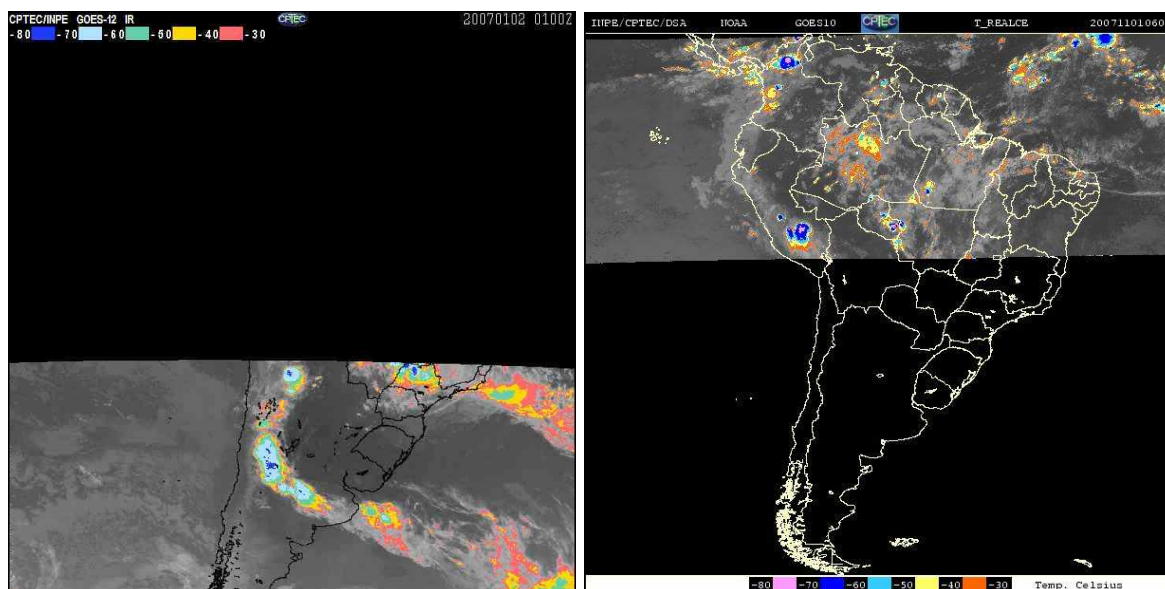


Figura 24 – Exemplos de falhas nas imagens de satélite utilizadas que impediram uma avaliação continuada dos casos de interesse.

Procedendo a seleção dos dias de interesse de maneira bastante criteriosa, foram identificados 25 casos de estudo distribuídos em 33 dias dos anos 2003, 2005 (a partir de outubro, por limitações nas imagens de satélite), 2006 e 2007. A tab.2 mostra as datas de observação destes casos, com a indicação dos horários de início e de término de acompanhamento nas imagens de satélite, número máximo de DEA detectadas durante o período de acompanhamento e número total de DEA detectadas. Nesta etapa do trabalho, a quantidade de DEA foi contabilizada considerando 15 minutos antes e 15 minutos depois do horário (central) das imagens de satélite analisadas, ao invés da soma horária (como anteriormente).

Tabela 2 – Casos de estudo selecionados em 2003, 2005 (a partir de outubro), 2006 e 2007 a partir dos dados mostrados na tab.1. Os horários de início e de término estão em UTC (Coordenada de Tempo Universal).

<b>2003</b>				
	Início	término	DEA max	DEA total
Janeiro	10/14:39	11/09:39	4.820	67.681
Fevereiro	04/02:39	04/08:09	1.209	4.783
Dezembro	09/01:09	09/11:45	1.340	9.824
	21/01:09	21/07:09	1.871	3.579
<b>2005</b>				
Outubro	29/20:30	30/02:30	1.209	7.819
	31/20:00			
Novembro		01/05:00	1.203	10.430
	02/01:00	02/11:00	1.019	7.815
<b>2006</b>				
Janeiro	18/04:00	18/10:30	1.992	14.229
Outubro	01/22:00	02/09:30	1.176	11.754
	06/19:30	07/12:00	1.875	23.835
	28/00:00	28/11:30	1.595	14.521
Dezembro	15/02:00	15/11:00	1.150	5.557
	20/01:00	20/12:00	1.297	11.344
<b>2007</b>				
Janeiro	19/01:00	19/04:30	1.725	5.737
	19/21:30	20/22:00	1.941	38.333
Fevereiro	07/02:30	07/10:00	1.661	12.614
Julho	16/01:15	16/17:15	1.966	59.661
Outubro	01/18:00	02/09:00	1.176	11.741
	18/17:00	19/07:15	2.362	36.970
	21/13:00	21/23:00	1.861	46.791
	28/01:15	28/05:45	1.210	6.360
	30/00:15	30/06:00	2.289	25.613
Novembro	03/21:15	04/02:15	2.307	30.940
	04/01:30	04/06:00	1555	15.969
	10/22:30	11/07:00	1.303	23.572

Para o período de acompanhamento dos casos listados na tab.2, na Fig. 25 são mostrados os histogramas com a distribuição das DEA na região de estudo. No cabeçalho das figuras e no eixo das abscissas está indicada a quantidade de imagens de satélite disponíveis para o acompanhamento de cada caso. No eixo das ordenadas, está indicada a quantidade de DEA computadas. As descargas negativas e positivas estão representadas pelas barras azuis e vermelhas, respectivamente, nas figuras de cada caso. De maneira geral, observa-se que existiu uma predominância de ocorrência de DEA negativas durante quase todo o período de acompanhamento dos casos na região de estudo. Resultado semelhante

foi encontrado por Pinto Jr. et al (1996). Neste trabalho foram analisadas 294.736 descargas elétricas atmosféricas, sendo que 63.4% eram do tipo nuvem-solo negativas. As exceções são referentes ao dia 15/12/2006 e alguns horários dos dias 19 e 20/01/2007 e 10 e 11/11/2007. Holle et al (1994), Watson et al (1994), MacGorman e Burges (1994) comentam que a quantidade de descargas negativas supera as positivas quando as precipitações são predominantemente de água líquida. O contrário, segundo os mesmos autores, ocorre em condições de formação de supercélula, quando existe muita precipitação na forma de granizo. Na fase de dissipação dos sistemas, MacGorman e Burges (1994) encontraram que as DEA tornam-se predominantemente positivas, como observado nos dias 1-2/10/2006, 20/12/2006, 19-20/01/2007 e 1-2 /10/2007. Entretanto, nos dias 9/12/2003, 21/12/2003, 31/11-01/11/2005, 2/11/2005, 6-7/10/2006, 28/10/2006 e 18-19/10/2007, houve predominância de DEA negativas perto da dissipação dos sistemas. Este aspecto é muito interessante na medida em que revela características diferentes das descargas associadas aos casos observados na região de estudo. Pinto Jr. et al (2003) indicam a possibilidade dos sensores serem contaminados por descargas intra-nuvens (que têm picos de correntes menores que 15kA). Desta forma, os sensores poderiam contabilizar descargas intra-nuvem como sendo do tipo nuvem-solo. Entretanto, tendo em vista que a investigação da polaridade das descargas detectadas não faz parte dos objetivos do presente estudo, estes resultados não serão analisados em detalhes.

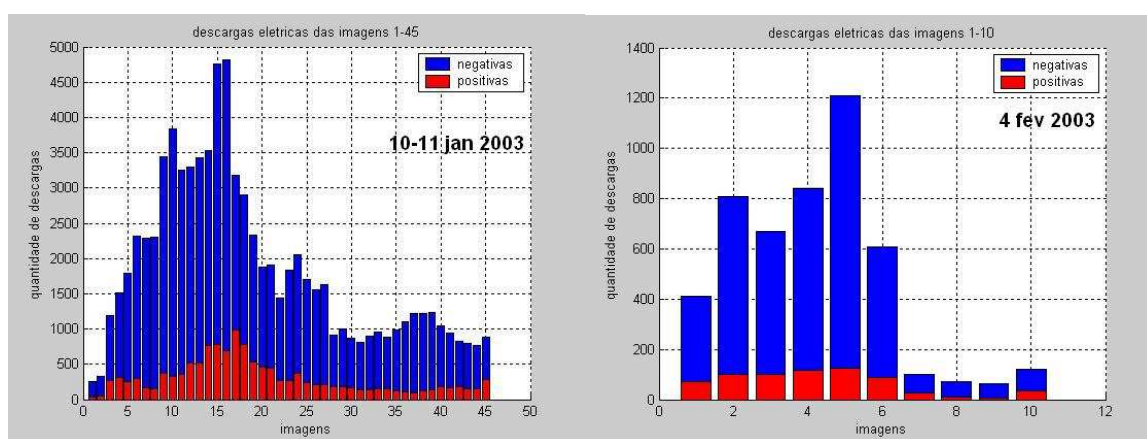


Figura 25 – Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas.

(continua)



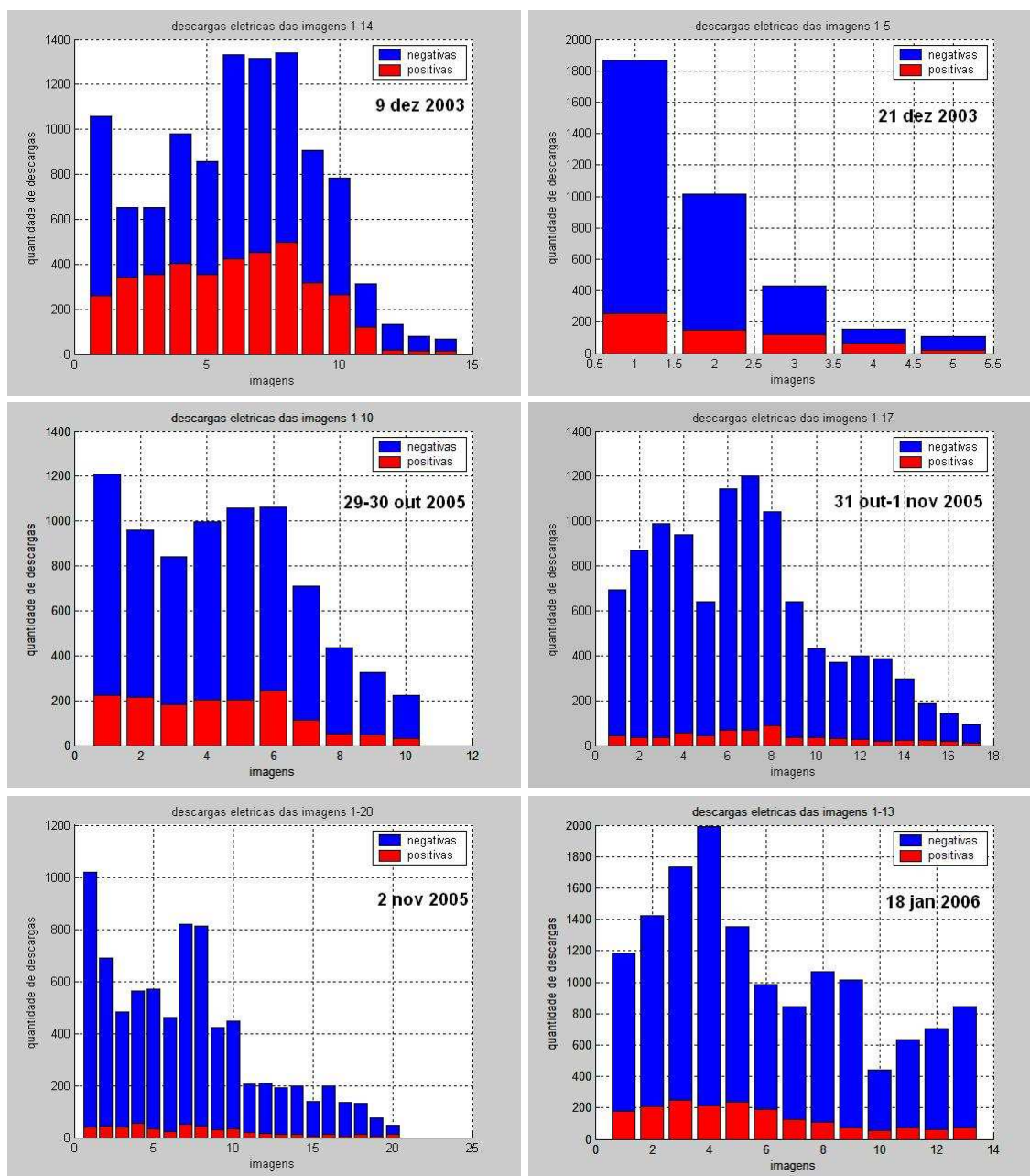


Figura 25 – Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas.

(continua)

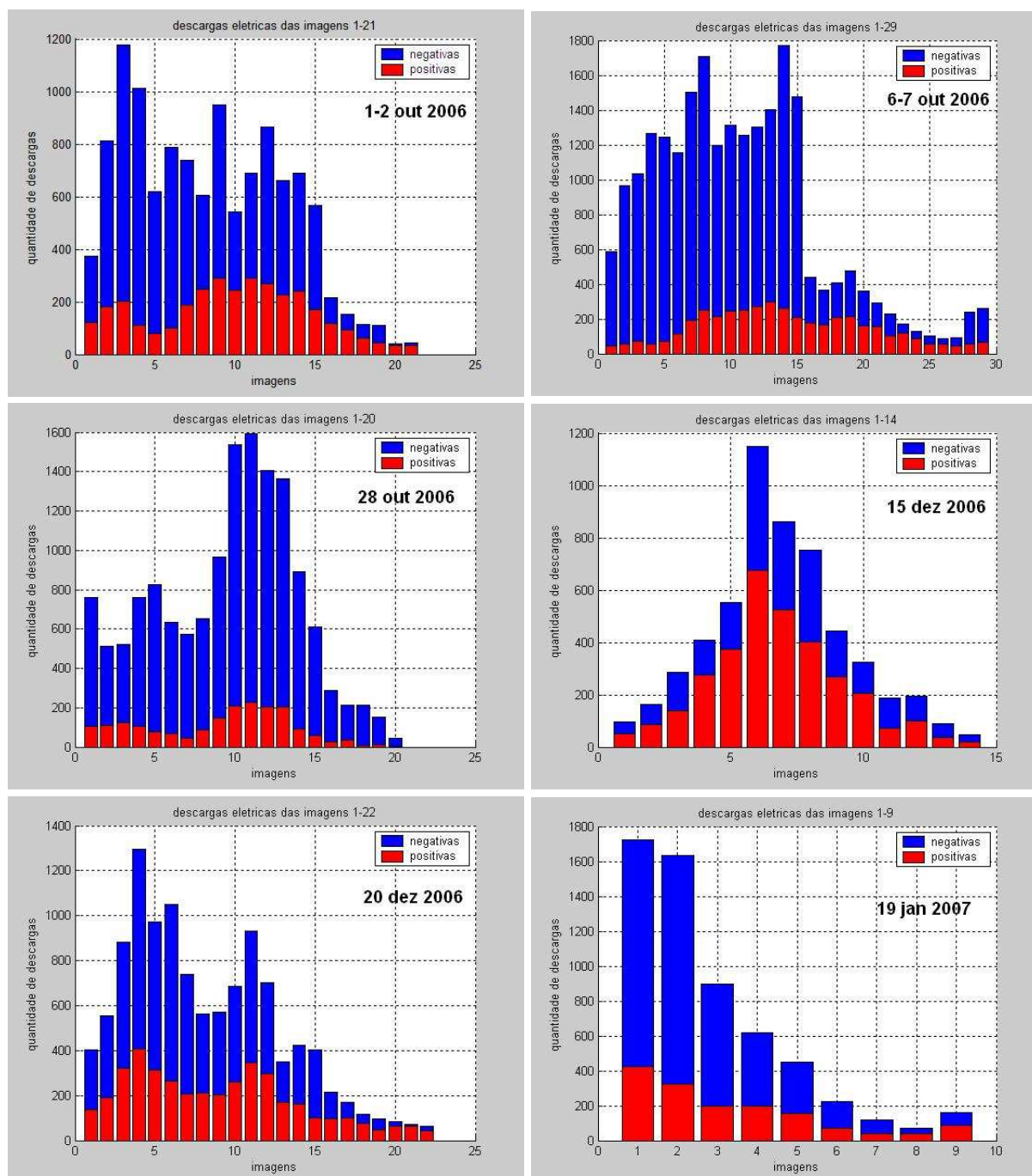


Figura 25 – Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas.

(continua)

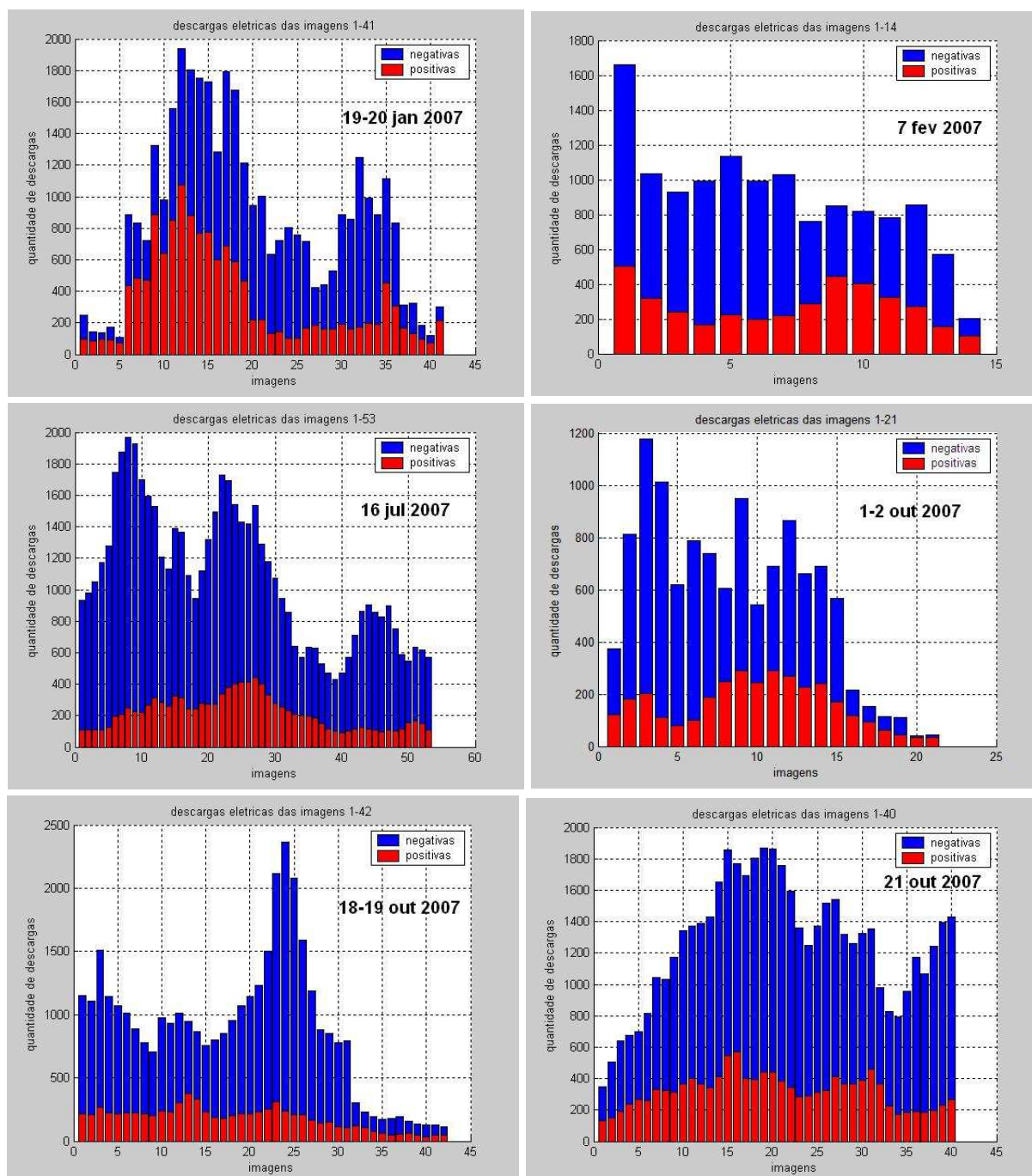


Figura 25 – Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas.

(continua)

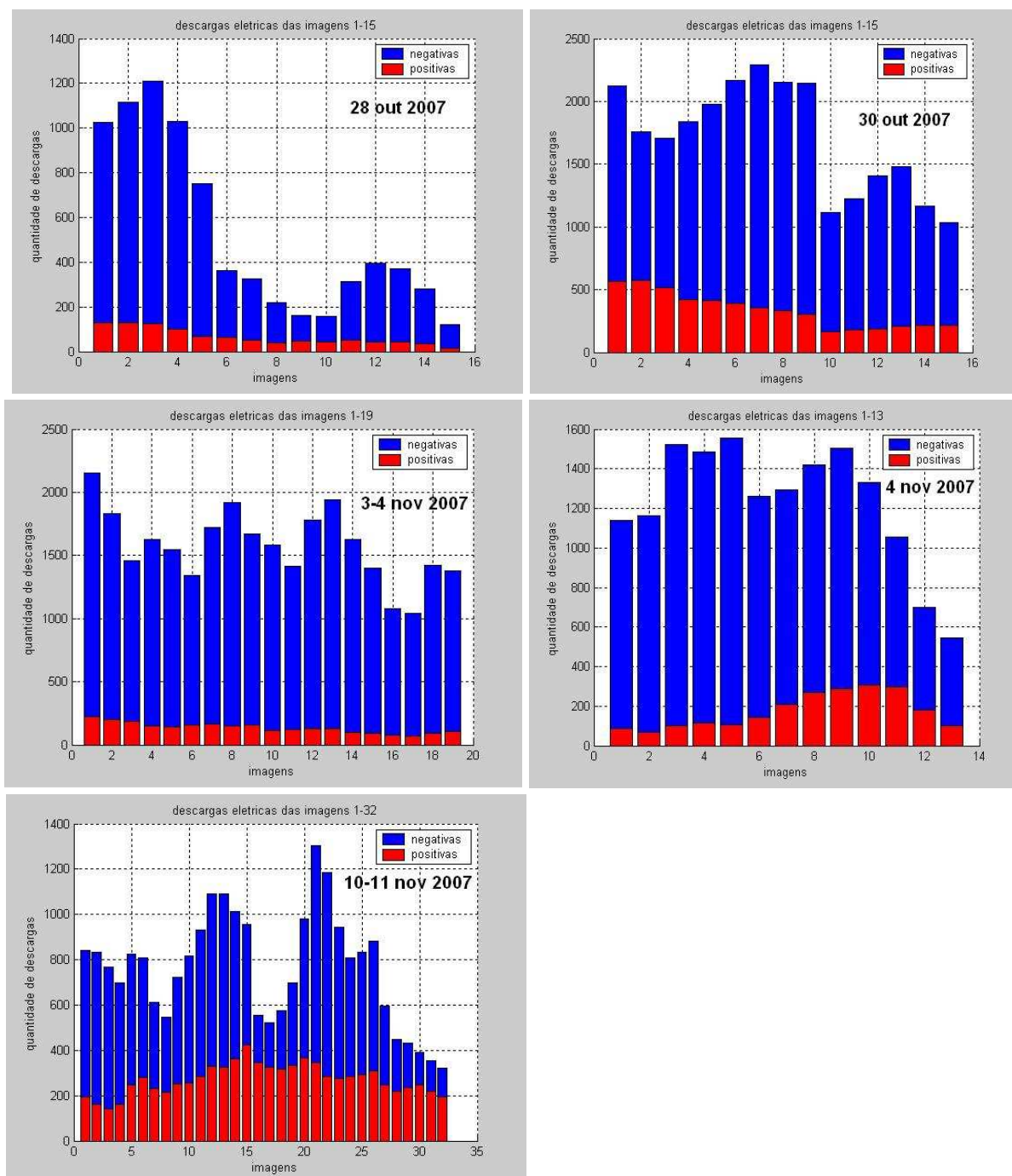


Figura 25 – Histogramas que mostram o número de DEA, positivas e negativas durante o intervalo de 15 minutos antes e depois do horário de cada imagem de satélite, para cada caso listado na tab. 2. As barras azuis indicam a quantidade de DEA negativas e as barras vermelhas indicam a de DEA positivas.

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

Foi dito anteriormente que as descargas apresentadas na Fig. 25 são relativas ao total de DEA detectadas na área de estudo, durante o período de acompanhamento dos casos de SCM selecionados. Entretanto, como estes

deveriam ocorrer de maneira isolada, à distribuição espacial das DEA na área de estudo foi aquela associada aos casos selecionados. Abaixo são mostrados 5 casos em que este aspecto é mostrado muito claramente. Eles foram selecionados porque exemplificam muito bem algumas particularidades encontradas, quando da análise caso a caso.

Considerando a região com eficiência de detecção superior a 90%, as descargas elétricas detectadas nos casos analisados a seguir estiveram localizadas na região onde se encontravam as nuvens mais convectivas dos sistemas, caracterizadas pelas temperaturas de topos mais negativas (as escalas de cores das imagens de satélite mostradas nas figuras abaixo podem ser encontradas na seção Material e Métodos). Ainda, cada figura tem no seu cabeçalho as seguintes informações: número da imagem analisada, o dia, a hora, o total de DEA detectadas na área de estudo, bem como a quantidade de DEA positivas e negativas. Em algumas imagens nota-se um retângulo, na cor verde, que delimita uma área menor dentro da região de estudo. Este retângulo foi definido na contagem das DEA localizadas exclusivamente dentro da área definida pelo mesmo. Nestas situações, o número de DEA dentro dos retângulos foi indicado no cabeçalho das figuras seguido pelas coordenadas geográficas do mesmo, entre colchetes. Estas explicações são válidas para os cinco tipos de casos de estudo, mostrados abaixo.

#### **4.4.1 TIPO 1: SCM CIRCULAR COM INTENSA ATIVIDADE CONVECTIVA**

A Fig.26 mostra segmentos de imagens de satélite com a sobreposição das descargas elétricas (indicadas pelas cruzes vermelhas, na figura) detectadas durante o período entre 02:00UTC e 11:00UTC do dia 15/12/2006. Para este caso, foram analisadas 14 imagens de satélite. O sistema em questão teve sua formação no estado do Mato Grosso do Sul (Fig.26a). Duas horas após o seu início (Fig.26b), as DEA detectadas em associação a este sistema aumentaram muito rapidamente. Às 05:30UTC, a quantidade total de DEA detectadas devido a este sistema atingiu o valor de 1.096, do total de 1.150 DEA detectadas em toda a região de estudo, mostrado nas Fig.26c, d. Neste caso, a nebulosidade associada ao sistema apresentou formato circular. Em relação ao deslocamento deste sistema, nota-se que este permaneceu sobre a região leste do Mato Grosso do Sul durante todo o seu tempo de duração. Percebe-se ainda que as quantidades maiores de DEA

(Fig.26d,f) foram detectadas quando a convecção esteve mais intensa (Fig.26c,e) e não quando o sistema apresentou área maior (Fig.26g). Na fase de dissipação (Fig.26i) as poucas descargas que foram detectadas estavam localizadas perto dos pequenos núcleos convectivos remanescentes (Fig.26j).

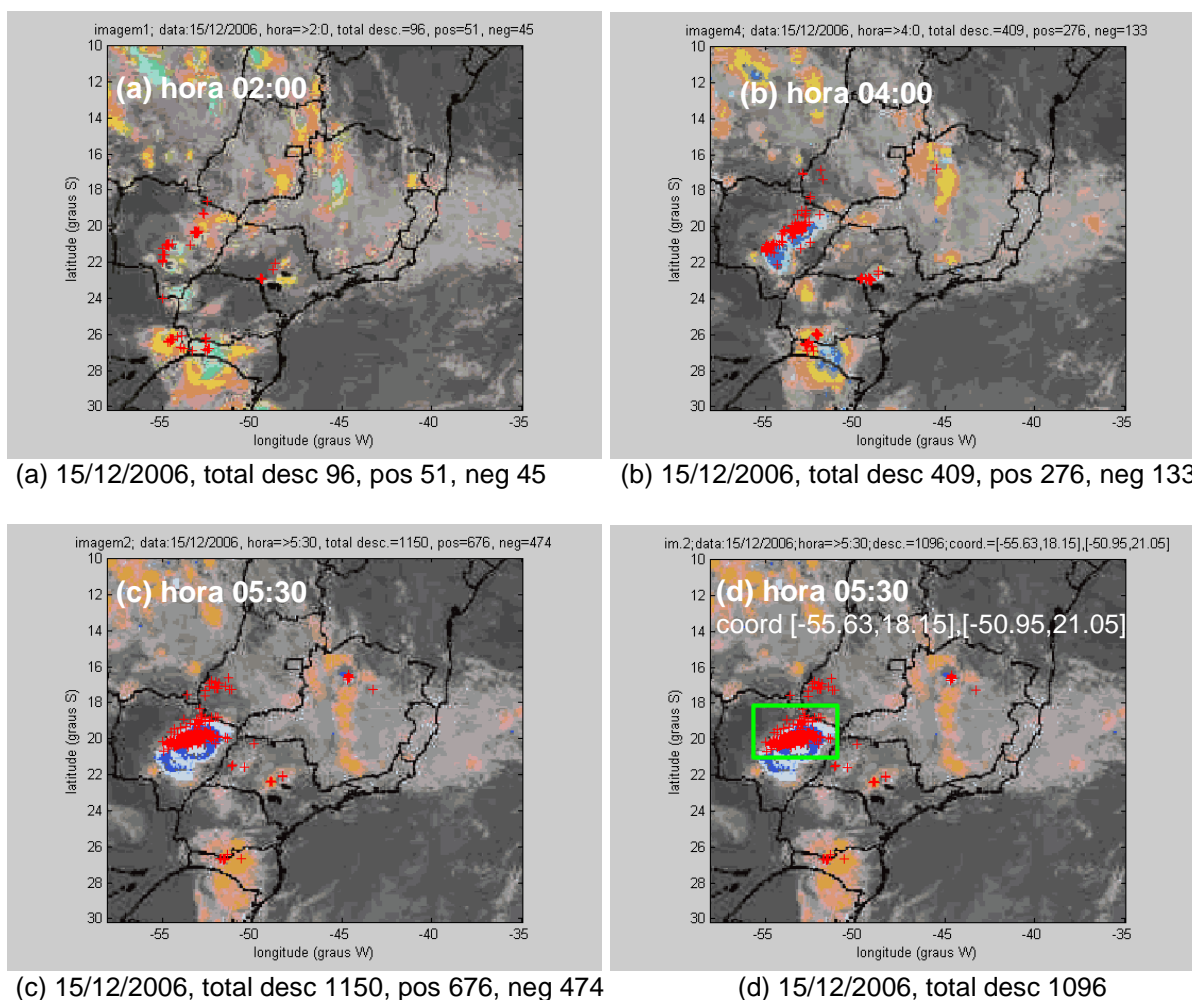


Figura 26 – Segmentos de imagens de satélite do dia 15 de dezembro de 2006. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

(continua)

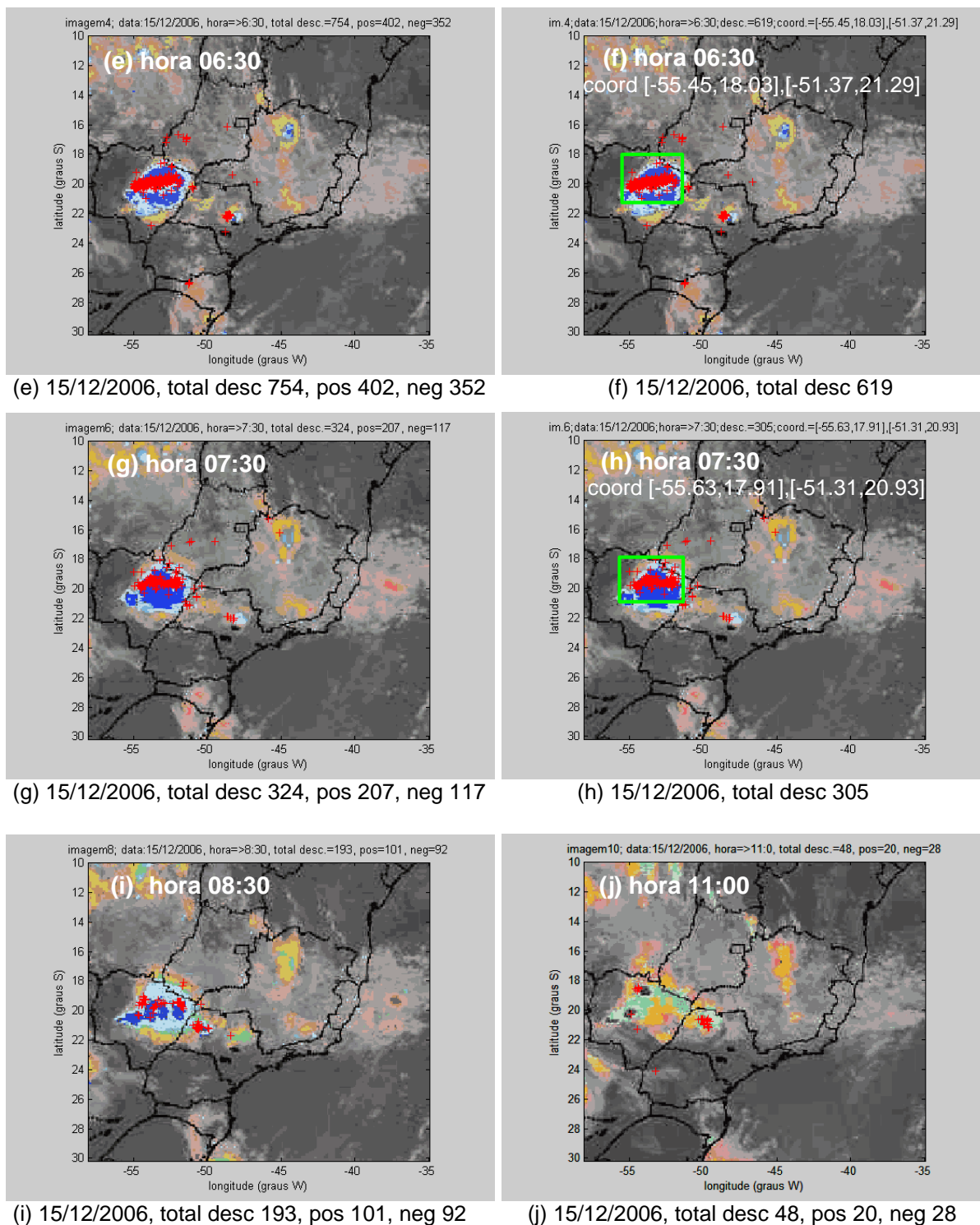


Figura 26 – Segmentos de imagens de satélite do dia 15 de dezembro de 2006. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

(continua)

#### 4.4.2 TIPO 2: SCM LINEAR

Neste exemplo de caso, infelizmente o início de seu acompanhamento foi prejudicado devido às falhas nas imagens de satélite, do tipo mostrado na Fig. 26. Sendo assim, o acompanhamento iniciou às 19:30UTC do dia 6 e seguiu até às 12:00UTC do dia 07 de outubro de 2006. Este sistema apresentou um formato mais linear, em relação ao sistema apresentado acima, com orientação NW-SE e se deslocou desde o noroeste do estado de São Paulo até o sudoeste do estado de Minas Gerais. Às 19:30UTC (Fig.27a) observam-se muitas nuvens convectivas concentradas no noroeste do estado de São Paulo. Posteriormente, à 01:00UTC (Fig.27b) estas nuvens se organizaram formando uma banda com dois núcleos distintos: um no sul do estado de Goiás e outro ao longo da fronteira entre os estados de São Paulo e Minas Gerais. Neste horário, o total de descargas detectadas na região de estudo foi de 1.409. Como não existiu outra região convectiva com descargas nesta figura, e nas seguintes, fica evidente que a distribuição das DEA detectadas neste caso foi devido à ocorrência deste sistema na região de estudo.



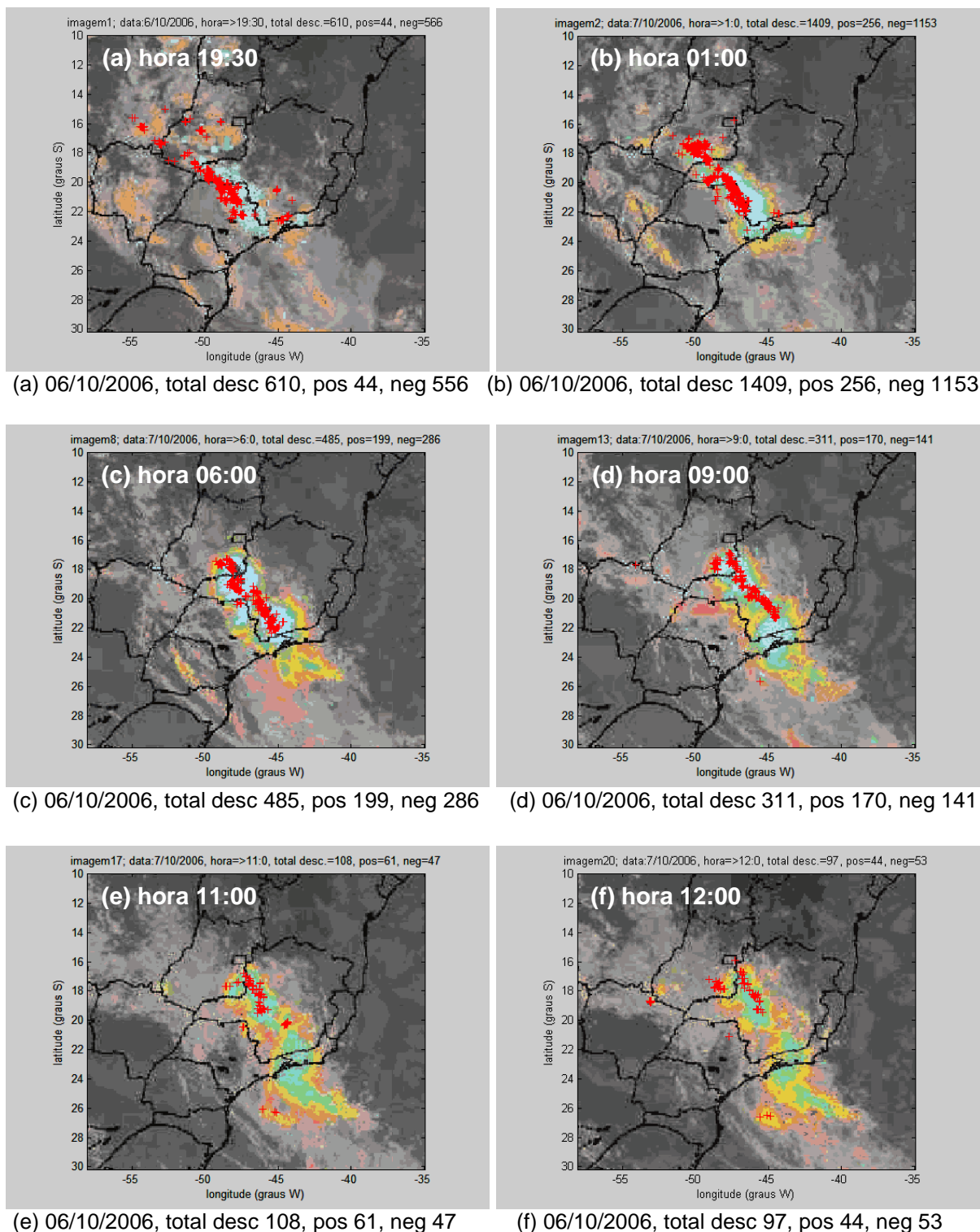


Figura 27 – Segmentos de imagens de satélite dos dias 6 e 7 de outubro de 2006. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

#### **4.4.3 TIPO 3: SCM CIRCULAR, FORMADO A PARTIR DE PEQUENOS AGLOMERADOS CONVECTIVOS**

Este caso foi acompanhado no dia 28 de outubro de 2006, entre 00:00UTC e 11:30UTC. Na sua fase inicial, estava inserido numa região onde pequenos aglomerados convectivos haviam se formado sobre os estados do Paraná e São Paulo (Fig.28a,b). A partir de 03:00UTC (Fig.28c), este sistema se destacou nas imagens de satélite, pois grande parte das nuvens dos aglomerados convectivos, presentes anteriormente, se dissiparam. Este sistema apresentou formato predominantemente circular, como o ocorrido no dia 15 de dezembro de 2006, mas sua atividade convectiva não foi tão intensa quanto a observada no referido caso, e sua área também foi menor. No horário das 03:00UTC (Fig.28c), foram detectadas 682 descargas na região de estudo, sendo que este sistema esteve associado com 659 descargas (Fig.28d). À medida que o sistema evoluiu, se deslocou em direção nordeste até atingir a divisa entre os estados de São Paulo e de Minas Gerais, provocando 678 descargas, das 700 detectadas na região de estudo (Fig.28e,f). Na continuação, este sistema adentrou no estado de Minas Gerais onde atingiu o estágio de maturação, provocando 1.283 descargas (Fig.28h) das 1.488 descargas detectadas na região de estudo (Fig.28g). Quando o sistema entrou em dissipação, a quantidade de descargas diminuiu rapidamente, porque duas horas após o estágio de maturação, este sistema provocou apenas 241 descargas (Fig.28j), dentre as 304 detectadas. Durante todo o tempo de acompanhamento deste caso, em algum momento estiveram presentes outros pequenos núcleos convectivos na região de estudo (sobre o Oceano Atlântico, no sul dos estados de Goiás ou do Mato Grosso) cujas DEA associadas foram em número muito inferior às devido ao sistema em estudo.

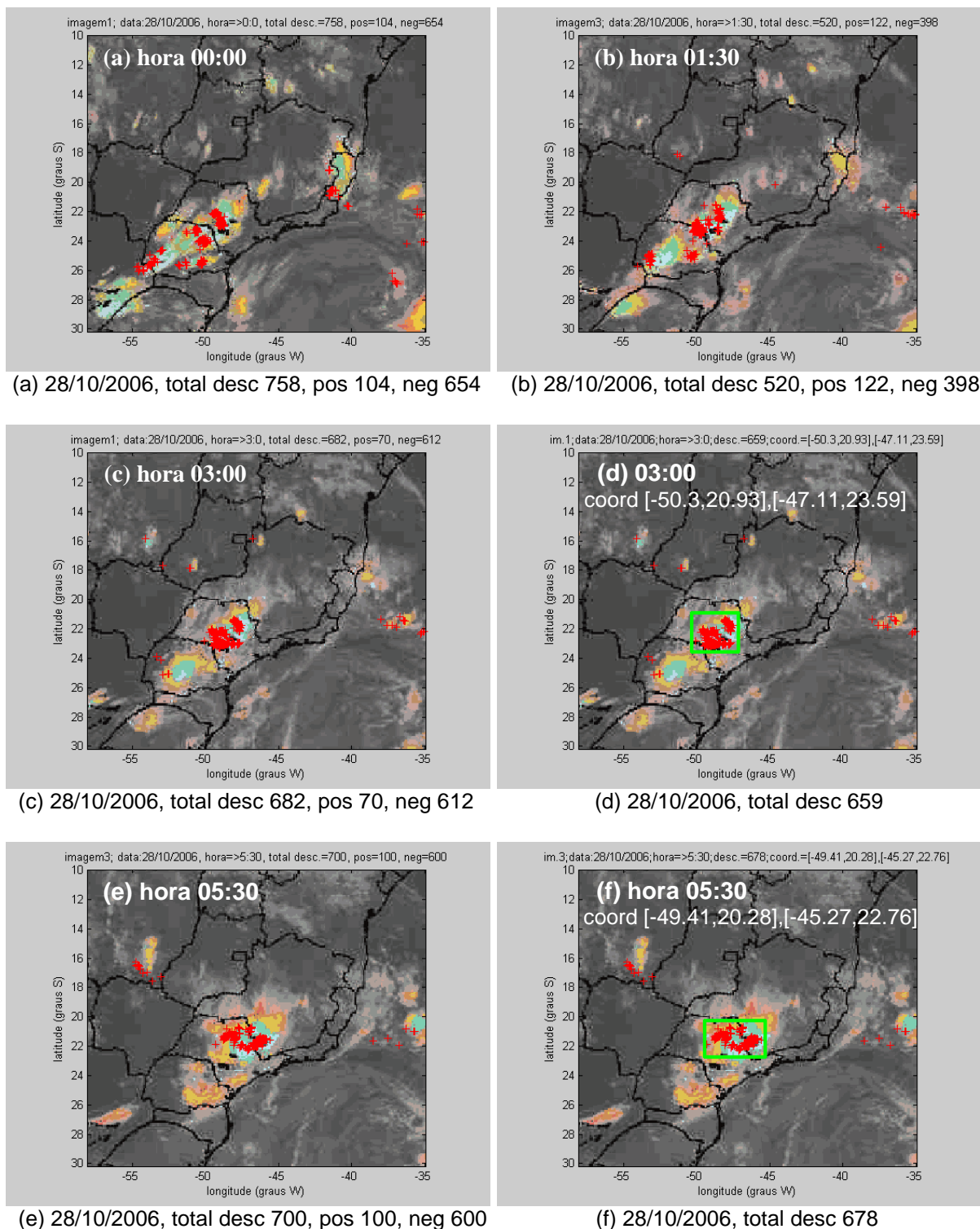
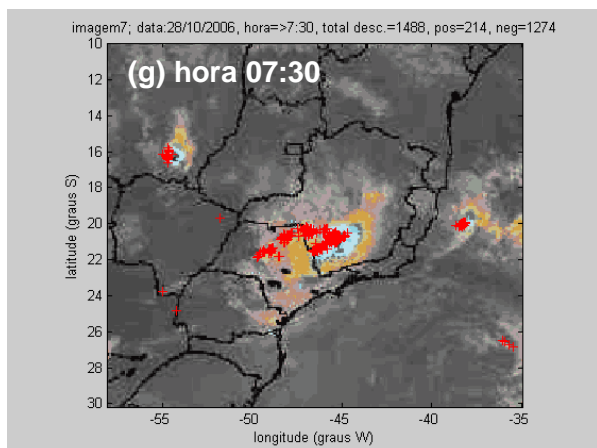
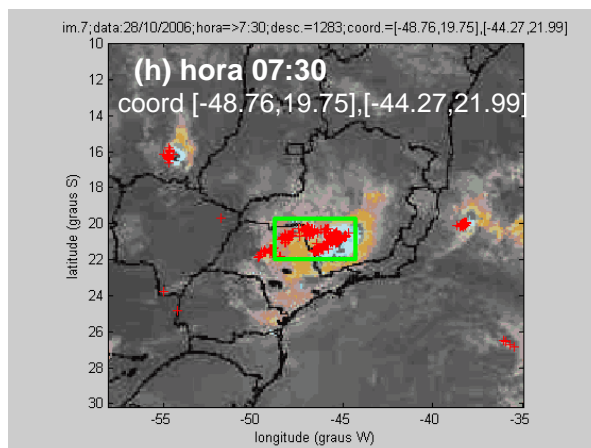


Figura 28 – Segmentos de imagens de satélite do dia 28 de outubro de 2006. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

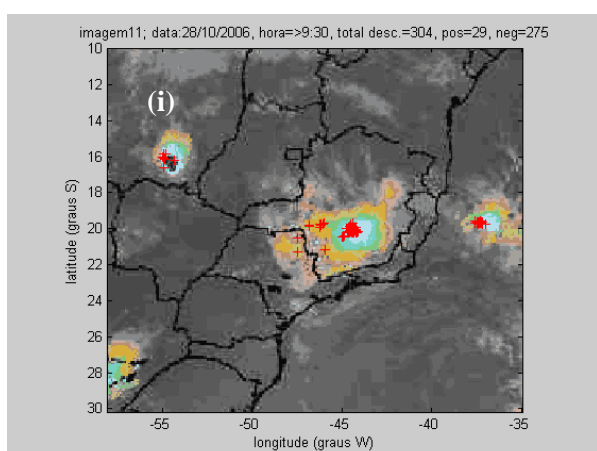
(continua)



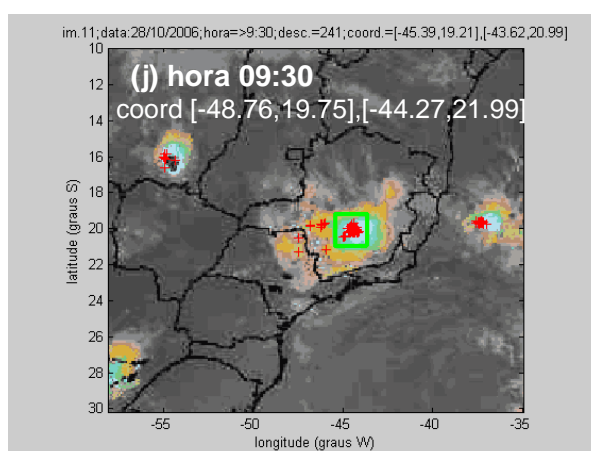
(g) 28/10/2006, total desc 1488, pos 214, neg 1274



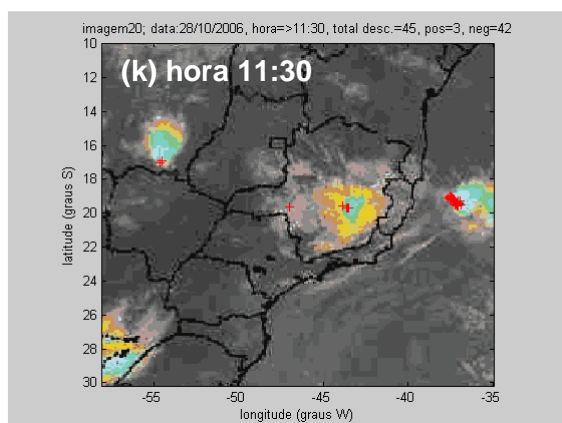
(h) 28/10/2006, total desc 1283



(i) 28/10/2006, total desc 304, pos 29, neg 275



(j) 28/10/2006, total desc 241



(k) 28/10/2006, total desc 45, pos 3, neg 42

Figura 28 – Segmentos de imagens de satélite do dia 28 de outubro de 2006. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

#### 4.4.4 TIPO 4: FORMAÇÃO DE VÁRIOS **SCM** NA REGIÃO DE ESTUDO

Este caso exemplifica situações em que, além do sistema de interesse, foram observados outros sistemas convectivos na região de estudo. Nestas situações, foram consultadas as páginas de internet do INMET e do CPTEC/INPE para estar assegurada a ocorrência dos casos de interesse nas condições meteorológicas estabelecidas de seleção.

No dia 18, às 17:00UTC (Fig.29a) e 19:30UTC (Fig.29b), muitas nuvens foram observadas na região de estudo. Enquanto a maioria destas nuvens se dissipou nas horas seguintes, o sistema deste caso foi um dos poucos que se desenvolveu, provocando mais da metade das 802 descargas detectadas na região de estudo (Fig.29c,d). Este sistema, também aproximadamente circular, apresentou deslocamento em direção à costa, atingindo o estado do Rio de Janeiro perto de sua dissipação. À medida que o sistema foi se desenvolvendo, tornando-se cada vez mais intenso e com mais descargas, os aglomerados convectivos à sua volta foram se dissipando (Fig.29e,f,g,i). A quantidade de DEA associadas a este caso, analogamente ao observado nos casos discutidos anteriormente, aumentou com o aumento da intensidade convectiva do sistema, após o que sua área aumentou e a quantidade de DEA diminuiu (Fig.29h,j). A Fig.29k,l mostra a fase de dissipação deste sistema.

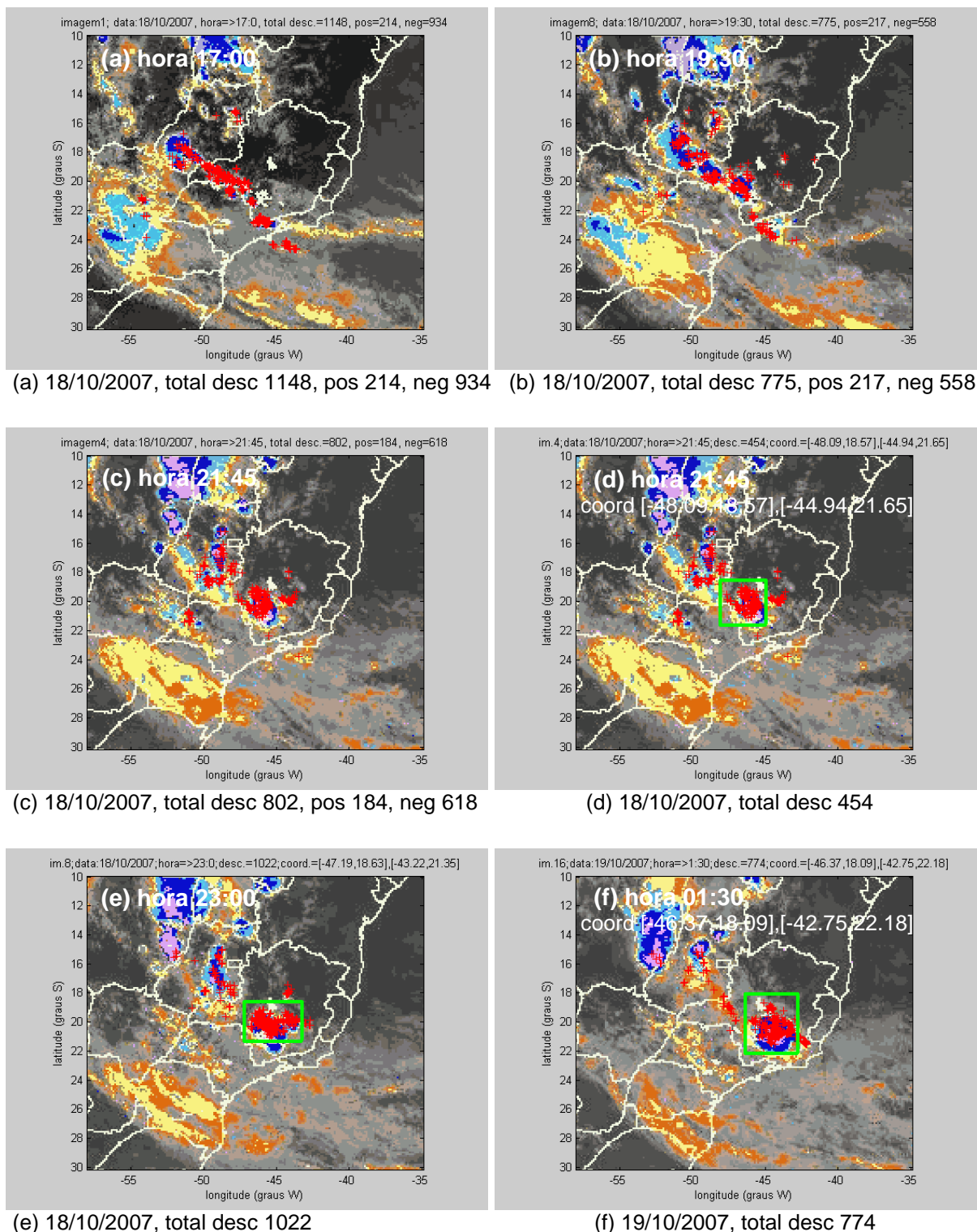


Figura 29 – Segmentos de imagens de satélite dos dias 18 e 19 de outubro de 2007. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

(continua)

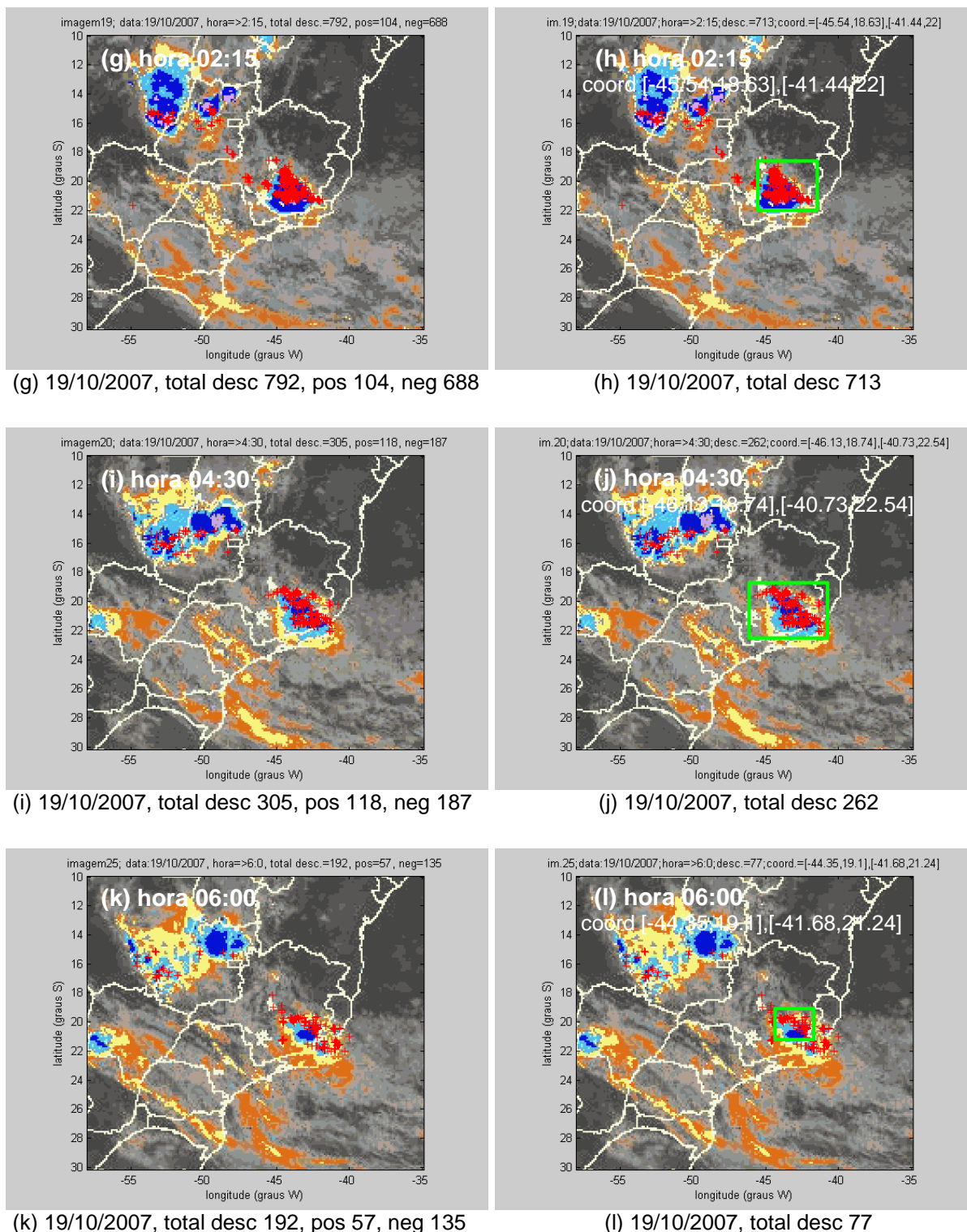


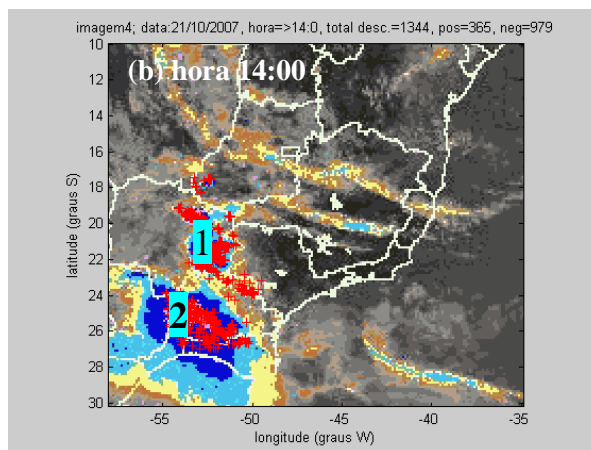
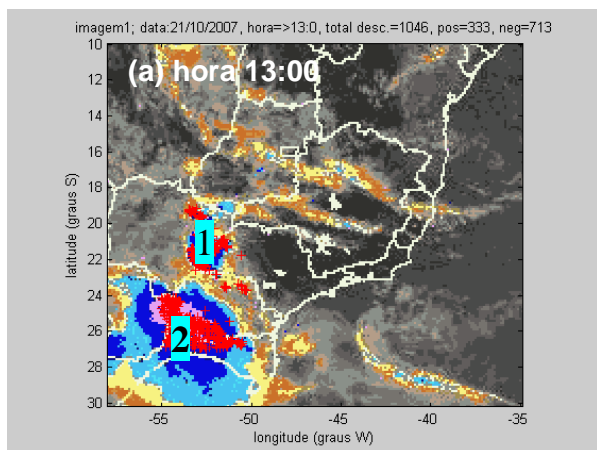
Figura 29 – Segmentos de imagens de satélite dos dias 18 e 19 de outubro de 2007. As cruces em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre o período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite. Os retângulos em verde envolvem regiões convectivas, dentro das quais as DEA foram totalizadas separadamente do restante da região.

#### 4.4.5 TIPO 5: SCM COM FORMAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL QUE ADENTROU NA REGIÃO SUDESTE

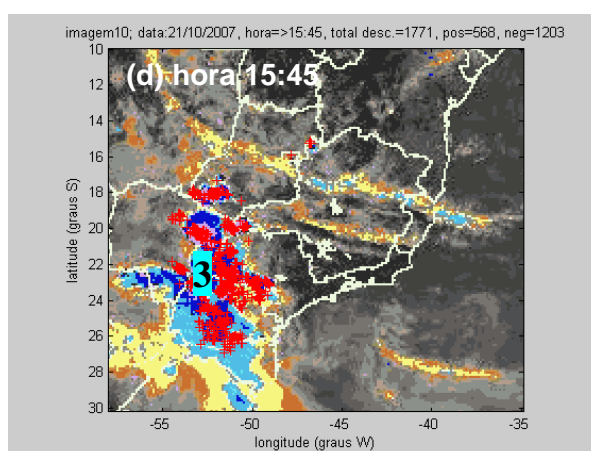
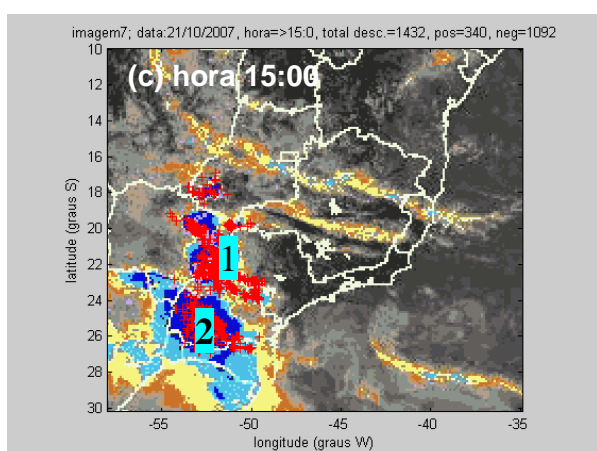
Este caso exemplifica aqueles em que os sistemas selecionados tiveram sua origem na região sul e se deslocaram para latitudes mais baixas, adentrando na região sudeste onde se dissiparam. Este sistema apresentou uma particularidade adicional, relativa à fusão de dois sistemas convectivos, identificados pelos números 1 e 2 nas Fig.30a,b,c. O SCM1 se formou no leste do estado do Mato Grosso do Sul e o SCM2 se formou no norte da Argentina, próximo de 01:00UTC do dia 21 de outubro (figura não mostrada). Estes SCM estão indicados nas Fig.30a,b,c com os números 1 e 2, hachurados em azul claro. A fusão destes dois sistemas ocorreu em torno das 15:45UTC (Fig.30d), sobre os estados do Paraná e São Paulo, indicado pelo número 3, também hachurado em azul claro. As imagens de satélite da Fig.31 mostram claramente que, no Brasil, os aglomerados de nuvens convectivas estavam concentrados unicamente nas regiões sul e sudeste. No restante do país não houve outra formação de nuvens convectivas, com exceção de algumas na região norte. Desta forma, apesar deste caso de estudo resultar da fusão de dois sistemas, o critério de ocorrência de forma isolada na região de estudo está plenamente satisfeito.

Após a fusão, a área do sistema resultante se expandiu (Fig.30e,f,g,h) e os núcleos internos se espalharam, distanciando-se uns dos outros. A quantidade de descargas detectadas na região de estudo foi associada ao sistema resultante. Isto porque os núcleos que apareceram no leste do estado de Goiás e norte do estado de Minas Gerais (Fig.30e,f) foram muito menores e pouco intensos relativamente aos núcleos do SCM3. Os núcleos internos do SCM3 atingiram temperaturas dos topos das nuvens de  $-70^{\circ}\text{C}$  nestas figuras. O máximo de descargas detectadas ocorreu perto das 17:00UTC (Fig,30e). As Fig.30i,j mostram a dissipação deste caso de estudo.

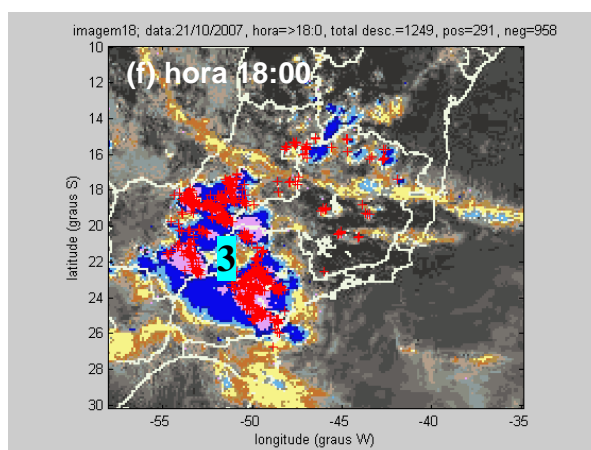
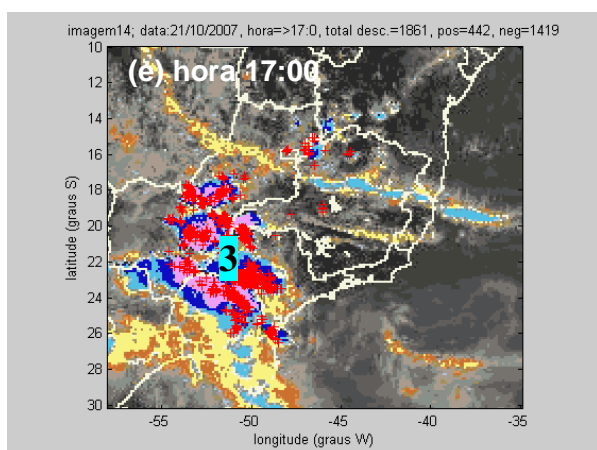




(a) 21/10/2007, total desc 1046, pos 333, neg 713 (b) 21/10/2007, total desc 1344, pos 365, neg 979



(c) 21/10/2007 total desc 1432, pos 340, neg 1092 (d) 21/10/2007 total desc 1771, pos 568, neg 1203



(e) 21/10/2007 total desc 1861, pos 442, neg 1419 (f) 21/10/2007, total desc 1249, pos 291, neg 958

Figura 30 – Segmentos de imagens de satélite do dia 21 de outubro de 2007. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre um período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite.

(continua)

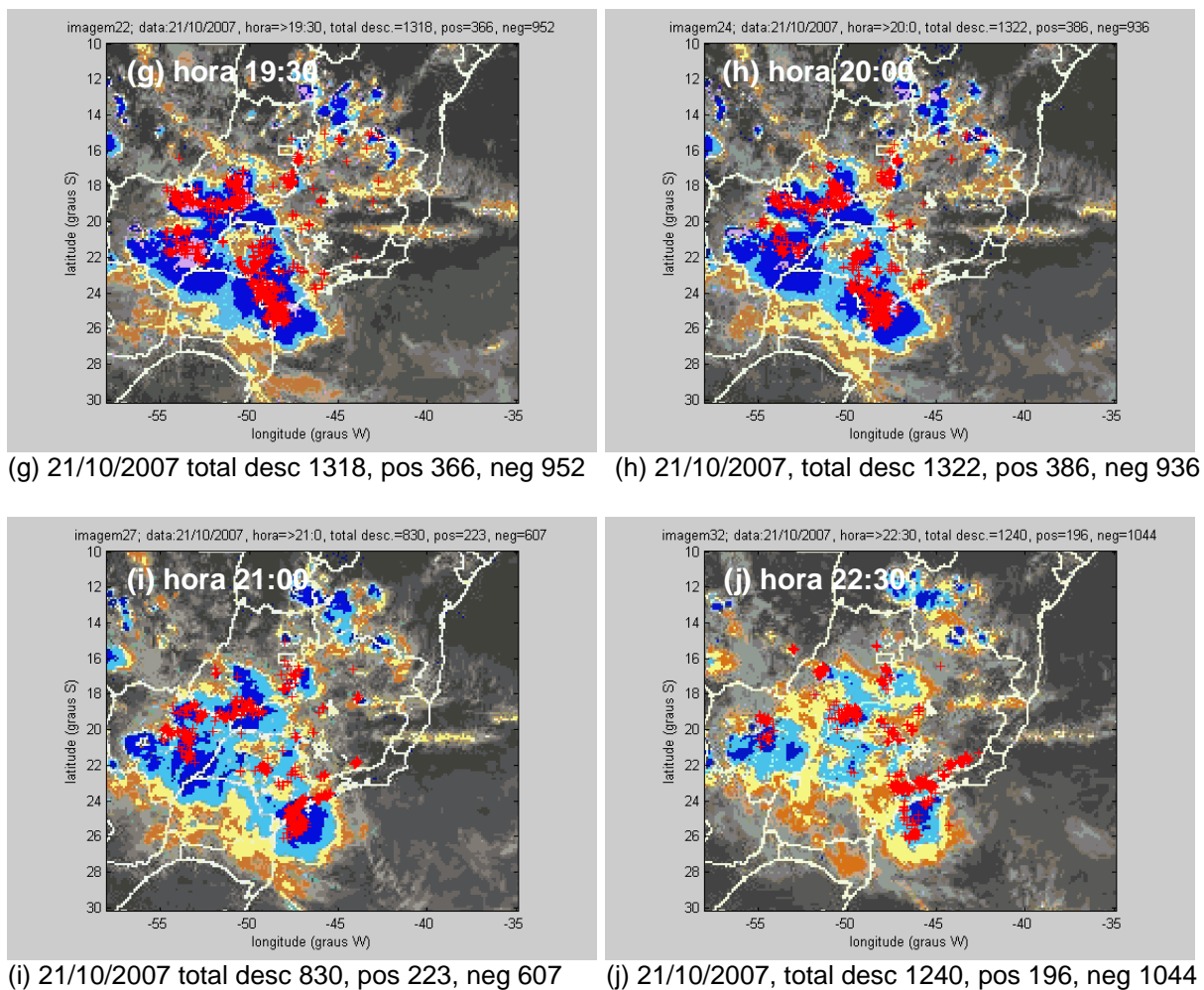


Figura 30 – Segmentos de imagens de satélite do dia 21 de outubro de 2007. As cruzes em vermelho indicam a localização das DEA detectadas na região de estudo sobre um período de 15 minutos antes e depois do horário da imagem de satélite.

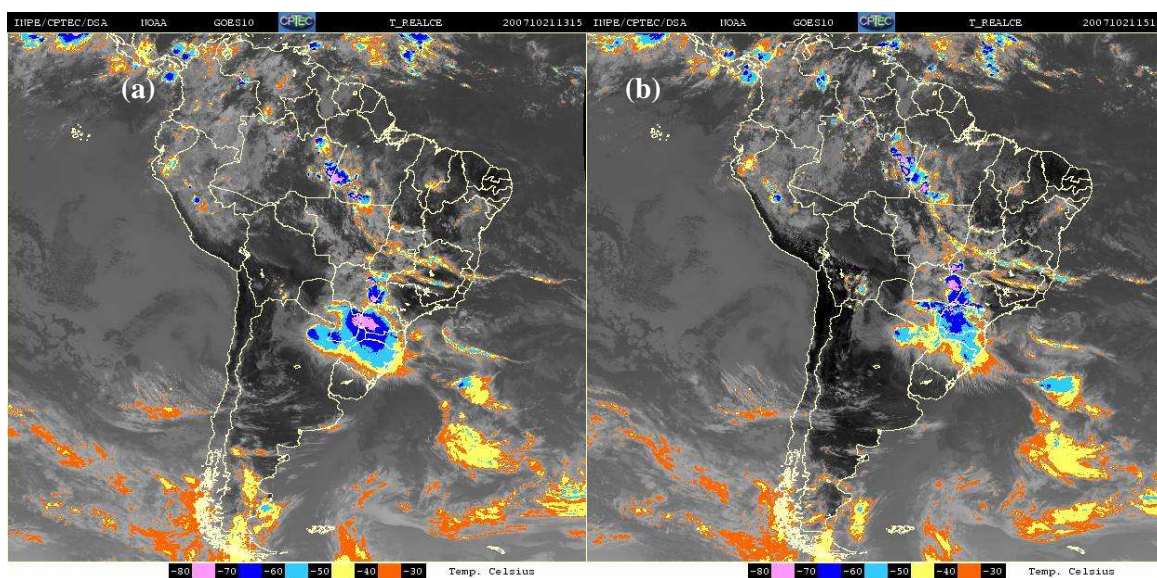


Figura 31 – Imagens de satélite do dia 21 de outubro de 2007 às (a) 13:15UTC e (b) 15:15UTC.

Os casos comentados acima dão uma idéia dos tipos de situações meteorológicas encontradas quando da seleção dos mesmos.

#### **4.5 ESTUDO DETALHADO DE DOIS CASOS DE ESTUDO DO TIPO 5**

A seguir, dois casos de estudo são apresentados em detalhes. O primeiro é aquele que aconteceu nos dias 10-11 de janeiro de 2003 e que provocou a maior quantidade de DEA (67.681, ver tab.2) detectadas em associação aos casos selecionados, no âmbito deste trabalho. O segundo caso a ser apresentado ocorreu no dia 9 de dezembro de 2003, quando foi detectado um total de apenas 9.824 DEA na região de estudo.

##### **4.5.1 CASO DE ESTUDO: 10-11 DE JANEIRO DE 2003**

Este caso é semelhante ao do dia 21 de outubro de 2007 (comentado anteriormente), na medida em que trata-se de um sistema que teve sua formação no sul do Brasil. Seguiu um deslocamento em direção à região sudeste onde interagiu com outros SCM localizados na mesma, vindo a se dissipar nesta região algumas horas mais tarde. Entretanto, este caso é mais complexo do que o citado acima, porque as interações ocorreram tanto entre núcleos de um mesmo sistema quanto entre sistemas diferentes. A Fig.32 mostra a evolução deste caso nos dias 10 e 11 de janeiro de 2003. Para fins de clareza, os números dos sistemas estão hachurados em azul claro e os dos núcleos em amarelo.

Inicialmente, da fusão dos sistemas 1 e 2 (indicados na Fig.32a), resultou no sistema 3 (Fig.32b). Durante a evolução deste último, 4 núcleos ficaram evidenciados, que estão enumerados na Fig 32b de 1 a 4, hachurados em amarelo. Nesta figura, à direita do quarto núcleo do SCM3, observa-se um quarto sistema, indicado pelo número 4 hachurado em azul claro. Dos 4 núcleos que constituíram o SCM3, o terceiro se dissipou e os núcleos 1 e 2 se fundiram, formando o núcleo 5 (Fig.32c). Na Fig.32d nota-se que o SCM4 e o núcleo 4 do SCM1 se aproximam, vindo a se fundir posteriormente, formando o SCM5 (Fig.32e). Após algumas horas, estes sistemas entram em dissipação (Fig.32f).

A Fig. 33 mostra os SCM analisados nas imagens de satélite, identificados individualmente, com mesma indicação da Fig.32. É importante acrescentar que o SCM4 que aparece na Fig.32b nas imagens de satélite, não aparece na Fig.33b devido à sua área que, neste horário, foi inferior ao limite mínimo (de  $2.000 \text{ km}^2$ )

estabelecido para a sua identificação. Além de apresentarem a área mínima, os núcleos precisam apresentar temperaturas de topo das nuvens de  $-50^{\circ}\text{C}$  para serem identificados nesta etapa.

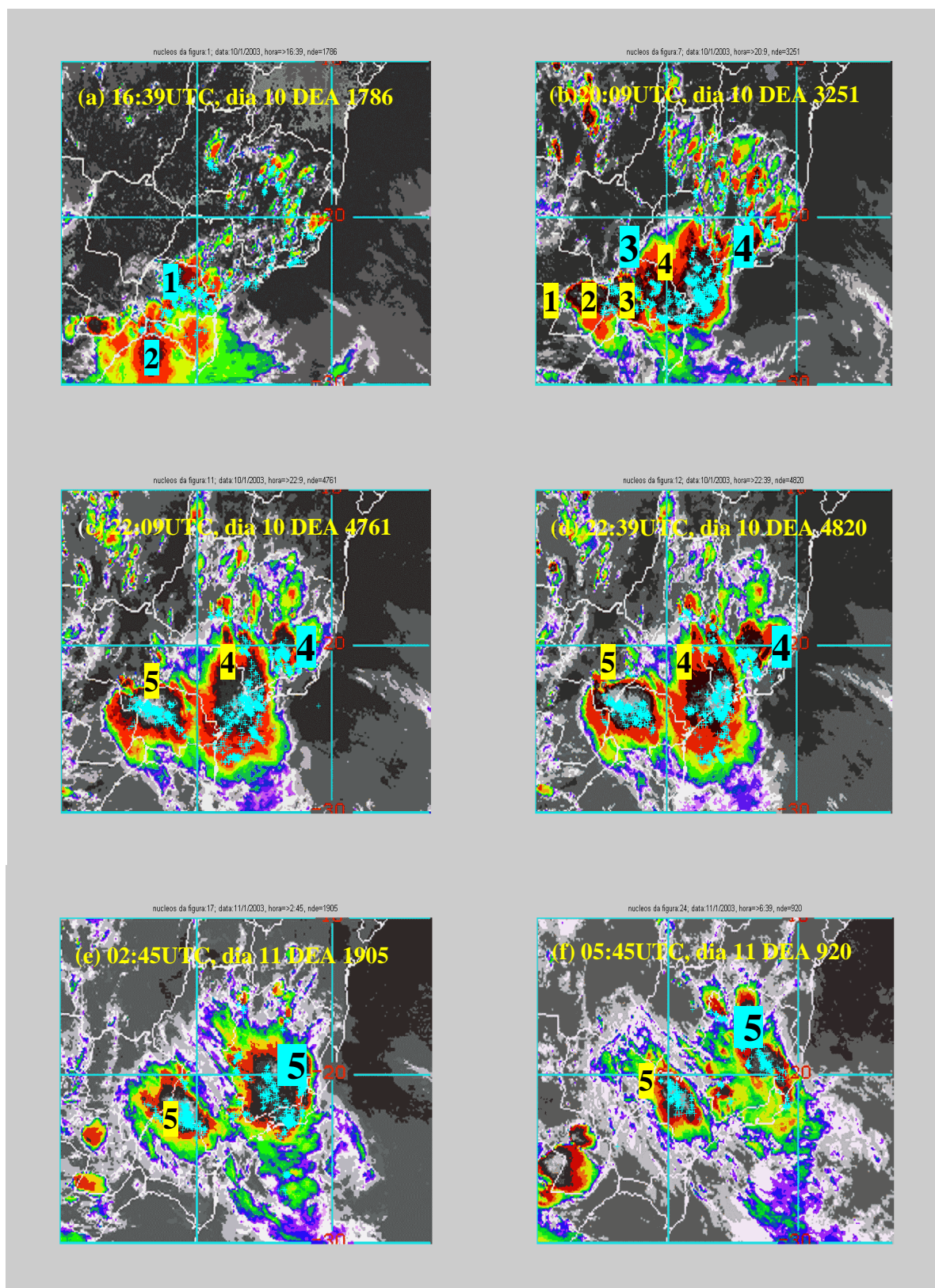


Figura 32– Segmentos de imagens de satélite do caso que ocorreu nos dias 10-11 de janeiro de 2003 na região de estudo.

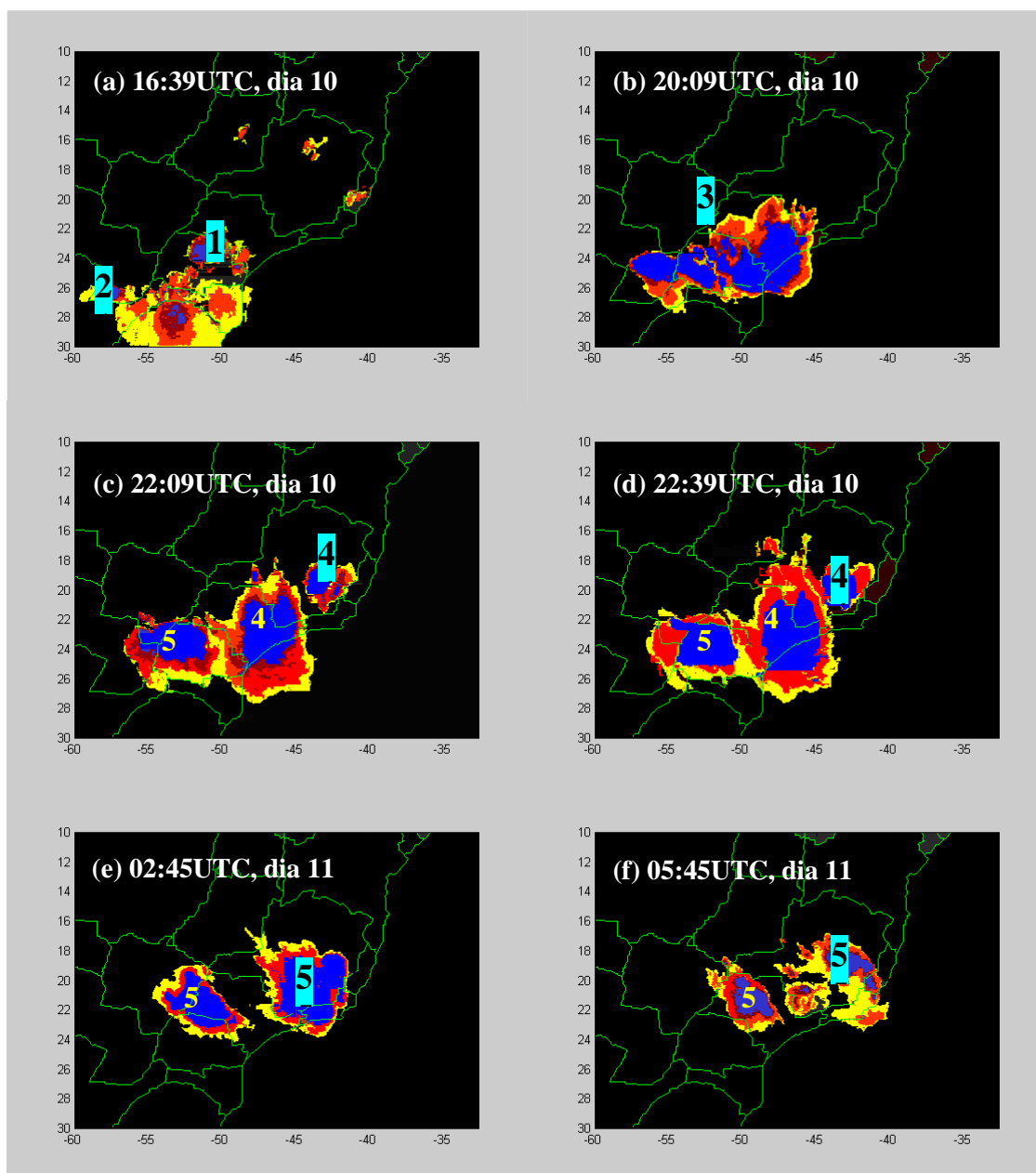


Figura 33 – Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido nos dias 10-11 de janeiro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.32.

As descargas associadas a cada um dos núcleos convectivos aparecem sobrepostas aos mesmos na Fig.34. A cor azul representa regiões com temperaturas de topo iguais e inferiores a  $-70^{\circ}\text{C}$ . Por isto, a concentração das DEA em partes específicas dos núcleos com temperaturas de topo inferiores a  $-70^{\circ}\text{C}$  encontra sua explicação nas imagens de satélite realçadas. Nestas é possível ver que as DEA estão concentradas nas regiões onde as temperaturas dos topos das nuvens convectivas atingiram valores próximos de  $-80^{\circ}\text{C}$ , o que é especialmente observado no núcleo 4 do SCM4 (Fig.32b,c,d e Fig.34b,c,d).

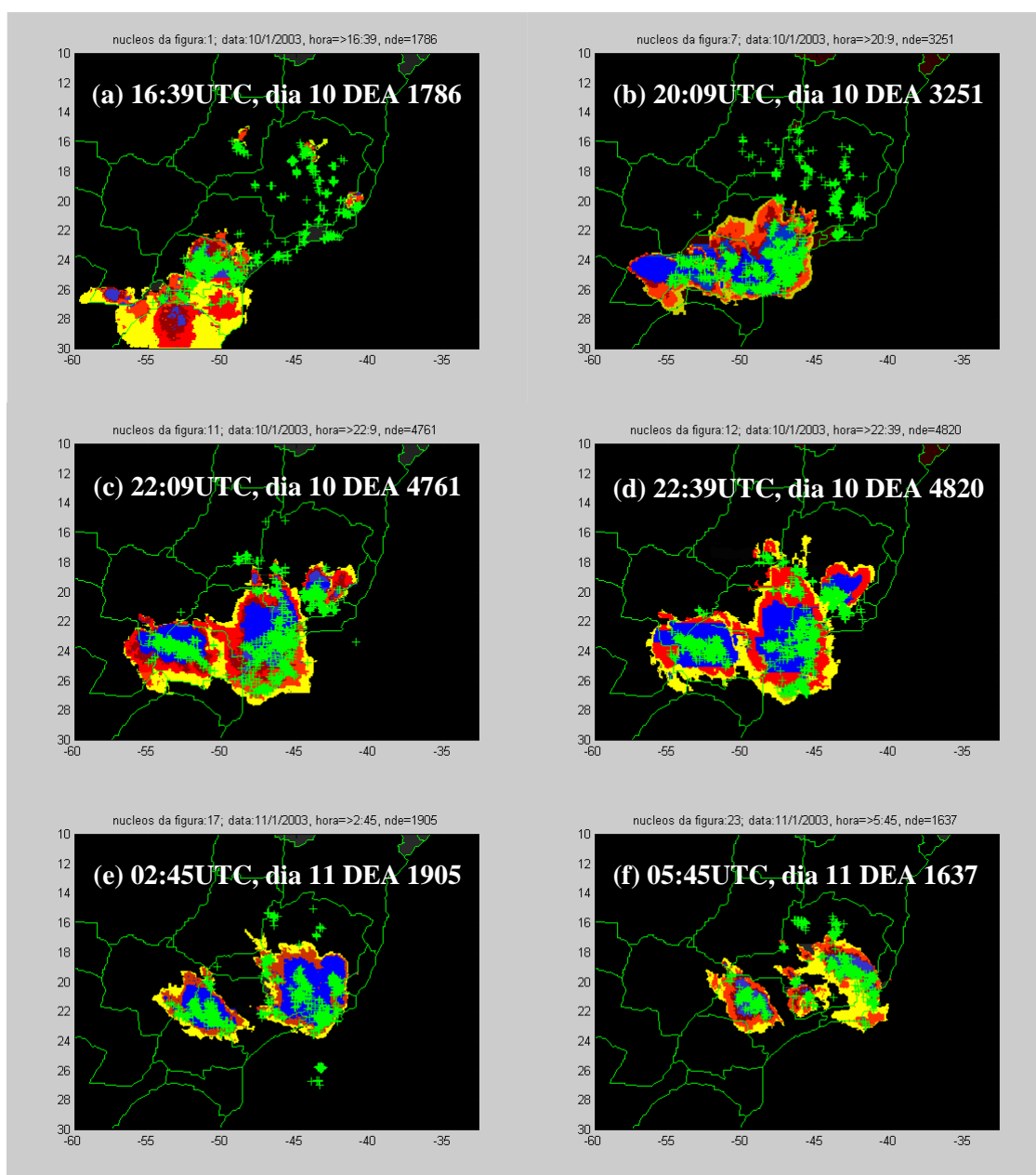


Figura 34 - Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido nos dias 10-11 de janeiro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.34, com as DEEA sobrepostas.

#### 4.5.2 CASO DE ESTUDO: 09 DE DEZEMBRO DE 2003

Este caso constitui outro exemplo de sistemas que se formaram na região sul e adentraram na região de estudo. Este caso é muito mais simples do que o analisado anteriormente. Foi escolhido justamente para mostrar as variações existentes entre casos do mesmo tipo. O SCM em questão, único indicado nas Fig.35, inicialmente estava constituído por dois núcleos, indicados pelos números 1

e 2 (Fig. 35a,b). O núcleo 1, localizado sobre o Paraguai (Fig.35a,b,c,d,e,f), praticamente não tem DEA associadas pelo fato de estar situado quase que inteiramente na região com baixa eficiência de detecção de descargas. Perto das 03:39UTC (Fig.35b) estes 2 núcleos se afastaram e um terceiro núcleo se formou entre eles (Fig.35c). O núcleo 3 se uniu ao núcleo 2 formando uma linha convectiva (Fig.35c,d) que apresenta DEA em toda a sua extensão. Na fase de dissipação de todos os núcleos deste SCM (Fig.35e f) percebe-se o enfraquecimento da intensidade convectiva e da quantidade de DEA detectadas.

A identificação individual dos núcleos deste SCM (Fig.36) permite avaliar a localização das DEA associadas aos mesmos (Fig.37) com bastante clareza. Em relação aos núcleos 2 e 3, nota-se a quase coincidência entre a localização das descargas detectadas e as partes mais convectivas (Fig.37.c,d). Apesar de seu tamanho e intensidade convectiva, o número de DEA associadas ao núcleo 1 foi desprezível durante todo o período (Fig.37a,b,c,d,e,f) devido à sua localização, na região com baixa eficiência de detecção de descargas.



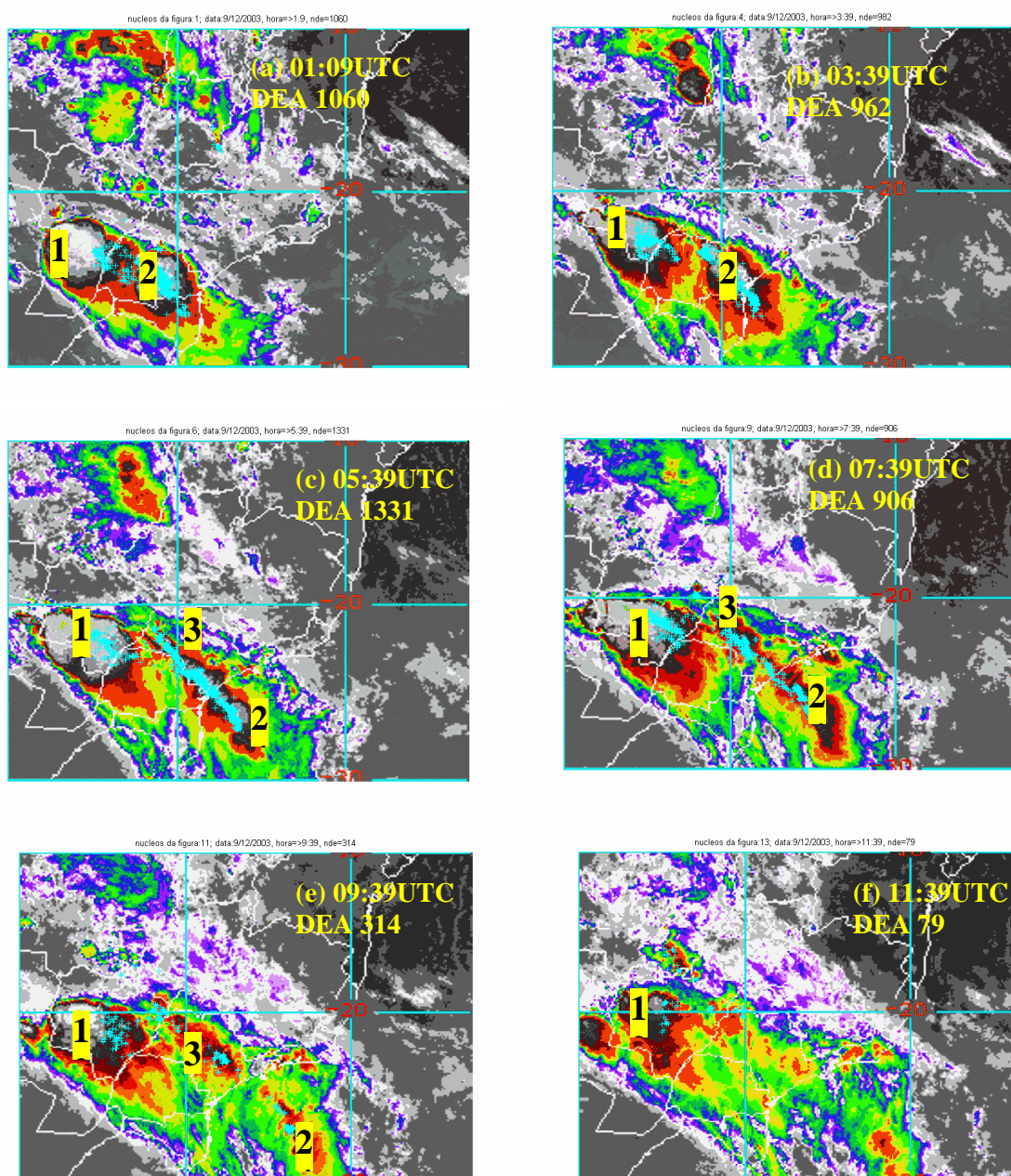


Figura 35 - Segmentos de imagens de satélite do caso que ocorreu no dia 9 de dezembro de 2003 na região de estudo.

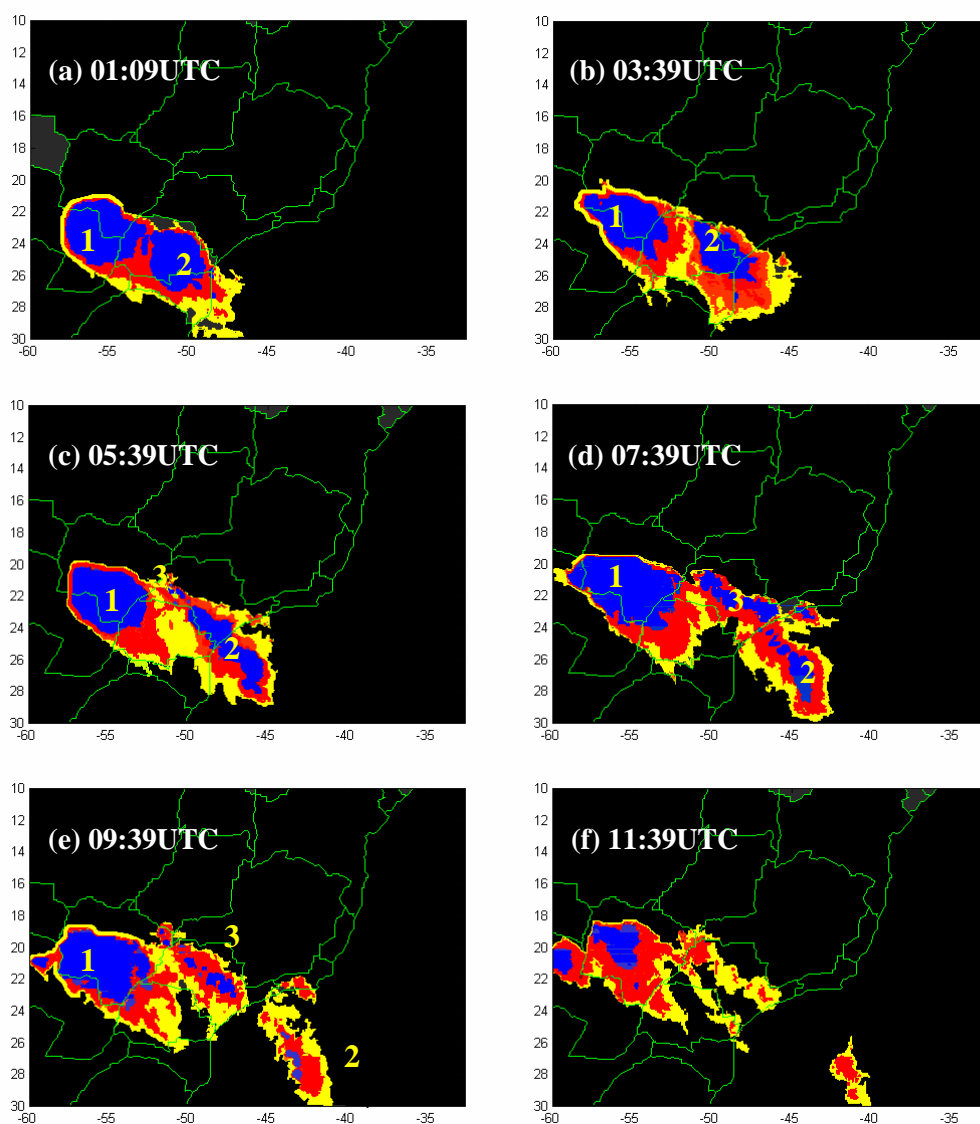


Figura 36 - Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido no dia 9 de dezembro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.35.

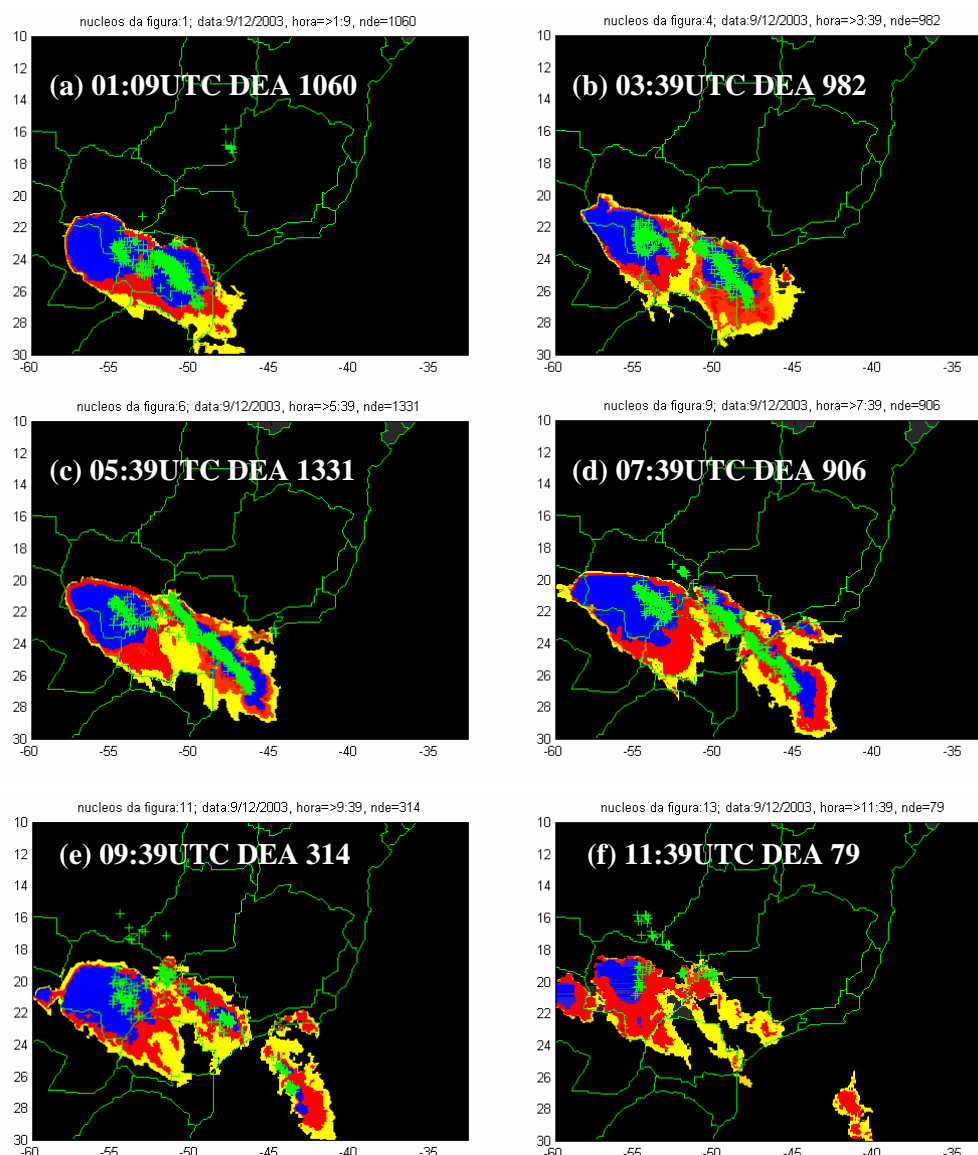


Figura 37 - Destaque dos SCM e núcleos do caso ocorrido no dia 9 de dezembro de 2003 identificados nas imagens de satélite mostradas na Fig.37, com as DEA sobrepostas.

#### 4.6 PREPARAÇÃO DOS DADOS DE DEA PARA USO NA RNA

Todos os resultados obtidos até o momento servirão de base para o sistema de previsão de descargas elétricas atmosféricas para a região sudeste, que se pretende desenvolver. Esta RNA (Rede Neural Artificial) será desenvolvida para a previsão de DEA associadas *exclusivamente* a sistemas convectivos observados de acordo com os critérios estipulados para a sua seleção. Se a escolha dos casos não seguisse tais critérios, possivelmente os resultados a serem obtidos com a RNA não

seriam satisfatórios. Isto porque os dados de entrada da rede, provenientes de simulações com um modelo de mesoescala, estariam associados a padrões dinâmicos atmosféricos diferentes, tornando o aprendizado absolutamente ineficiente.

Para esta aplicação, foi necessário reorganizar as informações extraídas dos dados de DEA. A primeira preocupação foi no sentido de compatibilizar o tamanho das regiões contendo as DEA, até então variável, com aquele em que se pretende realizar a previsão das descargas elétricas. Assim, houve a necessidade de particionar estas regiões em subregiões, com arestas de aproximadamente  $1,5^\circ$  no máximo. Este tamanho foi definido em função do número de variáveis meteorológicas a serem utilizadas como dados de entrada e do número de neurônios da primeira camada. É preciso também levar em conta o tempo necessário para a rede convergir, pois nas atividades operacionais, uma previsão deve estar disponível ao público em poucas horas, uma vez iniciado o processo.

A partir dos 25 casos de estudo selecionados (ver tab.2), as regiões convectivas foram subdivididas em áreas de  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ . A Fig. 38 ilustra o procedimento de partição realizado para o dia 28 de outubro de 2006. No cabeçalho das figuras estão indicadas as coordenadas geográficas de cada área selecionada, bem como a quantidade total de DEA detectadas e quantas foram positivas e negativas.

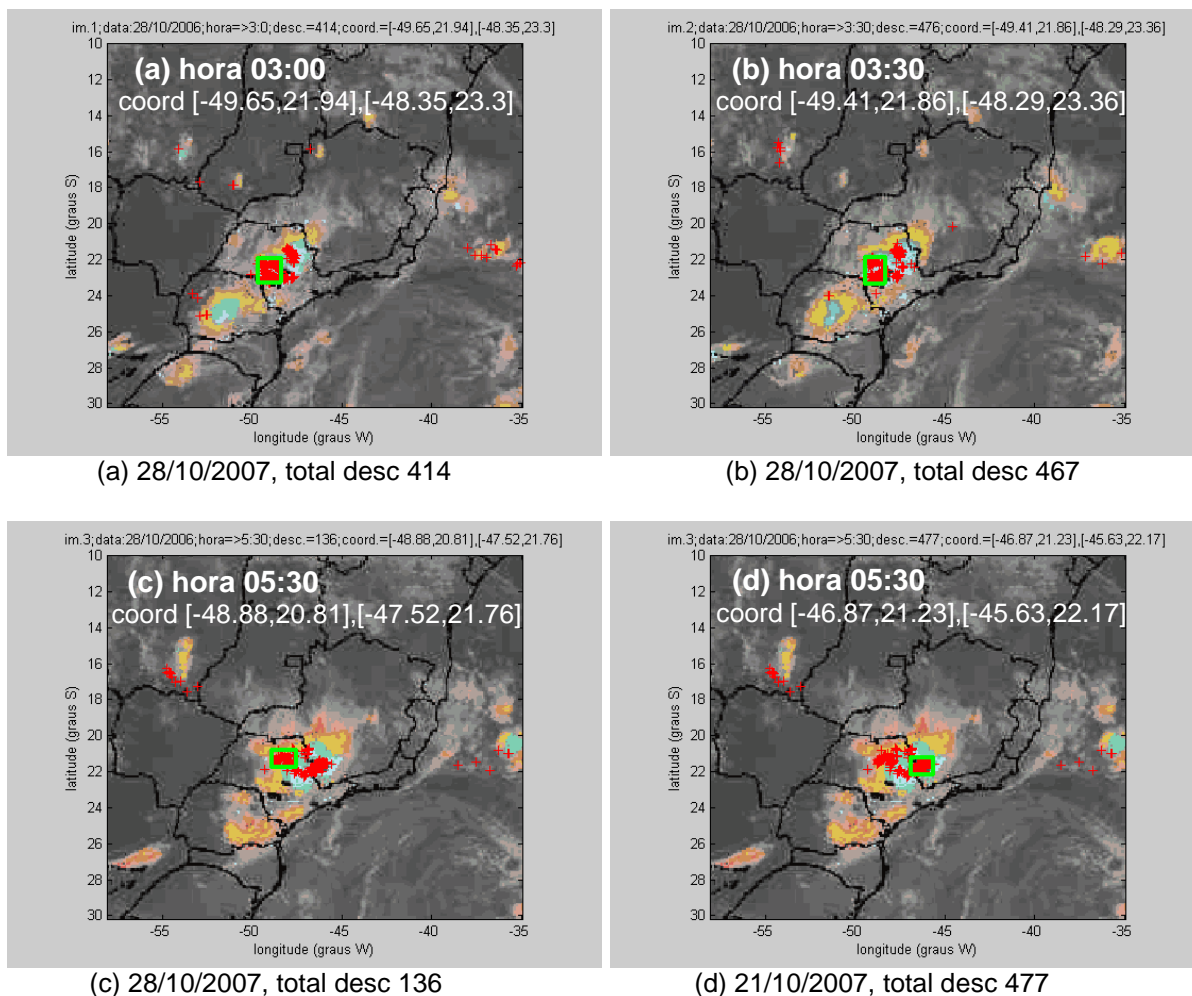


Figura 38- Exemplo, para o dia 28 de outubro de 2006, do procedimento de divisão das regiões convectivas em áreas de  $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ .

Foram obtidos 121 núcleos com áreas de  $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$  contendo, no mínimo, 300DEA acumuladas em 15 minutos antes e depois do horário das imagens de satélite, conforme indicado na tab.3. Alguns se destacam dos demais pelo elevado número de descargas concentradas na subregião, pois apresentam mais de 1.000 DEA.

Tabela 3 – Quantidade de núcleos com 200DEA ou mais, em todos os meses dos anos 2003, 2005 (a partir de outubro), 2006 e 2007.

Data	nº	Long1	Long2	Lat1	Lat2	ndesc	UTC
<b>2 0 0 3</b>							
04/02/2003	1	49.36	48.96	20.62	21.97	323	2:39
	2	49.24	48.07	19.86	21.15	468	3:39
	3	49.65	48.25	19.86	20.92	508	4:09
	4	49.65	48.31	19.98	21.09	589	4:39
	5	49.65	48.19	19.92	21.15	839	5:09
	6	49.77	48.31	19.86	21.09	466	5:39
09/12/2003	7	52.6	51.2	23.4	24.7	399	1:09
	8	51.2	50.0	24.5	25.9	352	1:09
	9	47.3	46.1	25.5	26.9	472	5:39
	10	50.2	49.1	22.0	23.4	317	6:39
	11	48.9	47.8	21.9	23.2	325	8:39
15/12/2006	12	54.3	52.8	19.8	20.4	429	4:30
21/12/2003	13	50.7	49.4	23.8	24.7	383	1:09
	14	52.6	51.3	24.2	25.2	471	2:39
<b>2 0 0 5</b>							
2/11/2005	15	45.21	43.79	16.08	17.44	458	1:00
	16	46.57	45.15	16.43	17.91	472	1:00
	17	46.34	45.21	16.49	17.97	310	1:30
	18	45.81	44.56	15.61	16.79	300	2:30
	19	45.86	44.4	15.84	16.91	642	4:00
	20	45.63	44.39	16.08	17.2	742	4:30
	21	45.57	44.39	16.08	17.32	391	5:00
	22	45.51	44.15	16.14	17.5	343	5:30
<b>2 0 0 6</b>							
18/01/2006	23	48.9	47.9	20.0	21.1	1033	4:00
	24	49.1	47.9	20.0	21.1	1176	4:30
	25	49.3	48.1	19.5	20.9	1218	5:30
	26	49.4	48.2	19.2	20.6	1364	6:00
	27	49.5	48.2	19.0	20.5	686	6:30
	28	49.4	48.2	18.9	20.3	624	7:00
	29	49.5	48.2	18.9	20.3	446	7:30
	30	50.1	48.9	18.0	19.3	724	8:00
	31	50.1	48.9	18.0	19.4	802	8:30
	32	50.4	49.2	17.7	19.1	341	9:30
16/09/2006	33	51.7	50.4	20.8	22.1	358	8:00
20/09/2006	34	51.3	50.1	20.9	22.2	537	15:00
1-2/10/2006	35	52.7	51.2	22.0	23.1	325	23:00
	36	53.3	52.0	20.6	21.5	398	23:00
	37	51.7	50.4	20.6	22.1	584	2:00
	38	51.4	50.1	20.5	22.0	451	2:30
	39	51.2	49.8	20.3	21.7	447	3:00
	40	50.9	49.7	20.2	21.5	369	3:30
6-7/10/2006	41	48.82	47.64	18.92	20.22	452	23:00

6-7/10/2006	42	50.36	49.18	17.08	18.27	362	1:00
	43	48.35	47.17	19.27	20.58	560	1:00
	44	50.3	49.12	17.14	18.39	325	1:30
	45	48.11	46.87	19.45	20.81	467	1:30
	46	50.07	48.76	17.2	18.44	570	2:00
	47	49.83	48.47	17.08	18.44	532	2:30
	48	47.17	45.92	20.63	21.88	376	2:30
	49	49.65	48.35	17.2	18.56	664	3:00
	50	49.18	48.11	17.32	18.74	629	3:30
28/10/2006	51	49.7	48.4	21.9	23.3	414	3:00
	52	49.4	48.3	21.9	23.4	476	3:30
	53	46.9	45.6	21.2	22.2	477	5:30
	54	46.5	45.4	20.9	22.1	778	6:00
	55	46.4	45.1	20.8	21.9	1190	6:30
	56	46.3	45.0	20.5	21.7	1207	7:00
	57	46.2	44.7	20.2	21.4	1016	7:30
	58	45.7	44.4	20.1	21.2	1082	8:00
	59	45.6	44.2	19.9	20.9	677	8:30
	60	45.2	44.0	19.7	20.7	486	9:00
15/12/2006	61	54.3	52.8	19.8	20.4	429	4:30
20/12/2006	62	52.2	51.1	21.1	22.4	502	2:00
	63	52.2	51.0	21.2	22.2	945	2:30
	64	52.1	50.7	21.3	22.5	698	3:00
	65	52.0	50.5	21.3	22.6	843	3:30
	66	52.1	50.7	21.2	22.2	452	4:00
	67	52.9	51.7	21.3	22.1	411	6:00
	68	52.9	51.7	21.3	22.2	580	6:30
	69	52.8	51.4	21.2	22.0	309	7:00
<b>2007</b>							
13/01/2007	70	49.3	45.9	17.5	19.8	312	3:30
	71	49.0	47.2	19.2	20.8	422	3:30
	72	47.1	44.2	19.8	21.5	332	3:30
	73	46.0	43.1	19.7	21.8	343	4:30
19/01/2007	74	50.4	49.3	21.0	22.2	531	1:00
	75	51.8	50.4	20.9	22.1	497	1:00
	76	50.5	49.3	20.8	22.0	811	1:30
	77	51.7	50.5	20.8	22.1	491	1:30
	78	51.7	50.5	20.7	22.1	451	2:00
	79	51.6	50.2	20.6	21.9	379	2:30
7/02/2007	80	47.82	46.52	24.07	25.25	533	4:00
	81	47.46	46.46	24.07	25.13	530	4:30
	82	46.93	45.75	23.95	24.78	528	5:30
	83	46.69	45.63	23.83	24.89	516	6:00
	84	52.67	51.66	20.58	21.82	314	6:30
	85	52.61	51.48	20.34	21.76	442	7:00
	86	52.55	51.48	20.34	21.64	392	7:30
	87	52.49	51.19	20.22	21.52	331	8:00
16/07/2007	88	52.95	51.88	22.78	24.08	428	1:30

	89	52.71	51.76	22.48	23.72	348	2:00
	90	52.41	51.23	22.12	23.49	1277	3:00
	91	51.94	50.93	22.13	23.37	1199	3:30
	92	51.7	50.63	22.18	23.43	726	4:00
	93	51.23	50.22	22.06	23.55	533	4:30
	94	50.93	49.86	22.36	23.67	499	5:00
	95	49.98	48.68	22.3	23.79	306	6:30
	96	53.84	52.65	23.25	24.5	340	6:30
	97	53.83	52.65	23.19	24.44	504	7:00
	98	52.06	50.7	21.95	22.89	449	7:00
	99	52.83	51.34	21.41	22.54	324	7:30
	100	52.71	51.23	21.18	22.42	375	8:00
	101	51.88	50.87	21.3	22.48	303	9:00
21/10/2007	102	51.9	50.9	22.1	23.6	486	15:30
	103	47.1	45.9	22.8	23.6	405	23:00
	104	45.9	44.8	22.5	23.6	312	23:00
28/10/2007	105	42.2	40.9	20.5	21.7	711	1:30
	106	42.2	40.7	20.4	21.7	781	2:00
	107	42.0	40.5	19.8	20.9	318	4:30
	108	42.6	41.1	19.5	20.5	350	6;30
30/10/2007	109	49.92	48.56	22.66	23.84	874	0:30
	110	47.73	46.6	23.19	24.55	336	0:30
	111	49.8	48.32	22.6	23.96	623	1:00
	112	47.61	46.48	22.89	24.38	699	1:00
	113	49.63	48.2	22.42	23.67	630	1:30
	114	47.61	46.66	22.42	23.84	975	1:30
	115	47.49	46.36	22.3	23.55	1144	2:00
03/11/2007	116	42.4	41.4	20.8	22.3	652	2:00
04/11/2007	117	42.4	41.4	20.8	22.3	652	2:00
7/12/2007	118	42.81	41.74	22.72	23.79	329	1:00
26/12/2007	119	48.0	46.8	22.6	23.7	527	3:00
	120	48.1	46.7	22.7	24.1	462	3:30
	121	48.0	46.8	23.0	24.3	403	4:00



## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido para a região compreendida entre as latitudes 15°S e 27°S e longitudes 35°W e 55°W, para a qual foram cedidos os dados de descargas elétricas atmosféricas. O período analisado envolveu seis anos (2002 a 2007), o que permitiu uma excelente análise das variações observadas das descargas na região de estudo e, consistente, devido à qualidade destes dados. Os resultados apresentados foram obtidos relacionando o fenômeno descargas elétricas atmosféricas com os sistemas convectivos de mesoescala.

Do período analisado, foram totalizados 565 dias com descargas elétricas atmosféricas iguais ou superiores a 1.000DEA/h, com qualquer tipo de nebulosidade na região sudeste. Foi observado que os meses de janeiro, março e dezembro, foram os que apresentaram o maior número de dias com quantidades de descargas elétricas iguais ou superiores a 1.000DEA/h, em relação aos outros meses. Dentre os 604 dias foram selecionados 33 dias, nos quais 25 sistemas convectivos de mesoescala foram identificados de maneira isolada, de acordo com os critérios utilizados neste trabalho. As particularidades encontradas, quando da análise caso a caso, permitiu a identificação de cinco tipos de situações em que os sistemas convectivos de mesoescala se desenvolveram na região de estudo. A avaliação das descargas elétricas em associação aos sistemas convectivos observados mostrou que a quantidade de descargas esteve relacionada diretamente com o ciclo evolutivo dos mesmos.

Como perspectiva de trabalhos futuros sugere-se:

- a implementação da técnica de Rede Neural Artificial (RNA) para a previsão das descargas elétricas atmosféricas associadas aos sistemas convectivos de mesoescala analisados neste trabalho.
- estudo das descargas elétricas atmosféricas associadas com os fenômenos ZCAS e sistemas frontais e
- implementação da técnica RNA para estes casos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 13., 2004, Fortaleza. **Anais do...**, Fortaleza: SBMET, 2004.

ANDERSON, C. J.; ARRITT, R. W. Mesoscale Convective Complexes and Persistent Elongated Convective Systems over the United States during 1992 and 1993. **Monthly Weather Review**, v. 126, n, 3, p. 578–599, 1998.

ARNAUD, Y.; DESBOIS, M.; MAIZI, J. Automatic tracking and characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures. **Journal of Applied Meteorology**, v.31,n. 5.,p. 443-453, 1992.

BARNES, G. M.; SIECKMAN K. The environment of fast- and slow moving tropical mesoscale convective cloud lines. **Monthly Weather Review.**, v.112, n.9,p.1782-1794,1984.

BLUESTEIN, Howard B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Vol I: Principles of kinematics and dynamics.**Oxford University Press. 1992. 431p.

BYERS, H. R., BRAHAM, JR. **The Thunderstorm.** Washington. U. S. Coovernment Printing Office, 1949. 287p.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. A Satellite Method to Identify Structural Properties of Mesoscale Convective Systems Base on the Maximum Spatial Correlation Tracking Technique (MASCOTTE). **Journal of Applied Meteorology.**, v.10, n. 40, p.1683-1701, 2001.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática.** v.17, n. 01, 2002a. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>> . Acesso em: 15dez. 2008

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.17, n. 11, 2002b. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>> . Acesso em: 15dez. 2008.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.18, n. 12, 2003. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>>. Acesso em: 15dez. 2008.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.19, n. 12, 2004. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>>. Acesso em: 15dez. 2008.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.20, n. 10, 2005. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>>. Acesso em: 15dez. 2008.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.21, n. 02, 2006. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>>. Acesso em: 15dez. 2008.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.22, n. 01, 2007. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>> . Acesso em: 15dez. 2008.

COHEN, Julia Clarinda Paiva. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**.1989. 164f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

COHEN, J. C. P.; Características médias das linhas de instabilidade durante o período chuvoso do WETAWCAMC/LBA. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DO LBA, 1., 2000. **Anais do...** Belém: LBA, 2000.

CUMMINS, K. L.; BARDO, E. A.; HISCOX, W. L., PYLE, R. B.; PIFER, A. E. NLDN'95: A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. In: INTERNATIONAL AEROSPACE & GROUND CONFERENCE ON LIGHTNING AND STATIC ELECTRICITY, 7., 1995, Williamsburg, EUA. **Anais do...** Williamsburg: National Interagency Coordination Group, 1995.

DINIZ, Gilberto B. **Meteorologia Física**. 1. ed., Editora e Gráfica Universitária UFPel, Pelotas, 2006. 156p.

FERNANDES, Widinei Alvez. **Estudo dos efeitos das queimadas sobre os relâmpagos**. 2001. 103f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

FERNANDES, Diego Simões; CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino de. Comparações em diferentes períodos de estudo de passagem de sistemas frontais no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, **Anais do...** Florianópolis:SBMET, 2006.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. **Climanálise**. v.5, n. 6, p.36-45, 1990.

FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. Simulations of the summer circulation over the South American Region with a Eta coordinate model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.52, n. 10, p.1573-1584, 1995.

FIGUEIREDO, J.C.; SCOLAR, J. Estudo da trajetória dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. In: CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 7. ; CONGRESO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 7., 1996, Buenos Aires, Argentina. **Anais do...** Buenos Aires, 1996.

GARSTANG, M.; MASSIE JR. H. L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, J. Amazon Coastal Squall Lines. Part I: Structure and Kinematics. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 4, p.608–622, 1994.

GOMES, Maria Aurora Sá dos Santos. **Estudo dos relâmpagos na região sudeste do Brasil em função das características geográficas**. 2003. 151f Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

HEILMANN, Armando. **Avaliação do Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas em VLF-ZEUS no Brasil**. 2006. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HOLLE, R. L.; WATSON, A. I.; LÓPEZ, R. E.; MACGORMAN, D. R.; ORTIZ, R.; OTTO, W. D. The life cycle of lightning and severe weather in a 3-4 june 1985 PRESTORM mesoscale systems. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 8, p. 1798-1808, 1994.

HOLTON, G. **A imaginação científica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979. 216p.

KALNAY, E.; MO, K.; PAEGLE, J. Large-amplitude, short-scale stationary rossby waves in the Southern Hemisphere: observations and mechanistic experiments to determine their origin. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.43, n. 3, p.252-275, 1986.

HUSCHKE, R. E. **Glossary of Meteorology**. 1. ed. Boston: American Meteorological Society, 1959. 638p.

JIRAK, I.L.; COTTON, W.R.; MCANELLY, A.L. Satellite and Radar Survey of Mesoscale Convective System Development. **Monthly Weather Review**, v. 131,n.10, p. 2428- 2449, 2003.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Precipitation and atmospheric circulation anomaly patterns in the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3,n. 2, p.199-206, 1988.

KRIDER, E. P. 75 years of research on the physics of a lightning discharge. In: **Historical essays on meteorology**. Boston: American Meteorological Society, 1996. p.321-350.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996.

LENTERS, J.L.; COOK, K.H. On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American precipitation climatology. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v 54, n. 5, p.656-677, 1997.

LIEBMANN B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.12, n. 5,p. 1877-1891, 1999.

LIMA, Kellen Carla. **Descargas Eléctricas Atmosféricas em Sistemas Convectivos de Mesoescala no Sul da América do Sul**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MACGORMAN, D. R.; BURGESS, D. W. Positive Cloud-to-Ground Lightning in Tornadoic Storms and Hailstorms. **Monthly Weather Review**, v.122, n.8, p.1671-1697, 1994.

MACHADO, L.A.T.; DESBOIS, M.; DUVEL, J.P. Structural Characteristics of Deep convective systems over Tropical Africa and the Atlantic Ocean. **Monthly Weather Review**,v.3, n.120, p. 392-406, 1992.

MACHADO, L.A.T.; ROSSOW, W.B. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. **Monthly Weather Review**, v.12, n.121, p. 3234-3260, 1993.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life cycle variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1630-1654, 1998.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 61 n.11, p.1374-1387,1980.

MATHON, V.; LAURENT, H. Life cycle of Sahelian Mesoscale Convective Cloud Systems. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.127,n. 57 ,p.377-406, 2001.

MATTOS, Luís Fernando. **O papel de formação horizontal na frontogênese na região sul brasileira.** 1986. 118f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MEIRELES, V. H. P.; PALMEIRA, E. M. J. Estudo de Caso de Chuvas Intensas em Minas Gerais ocorrido durante período de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais do...** Florianópolis:SBMET, 2006.

MENEZES, W. F; SILVA PAIVA, L. M.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Estudo do Ambiente Favorável a Propagação de Sistemas Convectivos de Mesoescala Sobre o Município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais do..** Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

MIRANDA, Fernando Júnior. **Estudo da Forma de Onda de Campo Elétrico de Relâmpagos.** 2001. 119f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MIRANDA, Fernando Júnior. **Estudo das características de relâmpagos nuvem-solo negativos através da análise comparativa de observações por múltiplas técnicas.** 2005. 194f. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MOREL, C.; SENESI, S. A Climatology of Mesoscale Convective Systems over Europe Using Satellite Infrared Imagery. I: Methodology. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.128,n. 5, p. 1953-1971, 2002.

NACCARATO, Kleber Pinheiro. **Estudo de Relâmpagos no Brasil com Base na Análise de Desempenho do Sistema de Localização de Tempestades.** 2001. 165f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

NACCARATO, Kleber Pinheiro. **Análise das Características dos Relâmpagos na Região Sudeste do Brasil.** 2006. 364f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

OLIVEIRA, Alda Santos. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia.**1986. 134f. Dissertação ( Mestrado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. **Meteorologia Fundamental.** EDIFAPES, 2001. 432 p.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.56, n.5, p.527-530, 1975.

PEAGLE, J. American low-level jets in observation and theory: The ALLSproject. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE

METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 6., 2000. Santiago, Chile, **American Meteorological Society**, p.161-162, 2000.

PETTERSEN, S. **Weather Analysis and Forecasting**. 2. ed. McGraw-Hill, New York, 1956. 428 p.

PINTO, I.R.C.A.; PINTO Jr., O. Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.65, n.6, p. 733-737, 2003.

PINTO Jr., O.; PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 185p.

PINTO Jr, O.; PINTO, I. R. C.A.; DINIZ, J. H.; CAZETTA Filho, A.; CHERCHIGLIA, L. C.L.; CARVALHO, A. M. A seven-year study about the negative cloud-to-ground lightning flash characteristics in Southeastern Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.65, n.6, p. 739-748, 2003.

PINTO Jr., O.; NACCARATO, K. P.; PINTO, I. R. C. A.; FERNANDES, W. A.; PINTO NETO, O. Monthly distribution of cloud-to-ground lightning flashes as observed by lightning location systems. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n.9, 2006.

PONTES, A. L.; DIAS, M. A. F. S. Análise das características físicas e termodinâmicas de uma linha de instabilidade ocorrida no dia 08 de outubro de 2002 em Rondônia durante o experimento LBA: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, **Anais do...** Florianópolis:SBMET, 2006.

QUADRO, Mário Francisco Leal de. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 97f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

QUADRO, M.F.L.; MACHADO, L.H.R.; CALBETE, S.; BATISTA, N.N.M.; SAMPAIO, G. Climatologia de Precipitação e Temperatura. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996.

RAKOV V. A.; UMAN, M. A. **Lightning: Physics and Effects**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 850p.

RODRIGUES, M.L.G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 2, p.21-29 , 2004.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and Their Relationship with the South American Low-Level Jet **Monthly Weather Review** v.135, n.4, p.1290-1309, 2007.

SILVA PAIVA, L. M., MENEZES, W. F. Comparação entre Dois Casos de Linhas de Instabilidade Observados nos Dias 25 e 31 de Janeiro de 2000 no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, **Anais do..**Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

SILVEIRA, B.B., MÜNCHOW, G.B., GOMES, R.G., SCAGLIONI, T.P. Procedimento semi-automático para o estudo de sistemas convectivos de mesoescala. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais do...** Florianópolis: SBMET, 2006.

TANAJURA, Carla. **Modeling and Analysis of the South American Summer Climate**. 1996. 98f. Dissertação (Mestrado em meteorologia)- University of Maryland, Estados Unidos, 1996.

VELASCO, I.; FRITSCH, J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal Geophysical Research.**, v. 92, n.8, p.9591-9613, 1987.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 1.ed. Minas Gerais: Viçosa, 2002. 449p.

VILA, D.A.; MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: methodology and validation. **Weather and Forecasting**, v.23, n.2, p.233-245, 2008.

WATSON, A.I.; HOLLE, R.L.;LOPEZ,R.E. Cloud-to-Ground Lightning and Upper-Air Patterns during Bursts and Breaks in the Southwest Monsoon. **Monthly Weather Review**, v.122, n.8, p. 1726-1739, 1994.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: an introduction survey**. 2. ed., Elsevier, 2006. 483p.



## APÊNDICE

## APÊNDICE

Tabela – Dias em que foram detectadas, no mínimo, 1000DEA no intervalo de uma hora na região de estudo.

<b>ANOS</b>	<b>MESES</b>	<b>DIAS</b>
2002	JANEIRO	31
	MARÇO	01-06-07-08-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-24-25-27
	ABRIL	08-18
	MAIO	03-04-05-06-08-19-20
2003	JANEIRO	06-07-08-09-10-11-12-13-14-16-17-19-20-21-23-27-28-29-30
	FEVEREIRO	02-04-05-06-12-13-16-17-18-19-20-21-22
	MARÇO	02-03-06
	ABRIL	04-07-09-10-19-30
	SETEMBRO	26
	OUTUBRO	07-09-10-26-31
	NOVEMBRO	01-07-08-10-12-13-15-16-17-19-21-23-24-25-26-27-28-29-30
DEZEMBRO	01-02-03-04-05-06-07-08-09-11-12-13-16-17-18-19-20-21-22-23-24-30-31	
2004	JANEIRO	01-02-05-06-08-09-11-12-13-14-15-23-24-30-31
	MARÇO	01-02-03-04-10-12-13-14-16-17-18-19-20-28-29-30-31
	ABRIL	04-05-06-07-08-09-10-14-15-16-17-19
	MAIO	03-12-15-16-31
	JUNHO	10-28
	DEZEMBRO	01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31

2005	JANEIRO	03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-15-16-17-18-19-21-22-23-24-25-26-27-28-31
	FEVEREIRO	01-03-04-05-06-12-13-17-19-19-24-25-26-17-28
	MARÇO	01-11-12-13-14-15-16-17-18-23-24
	ABRIL	03-04-05-16-20-21-22
	MAIO	24-25-26-29
	JUNHO	20-21
	SETEMBRO	01-04-05-06-11-18-19-21-22-23-24-25-30
	OUTUBRO	05-06-10-14-19-21-16-27-28-29-30-31
2005	NOVEMBRO	01-02-09-18-19-21
	DEZEMBRO	02-05-06-11-16-18-19-25-17-31
2006	JANEIRO	01-02-03-04-08-18-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31
	FEVEREIRO	01-03-04-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-21-22-23-24-25-26-27
	MARÇO	01-03-04-05-07-10-11-15-16-20-23-26-29-30
	JUNHO	26
	JULHO	10
	SETEMBRO	16-17-18-20-21-22-23
	OUTUBRO	01-02-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-18-19-20-26-27-28
	NOVEMBRO	01-02-04-05-06-07-18-19-20-21-25
	DEZEMBRO	04-06-07-08-15-19-20-21-23-24-25-26-27-28-29-30-31
2007	JANEIRO	01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-13-15-18-19-20-21-23-25-27-28-30-31
	FEVEREIRO	03-05-06-10-11-12-18-19-25-26-27-28
	MARÇO	01-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-

2007		22-23-24-25
	ABRIL	04-07-08-09-14-16-21-22-24-25-26
	JULHO	16-17-23-24-25
	SETEMBRO	03-21-23-28
	OUTUBRO	16-18-19-21-22-23-24-27-28-29-30-31
	NOVEMBRO	01-02-03-04-11-12-13-14-15-18-19-20-25-26-27
	DEZEMBRO	04-06-07-08-13-22-23-26

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)