

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**ANÁLISE DESCRITIVA DOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE
ESCALA MESO- α ATRAVÉS DAS IMAGENS DE SATÉLITE
GOES-8**

VAGNER ANABOR

Orientador: Dr. Osvaldo L.L. de Moraes

Dissertação apresentada como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto,
área de concentração em Meteorologia.

Porto Alegre, RS
Maio, 2004

Anabor, Vagner

Análise descritiva dos Sistemas Convectivos de Escala Meso- α
Através de Imagens de Satélite GOES-8. /

Vagner Anabor - Porto Alegre: UFRGS, 2004. 78
páginas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio
Grande Sul. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e
Meteorologia – Área: Sensoriamento Remoto aplicado à Meteorologia.
Porto Alegre, 2004.

- I. Sistemas Convectivos de Mesoescala
- II. Meteorologia de Mesoescala
- III. Variação Rítmica da Convecção na América
do Sul

“The strongest arguments prove nothing so long as the conclusions are no verified by experience. Experimental science is the queen of sciences and the goal of all speculation.”

Roger Bacon, *Opus Tertium*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Anatoli Starostin, meu orientador na UFPel durante o curso de graduação, período no qual tive grande aprendizado profissional e pessoal. Com o seu auxílio, desenvolvi a metodologia utilizada na análise dos casos apresentados neste estudo. Por isto considero o Prof. Anatoli como um amigo e meu co-orientador neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Osvaldo L.L. de Moraes, pela orientação, confiança em mim depositada e pelo exemplo como cientista.

A os meus pais, José e Elei e a minha irmã Shirlene, pelo carinho e apoio durante minha vida.

Ao meu amigo Mateus da Silva Teixeira e família, pela amizade e as festas, nos bons tempos da graduação.

Aos colegas de turma do PPSRM, pelo companheirismo e amizade.

Aos meus amigos de infância Gustavo, Robinson e Juliano, pelas festas, pelas festas...

Ao amigo Otávio, pelo apoio, orientações científicas e, inevitavelmente, pelas festas.

A amiga Rosana Campos Soares, pelas conversas, orientações, amizade pausada e companheirismo.

A *NOAA/NESDIS* pelo fornecimento das imagens.

Aos amigos do CEPSRM/UFRGS: Magdalena, Prof. Ducatti, Prof.^a Denise, Claudete.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Análise descritiva dos sistemas convectivos de Escala Meso- α através das imagens de satélite GOES-8¹

Autor: Vagner Anabor

Orientador: Dr. Osvaldo L.L. de Moraes

SINOPSE

Na América do Sul há uma forte incidência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que na maioria das vezes, estão associados a desastres naturais. Estes causam impactos não só do ponto de vista meteorológico, mas também social e econômico. Neste trabalho analisa-se 49 Sistemas Convectivos de Meso- α , que atuam na América do Sul, durante os anos de 1999, 2000 e 2001. Com o auxílio de imagens do satélite GOES-8 (canal IR, 10,4 μ m), identifica-se padrões comportamentais ao longo da vida dos SCM. Para a caracterização da evolução temporal e espacial, faz-se uma divisão da análise em duas partes: temporal e espacial. Na análise temporal, observam-se as variações rítmicas na intensificação da atividade convectiva. Na análise espacial, são observadas características como: tamanho e tempo de vida dos SCM e de seus respectivos núcleos distâncias entre os núcleos, trajetórias dos SCM entre outras características comportamentais dos núcleos convectivos que constituem o sistema. A análise dos dados mostra que mais da metade dos casos analisados sofrem dois tipos de variações na atividade convectiva, uma com período de 12 horas, e outra com menor periodicidade, 5,1 horas. Mostra-se que a evolução espacial dos SCM dá-se em média na direção das latitudes mais baixas, de forma discreta com o aparecimento de novos núcleos, na direção noroeste em relação ao núcleo antigo.

¹ Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS (74p.), Maio de 2004.

Descriptive Analyses of Meso- α Convective Systems by GOES-8 Satellite Images¹

Author: Vagner Anabor

Advisor: Dr. Osvaldo L.L. de Moraes

ABSTRACT

In South America, there is a strong occurrence of Mesoscale Convective Systems (MCS), which in most of the time are associated to natural disasters, causing not only meteorological but also social and economic impacts. In this work, 49 Meso- α Convective Systems, that acted in South America from 1999 to 2001 were analyzed. Behavioral features of the MCS existence were identified with the aid of GOES-8 images (channel IR, 10,4 μ m). The analysis was divided in two parts: the temporal evolution and spatial distribution of weather characteristics. In the temporal analysis, rhythmic variations in the intensification of convective activity were observed. In the spatial analysis, the studied features were MCS' size and lifetime and those of its respective nuclei, as well as distances between the nuclei, trajectories and others features of the convective nuclei that constitutes the system. The data analysis shows that more than half the cases present two different variations of the convective activity, the first with a 12-hour period, and the other one with smaller period: 5,1 hours. It reveals that MCS' spatial evolution happens, in average, towards lower latitudes, in a discrete pattern through the appearance of new nuclei, to the northwest direction of the old nucleus.

¹ Master of Science Thesis, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Graduate Course in Remote Sensing, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (74p.) – May, 2004.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	4
2.2. Características de Formação.....	8
2.2.1. Padrões e Características de Grande Escala.....	10
2.2.2. Estágios de Desenvolvimento.....	11
2.2.2.1. Gênese.....	11
2.2.2.2. Desenvolvimento.....	12
2.2.2.3. Maturação.....	12
2.2.2.4. Dissipação.....	12
2.3. Jatos.....	15
2.3.1. Corrente de Jato em Níveis Superiores (JNS).....	15
2.3.2. Jato de Baixos Níveis(JBN).....	17
2.3.3. Papel dos Jatos no Desenvolvimento do SCM.....	18
2.4. Climatologia dos Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	20
2.5. Satélite GOES.....	24
2.5.1. Radiância.....	26
2.5.2. Classificação de Imagens.....	27
2.5.2.1. Método do Paralelepípedo.....	27
2.5.3. Realce de Imagens GOES.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Imagem de Satélite.....	30
3.1.1. Escolha do Satélite GOES.....	31
3.2. Programas de Informática (<i>softwares</i>).....	33
3.2.1. Classificação ou Realce de Imagens.....	33
3.2.1.1. Descrição das Etapas do Processamento.....	38
3.3. Seleção dos Casos.....	39
3.4. Variação Temporal.....	40
3.4.1. Tempo de vida.....	41
3.5. Variação Espacial dos SCM.....	41

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. Variação Temporal.....	44
4.1.1. Variação Temporal dos SCM com um Período de 12 horas.....	44
4.1.1.1. Defasagem Entre os Máximos.....	45
4.1.2. Variação Temporal dos SCM com um Período Curto.....	50
4.2. Variação Espacial.....	51
4.3. Trajetórias dos Deslocamentos e Modelo Conceitual de Evolução.....	56
4.3.1. Trajetórias de Deslocamento dos Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	56
4.3.1.1. Análise da Evolução Espacial Discreta de um Sistema Convectivo de Mesoescala Ocorrido nos Dias 25-26 de Janeiro de 2001.....	60
4.3.1.2. Modelo Conceitual da Evolução dos Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	63
5. CONCLUSÕES.....	66
5.1. Variação Temporal.....	65
5.2. Variação Espacial.....	66
5.3. Sugestões.....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
Apêndice A.....	75
Apêndice B.....	77
Apêndice C.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Definição de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) baseada em imagens de satélite no infravermelho (Maddox 1980).....	5
Tabela 2: Bandas Espectrais do satélite GOES-8 e aplicação das mesmas(GOES Data Book).....	25
Tabela 3: Divisão da Mesoescala proposta por Orlanski,1975.....	32
Tabela 4: Intervalos de classe utilizados no classificador.....	35
Tabela 5: Frequência dos horários dos picos principais durante 24 horas.....	47
Tabela 6: Tempo de vida médio dos SCM que se deslocaram em uma dada direção.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagens do Satélite GOES-7, a) Dois Sistemas Convectivos de Mesoescala sobre o centro dos Estados Unidos, b) Imagem realçada através da curva MB.....	6
Figura 2: Variações de vorticidade sofridas por uma parcela que atravessa o núcleo da corrente de Jato, o núcleo de vorticidade máxima potencializa a instabilidade. Esquema válido para o Hemisfério Norte. (Fonte: Mesoscale Meteorology and Forecasting).....	16
Figura 3: Esquema do acoplamento da corrente de Jato em Níveis Superiores (JNS em preto) com o Jato em Baixos Níveis (JBN em Branco) para a América do Sul.....	19
Figura 4: Distribuição geográfica e mensal dos CCM nas Américas. Velasco e Fritsch (1987).....	21
Figura 5: Região convectivamente ativa entre as correntes de jato (Djuric em Weather Analysis, 1994).....	24
Figura 6: Curvas de “Realce” mais comuns aplicadas a alvos meteorológicos, curvas ZA e MB (Djuric, Dusan., Weather Analysis 1994).....	29
Figura 7: Exemplo da aplicação da curva de “realce” tipo MB (Maddox, 1980).....	29
Figura 8: Curva de “realce” aplicada as imagens GOES-8 para o estudo de SCM na América do Sul. Os círculos marcam as classes selecionadas para o realce. Os valores de temperatura de -30°C, -50°C, -60°C (A), -65°C(B), -70°C(C) correspondem aos CDs de 110, 135, 165, 180 e 190 respectivamente. Starostin e Anabor (2000).....	34
Figura 9: Etapas do processamento de imagens. Método utilizado neste trabalho. Starostin e Anabor(2000).....	35

Figura 10: Figura.10. Exemplo da variação rítmica na intensidade, cada linha representa a variação de uma das áreas (das fatias) do SCM.....	36
Figura 11: Algoritmo criado para o processamento das imagens.....	37
Figura 12: Esquema para a visualização das secções horizontais feitas na nebulosidade. C1,C2 e C3, indicam isocontornos de temperatura (“cotas”) onde foram feitas as secções horizontais.....	40
Figura 13: Série dos fragmentos de imagens infravermelhas de satélite (GOES-8) do dia 7 ao dia 8 de janeiro de 2001. Os núcleos do SCM são indicados pelas setas.....	42
Figura 14: Classificação dos SCM quanto a forma.....	43
Figura 15: Histograma do tempo de vida dos SCM.....	44
Figura 16: Variação temporal das áreas cercadas pelos isocontornos de temperatura de -70°C (linha vermelha), de -65°C (linha azul), de -60°C (linha verde), de -50°C (linha cinza) e de -30°C (linha azul clara) para o SCM que ocorreu do dia 27 até 30 de novembro de 2000.....	45
Figura 17: Atraso entre os máximos indicado pelas setas. SCM que ocorreu do dia 7 até 8 de janeiro de 2001.....	46
Figura 18: Histograma ΔT_a (diferença de tempo entre máximos A70 e 60).....	47
Figura 19: As setas indicam as variações de intensidade que ocorrem com período curto. -70°C (linha vermelha), de -65°C (linha azul), de -60°C (linha verde), de -50°C (linha cinza) e de -30°C (linha azul clara). SCM que ocorreu do dia 27 até 30 de novembro de 2000.....	50
Figura 20: Histogramas dos diâmetros dos núcleos (a), das distâncias entre núcleos (b) e de seus respectivos tempos de vida (ΔT) (c) dos núcleos dos SCM.....	53
Figura 21: Esquema usado para calcular a distância entre os núcleos.....	53

Figura 22: Relação entre o diâmetro e tempo de vida dos núcleos dos SCM. A reta de regressão é representada pela equação acima.....	54
Figura 23: Histogramas dos intervalos de tempo entre os momentos de intensidade máxima dos núcleos consecutivos (ΔT_m) (a) e dos intervalos de tempo entre os momentos de aparecimento dos núcleos seguidos (b) dos SCM.....	55
Figura 24: As trajetórias dos SCM com o deslocamento principal: a) e b) para norte (15 casos); c) para noroeste (3 casos de cor vermelho) e para oeste (2 casos de cor rosa) e um caso para sul (cor azul); d) para nordeste (7 casos); e) para leste (6 casos de cor azul) e para sudeste (1 caso de vermelha); f) trajetórias dos SCM parados.....	57
Figura 25: Histograma do número dos SCM (preto) e dos SCM com as trajetórias complexas (cinza) que se deslocaram em alguma direção.....	58
Figura 26: Distribuição dos sentidos do aparecimento dos núcleos novos em relação ao núcleo velhos.....	60
Figura 27: Caso típico da evolução do SCM que ocorreu nos dias 25-26 de janeiro de 2001. As áreas do SCM com as temperaturas menores -60°C (nas Figuras 27a-27g elas são mostradas pelas cores diferentes). As áreas vermelhas apresentam as áreas do SCM com as temperaturas menores -70°C	61
Figura 28: A figura 28a contém a sobreposição das imagens do SCM mostradas na Figura 27. Os números nas figuras 28a e 28b indicam as posições e as cores o horário de surgimento dos núcleos novos. A trajetória do SCM é dada pela seta na figura 28b e a figura 28c dá as trajetórias do deslocamento dos núcleos. pelas setas vermelhas. A figura 28d é uma composição da figura 28 a e 28c.....	62

Figura 29: Modelo conceitual da evolução de tempestades severas multicelulares..... 63

Figura 30: Esquema de evolução observado na maioria dos casos estudados, em média a cada 4,5 horas, ocorre o aparecimento de num novo núcleo convectivo. O diâmetro médio dos núcleos foi de 330km, e a distância média entre o núcleo antigo e o novo foi de 370km. N1,N2, e N3 indicam núcleos diferentes, em um mesmo SCM.....65

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

R	→ Radiância média no pixel (W/m^2)
T	→ Temperatura correspondente a radiância
σ	→ Constante de Stefan-Boltzman ($5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$)
ζ	→ Componente vertical da vorticidade relativa
U	→ Escala de Velocidade Horizontal.
L	→ Escala de comprimento
f	→ Parâmetro de Coriolis
C_N	→ Velocidade de fase de uma onda de gravidade inercial
V	→ componente tangencial do vento no raio da curva R
R	→ Raio da curva
R_0	→ Número de Rossby
CCM	→ Complexo Convectivo de Mesoescala
SCM	→ Sistema Convectivo de Mesoescala
SCE	→ Sistema Convectivo Estacionário
JBN	→ Jato de Baixos Níveis
JNS	→ Jato de Níveis Superiores

1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, o uso de satélites geoestacionários para o monitoramento ambiental da Terra possibilitou a identificação de grandes sistemas meteorológicos que se formavam sobre latitudes médias, na porção central dos Estados Unidos. Estes sistemas meteorológicos eram compostos por nuvens convectivas profundas, tendo estruturas dinâmicas e termodinâmicas diferentes da maioria das tempestades clássicas em latitudes médias. Os Sistemas possuíam forma arredondada com grandes dimensões espaciais e tempo de vida superior a 6 horas.

Tais eventos foram denominados por Maddox (1980) como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). O realce de imagens de satélite (no canal infravermelho, $10\mu\text{m}$) é uma ferramenta importante para a identificação e análise do comportamento espacial e temporal de sistemas meteorológicos. Geralmente o aparecimento dos CCM dá-se a sotavento das grandes cadeias montanhosas, e ocorre principalmente no período de primavera-verão. Neste período as massas de ar das

baixas latitudes começam a fazer incursões em direção às latitudes mais altas, provocando também a convergência de umidade para estas regiões.

Na América do Sul também há uma forte incidência destes sistemas, principalmente na área entre as latitudes de 20°S a 40°S, compreendendo boa parte do continente Sul-Americano (Paraguai, Uruguai, região central da Argentina e Sul do Brasil). Esta região é uma das áreas com a maior ocorrência de CCM (Velasco, 1987), os sistemas meteorológicos que nela se desenvolvem têm seus processos dinâmicos e termodinâmicos fortemente influenciados pela cadeia de montanhas dos Andes.

No Sul do Brasil estes sistemas quase sempre estão associados a eventos de precipitações intensas, fortes rajadas de vento, motivando seu estudo para a melhora da previsão de curto prazo bem como de sua modelagem. São eventos significativos não só do ponto de vista meteorológico, mas também devido aos impactos sociais e econômicos, afetando tanto áreas agrícolas como centros urbanos.

A baixa frequência temporal e espacial, de dados de superfície e de ar superior na América do Sul, dificulta a alimentação de modelos e o fornecimento de informações em tempo real para os previsores. Parte da demanda de informações pode ser suprida através de simulações numéricas, da estatística observacional (Climatologia dos Fenômenos) e do reconhecimento de padrões sinóticos para o desenvolvimento dos CCM.

Neste trabalho são analisados Sistemas Convectivos de Mesoescala, que atuaram na América do Sul, durante os anos de 1999, 2000 e 2001. O termo Sistema Convectivo de Mesoescala é um termo mais amplo do que CCM. Equivale a um complexo de tempestades, que apresenta organização em uma escala maior do que as tempestades individuais, com tempo vida superior a 12 horas. Assim, serão analisados aglomerados de núcleos convectivos, que tiveram longo tempo de vida. O trabalho seguirá uma linha

de pesquisa muito próxima da desenvolvida por Maddox (1980), mas os casos selecionados para este estudo terão dimensões espaciais entre 200 a 2500 km, enquadrando-se na escala Meso- α , segundo a divisão de escalas de Orlanski (1975).

Serão determinadas características da evolução temporal e espacial dos SCM. A análise será dividida em duas partes principais: Análise Temporal, onde se observará a variação temporal na intensidade dos SCM. E a Análise Espacial, onde são observadas características como: tamanho e tempo de vida dos SCM e de seus respectivos núcleos, distâncias entre os núcleos, trajetórias dos SCM entre outras características comportamentais.

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre CCM e SCM, mostrando diferentes perspectivas para o estudo destes fenômenos. Há uma apresentação sobre os fenômenos de grande escala, envolvidos no desenvolvimento destes sistemas, estágios de desenvolvimento e a climatologia do fenômeno. Além de informações sobre o satélite GOES-8 e algumas técnicas para o processamento de imagens. No capítulo 3, descreve-se a metodologia utilizada para o processamento das imagens e seleção dos casos. Também é feito o detalhamento da metodologia desenvolvida para análise Temporal e Espacial dos SCM. No capítulo 4, constam os resultados e a discussão dos mesmos. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas Convectivos de Mesoescala

Um dos primeiros estudos sobre Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) através de imagens de satélite foi o trabalho de Maddox (1980), onde foram analisados desastres naturais (ventania, enchentes, granizo, etc.) na região central dos Estados Unidos, em condições sinóticas que não estavam associadas com passagem de frentes. Ele mostrou que estes fenômenos estavam ligados ao desenvolvimento de SCM com forma quase-circular, e diâmetro de centenas de quilômetros. Estes SCM foram chamados por Maddox de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Com base na análise de dezenas de casos através de imagem de satélite no infravermelho, Maddox (1980) criou uma definição para os CCM. Esta definição é mostrada em Tabela 1.

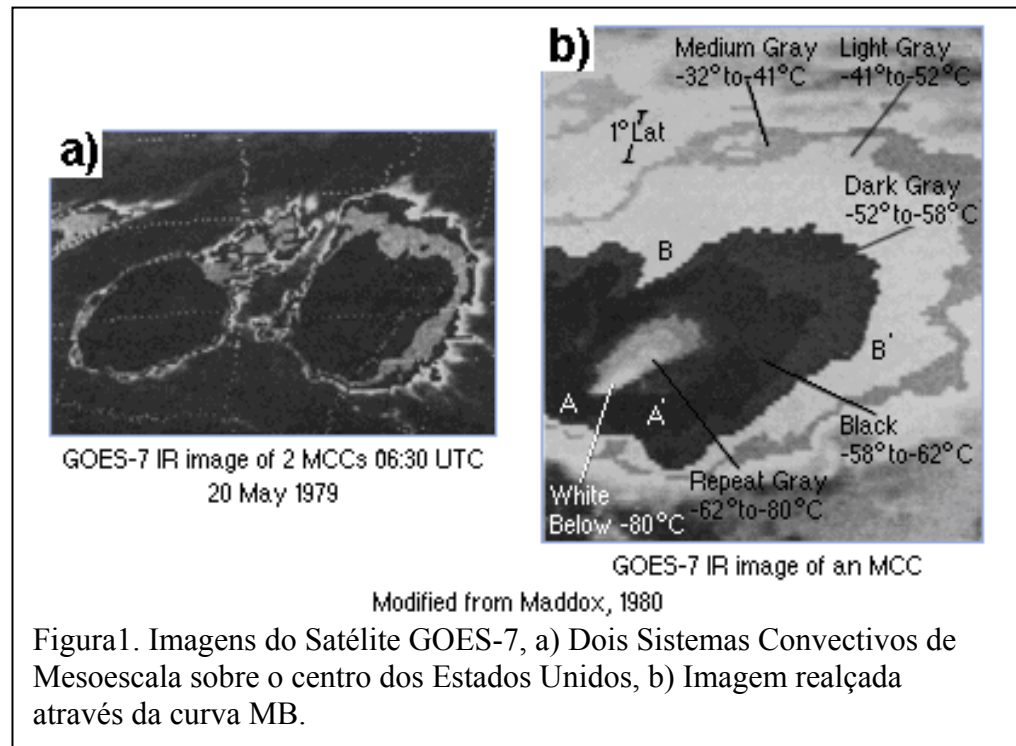
Tabela 1. Definição de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) baseada em imagens de satélite no infravermelho (Maddox, 1980).

Critério	Características Físicas
Tamanho	A: Camada de nuvens de temperatura de brilho no infravermelho continuamente $\leq -32^{\circ}\text{C}$ com área $\geq 100000 \text{ Km}^2$ B: No interior da região definida acima deve haver nuvens frias com temperatura $\leq -52^{\circ}\text{C}$ e com área $\geq 50000 \text{ Km}^2$
Duração	As definições de tamanho A e B devem ser observadas por um período ≥ 6 horas.
Máxima extensão	A camada de nuvens frias contínuas (com temperatura $\leq -32^{\circ}\text{C}$) atinge o maior tamanho.
Forma	A excentricidade (eixo menor/eixo maior) $\geq 0,7$ no momento de maior extensão
Início	Ocorre quando as definições de tamanho A e B são inicialmente observadas
Término	Ocorre quando as definições de tamanho A e B não são mais observadas

Apenas foram analisadas características internas dos CCM ao longo de sua vida e sua forma no momento de máxima intensidade.

Nas imagens de satélite estes sistemas apresentavam forma quase-circular, mas com uma particularidade geral: todos os SCM estão associados com uma grande área contínua de precipitação na qual existiam subáreas com precipitações contínuas, e precipitações convectivas. Um exemplo de CCM (com forma quase-circular) estudados por Maddox através da curva de realce MB (isocontornos de temperatura), podem ser vistos na Figura 1.

Houze (1993), analisando os SCM, principalmente através das imagens de radar, definiu um SCM como um sistema de nuvens que está associado a conjunto de tempestades que produz uma área contínua de precipitação com dimensão horizontal



(pelo menos numa direção) de cerca de 100 km ou mais. A diferença entre os tamanhos de SCM estudados pode estar ligada à utilização de diferentes instrumentos de observação. Pelo radar observam-se principalmente áreas de precipitação, enquanto pelo satélite podemos ver todo escudo das nuvens. Assim, um SCM as dimensões espaciais do sistema podem varia devido metodologia utilizada.

Outros autores também criaram definições para os Sistemas Convectivos de Mesoescala.

Zipser (1982), os descreveu como um padrão de tempo (meteorológico) em que ocorre “*overtuning*” convectivo contínuo relacionado com uma circulação de mesoescala gerada por processos convectivos. Esta definição engloba uma grande

variedade de eventos de mesoescala, que vão desde tempestades locais até eventos organizados como “*Squall Lines*”, tempestades tropicais e furacões.

Schubert (1980), excluiu as tempestades tropicais do contexto de CCM, considerando como dinamicamente de mesoescala apenas sistemas com um número de Rossby da ordem de 1, e sistemas com raio comparável com o raio de deformação de Rossby λ_R

$$\lambda_R = \frac{C_N}{(\zeta + f)^{1/2} (2VR^{-1} + f)^{1/2}} \quad (1)$$

onde:

$\zeta \rightarrow$ Componente vertical da vorticidade relativa

$f \rightarrow$ Parâmetro de Coriolis

$C_N \rightarrow$ Velocidade de fase de uma onda de gravidade inercial

$V \rightarrow$ componente tangencial do vento no raio da curva R

$R \rightarrow$ Raio da curva

O número de Rossby é uma forma de medir a magnitude da aceleração horizontal comparada com a força de Coriolis. Esta medida é dada pela razão de escalas características de aceleração e da força de Coriolis: $(U^2/L)/(fU)$. Esta razão é adimensional e é dada pela fórmula 1a.

$$R_o = U / (f_o L) \quad (1a)$$

$U \rightarrow$ Escala de Comprimento Horizontal $10 \text{ ms}^{-1} \text{ r}$

$L \rightarrow$ Escala de Comprimento Horizontal 10^6 m

$f \rightarrow$ Parâmetro de Coriolis curva R

$R_o \rightarrow$ Número de Rossby

Cotton (1989) encontrou que λ_R , para SCM em latitudes médias está em torno de 300 km e que para sistemas com escala espacial desta ordem de grandeza, a força de Coriolis leva de 3 a 6 horas para se tornar significativa.

Starostin (2000), considerou-se um conjunto de núcleos convectivos como sendo um Sistema Convectivo de Meso- α escala (SCM) se, durante sua evolução estes CCM confluíram ou se durante um intervalo de tempo estiveram dentro de uma área cercada pelo isocontorno de temperatura -50 °C. Esta será a definição de SCM utilizada daqui em diante.

2.2. Características de Formação

Os SCM são categorizados por dois tipos de mecanismos dinâmicos, onde a convecção e grandes sistemas de nuvens se desenvolvem.

- Por forçantes externas: ocorre quando uma parcela de ar potencialmente instável, próxima à superfície, com dimensões de mesoescala é forçada mecanicamente a ascender em uma zona frontal, ou ascender devido ao deslocamento da corrente de jato em altos níveis ou a circulações de mesoescala. Isto ocorre mais freqüentemente em regiões de baroclinia.

- Pela forçantes do próprio sistema: ocorre em ambientes barotrópicos, onde ocorre a formação dos sistemas. Após a maturidade dos SCM aparecem correntes descendentes frias (rajadas de vento da nuvem), forma-se então uma bolha de ar frio que se desloca (como uma frente fria) servindo de rampa para as correntes ascendentes úmidas e quentes que alimentam o processo convectivo. Isto resulta em um movimento ascendente de mesoescala e na formação de um grande escudo de nuvens estratiformes característico dos CCM.

O primeiro tipo forma-se e desenvolve-se com grandes dimensões e será o mais interessante para as considerações feitas neste estudo. As características topográficas, situações sinóticas e circulações locais que ocorrem nas regiões norte da Argentina e Sul do Brasil (áreas onde estão concentrados as maiorias dos casos analisados neste trabalho) favorecem na maioria das vezes este tipo de desenvolvimento.

O segundo tipo está ligado à própria convecção e a flutuabilidade das parcelas potencialmente instáveis próximas do SCM, assemelhando-se ao tipo de convecção que se desenvolve localmente, ou aos núcleos que realimentam o sistema.

As tempestades severas em geral possuem condições iniciais de desenvolvimento muito particulares, mas, comuns a todas elas. Fatores como a instabilidade, variações na velocidade e cisalhamento do vento, quantidade de vapor disponível para a convecção, advecção térmica e de umidade.

2.2.1. Padrões e Características de Grande Escala

Desde o início das investigações sobre a ocorrência e formação dos SCM tentou-se detectar características comuns entre os eventos de tempo severo. Ao longo dos anos vários estudos mostram a existência de características dinâmicas e termodinâmicas que estão usualmente presentes na formação das tempestades (Maddox 1983, Cotton 1989).

Uma revisão bibliográfica interessante pode ser encontrada no livro *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, onde Maddox (1983) apresenta a análise de grande escala para 10 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), ocorridas em áreas em que haviam regiões com correntes ascendentes ($5-10 \mu\text{bs}^{-1}$ em 500 mb). Este movimento ascendente estava relacionado a advecção de ar quente em baixos níveis, o que favorece a advecção de vorticidade, que provoca desenvolvimento dos CCM.

Os resultados obtidos por Maddox serão apresentados resumidamente a seguir:

- A análise de dos dados de ar superior, mostrou que os CCM interagem com o meio, afetando o ambiente e causando mudanças nos padrões meteorológicos, que provocam o desenvolvimento de tempestades no Leste dos Estados Unidos.
- O quadro de grande escala provem uma estrutura termodinâmica condicionalmente instável sobre uma grande região à frente e a direita da direção de evolução do CCM.

- O incremento noturno na velocidade e a significativa mudança de direção dos ventos em baixos níveis realçam a advecção quente e a entrada de ar saturado e instável para a região de desenvolvimento do sistema.
- Os elementos convectivos ocorrem dentro de um ambiente de mesoescala, que com o tempo, satura e adquire grande profundidade. Dentro deste ambiente o cisalhamento do vento vertical é decrescente. Assim, durante a fase madura, as correntes ascendentes podem ser menos intensas a precipitação mais intensa do que na fase de desenvolvimento e de crescimento.
- Os CCM finalmente movem-se para dentro de um meio mais estável e menos favorável convectivamente, aparentemente iniciando sua dissipação.

2.2.2. Estágios de Desenvolvimento

As etapas anteriormente descritas podem ser melhor entendidas na divisão do ciclo de vida dos CCM: Gênese, Desenvolvimento, Maturação e Dissipação. Maddox (1980).

2.2.2.1. Gênese

A região de gênese dos SCM é caracterizada por condições que favorecem a convecção, ou seja, correntes ascendentes fracas nos níveis mais baixos da troposfera,

instabilidade térmica e disponibilidade de umidade. As características topográficas, fontes de calor, forçantes de média e grande escala servem para dar início ao processo convectivo. Nesta fase está envolvida uma grande quantidade de energia consumida e liberada. Assim, a maior parte dos eventos desastrosos ocorre nas primeiras horas de vida dos sistemas.

2.2.2.2. Desenvolvimento

Juntamente com a precipitação aparecem correntes descendentes frias provenientes do interior das células da tempestade. A ação destas correntes descendentes resulta na formação de um sistema de alta pressão frio (de mesoescala) sob a tempestade. Esta meso-alta-fria (*cold pool*) age como uma frente fria (em escala reduzida), expandindo-se alimentada pelas correntes descendentes e servindo de rampa (forçante mecânica) para a entrada de umidade e calor do sistema. Isto também serve como gatilho para as regiões potencialmente instáveis nas redondezas resultando na formação de novas células convectivas.

2.2.2.3. Maturação

Nesta fase, acima da região de desenvolvimento, nos níveis médios da troposfera, há uma região de convergência que incrementa as correntes ascendentes alimentando a convecção. As células novas do CCM continuam a se desenvolver. O aparecimento de células novas dá-se preferencialmente na direção contrária às correntes úmidas que se dirigem para dentro do sistema. Nesta fase cada vez mais a meso-alta-fria

expande-se com o incremento das correntes descendentes, provocando o levantamento das parcelas potencialmente instáveis nas proximidades.

Maddox (1980) mostrou que na fase madura o CCM ou o SCM atinge sua extensão máxima, provocando uma ampla área de precipitação, fortes chuvas, granizo e rajadas de ventos em pontos localizados.

2.2.2.4. Dissipação

Logo acima da meso-alta-fria começa a formar-se uma meso-alta-quente (centro de baixa pressão gerado pelo núcleo quente do sistema), então a meso-alta-fria começa a estende-se verticalmente em direção aos níveis superiores da troposfera. Na medida em que a meso-alta-fria estende-se para os níveis superiores começa a ocorrer o enfraquecimento do sistema, o sistema ao se deslocar atinge áreas de pouca “energia convectiva”, então começa a ocorrer uma rápida mudança nas características do CCM. Os elementos convectivos do sistema perdem intensidade, prejudicando a alimentação do mesmo. Inicia-se assim a dissipação. Os núcleos convectivos começam a se desestruturar e a nebulosidade começa a adquirir características estratiformes.

Existem vários mecanismos fundamentais que alimentam os sistemas em todas as suas fases de desenvolvimento. Estes mecanismos são forçantes mecânicas e térmicas que participam da vida do sistema desde o primeiro movimento ascendente para a sua formação, até o término de sua vida.

As condições médias de grande escala, favoráveis ao desenvolvimento dos CCM, foram notadas e mencionadas tanto por Guedes (1985), como por em Velasco e Fritsch (1987).

Na América do Sul a característica principal é a presença de um jato em baixos níveis (850 hPa) de norte (paralelo à cordilheira dos Andes) que proporciona forte advecção de ar quente e úmido (Guedes, 1985, Velasco e Fritsch, 1987). Na seção 2.3. o papel dos Jatos no desenvolvimento e alimentação dos SCM será melhor detalhado.

Embora a situação de grande escala seja favorável ao início do sistema convectivo, a evolução não é definida por essa característica. Numa simulação numérica do desenvolvimento de um sistema convectivo, Rocha (1992), mostrou que a evolução do CCM está ligada à liberação de calor latente nos processos convectivos. Sem essa fonte de energia, o sistema decai rapidamente. Ou seja, a liberação de calor latente realimenta o sistema.

Laing e Fritsch (1999) identificaram um padrão que caracteriza condições sinóticas para a formação de sistemas convectivos de grande escala, que tendem a se desenvolver durante a noite em uma região específica. Eles argumentaram que o ciclo noturno dos sistemas convectivos pode estar relacionado com o aquecimento radioativo diferencial entre as nuvens convectivas e o seu ambiente de desenvolvimento. Os topos de nuvens resfriam-se enquanto as subcamadas da nuvem se aquecem relativamente às áreas próximas de céu claro. Isto pode tender para o realce da subsidência sobre a periferia da cobertura de nuvens e através disso incremento na convergência para dentro do sistema em baixos níveis, Gray e Jacobson (1977). Os resultados obtidos por Gray e Jacobson (1977) foram reforçados por Webster e Stephens (1980) e Chen e Cotton (1988). Eles verificaram que o aquecimento dos níveis mais baixos da nuvem e o

resfriamento do topo reduzem a estabilidade estática da bigorna estratiforme dos SCM, realimentando o processo convectivo.

2.3. Jatos

2.3.1. Corrente de Jato em Níveis Superiores (JNS)

“A corrente de jato é o escoamento do ar na alta troposfera ou na estratosfera, que apresenta velocidades maiores que 108km/h (30m/s), alcançando por vezes, 160km/h” (Fedorova, N., Meteorologia Sinótica I, 1999).

Esta intensificação no escoamento dos ventos em altos níveis está associada a uma forte região de baroclinia, por isto frequentemente associada a sistemas frontais podendo ser dividido em dois tipos de correntes, o jato polar e o jato subtropical. A localização da corrente de jato dá-se entre 25° e 60° de latitude, tanto no hemisfério sul quanto no hemisfério norte.

A velocidade no centro da corrente de jato é mais intensa do que a velocidade da periferia. Na região localizada, corrente abaixo, o vento é desacelerado e esta região, é chamada de região de saída. Na região corrente acima, onde as parcelas são aceleradas é chamada de região de entrada. O campo do vento geostrófico é confluyente e difluyente nas regiões de entrada e saída respectivamente.

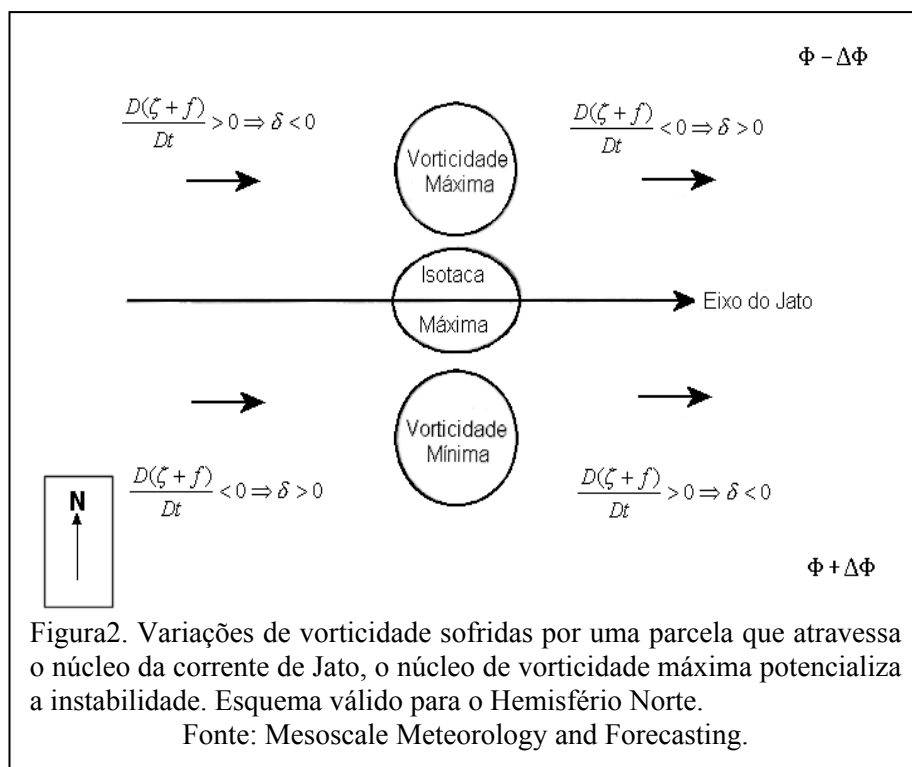
Existem várias formas de inferir o campo do movimento vertical ao longo da corrente de jato. Considerando-se a forma da equação da vorticidade sem atrito. Se os termos de rotação são pequenos comparados com o termo da divergência,

a equação da vorticidade é dada por:

$$\frac{D(\zeta + f)}{Dt} = -\delta(\zeta + f) \quad (2)$$

as variáveis da equação seguem a mesma notação da equação 1.

Se as acelerações devido à curvatura da linha de corrente forem pequenas, então o núcleo da corrente de jato pode ser chamado de um “núcleo reto” e haverá convergência no quadrante esquerdo à retaguarda do núcleo e no quadrante direito à vanguarda do mesmo, haverá divergência no quadrante direito na retaguarda do núcleo e no quadrante esquerdo a vanguarda do mesmo. Na região central do núcleo do jato haverá um máximo de vorticidade absoluta e no lado direito haverá um mínimo o que representa uma região inercialmente instável. Esta região de instabilidade ao movimentar-se com a ondulação do jato irá servir de gatilho para a liberação da energia de regiões potencialmente instáveis em superfície, formando um escudo de nuvens no lado do jato com maiores valores de altura geopotencial. Um esquema dos movimentos descritos acima pode ser visto na figura 2.



2.3.2. Jato de Baixos Níveis

O fenômeno do Jato de Baixos Níveis (JBN) está intimamente ligado a estrutura de alimentação e manutenção de Complexos Convectivos de Mesoescala isolados ou em conjunto (SCM). (Correa et al.,2000).

O Jato de Baixos Níveis (JBN) é um máximo no perfil vertical do vento horizontal na baixa troposfera, e é um mecanismo muito importante na circulação atmosférica, pois otimiza os mecanismos de transporte de vapor d'água de regiões próximas do equador para latitudes médias.

Um JBN pode ocorrer em qualquer lugar do mundo desde que haja as condições sinóticas favoráveis (forte gradiente de pressão). O JNB desenvolve-se através da atuação da força de Coriolis no fluxo do vento ageostrofico, em resposta ao incremento do gradiente de pressão relacionado no desenvolvimento do ciclone, que é realçado pelo aquecimento gerado pelo calor latente.

Segundo Chen, et al. 1996 a interação destes processos não-lineares levam a uma maior intensificação dos JNB.

Na maioria das vezes os JBN tendem a ocorrer em grandes planícies, nas quais afetam fortemente o regime de precipitações.

O JBN é caracterizado pelo rápido movimento do ar próximo da superfície (500 a 1000 m da superfície) e o grande cisalhamento do vento sobre e abaixo do mesmo. Isto resulta no incremento do transporte de umidade. À leste da Cordilheira dos Andes JBN faz com que ocorra transporte de umidade das latitudes mais baixas para as mais altas. A velocidade do vento nesta região de no mínimo 12 m/s com máximos que podem chegar até 30 m/s. Estes ventos variam muito durante o dia e tendem a se intensificar durante a noite e a madrugada, período que coincide o horário de

aparecimento dos SCM. A máxima ocorrência de JBN é registrada no período de Primavera e Verão.

Assim o jato de baixos níveis está associado com a ocorrência e a intensidade dos CCM, apresentando-se como um ingrediente essencial para este processo. (Maddox,1980).

A ação do JBN combinada com o jato em níveis superiores (JNS) promove uma mudança na direção dos ventos com a altura, é favorável ao desenvolvimento de tempo severo. (Uccellini e Johnson, 1779). As causas deste fenômeno são as oscilação inercial no campo de vento da baixa troposfera e a baroclinia sobre terrenos inclinados e o acoplamento com a circulação em níveis superiores.

2.3.3. Papel dos Jatos no Desenvolvimento do SCM

O acoplamento entre os escoamentos em 850 e 250 hPa é de vital importância para o desenvolvimento da convecção, tanto na área central dos EUA como no nordeste Argentino. O efeito combinado de ambas as correntes de Jato de Baixos Níveis (JBN) (850 hPa) e o Jato em níveis superiores (JNS) (250 hPa), contribui muito para o desenvolvimento do CCM na região estudada.

Uccellini e Johnson (1979) demonstraram que a circulação vertical associada a corrente de jato pode estar de fato acoplada com o escoamento em baixos níveis. Também apresentaram evidências de que este acoplamento dos jatos exerce um papel importante no desenvolvimento de precipitações fortes.

O JNS exerce um papel de instabilizador, servindo de gatilho para a convecção e o JBN alimenta os Sistemas Convectivos através do transporte de umidade.

Em níveis superiores o JNS (250 hPa) provoca um aumento da instabilidade através da aceleração do escoamento sobre a região, resultando no aumento da convergência em baixos níveis, simultaneamente, o jato de baixos níveis age alimentando o sistema com ar quente e úmido oriundo dos trópicos, onde por continuidade de massa há um incremento da convecção formando aglomerados convectivos, gerando finalmente os CCM (Silva Dias, 1996). Abaixo, um esquema do posicionamento dos JBN e dos JNS pode ser visto nas figuras 3.

A região do Chaco (nordeste da Argentina) é uma das regiões de maior ocorrência de SCM na América do Sul (Velasco e Fritsch 1987). Estes eventos

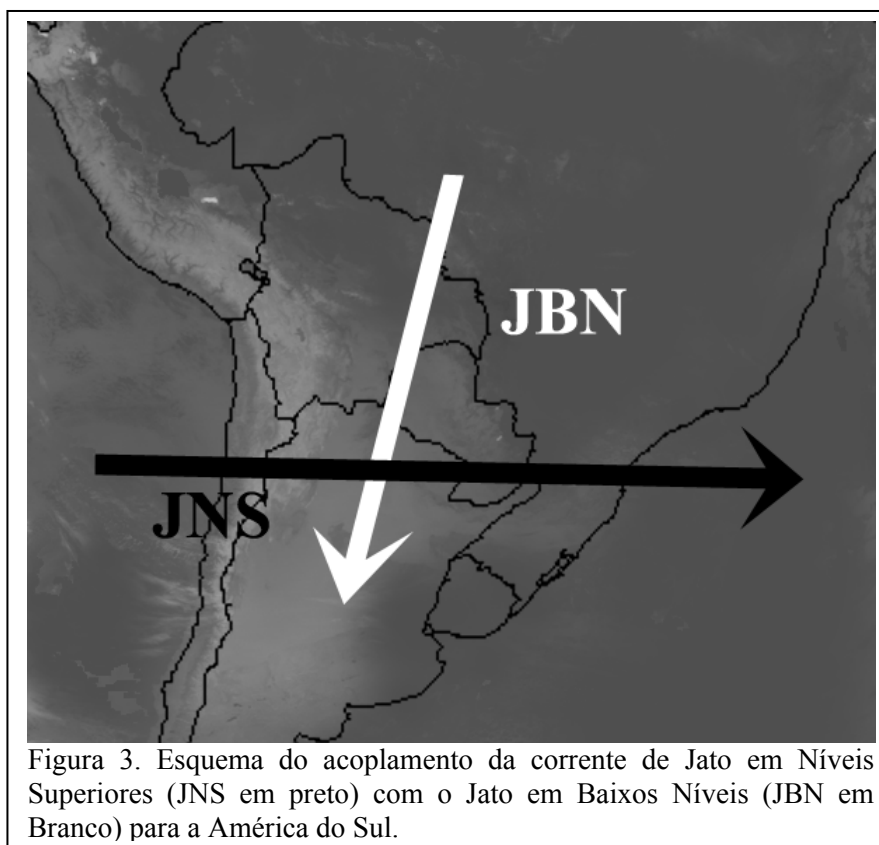


Figura 3. Esquema do acoplamento da corrente de Jato em Níveis Superiores (JNS em preto) com o Jato em Baixos Níveis (JBN em Branco) para a América do Sul.

meteorológicos são muito semelhantes aos que ocorrem na área central dos EUA. Isto se deve a extrema semelhança geomorfológicas e climáticas, existentes nas duas regiões. As regiões norte e nordeste da Argentina sofrem freqüentemente incursões de massas de ar quente e úmido, estas alimentam os sistemas que desenvolvem convecção profunda

durante a ação de jatos de baixos níveis na região (Salio et al., 2001). Esta região também apresenta máxima convergência de umidade durante a fase madura dos sistemas de precipitação intensa associada à SCM no sudoeste da América do Sul (Torres et al., 2001).

2.4. Climatologia dos Sistemas Convectivos de Mesoescala

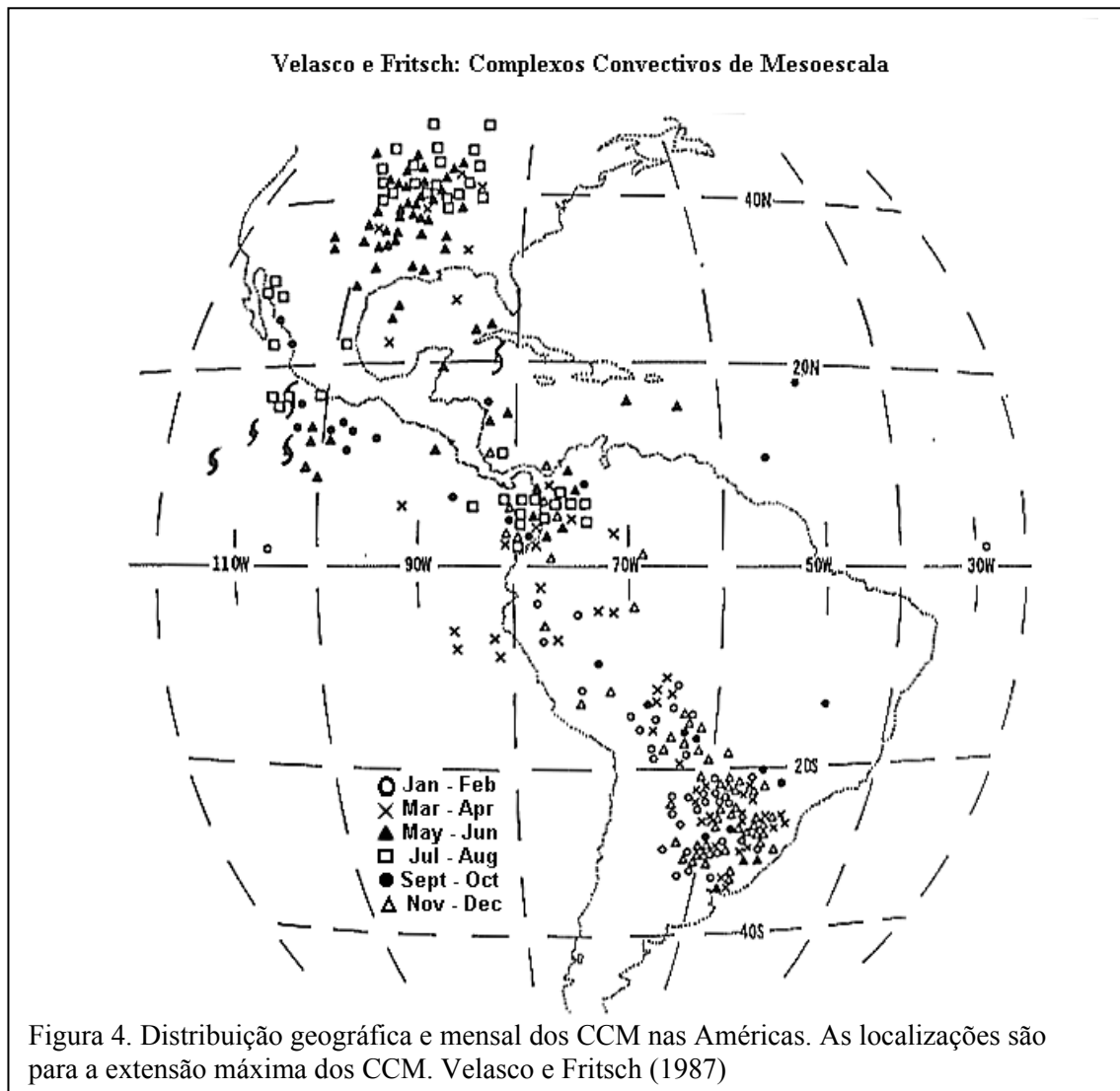
Maddox (1980) analisou 10 SCM que, nas imagens de satélite, apresentam uma forma quase-circular. Estes SCM foram nomeados de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Os critérios adotados para tal classificação são:

O diâmetro máximo médio do CCM é de aproximadamente 600 km, o tempo de vida médio desde o aparecimento das primeiras tempestades até o início da dissipação do CCM é igual a 16,5 horas (Maddox, 1981).

Anderson e Arritt (1998) analisaram (segundo a metodologia de Maddox) 176 SCM que ocorreram sobre os Estados Unidos durante 1992 e 1993 (55 SCM circulares e 121 SCM alongados). A área máxima média limitada pelo isocontorno de temperatura de -52°C (S_{52}) foi igual a 182000 km^2 (o diâmetro equivalente médio destes SCM foi igual a 500 km, aproximadamente). O tempo de vida variou de 5 a 43 horas, 86% dos SCM tinham tempo de vida menor que 16 horas, com tempo de vida médio de 12 horas. A metade destes SCM atingiu a área máxima S_{52} às 4 horas da madrugada (hora local), ou seja, estes SCM tendem a ocorrer durante a madrugada. Velasco e Fritsch (1987) mapearam as regiões de ocorrência e analisaram das trajetórias dos CCM na América do

Sul (Figura 4), eles mostraram que no ciclo de vida do CCM tamanho máximo de um CCM ocorre de madrugada na grande maioria dos casos analisados.

Machado *et al.* (1994) também fizeram estudos sobre os Sistemas Convectivos de Mesoescala na América do Sul. Os casos analisados tinham tempo de vida entre 6 e 36 horas (foram usadas as séries das imagens de satélite de cada 3 horas).



Aproximadamente 90% dos SCM tinham o tempo de vida menor que 18 horas. Eles notaram uma correlação positiva entre o tempo de vida e o diâmetro do CCM (CCM de 6 horas de vida apresentaram, em média, um diâmetro da ordem de 240 km, e os SCM com 18 horas, apresentaram, em média, um diâmetro da ordem de 400 km) e encontrou-se dois máximos na hora local de formação dos SCM, um no período da tarde (em volta

das 15 horas) e um segundo ao amanhecer (em volta das 6 horas). O primeiro máximo foi associado com o máximo de atividade convectiva sobre o continente. O segundo máximo estava associado com o máximo na atividade convectiva sobre oceanos, observado por Machado *et al.* (1993).

Sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil, os SCM no inverno se deslocam para leste, tendo um comportamento mais zonal, mas, no verão, este deslocamento torna-se de sudoeste para nordeste (Guedes *et al.*, 1994).

O tempo de vida dos SCM sobre a América do Sul, em geral, é de 10 a 16 horas (Machados e Guedes, 1996).

Figueiredo e Scolar (1996) analisaram 25 CCM. Estes sistemas cobriram uma extensa área em sua fase madura (o tamanho máximo dos CCM variou de 600 km até 2.100 km, com valor médio de 1.100 km), que se desenvolveram nas proximidades do Paraguai e da Argentina. O horário preferencial de formação desses sistemas foi durante a madrugada (entre 03 e 06 UTC). O deslocamento mais comum foi para o Leste e Sul. Apesar de serem grandes, o tempo de vida destes CCM variou entre 6 e 17 horas, com valor médio de 13 horas. Estes CCM se dissiparam 3 horas após atingirem o tamanho máximo.

A formação dos SCM no setor norte do Nordeste Brasileiro ocorre mais freqüentemente no início da madrugada e no período da tarde (Vitorino *et al.*, 1997). Neste trabalho, a máxima freqüência no início da madrugada foi associada com a circulação de vale-montanha e a freqüência máxima do período da tarde com o máximo da convecção diurna sobre o continente.

Bonatti e Rao (1987) consideram que, alguns sistemas inicialmente classificados como CCM podem evoluir para vórtices. Durante as primeiras 6 horas, o sistema observado se

apresentou como um CCM e, a seguir, começou a adquirir a forma de vírgula invertida, característica de vórtices, e persistiu por mais 48 horas.

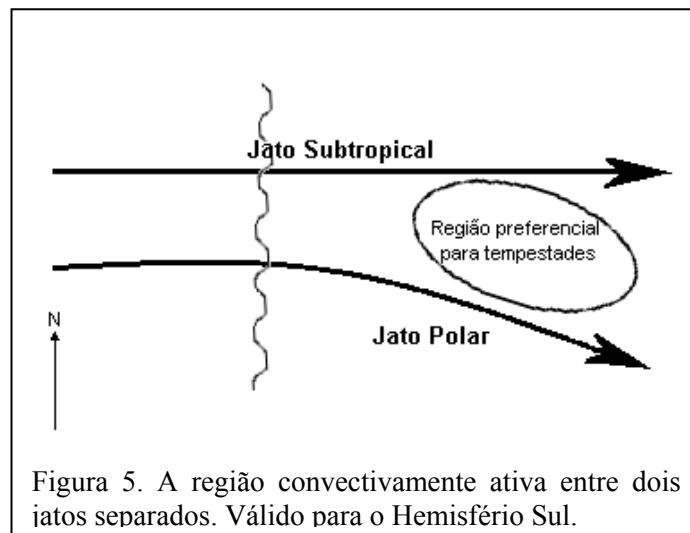
A ocorrência dos CCM a sotavento de cadeias de montanhas, como a dos Andes, e seu hábito noturno podem ser explicados por uma associação de uma condição sinótica favorável com as circulações locais termicamente induzidas (Silva Dias, 1996).

A região do Chaco e a assemelha-se muito com a planície central da América do norte, não só por características topográficas e geográficas, mas também por possuírem ingredientes básicos desenvolvimento de tempestades.

Starostin e Anabor (2000) fizeram a análise de 33 SCM de longa vida (mais que 12 horas) ocorridos no Sul da América do sul mostrando que estes sistemas seguem um padrão comportamental de evolução temporal e espacial. Em 22 dos 33 SCM analisados observaram um ritmo de intensificação com período médio de 12 horas. Eles identificaram dois horários preferenciais para a intensificação dos SCM, um na madrugada (entre 0 e 6 horas) e outro no final da tarde (entre 12 e 18 horas) no horário local. Mostraram que a evolução do SCM é dá-se pela seqüência de aparecimento de seus núcleos. O diâmetro médio dos núcleos foi igual a 350 km. A distância média entre os núcleos foi igual a 360 km. O tempo de vida médio foi igual a 12,8 horas. O intervalo de tempo médio entre os momentos de aparecimento dos núcleos seguidos é igual a 5 horas. Também identificaram uma relação que existe uma relação entre o tamanho dos núcleos que compõem um SCM e o tempo de vida de cada núcleo.

Djuric (em Weather Analysis, 1994), descreve as regiões de latitudes médias como as mais propícias ao desenvolvimento de tempestades, por ser uma região de atividade do jato polar, um esquema pode ser visto na figura 5.

Este é um dos mecanismos é um dos principais para a liberação da instabilidade potencial, que provoca o levantamento de parcelas de ar potencialmente instáveis junto à superfície.



2.5. Satélite GOES

Com o início da corrida espacial na década de 40, foram lançados foguetes equipados com sistemas de observação terrestre. Assim foram obtidas as primeiras imagens fotográficas da Terra, onde se podia observar a cobertura de nuvens do planeta. Isto impressionou muito e despertou o interesse da comunidade científica para o desenvolvimento de um sistema de observação terrestre. Desde então foram lançados vários satélites artificiais com sistemas de digitais para a aquisição de imagens. Na década de 90, o Serviço Nacional de Meteorologia (NWS) e o Serviço Nacional de Satélites Ambientais e de Informações dos EUA (NESDIS), desenvolveram o projeto GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Os satélites GOES I e J

(GOES 8 e GOES-9) foram lançados em 1994 e juntos cobrem a maior parte do continente Americano (Apêndice B), provendo dados ambientais em formato digital.

O tratamento das imagens de satélite tem como objetivo a transformação de dados digitais brutos em grandezas físicas úteis, através do uso das leis fundamentais da emissão, absorção e espalhamento da radiação.

As imagens do satélite GOES-8 são amplamente usadas em meteorologia para a detecção e monitoramento de alvos meteorológicos, que podem ser desde simples plumas de nuvens Cirros até grandes sistemas como Frentes frias e outros. Este satélite possui cinco bandas espectrais que são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Bandas Espectrais do satélite GOES-8 e aplicação das mesmas.

Número do Canal	Intervalo do comprimento de onda (µm)	Intervalo da Medida	Objetivo meteorológico e máximo intervalo de temperatura
1	0,55 a 0,75	1,6 a 100% albedo	Cobertura de nuvens
2	3,8 a 4	4 a 320K	Nuvens à noite
3	6,5 a 7	4 a 320K	Vapor d'água e cobertura de nuvens
4	10,2 a 11,2	4 a 320K	Temperatura da superfície do mar e Vapor d'água
5	11,5 a 12,5	4 a 320K	Temperatura da superfície do mar e Vapor d'água

O realce de determinadas características dos alvos meteorológicos nas imagens de satélite GOES é de vital importância para a caracterização de processos convectivos, classificação de nuvens e outros fins.

No meio meteorológico estas técnicas de tratamento de imagens são chamadas de *realce de imagem*. Este tratamento aplicado às imagens de satélite GOES, em Sensoriamento Remoto não tem o mesmo significado do chamado “*realce de imagem*”,

pois é equivalente a um classificador (Método do Paralelepípedo). Por convenção se prosseguirá este texto com o uso do *termo realce de imagem*, com a conotação que possui no meio meteorológico.

2.5.1. Radiância

O valor máximo de um pixel em uma determinada cena será 255(branco) e o valor mínimo será zero (preto). Esta cor representa uma grandeza física, no caso do satélite GOES, radiância.

A radiância média pode ser relacionada a um valor de temperatura média na área ocupada pelo pixel, ou seja, por uma Temperatura de Brilho. Pela lei de Stefan-Boltzman:

$$R = \sigma T^4 \quad (3)$$

Onde:

$R \rightarrow$ é a Radiância média no pixel (W/m^2)

$T \rightarrow$ é a Temperatura correspondente a radiância

$\sigma \rightarrow$ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

Relacionando-se cada tom de cinza com uma dada temperatura de brilho, pode-se prosseguir com o processamento da imagem pensando que o valor do CD correspondente a uma Temperatura de Brilho. Esta relação dependerá da natureza dos sensores. Para que seja da do um caráter físico correto para as medidas, deve-se seguir as orientações de calibração e registro das imagens fornecidas pela agência gestora do

satélite. Há a possibilidade de se encontrar imagens já corrigidas, então não é necessário efetuar esta etapa de pré-processamento das imagens.

As faixas de temperatura podem ser usadas para monitorar a variação da convecção seguindo uma linha de raciocínio muito próxima da utilizada por Maddox (1981).

No tipo de tratamento aplicado aos exemplos apresentados, faz-se o realce em temperaturas de brilho correspondentes a -60°C , -65°C , -70°C devido à sua relação direta com a convecção profunda e conseqüentemente eventos meteorológicos desastrosos relacionados a tornados, chuvas fortes, granizo, ventos fortes, tempestades elétricas. O monitoramento da convecção através destas faixas de temperatura foi proposto por Starostin e Anabor (2000).

2.5.2 Classificação de Imagens

2.5.2.1. Método do Paralelepípedo

A classificação de imagens através do método do paralelepípedo pode ser entendida simplesmente como uma classificação comparativa, pois apenas faz-se a separação dos dados em classes (temperaturas de brilhos) pré-determinadas. Richards (Remote Sensing Digital Analysis, 1998).

O classificador Paralelepípedo é um classificador supervisionado muito simples que é em princípio treinado por histogramas das componentes espectrais individuais dos dados em treinamento, neste estudo haverá apenas uma componente espectral (banda 4).

Quando se utiliza mais de uma banda espectral para fazer a classificação de um uma cena haverá a sobreposição de classes, pois a identificação de um alvo (bosque, área agrícola, lagoa) dependerá de duas bandas havendo assim a possibilidade de confusão entre as classes. Como a classificação será feita utilizando apenas uma banda do satélite GOES-8, então não haverá sobreposição de classes, facilitando o processo de classificação.

2.5.3. Realce de Imagens GOES

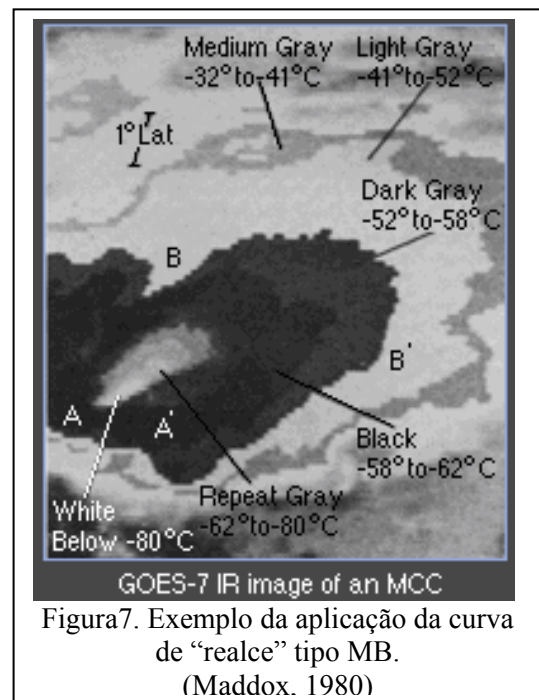
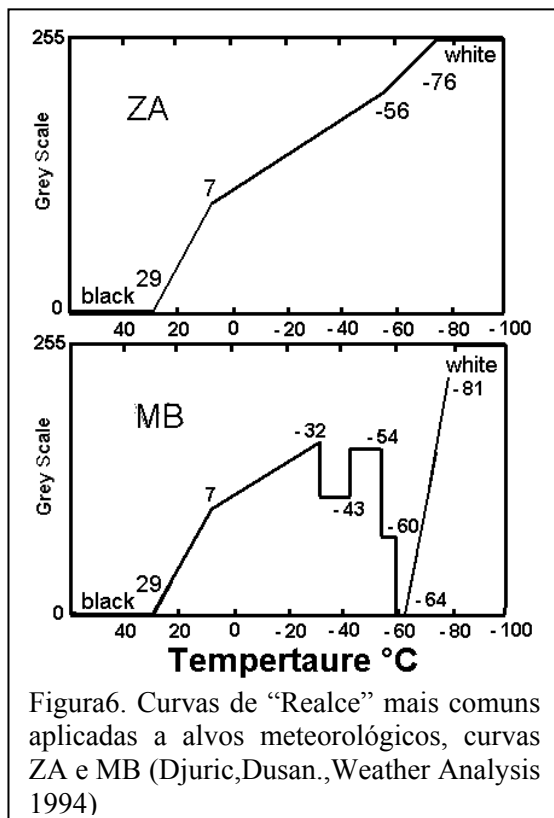
A técnica de “realce de imagens” do satélite GOES foi amplamente utilizada por Maddox no estudo de Complexos Convectivos de mesoescala, para isto utilizava as curvas de realce ZA, MB (figura 6) e CC (não mostrada).

As curvas de “realce” na realidade fazem com que sejam evidenciadas determinadas características da nebulosidade.

No caso da curva ZA, toda a nebulosidade (de uma forma geral) é evidenciada enquanto aspectos da superfície são menos valorizados.

Na curva MB temperaturas abaixo de -32°C são representados exatamente como na curva ZA. A diferença entre as duas curvas está no realce aplicado as temperaturas de brilho mais baixas, que estão relacionados com as torres de Cumulo Nimbus, ou seja, com a convecção severa.

Este tipo de técnica faz com que as áreas cercadas pelos isocontornos de temperatura pré-determinados possam ser bem reconhecidas, facilitando o monitoramento dos SCM. Um exemplo do resultado da curva MB pode ser visto na imagem tratada na figura abaixo (figura. 7).



3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Imagens de Satélite

O sensoriamento remoto (SR) da superfície terrestre adquire dados em formatos digitais, através de sensores instalados em aviões ou satélites. Especialmente estes dados digitais são compostos de elementos de imagem (pixels ou picture element). E são quantizados radiometricamente em níveis de brilho discretos, fornecendo assim informações do terreno. Isto facilita o processamento através de computadores, para realce (detalhamento) das características dos alvos terrestres imageados.

A informação de uma imagem depende da banda (comprimento de onda no espectro eletromagnético) que ela representa. As imagens dos satélites ambientais são geralmente, representações da distribuição espacial da reflexão radiação solar no ultravioleta, visível, infravermelho médio e outras faixas do espectro eletromagnético. Também podem ser medidas da distribuição espacial da energia emitida pela superfície terrestre (que ocorre predominantemente no comprimento de onda do infravermelho-termal).

Para o tratamento e análise dos dados de uma imagem, do ponto de vista das suas propriedades, as mais significantes são a localização e o número de medidas espectrais (bandas espectrais ou canais) dados pelo sensor.

A resolução espacial é dada pelo tamanho do pixel, equivalente em metros no terreno. A resolução radiométrica é expressa em termos de números binários, ou bits, necessários para representar o intervalo de valores de brilho. Assim dados com 8 bits de resolução radiométrica, tem 256 níveis de brilho, possibilitando a construção de uma escala com 256 tons de cinza.

3.1.1. Escolha do Satélite GOES

À primeira vista, a série de satélites GOES I-M apresenta uma resolução espacial ruim (resolução máxima de 4 km), se comparada à resolução espacial de satélites de órbita polar que varia de 30m até 1km. Mas para o estudo de alvos meteorológicos a resolução espacial e temporal do satélite GOES é mais do que adequada, pois o intervalo de tempo de meia hora entre as imagens consegue abranger a todas as escalas de tempo dos fenômenos meteorológicos de mesoescala, segundo a classificação de escalas de Orlanski (1975) Tabela 3.

Para o estudo realizado foram utilizadas imagens infravermelhas no canal 4 (10,4 μ m) do satélite geoestacionário GOES-8(ou GOES-I). Os intervalos de tempo entre as imagens são em média de meia hora com resolução espacial de 10 km, aproximadamente.

Estas imagens são imagens pré-processadas, e já foram corrigidas geometricamente, radiométricamente e registradas. A obtenção dos foi realizada no endereço FPT da NOAA/NESDIS Experimental Products for Flash Flood Forecasting

Tabela 3.

Divisão da Mesoescala proposta por Orlanski, 1975.

Divisão	Comprimento de Escala Horizontal (L)	Tempo de Vida	Fenômenos Atmosféricos
Meso- α	2500 - 200 km	7 dias a 1 dia	Frentes, Furacões, Squall Lines, SCM
Meso- β	200 – 20 km	1 dia a 1 hora	JBN, Tempestades Locais, circulações locais.
Meso- γ	20 - 2 km	1 hora	Tempestades Locais, Turbulência de Ar Claro.

(<ftp://orbit35i.nesdis.noaa.gov/pub/arad/ht/gilberto/aut1/infr>), um diretório público e gratuito. Estas imagens possuem uma escala de cores que foi ajustada (pela NOAA), para a estimativa de precipitação através de imagens de satélite, sendo que os dados foram validados para a América do Norte. Como a altura média da troposfera diminui em direção aos pólos, fez-se a comparação das temperaturas de brilho existentes na imagem com dados de radiosondagens do Aeroporto Internacional Salgado Filho, (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). Este método de avaliação empírico serviu para a certificação de que os valores de temperatura de brilho apresentados nas imagens, quando comparados com as temperaturas registradas nas radiosondagens, não eram próximos. A temperatura do topo da nuvem, não deve ser mais baixa do que a temperatura do ambiente pelo qual ela está envolvida. Assim tendo-se radiosondagens para comparar com os valores de temperatura de brilho da imagem pode-se verificar se estes valores são coerentes.

É claro que hoje em dia pode-se ter acesso a imagens brutas, ou pré-processadas do satélite GOES com melhor resolução espacial (até 4 km). Mas a manipulação destas

imagens demandaria muito tempo e recursos computacionais, o que dificultaria a manipulação de um grande volume de dados.

Além da avaliação quanto ao valor dos CD, criou-se um classificador semelhante a curva de realce ZA, utilizada para o realce de imagens de satélites meteorológicos.

3.2. Programa de Informática Desenvolvido (*software*)

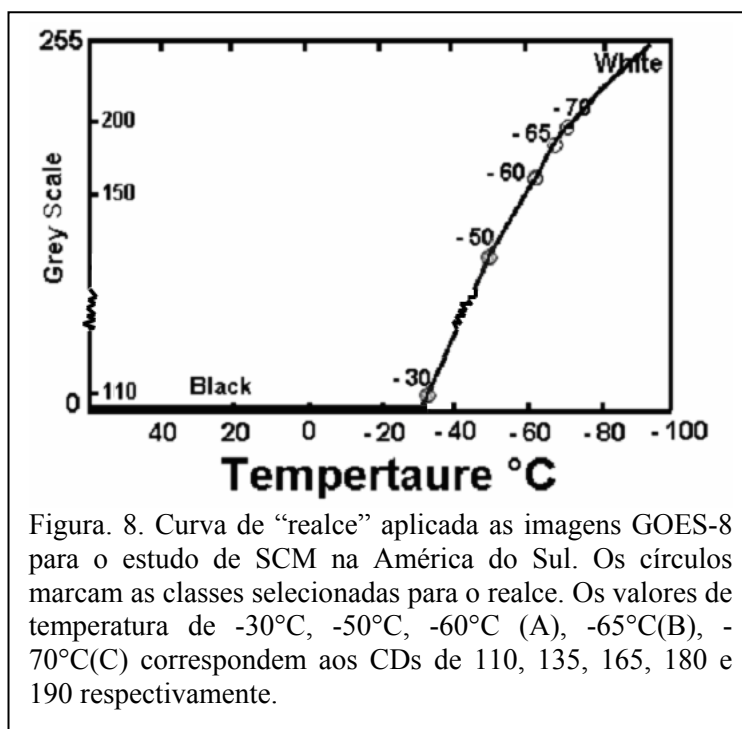
3.2.1. Classificação ou Realce de Imagens

Desenvolveu-se um software para o estudo dos SCM, que usa uma curva classificadora (ou curva de realce) própria. Este software foi a ferramenta utilizada para a obtenção dos resultados contidos nesta dissertação.

A curva aplicada para o estudo destes sistemas meteorológicos, teve como objetivo principal estudar a convecção profunda relacionada a precipitações severas no Sul do Brasil. O objetivo principal era aplicar um classificador que seguisse a mesma linha de raciocínio das curvas de realce apresentadas anteriormente por Maddox (figura7).

O classificador desenvolvido compara o valor do pixel que está sendo classificado, com cinco intervalos de classe pré-determinados, colocando dentro da classe mais adequada.

Como a classe mais baixa tem seu contador digital de valor 110(-35°C), todos os alvos que compõe a cena imageada com temperatura de brilho maior do -35°C desprezados no momento da classificação. Assim a cena classificada será composta apenas de elementos “frios”, ou seja, as nuvens de grande desenvolvimento vertical.



A curva de “realce” (ou o classificador) aplicado para o estudo de SCM na América do Sul, é apresentada na figura 8.

As classes que corresponder as temperaturas de brilho de -35°C(35A), -50°C(50A), -60°C(60A), -65°C(65A), -70°C(70A). Seus intervalos correspondentes nos contadores digitais podem ser vistos na tabela 4.

O algoritmo utilizado classifica os pixels da área de interesse de acordo com as cinco classes citadas na tabela 4. Se o valor do CD do pixel que está sendo analisado é menor do que -70°C, então se adiciona uma unidade ao contador das classes 70A, 65A, 60A, 50A, 35A. Se o valor do CD for menor do que -65°C, então se adiciona uma

unidade ao contador das classes 65A, 60A, 50A, 35A e assim sucessivamente até a temperatura de brilho de -35°C.

Tabela 4. Intervalos de classe utilizados no classificador.

Nome da Classe (Temperatura de Brilho)	Intervalo de classe (Contadores digitais correspondentes a temperatura de brilho)
-70°C(70A)	de 190 até 255
-65°C(65A)	de 180 até 255
-60°C(60A)	de 165 até 255
-50°C(50A)	de 135 até 255
-35°C(35A)	de 110 até 255

O conhecimento no número de pixels com valor de temperatura de brilho menor do menor do que o valor de temperatura da classe permite estimar a área ocupada na imagem por cada classe. Assim pode-se saber qual a área cercada por um determinado isocontorno de temperatura. Na Figura 9 é apresentada uma seqüência de imagens que mostra passo a passo o tratamento aplicado as imagens para

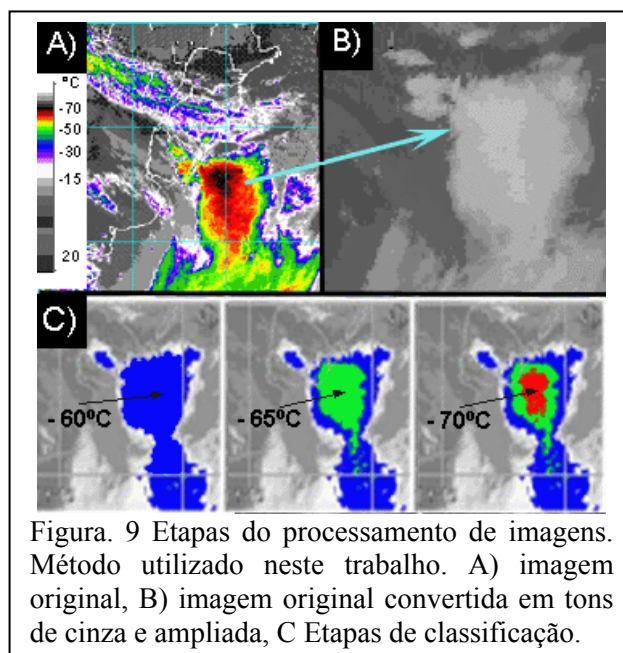


Figura. 9 Etapas do processamento de imagens. Método utilizado neste trabalho. A) imagem original, B) imagem original convertida em tons de cinza e ampliada, C) Etapas de classificação.

a obtenção das áreas cercadas pelos isocontornos de temperatura 70A, 65A, 60A. Na Figura9A, tem-se a imagem original fornecida pela NOAA. A seguir, na Figura9B, apresenta-se um zoom do SCM já convertido em tons de cinza pelo software.

Após a conversão da imagem em cinza é possível trabalhar com a matriz numérica que representa a imagem, contabilizando a área cercada por cada isocontorno de temperatura.

Processando-se uma seqüência imagens de um mesmo SCM durante sua vida, pode-se fazer a análise da intensificação e desintensificação de sua atividade convectiva do SCM.

Sabendo-se as dimensões das áreas cercadas pelos isocontornos de temperatura 70A, 65A, 60A, 50A e 30A, em cada momento ao longo da vida do SCM é possível traçar uma curva comportamental das variações das áreas (Figura10). Esta curva revela os horários de intensificação e desintensificação dos SCM.

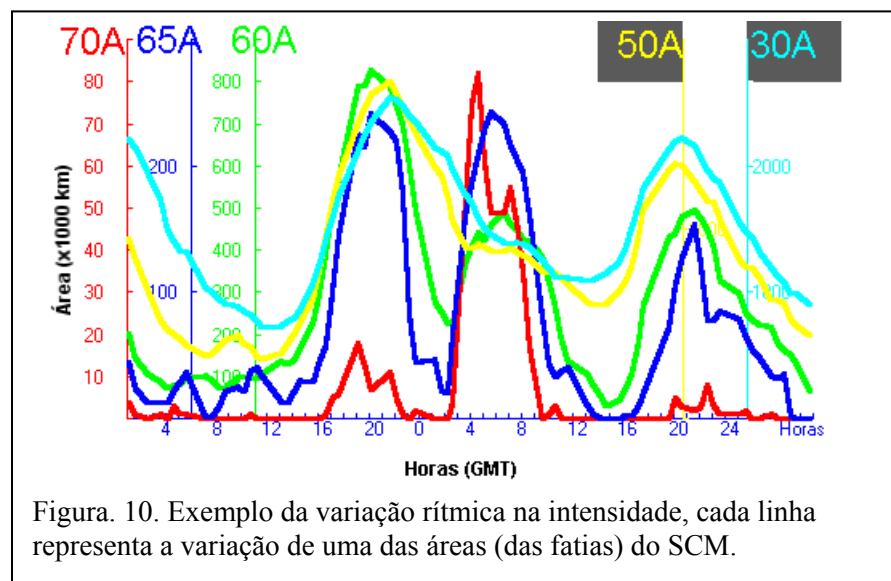


Figura. 10. Exemplo da variação rítmica na intensidade, cada linha representa a variação de uma das áreas (das fatias) do SCM.

O algoritmo utilizado por Starostin e Anabor (2000) para o estudo dos SCM é representado na Figura 11. O fluxograma descreve os passos necessários para a obtenção das informações sobre a variação temporal dos SCM, utilizando-se das imagens fornecidas no endereço FPT da NOAA/NESDIS.

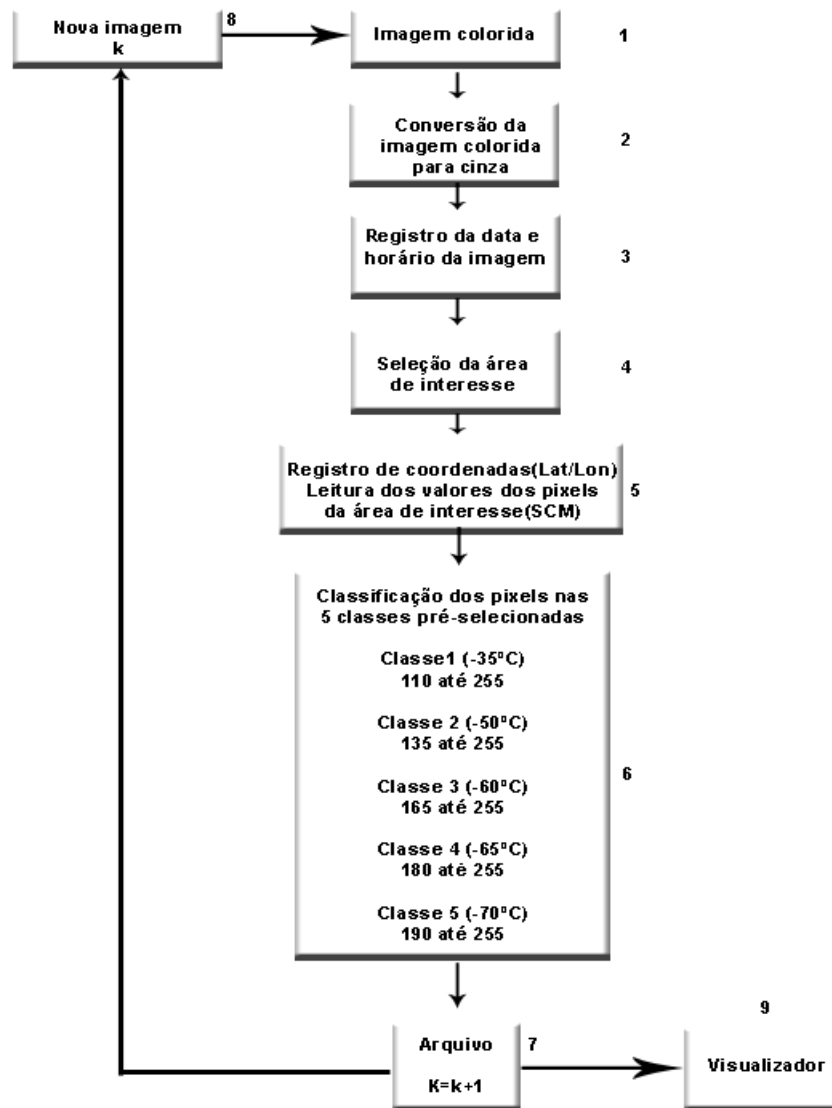


Figura 11. Algoritmo criado para o processamento das imagens.

3.2.1.1. Descrição das Etapas do Processamento

As etapas do processamento contidas na Figura 11 podem ser descritas na seguinte forma:

- 1) Entrada de uma imagem colorida (figura 9A)
- 2) Conversão da imagem *.gif (colorida) para o formato *.bmp (cinza-256 tons)
- 3) Registro da data e horário da imagem, para que depois seja possível a construção de um gráfico em função do tempo.
- 4) Seleção da área de interesse na imagem, ou seja, seleção do sistema meteorológico. (Este passo precisa se feito manualmente a cada imagem, pois depende da habilidade do analista para selecionar o sistema meteorológico, APÊNDICE C.).
- 5) A área de interesse torna-se uma nova imagem que é lida e armazenada pelo programa. Neste passo também se registra suas coordenadas de localização.
- 6) Faz-se a classificação dos pixels da área de interesse em 5 classes
- 7) Envio das informações de cada classe e as informações do horário da imagem para um arquivo, então se adiciona uma unidade ao contador k para que na próxima rodada do programa se utilize uma nova imagem (imagem do próximo horário disponível).
- 8) Outra imagem é inserida e o procedimento se repete. Então se processa k imagens, dependendo do tempo de vida dos SCM.
- 9) Após o processamento das imagens, é possível a construção de um gráfico que mostra quantos pixels uma determinada classe possuía em cada instante de tempo (figura 10).

3.3. Seleção dos Casos

Para selecionar os casos fez-se a análise visual de imagens do satélite GOES-8 usando as imagens dos anos de 1999, 2000 e 2001. Os arquivos não são completos, pois a obtenção das imagens está sujeita à problemas como mal funcionamento da rede, falhas na recepção das imagens entre outros.

Com as imagens coletadas construíram-se animações, o que facilitou o processo de seleção dos casos. Primeiramente foram descartados todos os dias quem que não havia convecção profunda na metade sul da América do sul. Após isto se fez outra verificação, então, aproveitaram-se apenas os casos em havia convecção profunda, tendo a nebulosidade forma quase circular. Os SCM selecionados são sistemas com tempos de vida iguais ou superiores a12 horas.

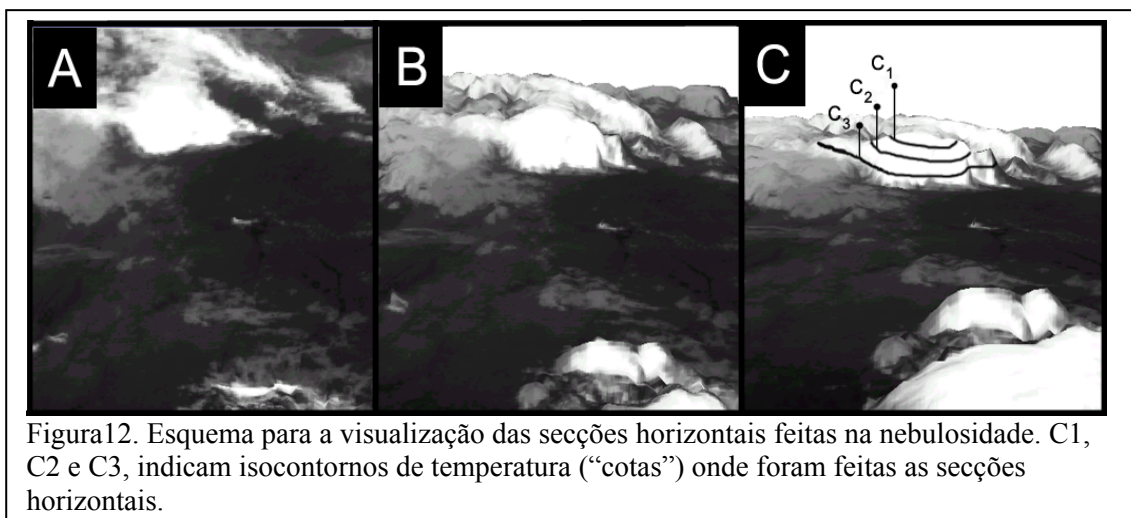
No apêndice A, os casos selecionados estão listados de acordo com a ordem cronológica e seus locais de aparecimento.

3.4. Variação Temporal

A intensificação e o enfraquecimento de um sistema convectivo de mesoescala foram caracterizados pelas áreas das “fatias” limitadas pelos isocontornos de temperatura de brilho escolhidas, ao longo do tempo.

A figura 12 apresenta um esquema que ilustra a linha de raciocínio seguida neste trabalho. Uma cena do de satélite GOES, vista do ângulo de visão do satélite (Figura 12A) pode ser representada de outro modo. Através dos tons de cinza pode-se fazer uma representação da mesma cena como uma cena tridimensional, como se cada nuvem fosse uma montanha ou elevação no terreno (figura 12B), se cada nuvem pode ser vista como uma elevação na topografia do terreno pode-se então usar o gradiente de cinza da imagem para traçar isolinhas, seguindo um mesmo tom (valor) de cinza, como se fossem linhas de cota, C1, C2 e C3 (figura 12C).

As áreas cercadas por estas cotas (isocontornos de temperatura de brilho) são as “fatias” dos SCM. Fatiando-se o SCM a cada imagem, nos isocontornos de temperatura de brilho pode-se saber se ele está se intensificando ou perdendo intensidade. Se



diminuírem as áreas dos valores de temperatura de brilho mais baixos relacionados a convecção profunda (70A, 65A, 60A), considera-se que, ou o SCM está perdendo intensidade ou se dissipando. Se aumentarem as áreas dos valores de temperatura de brilho mais baixos, relacionados a convecção profunda (70A, 65A, 60A), considera-se que o SCM está se intensificando ou nascendo.

Durante as análises dos casos percebeu-se que, os isocontornos de temperatura de 50A e 30A não representavam topos das nuvens, mas sim áreas estratiformes (em dissipação) do SCM. Assim pode-se desprezar as variações das áreas dos isocontornos de temperatura de 50A e 30A, pois estes sofrem variações mais suaves e estão associadas com áreas de precipitações fracas.

3.4.1. Tempo de vida

Definiu-se o início da vida do SCM no momento do aparecimento do valor de temperatura de -60°C e seu término (morte) no momento do desaparecimento deste valor de temperatura. Este critério também foi utilizado para determinar a relação entre o tempo de vida e as dimensões dos núcleos convectivos que compõem o sistema. Na análise da variação temporal dos SCM foram analisados 49 SCM.

3.5. Variação Espacial dos SCM

Para a análise da evolução espacial foram selecionados 32 SCM através de imagens infravermelhas do satélite geoestacionário (GOES-8) com intervalo de meia hora. Não foi possível a análise do número total de casos utilizados na Variação Temporal (49 casos), pois após algumas horas de vida alguns sistemas tomaram uma

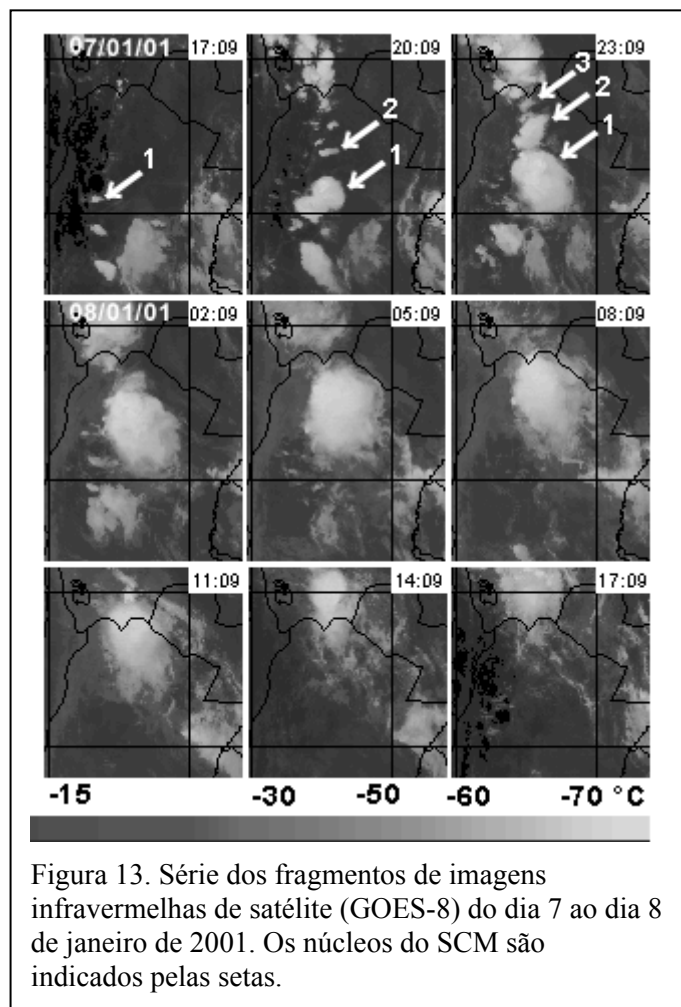
forma complexa, ou seja, o número de núcleos convectivos e as trajetórias descritas por eles, impediam determinar como se deu a evolução do sistema.

A variação espacial dos SCM foi analisada estudando o esquema de evolução de cada caso, para isto foram construídos manualmente esquemas que continham informações os núcleos convectivos e também de todo o SCM. Fez-se desta forma para que fosse possível entender como ocorre o aparecimento dos núcleos novos.

Um conjunto de núcleos convectivos foi considerado como sendo um Sistema Convectivo de Meso- α escala, se durante sua evolução estes confluíram ou se, durante um intervalo de tempo, estiveram

dentro de uma área cercada pelo isocontorno de temperatura -50 $^{\circ}\text{C}$. A evolução do sistema foi caracterizada como uma seqüência de aparecimento de núcleos.

Na figura 13 é apresentado um esquema de evolução de um SCM que ocorreu no dia 07/01/2003 onde os novos núcleos são indicados pelas setas, no dia 08 de janeiro observa-se a confluência dos núcleos números 1, 2 e 3.



Também foram observadas características dos SCM como, diâmetro médio dos núcleos, distância média entre os núcleos, intervalo de tempo entre o aparecimento dos

núcleos novos, bem como as trajetórias percorridas por todo o sistema ao longo de sua vida.

Como os SCM tinham forma aproximadamente circular no momento que a área cercada pelo isocontorno de temperatura de -60°C atingiu seu máximo, fazendo-se a média entre o eixo C e L (figura 14), definindo-se isto como sendo o Diâmetro Médio do sistema.

A classificação dos SCM quanto a sua forma foi feita pelos critérios apresentados na figura 14. As trajetórias dos SCM foram construídas usando o centro geométrico (CG) do SCM a cada horário (figura 14).

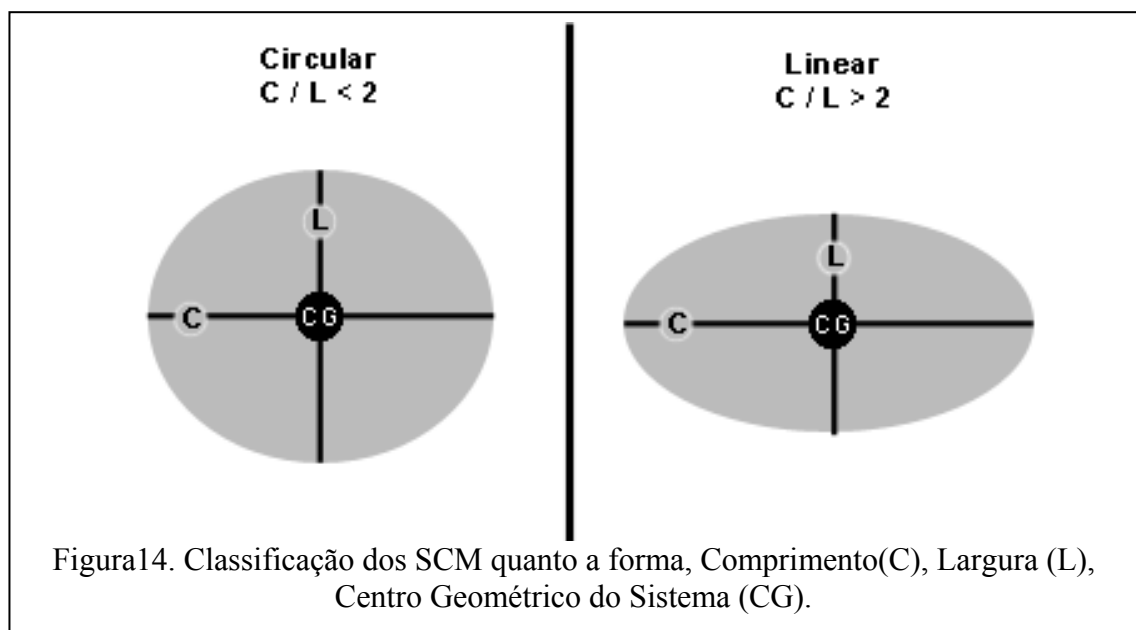


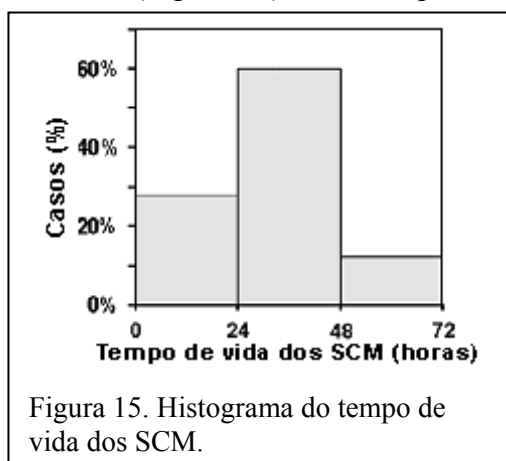
Figura14. Classificação dos SCM quanto a forma, Comprimento(C), Largura (L), Centro Geométrico do Sistema (CG).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variação Temporal

4.1.1. Variação temporal dos SCM com um Período de 12 horas

Neste trabalho foram analisados 49 casos, com tempos de vida que variaram de 12 a 72 horas. Em 60% dos casos, os tempos de vida dos SCM estiveram entre 24 e 48 horas (Figura 15), com tempo de vida médio igual a 32 ± 14 horas. Assim pode-se



afirmar que os sistemas selecionados são SCM de longa vida.

Na figura 16 apresenta-se, como exemplo, a evolução temporal do SCM que ocorreu entre os dias 27 e 30 de novembro de 2000. O gráfico mostra como a área de cada "fatia" do

sistema varia ao longo do tempo. Nesta figura os isocontornos de temperatura são representados como segue: -70°C (linha vermelha), de -65°C (linha azul), de -60°C

(linha verde), de -50°C (linha cinza) e de -30°C (linha azul clara). Futuramente estas classes serão referidas como A70, A65, A60, A50 e A30, respectivamente.

A variação de A70 representa a variação da nebulosidade na parte mais fria da nuvem, estando ligada às partes mais novas do sistema. As áreas A65 e A60 tendem a

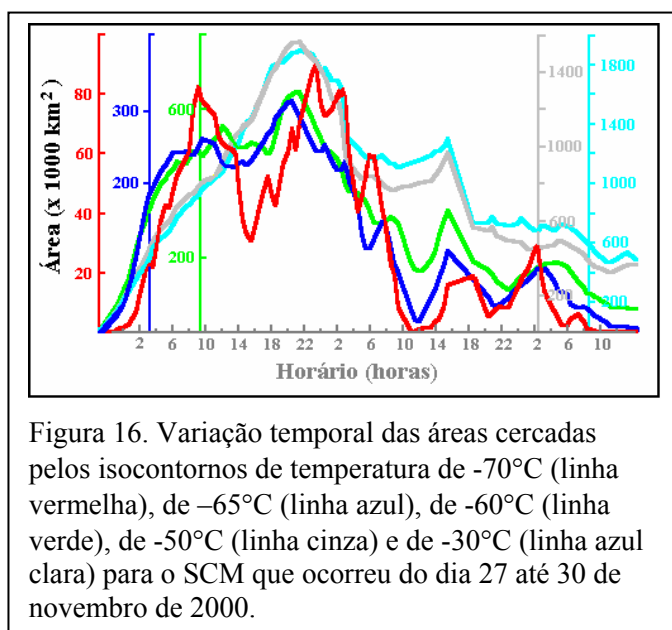


Figura 16. Variação temporal das áreas cercadas pelos isocontornos de temperatura de -70°C (linha vermelha), de -65°C (linha azul), de -60°C (linha verde), de -50°C (linha cinza) e de -30°C (linha azul clara) para o SCM que ocorreu do dia 27 até 30 de novembro de 2000.

variar da mesma forma da A70, pois em geral resultam do decaimento na atividade convectiva. As áreas A50 e A30 tendem a ser mais conservativas, não mostrando uma variação rítmica em intervalos curtos de tempo. As faixas de temperatura de brilho representam as variações de intensidade na

nebulosidade estratiforme, que nos casos analisados estão relacionados com a dissipação dos núcleos mais intensos da tempestade. As temperaturas de brilho de -70°C , -65°C e -60°C são representativas do desenvolvimento de convecção severa e servem como parâmetro para a caracterização da intensidade dos SCM.

4.1.1.1. Defasagem Entre os Máximos

Em geral, os gráficos das variações das áreas A70, A65 e A60 são semelhantes, mas os máximos de intensidade em cada uma das áreas ficam deslocados uns em relação aos outros. Como já foi anteriormente dito, a defasagem entre os máximos das curvas pode ser explicada pelo deslocamento dos núcleos em dissipação. Enquanto alguns núcleos estão se intensificando, outros estão em dissipação provocando o

aumento da nebulosidade com temperaturas de brilho mais altas. Isto está de acordo com os modelos clássicos de evolução de tempestades multicelulares.

Em 83% do total de casos, observa-se a seguinte seqüência dos eventos:

A área A70 atinge seu máximo primeiro, depois algum tempo, A65 e por último, A60 (veja Figura 17). Isso reforça a idéia de que as áreas A65 e A60 representam áreas em decaimento convectivo, pois primeiro um SCM deve atingir sua fase de maturidade para seus núcleos se dissiparem posteriormente.

O atraso entre os máximos das áreas foi calculado da seguinte forma:

$$T_a = T_3 - T_1$$

Onde T1 é horário do máximo da A70 e T3 é horário do máximo da A60. O atraso entre os máximos (Ta) variou de -1,5 a 7 horas (figura 18). Como em 7% dos casos Ta foi negativo, não se pode afirmar que todas as áreas quentes (temperaturas maiores que -70°C) do SCM são áreas dissipativas, pois podem existir nuvens com menor desenvolvimento vertical que não estão em dissipação.

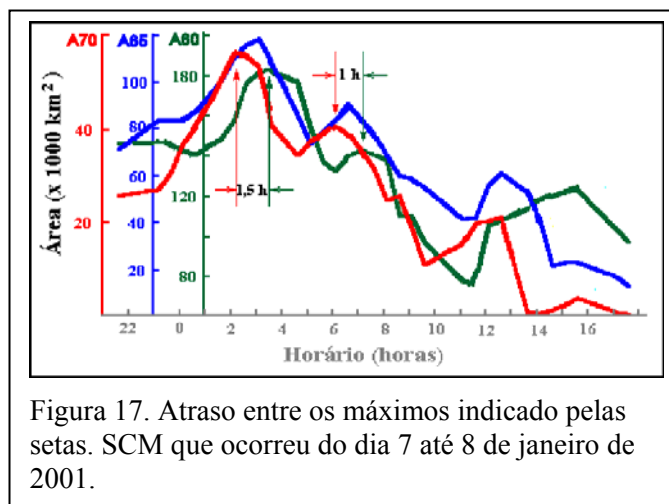
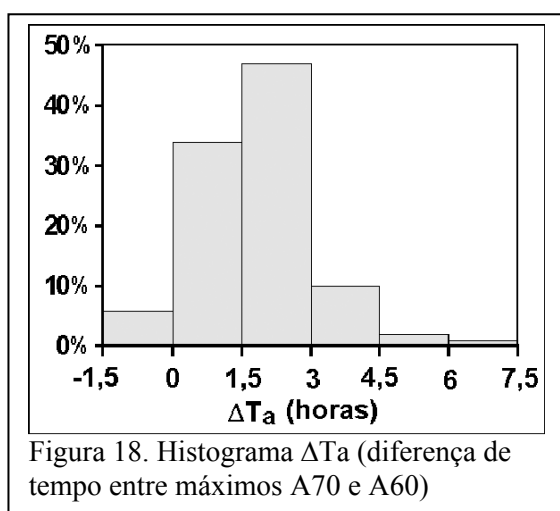


Figura 17. Atraso entre os máximos indicado pelas setas. SCM que ocorreu do dia 7 até 8 de janeiro de 2001.

Na maioria absoluta dos casos (80%) T_a ficou entre 0,5 e 3,5 horas, e em quase a metade deles (47%) T_a ficou entre 1,5 e 3 horas (veja Figura 18). Isto mostra que na maioria das vezes as áreas quentes dos SCM resultam do decréscimo na atividade convectiva. O valor médio do atraso entre os máximos T_a , é igual a $1,5 \pm 1,7$ horas.



Assim, pode-se supor que, em média, um núcleo leva 1,5 horas para dar início ao decaimento de atividade da atividade convectiva.

Durante todo tempo de vida cada SCM apresentou de 1 a 4 picos principais. Por exemplo, a variação temporal para o caso ocorrido entre os dias 27 e 30 de

novembro de 2000 (figura 16), existem 4 picos principais. Em 2/3 dos casos observou-

Tabela 5. Frequência dos horários dos picos principais durante 24 horas.

Horário (horas)	$0 \leq T < 6$	$6 \leq T < 12$	$12 \leq T < 18$	$18 \leq T < 24$
Número de picos	25	8	19	15
Número dos picos (em %)	37	12	29	22

se de 2 a 3 picos principais. Em 52% os horários dos picos principais ficam entre 0 e 12 horas e em 48% ficam entre 12 e 24 horas, mostrando que existem horários preferenciais para a intensificação na atividade dos SCM. Em 29 SCM observados, ocorreram observar pelo menos 2 picos principais dentro de um intervalo de 24 horas. O tempo de vida médio para estes SCM foi igual a 34 ± 12 horas. Os horários dos picos principais (T) durante um período de 24 horas, são apresentados na tabela 5.

A tabela 5 mostra uma concentração dos máximos na madrugada e à tarde. O intervalo de tempo entre dois máximos consecutivos variou de 5,5 a 17,5 horas, com um

valor médio de $12 \pm 3,6$ horas. Isto foi observado em aproximadamente 60% dos SCM analisados. Ou seja, em 29 dos 49 SCM analisados, foi observado um ritmo de intensificação com período médio de 12 horas, com máximos que se concentraram na madrugada (de 0 a 6 horas) e a tarde (de 12 a 18 horas).

Em 65% dos sistemas que apresentaram esta intensificação com período médio de 12 horas, o primeiro máximo foi observado na madrugada, entre 0 e 6 horas. Em 24 casos (do total de SCM) o primeiro máximo foi observado entre 20 de noite e 8 horas da manhã. Isto indica que os SCM tendem a aparecer no período da madrugada.

A ocorrência da intensificação dos SCM no período da tarde é de certa forma esperada, pois aparece como resposta ao acúmulo de energia diurno, mas a intensificação durante a madrugada ainda tem causas não tão óbvias.

Uma causa provável do aparecimento e da intensificação dos SCM durante a madrugada, pode estar relacionada com a atividade dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) na região do Chaco. Saulo (2002) em um estudo de caso de JBN na região do Chaco identificou um máximo na intensidade do jato entre 02 e 08 horas (horário local). Como se sabe da literatura o JBN (Mesoscale Meteorology and Forecasting) é um dos principais mecanismos de alimentação dos SCM.

Em eventos de precipitação forte na região do Chaco (norte da Argentina), observa-se JBN de norte, juntamente com um máximo na convergência do fluxo de umidade, que se intensifica e se expande para NW da região do SCM durante sua vida. Isto caracteriza a fonte de umidade primária dos SCM. (Torres, 2002).

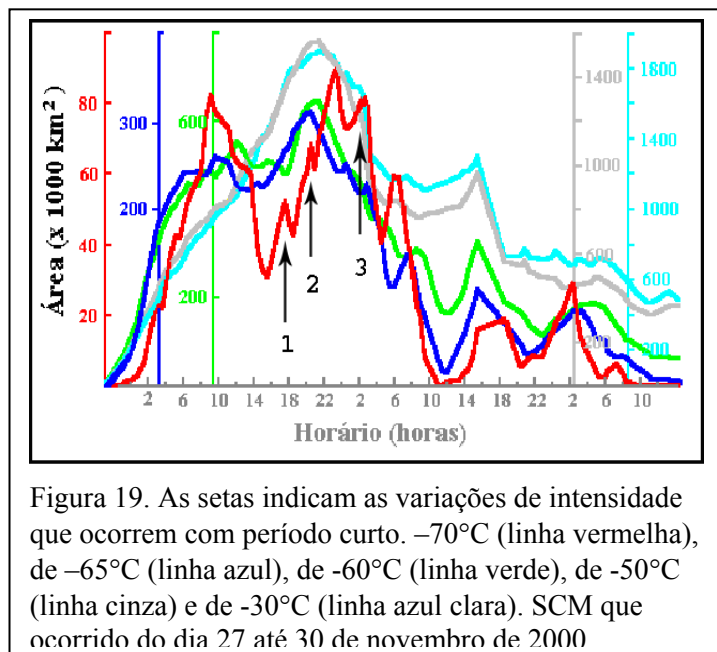
Os processos convectivos associados aos JNB dentro da CLP estão relacionados a diferentes escalas, diferentes forçantes e também possuem um ciclo predominantemente noturno onde os processos de transporte são otimizados dentro de escalas temporais da ordem de 6 a 12 horas. (Correa, 2002).

Outra hipótese é a existência de uma circulação de mesoescala, semelhante a circulação vale-montanha, que ocorre no período da noite, associada com o deslocamento de ar proveniente dos Andes. Esta corrente de ar descendente deve ser fria e poderia servir de rampa, forçando mecanicamente o início da convecção na região.

Dentro do total de casos observou-se a existência de SCM com 3 máximos. Para este tipo de fenômeno possa ser observado, o tempo de vida do SCM deve ser maior que uma soma de dois intervalos de 12 horas, mais o intervalo médio desde o aparecimento do SCM até o primeiro máximo (para casos analisados este intervalo é igual a 8 horas) e pelo menos, mais uma hora para identificar o último máximo. Então, para que seja possível a identificação de três máximos em um SCM, seu tempo de vida de ser de no mínimo 33 horas. Dentro dos SCM analisados foram encontrados 18 SCM com tempo de vida maior que 33 horas. Dentro dos SCM analisados foram encontrados 18 SCM com tempo de vida maior que 33 horas, em 7 foi observada a ocorrência de 3 máximos. Estes máximos tiveram um período médio de $12,2 \pm 3,3$ horas. Isso indica que a variação rítmica, com o período de 12 horas, é um fenômeno significativo.

4.1.2. Variação temporal dos SCM com um período curto

Em 22 dos 49 casos analisados foram encontrados picos com menor intensidade entre os máximos principais. Isto mostra que além dos máximos principais existem variações rítmicas de menor intensidade na atividade convectiva dos SCM (figura 19). Um caso entre os 22, apresentou 3 máximos principais, entre estes máximos foram



registradas duas ocorrências de variações com período curto. Os demais casos tiveram apenas 2 máximos principais, assim pode-se observar uma ocorrência da variação com período curto para cada caso. Neste sentido foram verificadas 23 ocorrências de menor intensidade entre os máximos principais dos casos estudados.

Em um sistema convectivo hipotético com tempo de vida superior a 36 horas, supõe-se a partir do comportamento médio dos casos analisados, haveriam 3 máximos principais e 2 ocorrências da variação com período curto entre estes máximos.

Na Figura 4 num intervalo de 13 horas encontram-se 3 picos secundários com um período médio de 4 horas, aproximadamente. Os picos de menor intensidade, com período curto em um caso, variaram de 2 a 7. Em 14 dos 22 casos foram observados de 3 a 4 picos com período curto. O intervalo de tempo médio entre as variações com período curto é igual a $5,1 \pm 1,7$ horas. Um fenômeno parecido foi analisado por Starostin e Iliine (1998) que, usando os dados de radar, mostraram que a variação de intensidade dos SCM é rítmica com um período de 3 horas.

4.2. Variação Espacial

A análise da variação espacial foi feita para 32 SCM (17 SCM com presença da variação da intensidade com período curto).

Os SCM tinham de 2 a 13 núcleos. Por exemplo, no evento que ocorreu entre os dias 7 e 8 de janeiro de 2001 (figura 13) foram observados os 3 núcleos que após algum tempo confluíram (indicados pelas setas). Nos 32 SCM, foram contabilizados e analisados 227 núcleos.

Em 29 SCM foram observados 4 e mais núcleos, mostrando que a estrutura multicelular é uma característica dos SCM formados na região sul da América do Sul. O número médio dos núcleos em um SCM foi igual a 7 ± 3 núcleos por um SCM.

Em 20 SCM foi observada a confluência dos núcleos, 84 núcleos, ou seja, 37% do total de núcleos confluíram. Foi possível observar 34 confluências. Em 23 casos confluíram 2 núcleos, em 7 casos confluíram 3 núcleos, em 3 casos confluíram 4 núcleos em um caso confluíram 5 núcleos. Para calcular as características espaciais e temporais dos núcleos,

o caso da confluência foi considerado como um núcleo. Neste sentido, foram analisados 177 núcleos.

Starostin (2002) apresentou a evolução de um conjunto de tempestades no sistema referencial móvel (RM). No RM podem-se observar casos de confluência e difluência de tempestades com maior clareza. As tempestades tendem a se dirigir umas em direção às outras, e param de evoluir entrando em dissipação quando atingem os locais onde, nos momentos anteriores foram desenvolvidas outras tempestades. O deslocamento preferencial, em uma certa direção, pode ser explicado através de circulações de mesoescala, semelhantes as células convectivas de Rayleigh-Benard, estes sistemas de circulação favorecem o deslocamento das tempestades, umas em direção às outras.

Nos SCM observados, através de imagens de satélites, ocorre algo parecido. Os núcleos convectivos tendem a confluir. Isto se assemelha muito ao observado através de imagens de radar, mesmo as escalas de observação sendo diferentes.

Estes semelhanças permitiram que se fizesse uma analogia entre os núcleos convectivos que compõem um SCM, e as tempestades de menor escala. Considerou-se então, com sendo um Sistema Convectivo de Meso- α escala, um conjunto de núcleos convectivos que, durante sua evolução confluíram, ou estiveram dentro de uma área cercada pelo isocontorno de temperatura de -50°C .

Os núcleos analisados, em geral, tinham uma forma quase circular. O tamanho de núcleo foi caracterizado por seu diâmetro médio (ver seção 3.5.), medido na área do núcleo cercada pelo isocontorno de temperatura de -60°C . Os diâmetros dos núcleos variam de 70 a 800 km. Em 3/4 dos casos o diâmetro esteve entre 150 e 450 km. O diâmetro médio foi igual a 330 ± 150 km. (Figura 20a).

O diâmetro médio dos núcleos do SCM, determinado através da análise de imagens de satélite, quase coincidiu com o tamanho médio dos sistemas de mesoescala

de precipitações determinados através de uma análise dos dados de radar é igual a 300 km (Abdoulaev et. all., 1998).

A distância entre os núcleos foi calculada medindo-se distância entre o centro do núcleo antigo até o ponto de aparecimento do núcleo novo (figura 21). Esta distância variou de 150 a 940 km, em 80% dos casos esteve entre 150 e 450 km. A distância média entre os núcleos foi igual a 370 ± 160 km. O histograma das distâncias entre os núcleos é apresentado na figura 20b.

O tempo de vida dos núcleos de um SCM foi calculado como um intervalo de tempo, a partir aparecimento do valor de temperatura de brilho de -60°C dentro do núcleo, até desaparecimento valor de temperatura de brilho. O tempo de vida dos núcleos variou entre 2,5 a 36 horas. Em 70% dos casos o tempo de vida de núcleos esteve entre 6 e 18 horas e em metade dos casos (52%) esteve entre 6 e 12 horas.

O tempo de vida médio foi igual a $11,6 \pm 6,4$ horas. O histograma dos tempos de vida de núcleos é apresentado na figura 20c. O valor

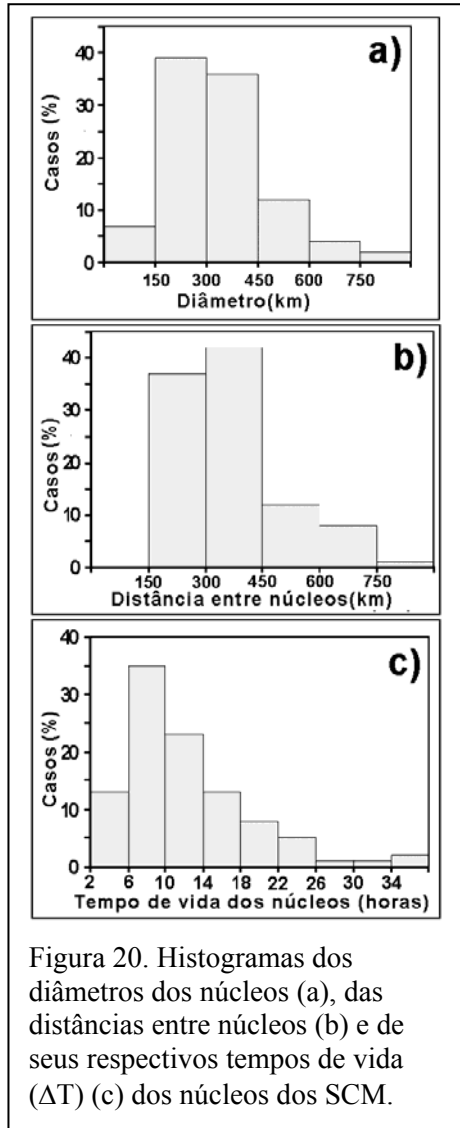


Figura 20. Histogramas dos diâmetros dos núcleos (a), das distâncias entre núcleos (b) e de seus respectivos tempos de vida (ΔT) (c) dos núcleos dos SCM.

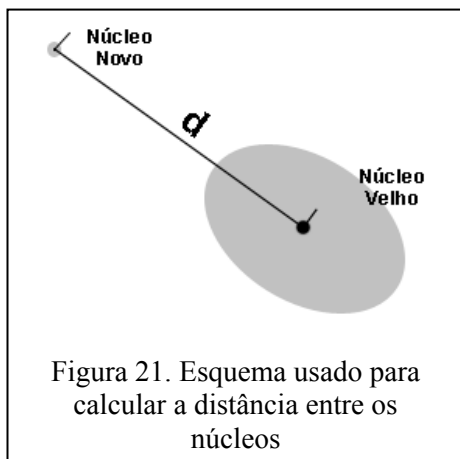
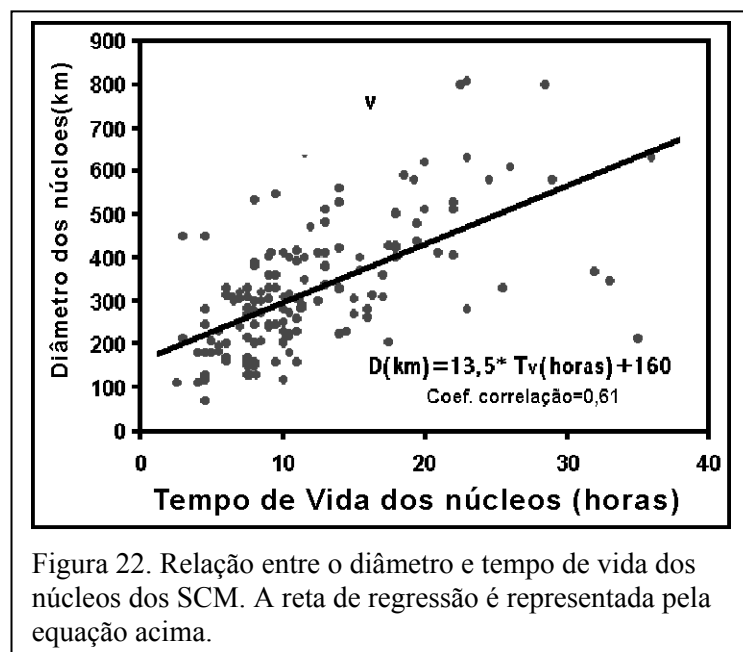


Figura 21. Esquema usado para calcular a distância entre os núcleos

médio do tempo de vida dos núcleos, que não confluíram, é igual a $11,8 \pm 6,3$ horas, mas o valor médio do tempo de vida dos núcleos que confluíram, é igual a $16 \pm 6,7$ horas, ou seja, últimos têm o tempo de vida mais longa.

A figura 22 mostra uma relação entre os diâmetros de núcleos (D) e seu tempo de vida (Tv). Como pode ser visto nesta figura os núcleos com os tamanhos maiores tendem a ter tempo de vida maior, acredita-se que o resultado da regressão não foi melhor devido ao número pequeno de núcleos com tempo de vida maior que 24 horas. Em uma climatologia dos núcleos espera-se que o coeficiente de correlação tenda a aumentar, pois deve aumentar o número de núcleos com longo tempo de vida.



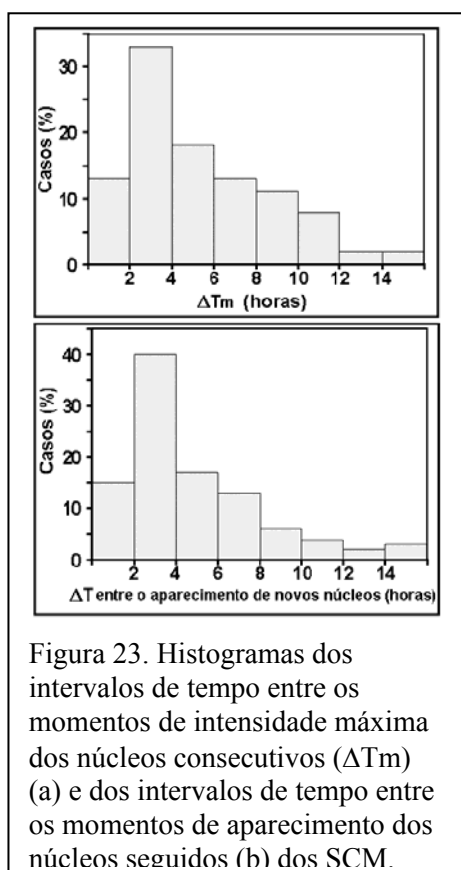
A equação de regressão é seguinte:

$$D(\text{km}) = 13,5 \times Tv(\text{horas}) + 160.$$

o coeficiente de correlação entre D e Tv é igual a 0,61.

A evolução do SCM é uma seqüência dos seus núcleos. Em geral, os núcleos atingem sua área máxima nos momentos diferentes. O histograma dos intervalos de tempo entre os momentos de intensidade máxima dos núcleos consecutivos pode ser

visto na figura 23a. Este intervalo variou de 1 a 15,5 horas com um valor médio de $5,1 \pm 3,4$ horas. Em metade dos casos este intervalo foi entre 2 e 6 horas. Isto leva a crer que em média um a cada 5,1 horas um núcleo atinge seu máximo. Este valor é muito semelhante o intervalo de tempo entre as variações de período curto apresentadas na



Variação Temporal e é um indicativo de que as variações de menor escala deve-se ao aparecimento de novos núcleos.

O histograma dos intervalos de tempo entre os momentos de aparecimento dos núcleos consecutivos é apresentado na Figura 23b. Este intervalo variou entre 1 e 15 horas. Entretanto, em 69% dos casos este intervalo variou de 2 a 8 horas. O valor médio é igual a $4,5 \pm 3,2$ horas. O histograma tem dois valores modais: 38% para intervalo de 2 a 4 e 20% para intervalo de 6 a 8 horas. O que indica que na maioria das vezes um núcleo novo aparece a cada 4,5 horas. Deve-se se

observar na seção 4.1.2. que as variações de curto período ocorrem em média a cada 5,1 horas, assim vê-se que este fenômeno pode estar relacionado com o aparecimento de novos núcleos.

Trinta e dois SCM foram classificados quanto a sua forma, no momento em que a área limitada pelo isocontorno de -60°C atinge seu máximo absoluto, os dois tipos

identificados apresentaram características de escala Meso- α , os tipos identificados foram:

a) Linear, se Comprimento/Largura foi maior que duas vezes (23 casos).

b) Circular, se Comprimento/Largura foi menor que duas vezes (9 casos).

O diâmetro dos SCM circulares variou de 280 a 620 km. O diâmetro médio foi de 520 ± 90 km.

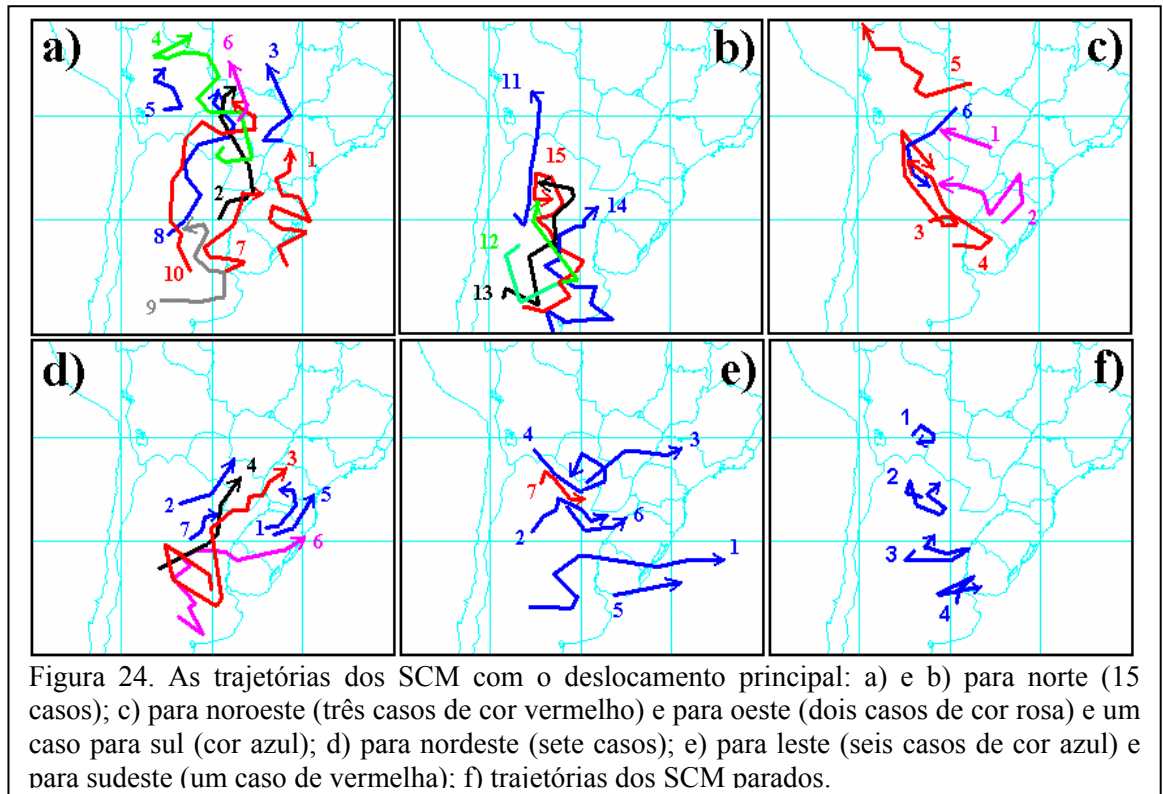
As dimensões dos SCM lineares variaram de 800×240 a 1850×510 km² com um valor médio de $(1320 \pm 310) \times (420 \pm 80)$ km²; A razão, Comprimento/Largura variou de 2 a 5 com médio de $3,2 \pm 0,9$.

4.3. Trajetórias dos Deslocamentos e Modelo Conceitual de Evolução

4.3.1. Trajetórias de Deslocamento dos Sistemas Convectivos de Mesoescala

Para a construção das trajetórias foram usados 39 SCM. Mais uma vez não foi possível fazer o uso da totalidade dos casos (49 casos) devido a problemas nos dados. Para traçar a linha da trajetória usou-se o centro geométrico da área cercada pelo isocontorno de -60°C a cada imagem (a cada $\frac{1}{2}$ hora), este ponto foi considerado como a posição do SCM neste momento.

As direções de deslocamento dos SCM foram classificadas como Leste (E), Oeste (W), Norte(N), Sul(S), Noroeste (NW), Nordeste (NE), Sudoeste (SW) e Sudeste



(SE).

A figura 24 apresenta todos os casos analisados. Nas figuras 24a e 24b são apresentados todas as trajetórias dos SCM com o deslocamento principal para norte (15 casos); na figura 24c são apresentados as trajetórias dos SCM que se deslocaram, para noroeste (3 casos de cor vermelho) e para oeste (2 casos de cor rosa) e um caso para sul (cor azul). As trajetórias dos sete SCM que se deslocaram para nordeste são apresentadas na figura 24d. A figura 24e mostra seis trajetórias dos SCM que se deslocaram para leste e uma trajetória do SCM que se deslocou para sudeste (cor vermelha). Em 4 casos foi difícil determinar a direção principal do deslocamento do SCM. Estes casos são mostrados na figura 24f e neste trabalho, são chamados os SCM estacionários (SCE).

Na Figura 25 é mostrado um histograma do número dos SCM deslocados numa dada direção (preto), o número total dos SCM é igual a 35 pois 4 SCM parados foram excluídos.

O deslocamento preferencial dos SCM foi para norte, (em 17 dos 35 casos). Os deslocamentos para nordeste (sete casos) e para leste (seis casos), são equiprováveis e com menor frequência.

O deslocamento principal dos SCM nos sentidos norte e nordeste (24 casos) deve-se ao fato de que, a maioria dos casos, originam-se próximos de 30° de latitude, seguindo-se para latitudes mais altas, cada vez mais, encontrar-se-á regiões de maior

Tabela 6. Tempo de vida médio dos SCM que se deslocaram em uma dada direção.

Direção do deslocamento	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SCE
Número de casos	zero	2	3	15	7	6	1	1	4
Tempo de vida médio (horas)	-	28	36	43	21	28	13	27	26

* Sistemas Convectivos Estacionários (SCE)

estabilidade e menor quantidade de energia para a convecção (calor e umidade). Por isto é natural que os sistemas tendam a se deslocar para norte. O deslocamento para nordeste

deve-se ao transporte dos núcleos em dissipação pelo escoamento médio da Troposfera. O deslocamento sobre áreas de potencialmente menos instáveis resultariam na dissipação do SCM.

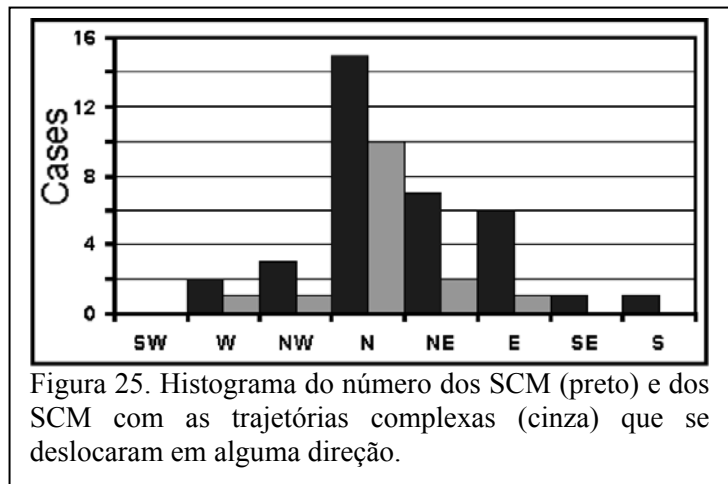


Figura 25. Histograma do número dos SCM (preto) e dos SCM com as trajetórias complexas (cinza) que se deslocaram em alguma direção.

O tempo de vida médio dos SCM que se deslocaram para norte foi igual a 43 horas, enquanto o tempo de vida médio daqueles que se deslocaram para noroeste, foi de 36 horas. Estas duas direções concentraram os casos com maiores tempos de vida.

Os SCM que se deslocaram para norte tinham quase dobro do tempo de vida dos SCM que se deslocaram para nordeste (21 horas). Isto reforça a idéia de que os núcleos novos aparecem nas direções em que há maior disponibilidade de energia e que os núcleos que se deslocam para nordeste estão em fase de dissipação. (veja Tabela 6).

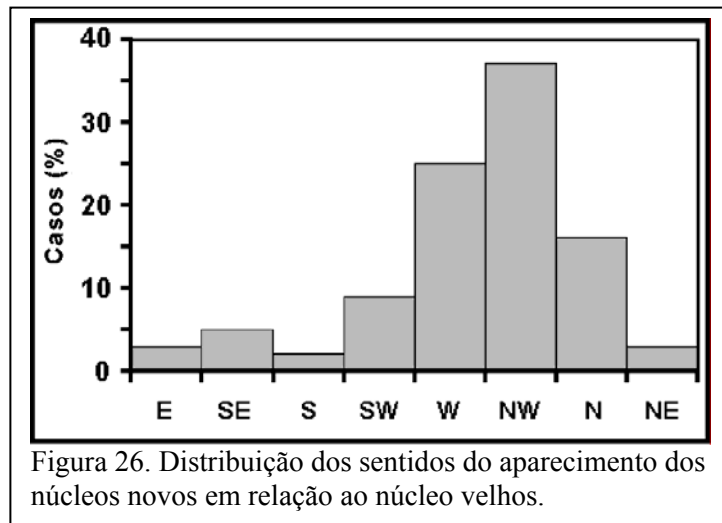
Como pode-se ver na figura 24 as trajetórias são complexas e são apresentadas por linhas quebradas (por exemplo, as trajetórias 1, 4 e 8 na Figura 24a; as trajetórias 12, 13, 14 e 15 na Figura 24b; trajetória 2 na Figura 24c; trajetória 6 na Figura 24d). O número total das trajetórias complexas foi igual a 15.

Na figura 25 estão representadas na cor cinza (de cor cinza) do número dos SCM que apresentaram trajetórias complexas.

A maioria dos SCM com as trajetórias complexas tinha a direção principal do deslocamento para norte. O tempo de vida médio dos SCM com as trajetórias complexas foi de 44 horas.

Como foi mostrada, a evolução espacial do SCM é discreta e se dá pelo aparecimento (discreto) de novos núcleos no decorrer do tempo. Assim, torna-se importante determinar a direção na qual ocorre o aparecimento do núcleo novo em relação ao núcleo velho.

A Figura 26 mostra uma distribuição dos sentidos do aparecimento dos núcleos novos em relação aos núcleos velhos. Em 37% dos casos o aparecimento o núcleo novo ocorreu no sentido noroeste em relação ao núcleo velho, 78% dos casos o aparecimento os núcleos novos ocorreu nos sentidos oeste, noroeste e norte em relação aos núcleos velhos.

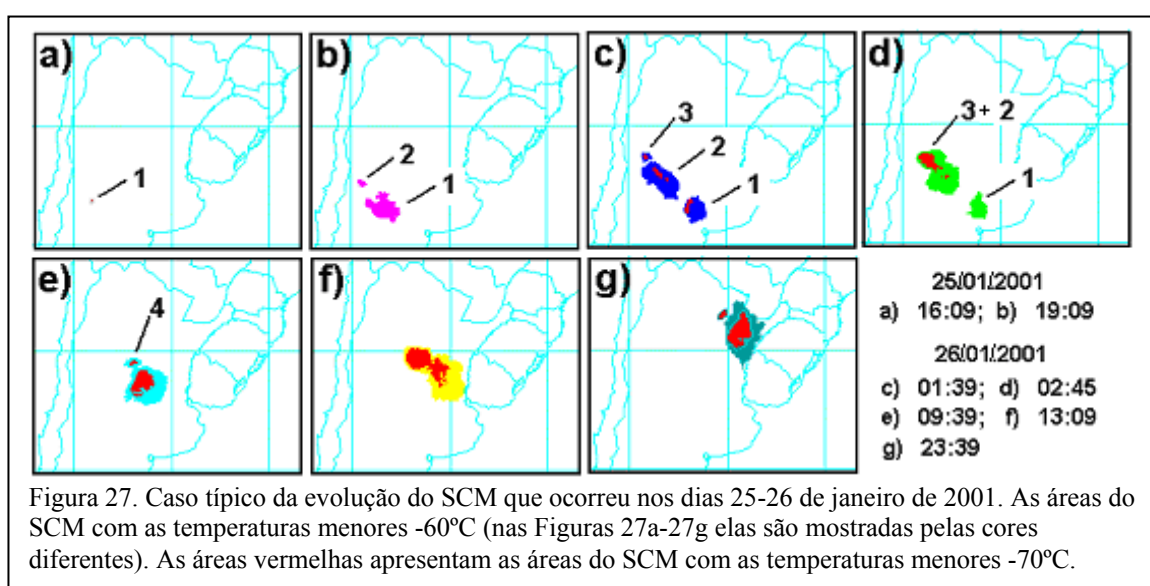


4.3.1.1. Análise da evolução espacial discreta de um sistema convectivo de mesoescala ocorrido nos dias 25-26 de janeiro de 2001

A figura 27 apresenta um caso típico da evolução do SCM que ocorreu nos dias 25-26 de janeiro de 2001, são mostradas áreas do SCM com as temperaturas menores -60°C (nas Figuras 27a-27g), cores diferentes para cada horário, as áreas vermelhas representam temperaturas menores -70°C.

O primeiro núcleo deste SCM surgiu as 16:09 do dia 25 de janeiro de 2001, na figura 27a, marcado pelo número 1. Em seguida no lado noroeste do primeiro núcleo apareceu o núcleo novo (figura 27b, número 2). Depois, no mesmo lado do SCM, apareceram mais dois núcleos (figuras 27c e 27e são marcadas pelos números 3 e 4). A evolução deste SCM deu-se através do aparecimento seqüencial de quatro núcleos, deste modo a evolução espacial deste SCM foi discreta. Quando o núcleo velho atinge o estágio de maturidade, no lado noroeste do SCM, um novo núcleo se desenvolve e conflui com o núcleo antigo, algum tempo depois, o núcleo velho começa entrar em dissipação. Em seguida surge um núcleo novo e este processo se repete.

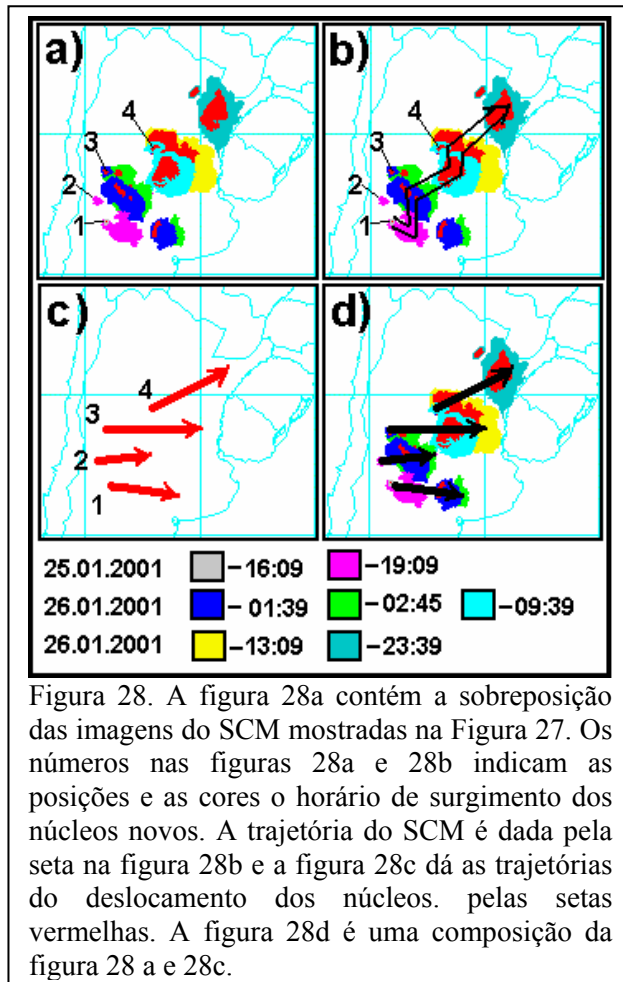
A Figura 28a apresenta a superposição das imagens do SCM nos momentos de tempo mostrados na parte inferior desta Figura. Estas imagens são mostradas na Figura 28a, separadamente. Os números na Figura 28a mostram as posições de surgimento dos núcleos novos. A direção principal do deslocamento deste SCM foi para nordeste. Os núcleos do SCM se deslocaram, principalmente, para leste. As trajetórias do deslocamento dos núcleos são mostradas na Figura 28c pelas setas vermelhas (os



números são os números de núcleos). A Figura 28d apresenta uma sobreposição das trajetórias das figuras 28a e 28c do deslocamento dos núcleos. A trajetória do deslocamento do SCM detalhada é mostrada na Figura 28b. Esta trajetória tem uma

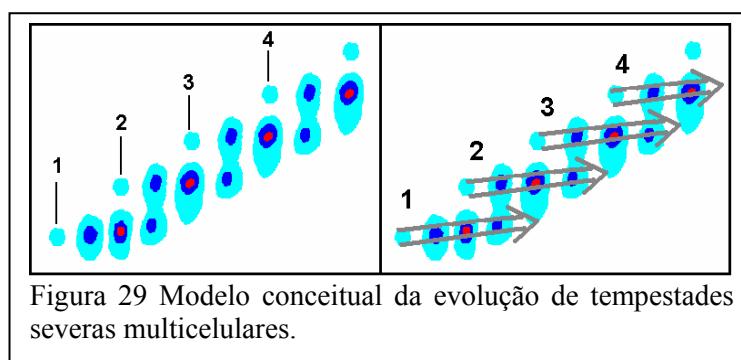
forma de linha quebrada. Isso acontece devido ao aparecimento, no lado noroeste do SCM, dos novos núcleos e devido à dissipação dos núcleos velhos no lado sudeste do SCM.

A evolução espacial discreta pode ser considerada como uma possível explicação das trajetórias complexas, devido a incerteza na posição do aparecimento do núcleo novo. As trajetórias complexas foram observadas em quase metade dos casos.



4.3.1.2. Modelo conceitual da evolução dos Sistemas Convectivos de Mesoescala

Na figura 29 é mostrado um modelo conceitual da evolução de tempestades severas multicelulares, adaptado de Chisholm e Renick (1972) e Foot e Frank (1983) para o hemisfério sul. No hemisfério sul o aparecimento das células novas ocorre, na maioria das tempestades severas (quase 2/3 de todos os casos), do lado esquerdo da tempestade (Starostin et. all., 2000). Neste esquema, as células de tempestade se deslocam para leste (as trajetórias das células são mostradas pelas setas na Figura 29b, e com uma periodicidade de 20 minutos do lado esquerdo surge uma célula nova, ela se desenvolve, conflui com a célula velha que começa, em breve, dissipar). (Foot e Frank, 1983). Esse processo se repete várias vezes. Como resultado disso a tempestade se move à esquerda, neste esquema no sentido nordeste.



Este esquema geral da evolução de tempestades é muito parecido com o esquema da evolução do SCM apresentado nas Figuras 28a e 28d.

Estes são fenômenos de diferentes escalas. O tamanho da tempestade severa é cerca de 20-30 km e o tempo de vida é de algumas. Como foi mostrado anteriormente, um sistema convectivo de mesoescala de longa vida pode ter o tamanho de 1000 km e tempo de vida média de 32 horas.

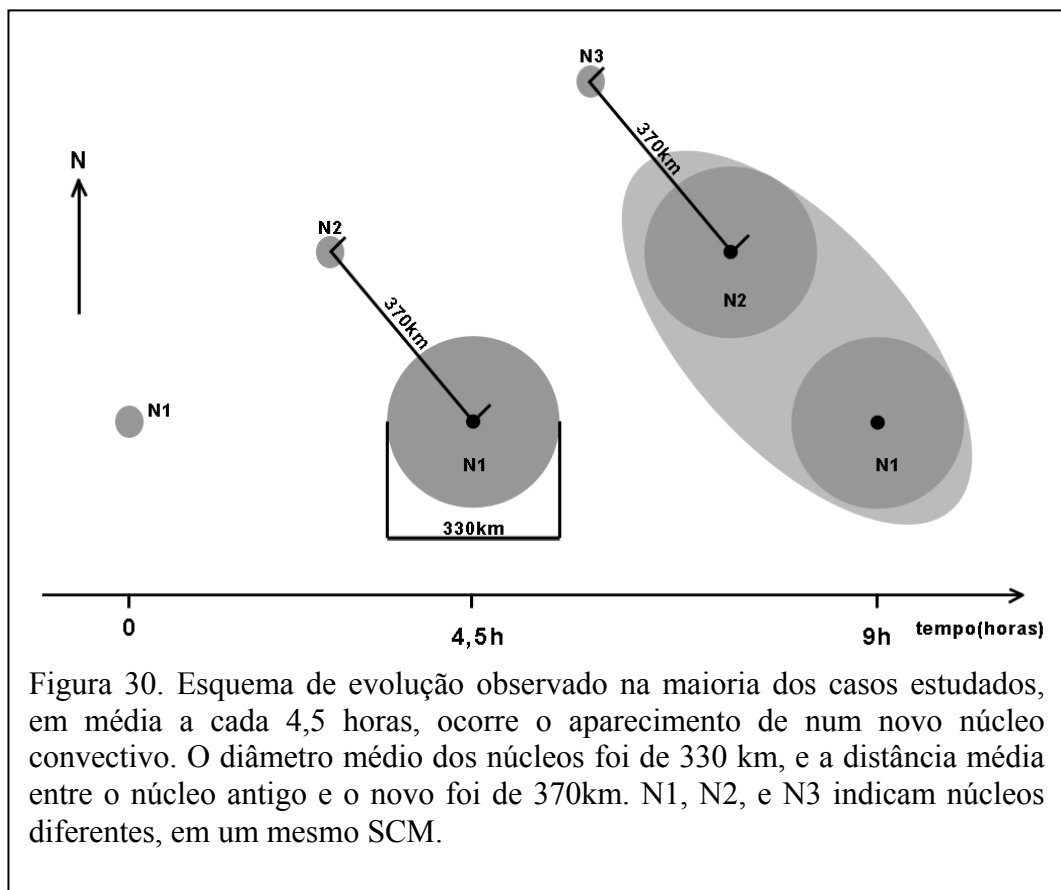
Starostin (2000) verificou quase 40% das tempestades de longa vida evoluem na direção contrária e à esquerda do vetor da velocidade de translação passiva. O sentido da Velocidade de Translação Passiva (VTP) de um SCM é igual, aproximadamente, a velocidade do vento na troposfera média. A VTP sobre a região do estado Rio Grande do Sul, freqüentemente, tem sentido para leste (Abdoulaev et. al., 1998).

Comparando-se estes resultados com os obtidos neste trabalho, podem se verificar algumas semelhanças. Em 37% dos casos o aparecimento o núcleo novo do SCM de longa vida estudados, ocorreu no sentido noroeste em relação ao núcleo velho (Figura 26), ou seja, atrás e à esquerda em relação ao sentido da VTP, a maioria (quase 2/3 dos casos) dos núcleos apareceu à esquerda do SCM em relação ao sentido da VTP. Isto mais uma vez indica que os núcleos tendem a aparecer nas áreas com maior disponibilidade de energia para a convecção.

Associando-se os resultados obtidos nas análises temporal, espacial e as trajetórias pode-se construir um modelo conceitual da evolução dos SCM de longa vida, que segue as seguintes características:

- A evolução espacial dos SCM de longa vida é discreta e ela se apresenta pela seqüência de aparecimento de seus núcleos.

- O diâmetro médio dos núcleos é igual a 330 km. Cada 4,5 horas aparece um núcleo novo na direção noroeste (em relação do núcleo antigo). A distância média entre os centros dos núcleos foi igual a 370 km. O tempo de vida médio de núcleos foi igual a 11,6 horas. Por isso, ao mesmo tempo, um SCM pode conter de 2 a 3 núcleos. Enquanto um núcleo está surgindo, outro está em estágio de maturidade e mais velho está no estágio de dissipação (figura 30).



5. CONCLUSÕES

Os objetivos principais deste estudo foram determinar características médias das variações espaciais e temporais dos Sistemas Convectivos de Mesoescala de longa vida (tempo de vida maior que 12 horas). Para isto fez-se o monitoramento de 49 SCM através de imagens GOES-8 no canal infravermelho. Foram analisados casos ocorridos na região sul da América do Sul, durante os anos de 1999, 2000 e 2001.

Definiu-se um Sistema Convectivo de Mesoescala, como um conjunto de núcleos convectivos, que durante sua evolução confluíram ou estiveram cercados pelo isocontorno de temperatura de brilho de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

As conclusões deste trabalho serão subdivididas de acordo a ordem da seção 4, da seguinte forma: Variação Temporal, Variação Espacial

5.1. Variação Temporal

Quanto a análise temporal, observou-se a existência de periodicidade na intensificação dos SCM. Esta intensificação foi verificada através do aumento das áreas 70A 65A e 60A. Também se verificou que as áreas 50A e 35A, não servem como parâmetros para a análise da convecção severa. Em média a cada 12 horas ocorre a intensificação da atividade convectiva dos SCM de longa vida. Em 59% dos casos, os máximos de atividade convectiva concentraram-se na madrugada (entre 0 e 6 horas) e no período da tarde (12 e 18 horas), mostrou-se também que há uma tendência para o aparecimento dos SCM na madrugada, isto indica que a variação rítmica, com período de 12 horas, é um fenômeno significativo.

Em 22 casos (dos 49 analisados) uma intensificação de menor intensidade. Estes picos de intensificação secundários têm periodicidade menor. Em média a cada 5,1 horas ocorre um evento destes. Este resultado pode estar associado com o aparecimento de novos núcleos do Sistema.

5.2. Variação Espacial

Na análise espacial, foram observados 32 SCM, estes tiveram tempo de vida médio de 32 horas. Demonstrou-se que a evolução espacial dos Sistemas, se dá de forma discreta, ou seja, pelo aparecimento de novos núcleos convectivos.

O diâmetro médio dos núcleos convectivos, determinados através de satélite assemelham-se muito aos dos núcleos foi igual a 330 km. A distância média, entre o núcleo novo e o antigo, foi igual a 370 km. Com estes resultados, pode-se concluir que a determinação das dimensões espaciais dos SCM através de satélite, dá bons resultados, vistos que através do radar o diâmetro dos sistemas de precipitação é em média de 300 km (Abdoulaev et. all., 1998).

Com auxílio das análises dos dados, pode-se construir um modelo conceitual, onde na média, a cada 4,5 horas ocorre o aparecimento de um novo núcleo do SCM, na direção noroeste, dando prosseguimento a evolução do sistema. O tempo de vida médio dos núcleos foi igual a 11,6 horas. Não houve correlação entre o tempo de vida do SCM com seu tamanho, mas os núcleos apresentaram, mostrando que quanto maior o núcleo maior é seu tempo de vida, revelando mais uma vez a dependência da vida do sistema com as tempestades de menor escala.

Trinta e nove trajetórias de SCM foram reconstituídas. Os casos analisados tiveram deslocamento preferencialmente para norte e nordeste. A maioria dos núcleos novos apareceu à noroeste do núcleo antigo, e em 78% dos casos o aparecimento os núcleos novos ocorreram nos sentidos oeste, noroeste e norte em relação aos núcleos velhos, mostrando que os núcleos novos do sistema tendem a se desenvolver, para

regiões onde há maior disponibilidade de energia térmica, ou seja, na direção das latitudes mais baixas.

Os sistemas que se deslocaram para a direção norte e nordeste, também apresentaram tempo de vida maior, o tempo de vida médio dos núcleos que se deslocaram para norte foi de 43 horas, isto reforçando a idéia de que a disponibilidade de energia e umidade da região, determinante a direção de evolução do sistema.

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala analisados neste trabalho, exercem grande impacto social, econômico e climático, nas regiões Sul do Brasil, Norte da Argentina e no Paraguai. Por isso, espera-se que os resultados, possam contribuir, facilitando o entendimento dos processos convectivos de Meso- α , tanto na área da modelagem dos fenômenos atmosféricos severos, quanto na elaboração diária dos prognósticos meteorológicos de médio e curto prazo.

5.3. Sugestões

Aumentar o número de casos analisados, para melhorar os resultados estatisticamente.

Verificar, se a variação de intensidade dos SCM, com período curto tem ligação física com o aparecimento de novos núcleos convectivos.

Encontrar mais casos, com longa duração e verificar se realmente os núcleos convectivos com grandes dimensões, apresentam correlação com seu tempo de vida. Repetir a metodologia de análise dos casos, utilizando imagens de satélite com melhor resolução temporal e espacial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOULAEV, S.; STAROSTIN A.; LENSKAIA O.; GOMES, R.G., Sistemas de mesoescala de precipitações no Rio Grande do Sul. Parte 1: Classificação dos sistemas de mesoescala de precipitações. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 13, n. 2, p.57-74, 1998

ANDERSON, C.J.; ARRIT, R.W., Mesoscale convective complexes and persistent elongated convective systems over the United States during 1992 and 1993. Mov.Wea.Rev., v. 126, n.3, p.578-599, 1998.

BONATTI, J.P.; RAO, V.B., Moist baroclinic instability in the development of North Pacific and South American intermediate-scale disturbances. J. Atmos. Sci., v.44, p.2657-2667, 1987.

CORRÊA, C.S.; CLARKE R. T.; SILVEIRA, A.L.L., Análise e classificação não hierarquica dos Jatos de Nível Baixo e dos ventos máximos no perfil vertical do vento sobre Porto Alegre. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, 4 a 9 de agosto de 2002, Anais, CD-ROM.

COTTON, W. R.; LIN, M. S; MCANELLY, R. L.; TREMBACK, C. J., A composite model of mesoscale convective complexes. Mon. Wea. Rev., 117, 765-783, 1989.

CHEN, S; COTTON, W. R., The sensitivity of a simulated extratropical mesoscale convective system to longwave radiation and ice-phase microphysics. J. Atmos. Sci., 45, 3897-3910, 1988.

CHEN, Yi-Leng; CHEN, Xin A.; CHEN, Sue; KUO, Ying-Hwa, A Numerical Study of the Low-level Jet during TAMEX IOP 5. Mon. Wea. Rev.. 125, 10, 2583-2604, 1996.

CHISHOLM, A.S.; RENICK, J.H., **The kinematic of multicell and supercell Alberta hailstorms. Research Council of Alberta Hail Studies**, Report 72-2, 24-31, 1972.

FEDOROVA, N., **Meteorologia Sinótica II**, UFPel - Editora. Universitária, 159-180, 1999

FOOT G.B.; FRANK, W.M., **Case study of a hailstorm in Colorado**. J. Atmos. Sci., v. 40, N 3, 686-707, 1983.

FIGUEIREDO, J. C.; SCOLAR, J., **Estudo da trajetórias dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul**. VII Congresso Argentino de Meteorologia e VII Congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia, Argentina, setembro 1996, 165-166, 1996.

GOES I-M DataBook, National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771 Pursuant to: DRL 1001-08, GSFC Specification S480-21A, Contract NAS5-29500, Reference #S-415-19, Revision 31 august 1996

GUEDES, R.L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. Tese de Mestrado, IAG/USP, 89pp., 1985.

GUEDES, R.L., MACHADO, L.A.T., SILVEIRA, J.M.B., ALVES, M.A.S., WALTZ, R.C., **Trajetoórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano**. In: VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, II Congresso Latino-Ibérico de Meteorologia, 18 a 25 de outubro de 1994, Belo Horizonte. SBMET, Anais. 1994. v.2, p.77-80.

GRAY, W. M.; JACOBSON R. W., **Diurnal variation of deep convective system in the Tropics**. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1171-1188, 1977.

HOUZE, R.A. **Cloud dynamics**. Academic Press. INC, pp. 573, 1993.

LAING, A. G.; FRITSCH J. M., **The large scale environments of the global populations of mesoscale convective complexes**. Accepted by *Mon. Wea. Rev.*, 1999.

MACHADO, L.A.T.; DUVEL, J.-P.; DESBOIS M., **Diurnal variations and modulation by easterly waves of the size distribution of convective cloud clusters over West Africa and Atlantic Ocean**. *Mon. Wea. Rev.*, 121, p.37-49, 1993.

MACHADO, L.A.T., GUEDES R.L., **Formação e propagação de sistemas convectivos na América do Sul** In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6 a 13 novembro de 1996, Campos de Jordão. SBMET, Anais. 1996. v. 2, p.1279-1283.

MACHADO, L.A.T.; GUEDES R.L. Guedes; SILVEIRA, J.M.B.; WALTZ, R.C.; ALVES, M.A.S, **Ciclo de vida de sistemas convectivos**. In: VIII Congresso Brasileiro de

Meteorologia, II Congresso Latino-Ibérico de meteorologia, 18 a 25 de outubro de 1994, Belo Horizonte. SBMET, Anais. 1994. v.2, p.323-326.

MADDOX, R.A., **Mesoscale convective complexes**. Bull. Am. Meteorol. Soc., v. 61, p.1374-1387, 1980.

MADDOX, R.A., **The structure and life-cycle of midlatitude mesoscale convective complexes**. Dissertation. Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, Atmospheric Science. Paper No. 336, 311pp., 1981.

MADDOX, R. A., **Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes**. Mon. Wea. Rev.. 111, 1475-1493, 1983.

RAY P.S., **Mesoscale Meteorology and Forecasting**, American Meteorological Society, 1986.

RICHARDS, J.A; JIA, X., **Remote Sensing Digital Image Analysis**, Third Edition, Ed. Springer, 1999.

ROCHA, R.P. **Simulação numérica de sistema de mesoescala sobre a América do Sul**. Tese de Mestrado. IAG/USP, 1992.

SALIO, P.; NICOLINI M.; SAULO, C., **Chaco Low-Level Jet Events characterization During the Austral Warm Season by ERA Reanalysis**, VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002.

SAULO, C.; SELUCHI, M. E.; NICOLINI, M., **Low level circulation associated with a Northwestern Argentina Low event**, VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002.

SCHUBERT, W. H.; HACK, J. J.; SILVA DIAS, P. L.; FULON S. R., **Geostrophic adjustment in an axisymmetric vortex**. J. Atmos. Sci., 37, 1464-1484, 1980.

SILVA DIAS, M.A.F. **Complexos convectivos de mesoescala sobre a região sul do Brasil**. Climanálise, 1,12, 1996.

STAROSTIN, A.; ABDOULAEV, S.; NUNES, A. B., **Evolução das tempestades em sistemas convectivos de mesoescala não lineares**. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16 a 20 de outubro de 2000, Rio de Janeiro, Brasil, Preprint, CD-ROM, 1990-1995.

STAROSTIN, A.; ANABOR,V., **Análise de um sistema convectivo de mesoescala através das imagens de satélite no referencial móvel**. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16 a 20 de outubro de 2000, Rio de Janeiro, Brasil. SBMET, CD-ROM. 2000. p.1836-1841.

STAROSTIN, A.; ANABOR, V., **Sistemas convectivos de mesoescala de longa vida. Parte 1: Variação temporal.** In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz Iguaçu, 4 a 9 de agosto de 2002, anais, Foz Iguaçu, 2002a.

STAROSTIN, A.; ANABOR, V., **Sistemas convectivos de mesoescala de longa vida. Parte 2: Variação espacial.** In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz Iguaçu, 4 a 9 de agosto de 2002, anais, Foz Iguaçu, 2002b.

STAROSTIN, A., ILIINE, V., **Oscilações da intensidade da convecção profunda com períodos de 1 e 3 horas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.13, n.1, 53-63, 1998.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R., **The coupling of upper and lower tropospheric jet streams and implications for the development of severe convective storms.** Mon. Wea. Rev., 107, 682-703, 1979.

VELASCO, I.; FRITSCH, J.M., **Mesoscale convective complexes in the Americas.** J. Geoph. Res., 92, 9591-9613, 1987.

VITORINO, M.I.; SILVA, M.E.S; ALVES J.M.B., **Classificação de sistemas convectivos de mesoescala no setor norte do Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.12, n. 1, p.21-32, 1997.

WEBSTER, P. J.; STEPHENS G. L., **Tropical upper-tropospheric extended clouds: Inferences from Winter MONEX.** *J. Atmos. Sci.*, 37, 1521-1541, 1980.

WEISMAN, M. L.; KLEMP J. B., **The structure and classification of numerically simulated convective storms in directionally varying wind shears.** Mon. Wea. Rev., 112, 2479-2498, 1984.

TORRES, C.J.; NICOLINI M., **A composite of mesoscale convective systems over southern South America and its relationship to low-level jet events,** VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002.

ZIPSER, E. J., **Use of a conceptual model of the life cycle of mesoscale convective systems to improve very-short-range forecasts.** Nowcasting, K. Browning (Ed.), Academic Press, New York, 191-204 1982.

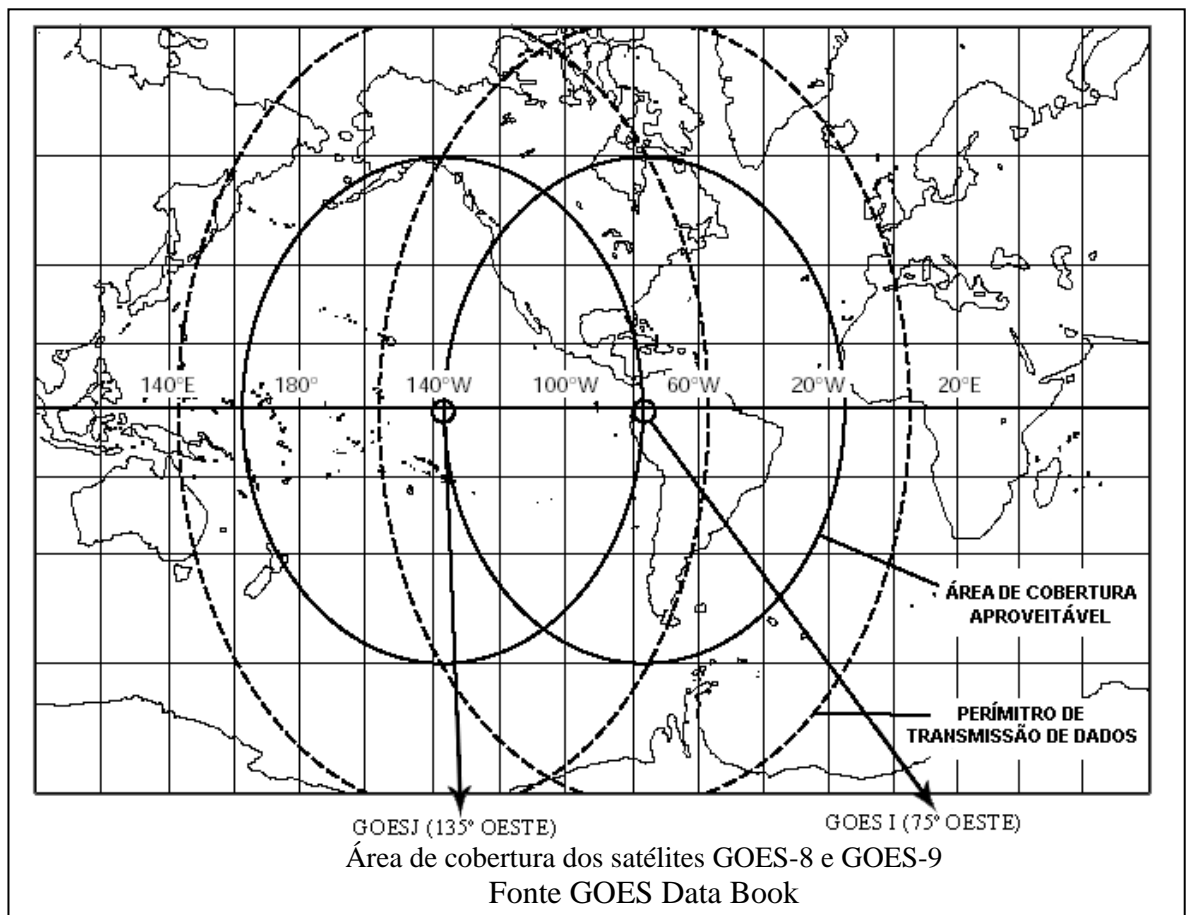
APÊNDICE A

Nº de Casos	Data de Início	Local de Aperhecimento	Horário do Início	Data do término	Horário do término
1	25/12/1999	Argentina	20:00	27/12/2000	01:00
2	29/12/1999	Argentina	01:00	29/12/2000	15:00
3	9/8/2000	Paraguai	01:09	9/8/2000	14:39
4	23/8/2000	Rio Grande do Sul / BRA	23:00	25/8/2000	18:00
5	23/8/2000	Rio Grande do Sul / BRA	08:45	26/8/2000	03:39
6	4/9/2000	Rio Grande do Sul / BRA	06:00	5/9/2000	03:00
7	11/9/2000	Rio Grande do Sul / BRA	20:20	14/9/2000	08:00
8	18/9/2000	Rio Grande do Sul / BRA	23:30	20/9/2000	16:00
9	6/11/2000	Argentina	23:00	8/11/2000	01:00
10	12/11/2000	Paraguai	03:00	13/11/2000	23:00
11	14/11/2000	Fernando de Noronha / BRA	23:00	16/11/2000	21:00
12	20/11/2000	Paraguai	01:00	20/11/2000	17:00
13	21/11/2000	Argentina	23:00	24/11/2000	23:00
14	24/11/2000	Bolívia	16:00	24/11/2000	14:00
15	24/11/2000	Argentina	23:00	25/11/2000	23:00
16	27/11/2000	Argentina	22:00	28/11/2000	23:00
17	27/11/2000	Rio Grande do Sul / BRA	01:00	28/11/2000	10:00
18	2/12/2000	Argentina	20:00	5/12/2000	02:00
19	8/12/2000	Argentina	21:00	9/12/2000	17:00
20	10/12/2000	Argentina	11:00	11/12/2000	23:00
21	11/12/2000	Argentina	17:00	12/12/2000	17:00
22	13/12/2000	Paraguai	02:00	14/12/2000	11:00
23	15/12/2000	Bolívia	13:00	16/12/2000	07:00
24	21/12/2000	Amazônia / BRA	04:00	21/12/2000	17:00

APÊNDICE A

25	4/1/2001	Argentina	23:00	5/1/2001	20:00
26	6/1/2001	Uruguai	23:00	7/1/2001	17:00
27	6/1/2001	Rio Grande do Sul / BRA	23:00	7/1/2001	20:00
28	7/1/2001	Chile (Ieste dos Andes)	15:00	8/1/2001	19:00
29	16/1/2001	Argentina	23:00	18/1/2001	04:00
30	16/1/2001	Rio Grande do Sul/BRA	23:00	19/1/2001	00:00
31	21/1/2001	Rio Grande do Sul/BRA	23:00	22/1/2001	18:00
32	22/1/2001	Argentina	22:00	24/1/2001	18:00
33	23/1/2001	Argentina	01:00	23/1/2001	14:00
34	24/1/2001	Paraguai	16:09	25/1/2001	15:39
35	25/1/2001	Argentina	16:09	27/1/2001	05:39
36	27/1/2001	Argentina	21:39	29/1/2001	11:09
37	2/2/2001	Bolivia	17:45	3/2/2001	14:09
38	4/2/2001	Paraguai	17:09	5/2/2001	07:39
39	7/2/2001	Argentina	16:39	9/2/2001	17:39
40	11/2/2001	Paraguai	10:39	12/2/2001	13:09
41	23/2/2001	Uruguai	23:45	24/2/2001	14:05
42	3/3/2001	Argentina	07:39	4/3/2001	01:39
43	4/3/2001	Uruguai	08:09	5/3/2001	01:09
44	9/3/2001	Argentina	20:39	10/3/2001	21:39
45	12/3/2001	Mato Grosso do Sul / BRA	09:45	13/3/2001	13:39
46	15/3/2001	Rio Grande do Sul / BRA	14:39	17/3/2001	03:39
47	22/3/2001	Argentina	19:09	23/3/2001	20:39
48	5/12/2001	Rio Grande do Sul / BRA	16:00	7/12/2001	18:00
49	9/12/2001	Argentina	23:00	12/12/2001	16:00

APÊNDICE B



APÊNDICE C

