

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**



Dissertação

**Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala  
que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**

**Cristiano Wickboldt Eichholz**

Pelotas, 2011

**CRISTIANO WICKBOLDT EICHHOLZ**

**Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram  
o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Meteorologia)

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Pelotas, 2011

Dados de catalogação na fonte:  
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901  
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

E34c      Eichholz, Cristiano Wickboldt  
Características físicas dos Sistemas Convectivos de  
Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de  
2004 a 2008 / Cristiano Wickboldt Eichholz. – 102f. ; il. color.  
– Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em  
Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de  
Meteorologia. Pelotas, 2011. – Orientador Cláudia Rejane  
Jacondino de Campos.

1.Meteorologia. 2.Precipitação. 3.Tempo severo.  
4.Granizo. 5.ForTrACC. 6.Vendaval. 7.Mesoescala. 8.Eventos  
extremos. 9.Nowcasting weather. 10.Sistemas  
meteorológicos. 11.Rio Grande do Sul. I.Campos, Cláudia  
Rejane Jacondino de. II.Título.

CDD: 551.5798165

**Banca examinadora:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Prof. Dr. Fabrício Pereira Harter

Dr. Luiz Augusto Toledo Machado

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rita de Cássia Marques Alves

## **Dedicatória**

À minha família.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, pelas oportunidades concedidas e a minha família, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

A todos os professores, funcionários e colegas do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, pela convivência e amizade durante os anos de estudos, em especial, à Professora Dr<sup>a</sup> Cláudia Rejane Jacondino de Campos, pela orientação, confiança, amizade e conhecimentos compartilhados desde a graduação.

Aos membros da banca pelas sugestões que aprimoraram este trabalho e ao aluno de iniciação científica Gustavo Rasera pela colaboração.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em especial, a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), pelo suporte e fornecimento de dados.

A Alan James Peixoto Calheiros e Wagner Flauber Araujo Lima, pela ajuda com o aplicativo ForTrACC.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e a todos que direta e indiretamente contribuíram com a realização deste trabalho.

## Resumo

EICHHOLZ, Cristiano Wickboldt. **Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**. 2011. 99f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

A passagem de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) sobre uma região causa impactos em superfície, pois geralmente está associada à precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo. Esse fenômeno bastante comum na região sul do Brasil afeta o Rio Grande do Sul (RS) e causa prejuízos a sua economia. Portanto o estudo dos SCM que atingem o RS é de grande importância, pois além de permitir um maior entendimento do tempo e do clima da região também fornece subsídios aos tomadores de decisão. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as características físicas sazonais dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreu ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS durante o período de 2004 a 2008, utilizando a técnica ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters). Foram utilizadas as imagens brutas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) do canal 4, com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE) e serviram como base de dados para a utilização da técnica ForTrACC. Os resultados para o período de estudo mostraram que: i) os SCM que afetaram o RS apresentaram maior número de ocorrência no período mais quente do ano (JFM); ii) nos quatro trimestres do período de estudo a maioria dos SCM que afetou o RS (64,7%) apresentaram tempo de vida entre 6 e 12h; iii) SCM com maior tempo de vida cobrem áreas maiores; iv) a temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) apresentou valores médios menores nos SCM observados em JFM e OND; v) em todos os períodos do ano em torno de 6,4% dos SCM apresentaram formato mais linear, aproximadamente 64,0% apresentaram formato irregular e em torno de 29,6% apresentaram formato mais circular; vi) valores menores de  $T_{ir}$  estão relacionados à SCM com formato mais próximo do formato circular (excentricidade igual ou maior do que 0,5) e com maior duração; vii) as 3 fases do ciclo de vida dos SCM que afetaram o RS podem ocorrer de forma distribuída ao longo do dia; viii) em todos os períodos do ano os nascimentos dos SCM que afetaram o RS ocorrem

predominantemente dentro e em torno da grade que cobre o RS, com tendência a iniciarem mais no lado oeste da grade sobre o continente; ix) em todos os trimestres há uma tendência de a trajetória média preferencial ser de oeste para leste.

Palavras-chave: sistemas convectivos de mesoescala, ForTrACC, precipitação.



## Abstract

EICHHOLZ, Cristiano Wickboldt. **Physics Features of the Mesoscale Convective Systems that reached the Rio Grande do Sul from 2004 to 2008**. 2011. 99f. Thesis (MA) - Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The happening of Mesoscale Convective Systems (MCS) over a region causes impacts on the surface, that is usually associated with heavy precipitation, strong wind gusts and hail. This phenomenon is common in southern Brazil reach the Rio Grande do Sul (RS) and causes damage to its economy. Therefore the MCS study that reaching of RS is of great importance, as well as allowing a greater understanding of weather and climate of the region also provide knowledge to decision makers. Thus, the aim was to study the seasonal physics features of MCS whose genesis and maintenance happened southward of  $20^{\circ}$  S, with life cycle of at least 6 h, with spontaneous initiation and normal dissipation and that reached the region covering the RS from 2004 to 2008, using the FORTRACC method (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters). Channel 4 Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) images from 2004/01/01 to 2008/12/31, with 4 km x 4 km spatial resolution in your subsatellite point and  $\frac{1}{2}$  hour temporal resolution were used. These images were provided by DSA/CPTEC/INPE (Satellite Division and Environmental Systems/Center for Weather Forecast and Climate Studies/National Institute for Space Research) and served as a database for the use of the FORTRACC method. The results showed that: i) the MCS that affected the RS occurring majority in the warmest quarter of the year (JFM), ii) in the four quarters of the study period most of the MCS that affected the RS (64.7%) had lifetime between 6 and 12 h, iii) MCS with longer life cover larger areas, and iv) the minimum temperature ( $T_{ir}$ ) had lower mean values observed in the MCS in OND and JFM, v) in all periods of the year around 6.4% of the MCS showed a more linear format, approximately 64.0% have irregular shape and about 29.6% had more circular shape, vi) lower values of  $T_{ir}$  are related to MCS with shape close to circular (eccentricity equal to or greater than 0.5) and longer duration, vii) the three phases of the life cycle of MCS that affected the RS can occur in a distributed manner throughout the day, viii) in all periods of years the births of MCS that affected RS occur predominantly in and around the grill that covers the RS, with a tendency to start over on the west side of the grid on the mainland; ix) in all quarters there is a tendency for the mean trend preferential be from west to east.

Keywords: mesoscale convective systems, ForTrACC, rainfall.

## Lista de figuras

Figura 1	Corte vertical de um SCM. Fonte: Atmospheric science: an introductory survey, 2006, p.365.	22
Figura 2	Esquema do método de identificação e acompanhamento dos SCM. (a) continuidade, (b) split e (c) merge..... Fonte: VILA et al., 2008	32
Figura 3	Representação esquemática da previsão do deslocamento do centro de massa de um SCM. As linhas pontilhadas verticais separam os diferentes passos de tempo. O SCM hachurado indica a posição prevista do SCM..... Fonte: VILA et al., 2008	33
Figura 4	Imagens do satélite GOES do período de 2004 a 2008 utilizadas pelo ForTrACC.....	40
Figura 5	Região que cobre o Rio Grande do Sul (retângulo entre as latitudes de 27° a 34°S e as longitudes de 58° a 49°W) e que foi afetada por SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h e que tiveram iniciação espontânea e dissipação natural.....	41
Figura 6	Exemplo da trajetória seguida por um SCM que não afetou o RS (vermelho) e de um que afetou o RS (verde).....	43
Figura 7	Exemplo do agrupamento feito para obter as regiões preferenciais de iniciação. (a) Mapa contendo o agrupamento das iniciações em uma malha de 2° X 2°. (b) Mapa resultante da interpolação do mapa (a).....	45
Figura 8	(a) Exemplo de trajetórias individuais seguidas por SCM, destacando os pontos de iniciação, maturação e dissipação de cada SCM. (b) Composição da trajetória média preferencial.....	45

Figura 9	Distribuição sazonal normalizada para o período de 2004 a 2008 do total de SCM que afetaram o RS .....	48
Figura 10	Tempo de vida dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.....	50
Figura 11	Tamanho máximo dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 em função do seu tempo de vida. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.....	52
Figura 12	Temperatura mínima no momento da máxima extensão dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).....	55
Figura 13	Excentricidade no momento da máxima extensão dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).....	57
Figura 14	Distribuição dos horários preferenciais de iniciação (azul), maturação (verde) e dissipação (vermelho) dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).....	59
Figura 15	Distribuição geográfica sazonal dos nascimentos dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.....	62
Figura 16	Trajetórias médias preferenciais sazonais dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND .....	64

## Lista de tabelas

Tabela 1	Mesoescala segundo Orlanski (1975).....	20
Tabela 2	Principais parâmetros calculados pelo ForTrACC. ....	30
Tabela 3	Distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 do total de SCM cuja gênese e manutenção ocorreu abaixo de 20°S em função do tempo de vida (<6h ou ≥6h) e do tipo de geração e dissipação (geração espontânea-GE e dissipação natural-DN ou outros) e daqueles SCM que afetaram o RS.....	47
Tabela 4	Tamanho médio (pixel) sazonal dos SCM que atingiram o RS e sua relação com a duração dos sistemas com ciclo de vida maiores ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h., entre 12 e 24h e com duração superior a 24 h, para o período de 2004 a 2008 ....	53
Tabela 5	Temperatura mínima média (K) sazonal (Tir) e excentricidade média e suas relações com a duração dos sistemas com ciclo de vida maiores ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h., entre 12 e 24h e com duração superior a 24 h, para o período de 2004 a 2008 .....	55

### **Lista de abreviaturas e siglas**

AMJ	Abril – maio – junho
AS	América do Sul
BRAMS	Brazilian Regional Atmospheric modeling system
CC	Células convectivas
CCB	Nuvens frias altas frequentemente associadas com a convecção
CCM	Complexo convectivo de mesoescala
$C_F$	Fração convectiva
CM	Centro de massa
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DN	Dissipação Normal
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
EUA	Estados Unidos da América
ForTrACC	Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters
GE	Geração Espontânea
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IS	Imagens de Satélite
JAN	Jato de altos níveis
JAS	Julho – agosto – setembro

JBN	Jato de baixos níveis
JBNSA	Jato de Baixos Níveis Sul Americano
JFM	Janeiro – Fevereiro – Março
LBA/RACCI	Radiation Cloud and Climate Interaction in LBA Amazon dry to wet season
LI	Linha de instabilidade
$N_{CC}$	Número de CC imersas em cada SCM
OND	Outubro – novembro – dezembro
PHP	Hypertext Preprocessor
RS	Rio Grande do Sul
$R_s$	Raio efetivo do SCM
SALLJEX	South American Low-Level Jet Experiment
SC	Sistema Convectivo
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SF	Sistema Frontal
$T_{ir}$	Temperatura Mínima
UTC	Universal Time Coordinated
WEATAMC/LBA	Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign of the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazonia
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## Sumário

1 Introdução .....	17
2 Revisão de literatura .....	20
2.1 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) .....	20
2.2 A técnica ForTrACC .....	25
2.2.1 Imagens de satélite no canal infravermelho termal .....	26
2.2.2 Identificação dos SCM .....	27
2.2.3 A técnica de acompanhamento dos SCM .....	28
2.2.4 A Técnica de previsão .....	32
2.2.4.1 Estimativa da velocidade e direção média de propagação do SCM.....	32
2.2.4.2 Tendência de crescimento e desenvolvimento dos SCM .....	33
2.3 Resultados de pesquisas sobre SCM utilizando o ForTrACC .....	34
3 Materiais e métodos .....	39
3.1 Dados e região de estudo .....	39
3.2 Metodologia .....	41
3.3 Divulgação na internet .....	46
4 Resultados e discussão .....	47
4.1 Análise sazonal dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008	47
4.1.1 Distribuição .....	47
4.1.2 Duração do ciclo de vida .....	50
4.1.3 Tamanho máximo .....	52
4.1.4 Temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) e excentricidade .....	54



4.1.5 Horários mais freqüentes de nascimentos (iniciações), maturações e dissipações .....	58
4.1.6 Regiões preferenciais de nascimento dos SCM .....	61
4.1.7 Trajetória média preferencial .....	64
5 Conclusão.....	67
Referências .....	70
Apêndices .....	78

## Introdução

As atividades humanas são diretamente influenciadas pelas condições do tempo e do clima, uma vez que diversos setores da sociedade se mostram extremamente dependentes dos mais variados tipos de fenômenos meteorológicos. Esta dependência é explicada através da importância que os fenômenos meteorológicos têm frente à manutenção do regime hídrico e energético do planeta. Por outro lado, da mesma forma que os fenômenos meteorológicos contribuem para o equilíbrio do planeta, também podem afetar a sociedade de forma negativa, através de tempestades severas que comumente provocam muitos prejuízos aos diversos setores da sociedade, podendo causar até a perda de vidas. Por essa razão, o estudo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) tem sido difundido entre os pesquisadores, devido ao impacto em superfície causado por sua passagem ou existência que é geralmente associada à precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo.

Os SCM, que são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e que apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, possuem formas variadas (HOUZE, 1993; MACHADO; ROSSOW, 1993). Podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares.

Diversos autores (MACHADO *et al.*, 1994; NICOLINI *et al.*, 2002; TORRES, 2003; VILA, 2004; ZIPSER *et al.*, 2004) têm analisado vários SCM com o objetivo de determinar o seu tamanho e seu horário preferencial de formação e de maturação. Esses estudos mostram que o tamanho dos sistemas está associado ao seu tempo de duração, maiores sistemas são os que duram mais.

Apesar de os SCM serem responsáveis pela maior parte da precipitação da estação quente nas regiões tropicais e temperadas da AS (VELASCO; FRITSCH 1987; VILA, 2004), contribuindo para a geração de condições de tempo adverso, eles ainda não são bem previstos (CORFIDI *et al.*, 1996). Monitorar o deslocamento e a evolução dos SCM é de grande importância para a previsão do tempo e de fenômenos meteorológicos adversos. Por isso, com o objetivo de se obter um melhor conhecimento do ciclo de vida dos SCM, assim como um melhor entendimento de suas características físicas e morfológicas, são desenvolvidas técnicas de acompanhamento dos mesmos. Dentre essas técnicas, pode-se citar o Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters - ForTrACC (VILA *et al.*, 2008), que utiliza os limiares, nas imagens do canal-4 do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), de 235 K para definir o SCM e de 210K, para definir as células convectivas imersas no SCM. Estes limiares parecem aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da América do Sul permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas imersas no sistema (CARVALHO; JONES, 2001; LAURENT *et al.*, 2002; MACHADO; LAURENT, 2004; VILA, 2004).

Atualmente, o ForTrACC é utilizado de forma operacional na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA/CPTEC/INPE), onde também realiza o prognóstico da evolução de SCM para até duas horas. A DSA disponibiliza a versão diagnóstica do aplicativo, que é utilizada nas atividades de pesquisa.

Os trabalhos que vêm sendo realizados utilizando o ForTrACC, mostram a sua importância nas pesquisas sobre eventos severos. Estes estudos dão uma contribuição significativa para o entendimento do tempo e clima e para a previsão dos SCM reduzindo com isso a vulnerabilidade aos danos causados pelas condições de tempo severo gerados por estes sistemas.

Pelo exposto acima, fica claro que estudos sobre a variabilidade espacial e temporal das características morfológicas e radiativas dos SCM sobre a AS são de fundamental importância para se responder diversas questões que ainda estão em aberto sobre os SCM. Cabe ressaltar que a região onde o Estado do Rio Grande do Sul (RS) se localiza possui características ideais para o desenvolvimento de atividade convectiva e formação e manutenção de SCM. Isso porque essa região sofre a influência da passagem dos Sistemas Frontais (SF) e dos JBN, que

transportam calor e umidade da Amazônia para o sul do Brasil. Dentro deste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi estudar as características físicas sazonais dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreu ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS durante o período de 2004 a 2008, utilizando a técnica ForTrACC.

Mais especificamente pretendeu-se:

1. determinar e analisar a distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008:

- dos SCM que afetaram o RS;
- do tempo de vida (ou duração do ciclo de vida) desses SCM;
- do tamanho máximo desses SCM em função do seu tempo de vida;
- da temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) e da excentricidade no momento da máxima extensão desses SCM;
- dos horários mais freqüentes de nascimento, maturação e dissipação desses SCM;
- das regiões mais freqüentes de nascimento desses SCM;
- da trajetória média preferencial desses SCM.

2. desenvolver uma página para internet para divulgação e consulta dos resultados obtidos neste estudo.

## Revisão de literatura

### 2.1 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)

A região sul do Brasil é afetada por sistemas meteorológicos de diferentes escalas que influenciam o seu regime de chuvas, dentre os quais se destacam os SCM.

No Rio Grande do Sul, grande parte da precipitação registrada nas estações quentes, é associada à SCM, que causam condições de tempo severo, uma vez que sua ocorrência, geralmente, vem acompanhada de precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e granizo. Por esta razão os SCM têm sido alvo de interesse dos pesquisadores, que buscam um melhor entendimento de sua estrutura de formação e manutenção, a fim de gerar previsões mais confiáveis da ocorrência dos mesmos, visando diminuir os prejuízos por eles gerados. Por ser uma estrutura de mesoescala, as dimensões horizontais dos SCM podem variar de 2 a 2.000 Km e manter-se de 1 hora até 7 dias (Tab. 1).

Tabela 1 - Mesoescala segundo Orlanski (1975).

Divisão	Dimensão horizontal (Km)	Duração	Fenômenos
Meso- $\gamma$	2 - 20	1 hora	Tempestades locais, Turbulência de céu claro.
Meso- $\beta$	20 - 200	1 hora a 1 dia	JBN, Tempestades locais, circulações locais.
Meso- $\alpha$	200 - 2000	1 a 7 dias	Frentes, Furacões

Houze (1993) definiu os SCM como sendo sistemas formados por blocos de tempestades individuais e em linhas, com uma dinâmica mais complexa do que a dos mesmos, por sua formação ser ocasionada pela união destes sistemas. Ainda

segundo ele, o ciclo de vida dos SCM pode ser dividido em quatro etapas. Durante a formação, o sistema apresenta-se como um grupo de células isoladas, distribuídas ora de forma aleatória ora alinhadas. Em seguida, durante o estágio de desenvolvimento, as células isoladas crescem e se fundem criando regiões de intensa precipitação interligadas por regiões de menor precipitação. Quando o estágio de desenvolvimento atinge o seu máximo, observa-se precipitação estratiforme na retaguarda do SCM sobre uma grande região, que se mantém enquanto novas células se formam na parte dianteira do sistema. Quando o sistema deixa de formar novas células entra em fase de dissipação, isto é, como a formação de novas células diminui, o sistema não tem como se sustentar, o que provoca seu enfraquecimento e por fim, sua dissipação. Além de Houze (1993), Machado e Rossow (1993) também observaram este comportamento.

Os SCM possuem formas variadas, sendo classificados como Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular, ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares. Entretanto, esses sistemas possuem características em comum. Por exemplo, todos os SCM apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva.

Estes sistemas de nuvens tipicamente possuem um tempo de vida da ordem de 6 a 12h e em algumas ocasiões, a parte estratiforme da bigorna do SCM pode durar vários dias.

A formação dos SCM é originada pela existência de algumas forçantes que disparam a convecção, geralmente iniciada pela convergência de ar quente e úmido em níveis mais baixos da atmosfera. Entre os diversos mecanismos que podem originar essa convergência, podemos citar a circulação mar e terra, a circulação vale e montanha, a convergência ao longo de superfícies frontais em latitudes médias, a existência de gradientes de umidade no solo, os JBN, entre outros. Segundo diversos autores (FRANK, 1970; MADDOX, 1983; GUEDES et al., 1994; JIRAK; COTTON, 2004), a condição primordial para a iniciação, organização e manutenção de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um JBN e uma advecção quente e úmida.

As principais características que podem ser observadas nos SCM são: em baixos níveis, uma zona convectiva marcada por um fluxo convergente de umidade que alimenta o sistema e mais particularmente as ascendências convectivas. Atrás

deste fluxo, pode-se observar um fluxo divergente que se incorpora ao sistema. Parte deste fluxo é desviada para os níveis mais próximos da superfície, atrás do fluxo que entra, e alimenta as subsidências convectivas. Uma outra parte, a mais larga é acelerada para trás dentro da região estratiforme onde, por essência, a subsidência de ar ocorre. Nas camadas intermediárias e altas, o fluxo na região convectiva apresenta um aspecto divergente acima das células convectivas. Após a linha convectiva, este fluxo se incorpora ao sistema e mais especificamente à região estratiforme sofrendo deformação (CAMPOS; CHONG, 1999). Essas são algumas das características bem conhecidas dos SCM (HOUZE; BETTS, 1981; CHONG et al., 1987; ROUX, 1988). Observa-se também que as subsidências convectivas são claramente separadas da subsidência de mesoescala. Estas últimas, na região estratiforme contribuem, em grande parte, para alimentar o fluxo dirigido para trás do sistema e observa-se também a presença de uma corrente de densidade associada à subsidência convectiva. Uma representação dos movimentos presentes nos SCM é mostrada na Fig. 1.

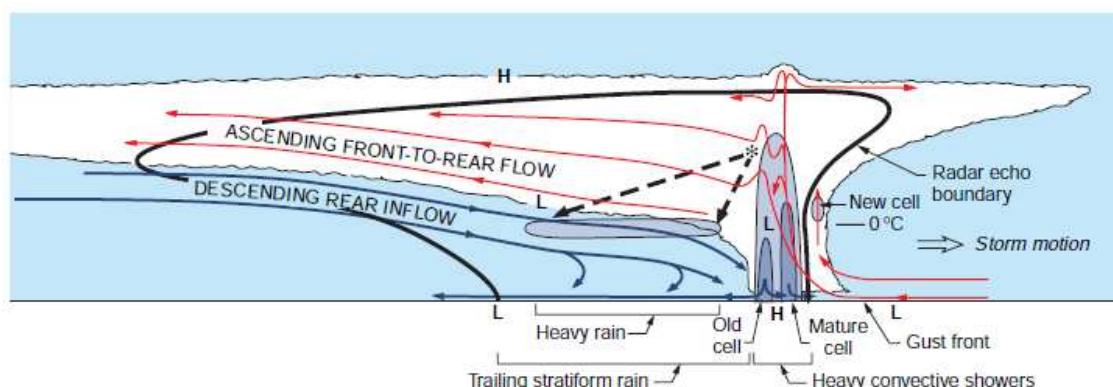


Figura 1 – Corte vertical de um SCM.

Fonte: Atmospheric science: an introductory survey, 2006, p.365.

Com relação aos movimentos verticais associados aos SCM, a subsidência de baixos níveis induz a ocorrência de precipitações convectivas, que são geralmente associadas a aguaceiros e tempestades de granizos e que alimentam o ar frio que se acumula abaixo da região convectiva, que forma a frente de rajada do SCM. Além das subsidências de baixos níveis podem-se observar subsidências de altitude que tendem a ocorrer em ambos os lados dos núcleos de ascendências,

sendo esses núcleos organizados verticalmente na região convectiva e horizontalmente na região estratiforme (HOUZE, 1993).

Outra característica muito importante para se entender a evolução desse tipo de sistema é o comportamento do perfil vertical de determinadas variáveis meteorológicas. Segundo diversos autores (MADDOX, 1983; COTTON et al., 1989; LAING; FRITSCH, 2000; GUEDES; MACHADO, 2003; TORRES, 2003; PINTO; CAMPOS, 2007) ao longo do ciclo de vida de um SCM, o geopotencial, a temperatura, a umidade e a velocidade vertical evoluem de forma combinada entre as fases, e acopladas verticalmente, podendo assim, em função desse acoplamento determinar a iniciação, a intensificação e a duração do próprio sistema.

O tamanho médio dos SCM é associado ao seu tempo de vida, maiores sistemas têm maior tempo de vida. Segundo Salio et al. (2007), que estudaram SCM sobre a região sudeste da AS ( $10^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ S e  $40^{\circ}$  a  $75^{\circ}$  W) e sua relação com o JBN, no período de setembro de 2000 a maio de 2003, os SCM tropicais são menores e duram menos do que os SCM subtropicais. Isso ocorre principalmente porque os SCM tropicais recebem calor e umidade devido ao aquecimento diurno. Enquanto que os SCM subtropicais recebem calor e umidade trazidos pelo JBN. Observaram também que os SCM tropicais possuem forte variabilidade sazonal associada ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) enquanto que os SCM subtropicais mostram menor variabilidade sazonal. Estes resultados demonstram que existe uma co-evolução e inter-relação entre o JBN o ciclo de vida dos SCM subtropicais.

Com relação ao horário de formação dos SCM, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente. Isso porque a formação de nuvens está diretamente associada a movimentos convectivos, e estes estão associados ao aquecimento de parcelas de ar. Logo a tarde é o período em que se registram as maiores temperaturas e máxima atividade convectiva. Um máximo secundário de formação é observado no fim da noite e início da manhã (entre 5 e 6 horas da manhã), sugerindo estar relacionado com o máximo de convecção sobre os oceanos. A fase madura dos sistemas tem dois picos, uma pela tarde e outra durante a noite e primeiras horas da manhã (MACHADO et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003; VILA, 2004; ZIPSER et al., 2004; PINTO; CAMPOS, 2007), comportamento que provavelmente está relacionado com uma atividade mais intensa de frentes



frias, nos subtrópicos e latitudes médias, que estimula a atividade convectiva em diferentes horários do dia sobre aquelas regiões (SIQUEIRA, 2004).

Quanto à trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes (entre 25° e 40°S), diversos autores (GUEDES, 1985; FIGUEIREDO; SCOLAR, 1996; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003), afirmam que a tendência desses sistemas é de deslocar-se para leste. Já Velasco e Fritsch (1987) mostram uma maior variabilidade de trajetórias com uma tendência a serem mais zonais (de oeste para leste) na primavera e início do outono e mais meridionais (de sul para norte) no verão.

Diversos estudos têm mostrado que o JBN é uma característica recorrente do ambiente durante os estágios de formação e maturação dos SCM sobre as grandes planícies dos Estados Unidos da América (EUA). O JBN da AS tem um papel análogo, advectando calor e umidade da bacia Amazônica para as regiões do Sudeste e Sul da AS, gerando condições ideais para a convecção inicial e desenvolvimento de SCM (SALIO et al., 2007). Em outras palavras, o JBN é considerado eficaz no transporte de calor e umidade das regiões tropicais para as latitudes médias. Este transporte tem como consequência a formação ou intensificação de tempestades severas que se desenvolvem na saída do JBN, causando intensa precipitação (BONNER, 1966; GUEDES, 1985; MARENGO et al., 2004; SANTOS et al., 2008). O estabelecimento de um escoamento de norte do lado leste dos Andes é uma situação climatológica típica de verão na América do Sul (VIRJI, 1981). Gandú e Geisler (1992) e Figueroa et al. (1995) mostram que os Andes exercem um papel fundamental no estabelecimento do escoamento de norte, em baixos níveis, na sua encosta leste, na presença de fontes de calor na Amazônia, típicas no verão. Em estudos de Salio et al. (2002) encontrou-se que os eventos de JBN, os que se estenderam ao sul de 25°S, geram condições de instabilidade necessárias para o desenvolvimento da convecção na área subtropical e explicam 45% da precipitação de verão da região subtropical da AS. Fritsch e Forbes (2001) documentaram as características dinâmicas e padrões termodinâmicos presentes no ambiente de grande escala relacionado com os SCM. Um dos mecanismos subsinóticos eficientes na desestabilização da atmosfera foi fornecido pela presença do JBN paralelo à Cordilheira dos Andes. Nicoloni et al. (2004) analisaram as condições ambientes de 27 casos de SCM que ocasionaram precipitação intensa no sul da AS. Foi observada uma alta correlação entre estes

eventos e a ocorrência de JBN estendendo-se mais ao sul da AS em 81% dos 27 casos.

Já para o estudo do ambiente sinótico, para as características dinâmicas e termodinâmicas dos SCM conta-se hoje com os modelos numéricos de mesoescala, como o modelo BRAMS, que tem sido utilizado por vários países e em diversas áreas da meteorologia. Podem-se citar alguns exemplos de trabalhos realizados com o modelo: simulação de CCM no RS: Lima (2004); Campos et al. (2008); simulação de SCM no RS: Pinto e Campos (2007); Santos et al. (2008).

## 2.2. A técnica ForTrACC

O Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters (ForTrACC) é um algoritmo que permite o seguimento das propriedades radiativas e morfológicas dos SCM bem como a previsão da evolução destas propriedades físicas (baseado na temperatura de brilho do topo das nuvens) para até 120 minutos, utilizando imagens no canal 4 (infravermelho termal) do satélite GOES (VILA et al., 2008).

Os principais passos deste algoritmo são:

1. Um método de detecção de aglomerados de nuvens ('cloud clusters') baseado num limiar de tamanho e temperatura de brilho do topo das nuvens ( $T_{ir}$ );
2. Um módulo estatístico para identificar parâmetros morfológicos e radiativos de cada SCM;
3. Uma técnica de seguimento, baseada na área de superposição entre sucessivas imagens, que permite a construção das trajetórias dos sistemas ('famílias') ao longo de seu ciclo de vida e
4. Um módulo de previsão baseado na evolução dos SCM em relação a um tempo anterior. Este último passo será brevemente discutido, uma vez que a versão prognóstica do ForTrACC não será utilizada neste trabalho e sim a versão diagnóstica, a qual não utiliza este módulo.

É importante ressaltar que uma das principais etapas do ForTrACC é a de formação das "famílias". Nessa etapa, o programa acompanha os sistemas desde o seu surgimento até a sua dissipação, levando em consideração todas as fusões e divisões sofridas por ele ao longo do seu ciclo de vida e, a esse conjunto de SCM dá-se o nome de família. Assim, família é o comportamento dos sistemas ao longo

da sua trajetória durante todo o seu ciclo de vida. Neste trabalho uma família será designada por sistema ou SCM.

### **2.2.1. Imagens de satélite no canal infravermelho termal**

Conforme mencionado anteriormente o ForTrACC utiliza imagens de satélites (IS) geoestacionários GOES. Os satélites meteorológicos geoestacionários, como o GOES-12 e o GOES-10, são colocados em órbita sobre o equador a uma altitude de aproximadamente 35.800 km de tal forma que tenham a mesma velocidade angular de rotação da Terra, o que permite um frequente monitoramento de uma mesma região específica da Terra, com uma resolução temporal de 15 a 30 minutos.

Os satélites da geração GOES I-M possuem instrumentos a bordo capazes de medir tanto a radiação refletida (visível) quanto a radiação emitida pela Terra (infravermelho). Os satélites GOES I-M têm em seu imageador seis canais espectrais: canal 1 - visível (0,55-0,75  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 1x1km; canal 2 – infravermelho de ondas curtas (3,8-4,0  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4x4km; canal 3 – vapor d'água (6,5-7,0  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 8x4km; canal 4 – infravermelho termal (10,2-11,2  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4x4km; canal 5 – infravermelho de ondas longas (11,5-12,5  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4x4km; canal 6 – infravermelho de ondas longas (12,9-13,7  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4x4km (CONWAY, 1997).

As imagens de satélites GOES no canal 4 (10,2-11,2  $\mu\text{m}$  - infravermelho termal) fornecem informações referentes à energia emitida tanto pela superfície terrestre quanto pela atmosfera (constituída de ar e vapor d'água). Nestes comprimentos de onda ("janela atmosférica") a atmosfera absorve pouca radiação, porém as nuvens absorvem fortemente. Nas imagens deste canal a energia medida é proporcional à temperatura do topo das nuvens e portanto os tons de cinza variam com a temperatura. Áreas escuras nestas imagens representam superfícies quentes enquanto que áreas claras representam superfícies frias. Em regiões com ausência ou pouca nebulosidade, observa-se a radiação vinda diretamente da superfície o que permite estimar sua temperatura. As nuvens com topos frios (nuvens

convectivas) aparecem nestas imagens em branco devido à baixa temperatura do seu topo. Já as nuvens médias e baixas aparecem em diferentes níveis de cinza e as superfícies de terra ou água, que estão mais quentes, aparecem próximas do preto.

### 2.2.2. Identificação dos SCM

Segundo Machado et al., (1998) um SCM é composto por diversos tipos de nuvens que variam segundo a fase do ciclo de vida.

Como a convecção profunda associada aos SCM penetra a alta troposfera, o primeiro passo para a detecção de um SCM é identificar todas as nuvens que tem topos acima de 6-9km (meio da troposfera). Por outro lado, uma nuvem é definida como um SCM somente se em um determinado estágio do seu ciclo de vida ela contém convecção profunda ativa. Portanto, o segundo passo para a detecção de um SCM é definir a presença de nuvens associadas à atividade convectiva através de limiares de  $T_{ir}$ . Assim, além de se identificar topos de nuvens altas deve-se detectar a presença de convecção profunda ativa.

No ForTrACC um limiar de  $T_{ir}$  de 235 K é utilizado para detectar a presença de SCM, pois este limiar parece ser aceitável para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da América do Sul, conforme sugerido em Carvalho e Jones (2001), Laurent et al. (2002), Machado e Laurent (2004) e Vila et al. (2008). Além de detectar os SCM pelo limiar de  $T_{ir}$  de 235 K, o ForTrACC também detecta as células convectivas (CC) imersas nos SCM, utilizando o limiar de  $T_{ir}$  de 210 K (VILA, 2004). O segundo limiar de  $T_{ir}$  de 210 K visa detectar aqueles SCM que em alguma etapa do seu ciclo de vida contiveram núcleos de convecção profunda com maior atividade convectiva, que são de grande interesse para a previsão de curto prazo.

Outro ponto importante na detecção de um SCM é a definição do limiar de tamanho mínimo do SCM. Diversos autores propuseram diferentes limiares de tamanho de SCM (MADDOX, 1980; TORRES, 2003). Considerando a hipótese conservativa de mínima superposição da área de 25% para duas imagens consecutivas com intervalo de 30 minutos (MOREL; SENESI, 2002) e um valor de excentricidade próximo a 0,5 [valor médio deste parâmetro, VILA (2004)], um valor

mínimo de 150 pixels é obtido (considerando uma imagem com resolução de 4km x 4km no seu ponto subsatelite, a área mínima será 2.400km<sup>2</sup>) como um limiar de tamanho mínimo para seguir um dado SCM.

### 2.2.3. A técnica de acompanhamento dos SCM

Conforme descrito acima, o método de identificação dos SCM foi desenvolvido a partir da classificação dos pixels das imagens considerando os limiares de tamanho (150 pixels) e temperatura (235K e 210K). Assim, a cada aglomerado de nuvens (aglomerado de pixels) identificado é atribuído um número, o qual é retido durante todo algoritmo de acompanhamento, que permite a geração de informações estatísticas sobre cada SCM (ou aglomerado de nuvens) e sua identificação durante o seu ciclo de vida.

Para cada SCM identificado são calculados, os parâmetros morfológicos, radiativos e de posição (MACHADO et al., 1998), levando em conta as coordenadas de latitude e longitude do centro de massa (CM) do SCM.

#### Parâmetros morfológicos

- Tamanho do SCM: o número de pixels e a área em km<sup>2</sup> são calculados.
- Raio efetivo do SCM ( $R_s$ ): é o raio de um círculo cuja área seja igual à área do SCM em km. Dado pela expressão

$$R_s = \sqrt{area / \pi} \quad \text{Equação 1}$$

- Número de CC imersas em cada SCM ( $N_{CC}$ ): As localizações de todas as CC são comparadas com as localizações dos SCM para identificar e contar o número de CC imersas em cada SCM. As células convectivas são definidas como os aglomerados de pixels que possuem temperatura de brilho imediatamente mais baixa que o limiar inferior, sendo neste caso 210K.
- Tamanho e posição do centro de massa da maior CC e o tamanho médio das 5 maiores CC são determinados para cada SCM.
- Fração convectiva ( $C_f$ ): é o raio da área coberta por nuvens com  $T_{ir} < 210$  e nuvens cobertas por  $T_{ir} < 235$ . Esta fração não representa somente a área coberta

por nuvens convectivas, já que as CC podem também incluir algumas nuvens cirrus, mas ela representa o tamanho relativo dos núcleos ativos do SCM.

$$C_f = 100N_{cc} \left( \frac{r_c}{R_s} \right)^2 \quad \text{Equação 2}$$

onde  $r_c$  é o raio médio de todas as CC imersas no SCM.

- Excentricidade do SCM ( $\varepsilon$ ): o cálculo é baseado numa representação no plano de todos os pontos do sistema. Ajusta-se uma reta pelo método dos mínimos quadrados as posições de todos os pixels do SCM. A reta gerada (e sua ortogonal) são os novos eixos de inércia. Logo, os pontos ( $LAT_i$ ,  $LON_i$ ) são projetados no novo sistema cartesiano ( $xx_i$  e  $yy_i$ ):

$$\begin{aligned} xx_i &= LON_i \cos \beta + LAT_i \sin \beta \\ yy_i &= LON_i \sin \beta + LAT_i \cos \beta \\ \beta &= \tan^{-1} \alpha \end{aligned} \quad \text{Equação 3}$$

$$\alpha = \frac{(N \sum LAT_i LON_i - \sum LAT_i \sum LON_i)}{N \sum LAT_i^2 - (\sum LAT_i)^2}$$

A excentricidade é calculada pela razão entre a variação das abscissas e a variação das ordenadas. Se  $\varepsilon > 1$  a razão é invertida, então  $\varepsilon$  é sempre  $\leq 1$ . Note que nesta definição um círculo tem  $\varepsilon = 1$  (e não 0):

$$\varepsilon = \left| \frac{xx(max) - xx(min)}{yy(max) - yy(min)} \right| \quad \text{Equação 4}$$

$$\varepsilon = \left| \frac{yy(max) - yy(min)}{xx(max) - xx(min)} \right|$$

- Inclinação do SCM ( $\beta$ ): A inclinação de qualquer SCM é dada por  $\beta$  nas equações acima. Quando  $\varepsilon < 0,5$ , esta informação indica a orientação do SCM que

pode estar relacionada a orientação de uma frente fria. Valores de  $\varepsilon \geq 0,5$  indicam formas circulares, nas quais a orientação dos eixos não significa muito.

#### Parâmetros radiativos

- Temperaturas média e mínima do sistema;
- Temperatura média das cinco maiores células convectivas;

#### Parâmetros de localização

- Coordenadas de centro geométrico;
- Coordenadas do centro geométrico das cinco maiores células convectivas;
- Data e hora (GMT).

A tab. 2 apresenta os principais parâmetros calculados pelo ForTrACC (MACHADO et al., 1998).

Tabela 2 - Principais parâmetros calculados pelo ForTrACC

Siglas	Definições
SYS	Número de identificação do SCM
XLAT	Latitude do centro de massa (CM) do SCM
XLON	Longitude do centro de massa do SCM
TIME	Intervalo de tempo em relação ao horário da imagem
SIZE	Tamanho do SCM em pixels
TMED	Temperatura média do SCM
DTMED	Taxa de variação da temperatura média do SCM
TMIN	Temperatura mínima do SCM
DTMIN	Taxa de variação da temperatura mínima do SCM
TMIN9	Temperatura mínima do kernel de 9 pixels (análise da vizinhança)
DTMIN9	Taxa de variação de TMIN9
CBNUM	Quantidade de topos frios (CC)
CBMED	Tamanho médio dos topos frios (CC)
VEL	Velocidade do CM do SCM em relação ao seu posicionamento na imagem anterior
DIR	Direção da velocidade do centro de massa do SCM
INCLI	Inclinação do SCM
ECCE	Excentricidade do SCM
CLA	Classificação do SCM (N, D, C, S ou M)
SYS_ANT	Identifica qual o SCM anterior que originou o atual

O método de identificação de um mesmo SCM no tempo "t" e nas imagens sucessivas em "t+ $\Delta t$ " é baseado no critério de mínima superposição da área dos SCM em imagens sucessivas (MATHON; LAURENT, 2001), utilizando os limiares de temperatura (235K e 210K) e de tamanho. O número de pixels mínimo para considerar a continuidade do SCM é de 150 pixels (aproximadamente 2.400km<sup>2</sup>) para um  $\Delta t = 30$  minutos. Se a superposição for menor, o sistema não é considerado como sendo o mesmo sistema no tempo anterior.

Essa técnica simplesmente assume que a nuvem num tempo posterior corresponde aquela num tempo anterior quando, considerando as características anteriores de tamanho e temperatura, existem pixels comuns em imagens consecutivas.

A comparação de sucessivas imagens de satélite é feita no tempo anterior e posterior (WILLIAMS; HOUZE, 1987; MATHON; LAURENT, 2001), assim, cinco situações podem ser obtidas utilizando este algoritmo de acompanhamento:

**Sistema novo ou de geração espontânea (N):** Na comparação entre duas imagens sucessivas não há superposição entre a primeira imagem (ausência de SCM) e a segunda imagem (presença de SCM). Ou seja, é aquele SCM que é identificado numa imagem e não está presente na imagem anterior ou não cumpre com o critério de mínima superposição dos SCM. Esta situação é considerada uma geração espontânea e o início de um ciclo de vida de um novo SCM.

**Dissipação Natural (D):** Similar ao caso anterior, não há sobreposição entre a primeira imagem (presença de SCM) e a segunda (ausência de SCM). Esta situação é considerada como dissipação natural do ciclo de vida de um SCM.

**Continuidade (C):** É aquele SCM que é identificado numa imagem e está presente na imagem anterior cumprindo com o critério de mínima superposição dos SCM. Há a superposição de somente um par de SCM. Essa situação pode ser visualizada na Fig. 2a.

**Separação ou Split (S):** Esta situação ocorre quando uma comparação no tempo posterior é realizada. Quando no tempo " $t$ " existe um sistema, que cumpre com o critério de mínima superposição dos SCM no tempo " $t+\Delta t$ ", com dois ou mais sistemas é considerado um processo de "split". Neste caso, a maior superfície de superposição entre o SCM no tempo " $t$ " e o SCM encontrado no tempo " $t+\Delta t$ " é considerado como a continuidade do SCM observado no tempo " $t$ ". O outro sistema representa a iniciação de um novo SCM (iniciação por split). Essa situação pode ser visualizada na Fig. 2b.

**Fusão ou Merge (M):** Similar ao caso anterior, exceto que aqui uma comparação com o tempo anterior é realizada. Quando no tempo " $t$ " existem dois ou mais SCM, que cumprem com o critério de mínima superposição no tempo " $t+\Delta t$ ", com só um sistema é considerado um processo de "merge". O SCM que apresentar a maior área de superposição é escolhido para continuar o ciclo de vida do SCM. O outro ou outros (caso haja mais de um SCM presente) representa a dissipação do



ciclo de vida dos SCM (dissipação por merge). Essa situação pode ser visualizada na Fig. 2c.

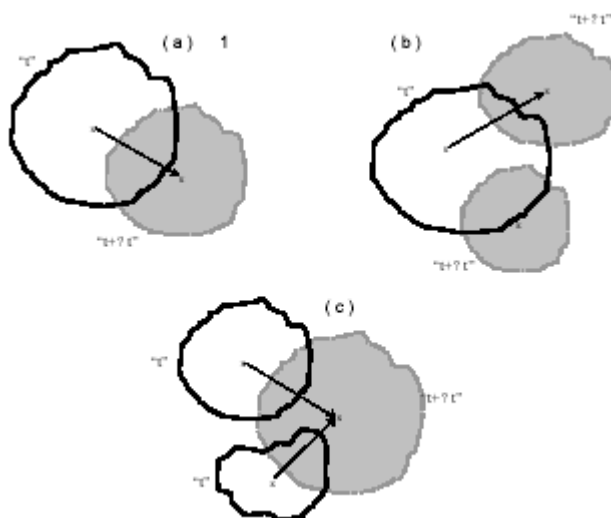


Figura 2 - Esquema do método de identificação e acompanhamento dos SCM. (a) continuidade, (b) split e (c) merge.

Fonte: VILA et al., 2008

#### 2.2.4. A Técnica de previsão

##### 2.2.4.1. Estimativa da velocidade e direção média de propagação do SCM

A partir da identificação e segmento de um dado SCM, ao longo do seu ciclo de vida, em três imagens sucessivas (" $t-2\Delta t$ ", " $t-\Delta t$ ", " $t$ "), é calculado o deslocamento previsto do SCM (VILA et al., 2004a), seguindo o seguinte procedimento. O vetor deslocamento estimado (em km/h) no intervalo de tempo anterior,  $V(t-1)$ , é gerado considerando o deslocamento do centro de massa entre " $t-2\Delta t$ " e " $t-\Delta t$ ". Considerando que o deslocamento não varia muito (em módulo e direção), no intervalo de tempo entre as imagens (30 min), é gerada uma velocidade prevista  $VP(t)$ . Simultaneamente o deslocamento real do SCM,  $V(t)$ , é também calculado considerando os intervalos de tempo " $t-\Delta t$ " e " $t$ ". A estimativa do vetor deslocamento  $VE(t+1)$  é calculada como  $V(t)$  mais a diferença entre o deslocamento real e a velocidade prevista [ $\Delta V(t) = V(t) - VP(t)$ ] no último intervalo de tempo. Este procedimento, que conserva a forma e o tamanho do SCM, é mostrado na Fig. 3.

Se dois intervalos de tempo sucessivos para um mesmo SCM não estão disponíveis, o vetor deslocamento é estimado pelo deslocamento do centro de massa entre " $t-\Delta t$ ", e " $t$ ".

Este procedimento só é aplicado se a condição de continuidade (C) é cumprida, pois a separação (S) ou fusão (M) de um SCM introduz um deslocamento do centro de massa não realístico. Nestes casos, assim como no caso de geração espontânea (N) o deslocamento é calculado baseado na média ponderada do deslocamento dos sistemas próximos ao sistema em questão. O critério de vizinhança utilizado considera um círculo de 2° de raio centrado no centro de massa. No caso de um sistema novo (geração espontânea), esse critério é utilizado para a estimativa da velocidade inicial do SCM. Cabe ressaltar que a direção de propagação do SCM é calculada em coordenadas meteorológicas.

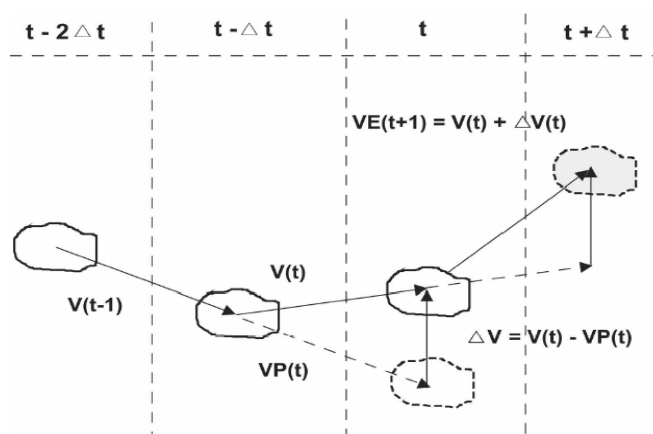


Figura 3 - Representação esquemática da previsão do deslocamento do centro de massa de um SCM. As linhas pontilhadas verticais separam os diferentes passos de tempo. O SCM hachurado indica a posição prevista do SCM.

Fonte: VILA et al., 2008

#### 2.2.4.2. Tendência de crescimento e desenvolvimento dos SCM

A partir do estudo estatístico das famílias (conjuntos de SCM) geradas a partir de um conjunto de imagens de satélite, o algoritmo concentra-se no estudo da variável expansão da área normalizada,  $\Delta E = 1/A(\partial A/\partial t)$  (MACHADO et al., 1998; MACHADO; LAURENT, 2004), onde A é a área de um dado SCM num dado tempo

( $T_{ir} < 235K$ ). Este parâmetro é indicativo do crescimento (ou decrescimento) relativo do sistema com respeito a sua área média em um intervalo de tempo  $\Delta t$ . Se o valor é positivo o sistema está em processo de expansão e se é negativo seu estado é de dissipação. Machado e Laurent (2004) descrevem as equações que estimam o modelo do ciclo de vida de um SCM, definindo a variável  $\Delta E$  como sendo tipicamente uma reta:  $\Delta E = 1/A(\partial A/\partial t) = at + b$ . O valor de  $a$  (inclinação) e  $b$  (interceptação) dependem do tempo de vida total do sistema.

Assim é definido o ciclo de vida dos sistemas baseando-se na informação estatística do comportamento destes, que depende da classificação dos sistemas de acordo com o tempo total de seu ciclo de vida. Para cada classificação é calculado o valor médio de expansão inicial, o tempo em que o parâmetro  $\Delta E$  esteve próximo a zero (mínima expansão) e o tempo de finalização do SC. O resultado é um conjunto de retas com o valor de  $\Delta E$  para cada classificação considerada.

A primeira estimativa do tempo total do ciclo de vida de um SCM que apresenta continuidade é feita a partir da expansão inicial. De acordo com o modelo de previsão proposto, a área que o sistema terá nas próximas horas depende do valor do parâmetro de expansão. Este valor é calculado com base na expansão inicial do sistema e no conjunto de retas. Dado o tempo decorrido desde o início do ciclo de vida do SCM e a expansão atual, é calculado um ponto no espaço expansão-tempo onde existe o conjunto de retas. Uma vez que este ponto encontra-se externo ao conjunto de retas, ele é induzido a utilizar a reta mais próxima para representar a sua expansão. No entanto se o ponto encontra-se em meio às duas retas o programa calcula uma nova reta, por interpolação das duas retas definidas, que representa a sua expansão. Os SCM podem ser classificados, segundo o seu tempo estimado de vida, em SCM com duração menor que 2 horas, com duração entre 2 e 6 horas e com mais que 6 horas. Nos casos de SCM novos, *splits* e *merges*, o parâmetro de expansão é calculado baseando-se inicialmente na reta que representa uma menor duração de vida do SCM.

### 2.3. Resultados de pesquisas sobre SCM utilizando o ForTrACC

O aplicativo ForTrACC se mostra muito útil no estudo de SCM, o que pode ser comprovado por alguns trabalhos realizados que serviram para validá-lo e

também para verificar o comportamento dos SCM em determinados períodos e regiões, conforme descrito abaixo.

Machado et al. (1998) usaram várias técnicas de acompanhamento para estudar o comportamento das características morfológicas e radiativas durante o ciclo de vida dos SCM observados sobre as Américas em latitudes médias e tropicais, no período de julho de 1987 a junho de 1988. Alguns dos resultados obtidos neste estudo foram: a maioria dos SCM apresentava duração até 6h; as trajetórias dos SCM observadas no verão e outono no sul da AS eram similares as encontradas por Guedes e Dias (1984) e Velasco e Fritsch (1987); havia uma correspondência direta entre o tamanho e a duração dos SCM; foram detectadas algumas diferenças entre os SCM tropicais observados sobre o oceano e aqueles sobre o continente.

Vila (2004) validou a técnica ForTrACC ao estudar as propriedades radiativas e morfológicas dos SCM observados sobre o sul da AS no período de dezembro a fevereiro dos anos de 2000 a 2003. Dentre os principais resultados obtidos por este autor pode-se destacar: a maioria dos SCM detectados teve duração em torno de 6h; há uma relação entre o ciclo de vida dos SCM e seu tamanho, de forma que quanto maior for o tempo de vida do SCM maior será seu tamanho; SCM com maior atividade convectiva tendem a ter formato mais circular e a apresentarem maior duração.

Macedo et al. (2004) monitoraram os SCM que atuaram no Brasil em março de 2004 utilizando o ForTrACC, visando testar o aplicativo e implementá-lo operacionalmente no CPTEC, para atender às necessidades de acompanhamento dos SCM que atuam sobre o Brasil e, em particular, sobre a região de cobertura das empresas de distribuição de energia Eletropaulo e Elektro.

Vila et al. (2004a) utilizaram o ForTrACC para analisar os SCM que ocorreram sobre a bacia do Prata no período de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003, durante o experimento SALLJEX (South American Low-Level Jet Experiment). Foi verificado que o tempo de vida médio dos SCM na região de estudo é de 4 horas e que o tamanho máximo médio dos mesmos é de 14.000 km<sup>2</sup>. A iniciação dos SCM coincide com o horário da máxima insolação, o que vem acompanhado por um processo de forte expansão. A maior atividade convectiva é noturna.

Vila et al. (2004b) estudaram a relação entre o ciclo de vida dos SCM e a precipitação observada sobre a bacia do Prata, região correspondente a 54°47'W-

48°53'W e 22°52'S-27°36'S, durante o experimento SALLJEX, usando o ForTrACC. Observaram que o tempo de vida médio dos SCM associados à precipitação é três vezes maior do que o dos SCM que não tem precipitação associada. Além disso, SCM associados à precipitação também apresentaram temperatura do topo das nuvens menor durante o seu ciclo diurno do que os demais SCM. Observaram também que os SCM atingem a temperatura mínima 1 a 2 horas antes de alcançarem a máxima extensão.

Palmeira (2005) analisou as propriedades radiativas dos SCM observados na AS em janeiro e julho de 2004 utilizando o aplicativo ForTrACC. Os resultados deste estudo mostraram que os SCM observados em julho ocorreram em maior número, duraram mais e iniciaram 3 horas mais tarde do que aqueles observados em janeiro.

Vila e Machado (2005) aplicaram a técnica ForTrACC para avaliar o deslocamento e a evolução do ciclo de vida dos SCM que ocorreram sobre a bacia do Prata no período de dezembro de 2002 a janeiro de 2003, durante o experimento SALLJEX realizando previsão para até duas horas com intervalo de 30 minutos. Observaram que considerando os pixels previstos e os observados com temperatura de brilho abaixo de 235K, na média o modelo tendeu a subestimar o número de pixels. Superestimativas ocorreram durante a fase de dissipação dos SCM. A acurácia do método de previsão foi na média de 95%.

Machado et al. (2007) usaram dados de radar e de satélite para previsão imediata e o aplicativo ForTrACC para monitorar e prever o deslocamento e o tamanho dos SCM no período do experimento LBA/RACCI (Radiation Cloud and Climate Interaction in LBA Amazon dry to wet season). Esta técnica foi combinada com informações sobre relâmpagos, mostrando alguns parâmetros que podem ser utilizados para a previsão da atividade elétrica. A expansão da área mostrou ser uma ferramenta muito útil para a previsão do vigor da atividade de trovoadas em curto prazo.

Salio et al (2007), utilizaram o aplicativo ForTrACC para estudar os SCM observados sobre a região sudeste da America do Sul (10°–40°S e 40°–75°W) e sua relação com o Jato de Baixos Níveis Sul Americano (JBNSA), no período de 01 de setembro de 2000 a 31 de maio de 2003. Esses autores verificaram que os SCM tropicais são menores, duram menos do que os SCM subtropicais e são caracterizados por um ciclo diurno controlado principalmente pelo aquecimento

radiativo. Observaram ainda que a maturação dos SCM subtropicais ocorre preferencialmente à noite sobre a Argentina e há uma tendência para um pico durante o dia sobre o Uruguai e sul do Brasil. Verificaram que os SCM subtropicais se desenvolvem com maior frequência durante a ocorrência de JBNSA, durante a estação quente, porém não existe muita relação entre SCM e JBNSA durante o outono. Também observaram que em todas as estações do ano pelo menos um SCM se desenvolveu em 41% dos dias com JBNSA, por outro lado, nos dias sem JBNSA esta frequência foi de apenas 12%. Outra observação feita foi que os SCM tropicais possuem forte variabilidade sazonal associada ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) enquanto que os SCM subtropicais mostram menor variabilidade em função da época do ano. Estes resultados demonstram que existe uma co-evolução e inter-relação entre o JBN o ciclo de vida dos SCM subtropicais.

Vila et al. (2008) utilizaram informações estatísticas sobre a evolução de SCM durante o experimento WEATAMC/LBA (Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign of the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazonia) para obter a taxa média de expansão da área para diferentes SCM em função do seu tempo de vida. Em seguida utilizaram a técnica ForTrACC e realizaram a previsão e o acompanhamento de núcleos de nuvens sobre a bacia do prata, no período de dezembro de 2002 a janeiro de 2003. O desempenho da técnica ForTrACC foi avaliada baseando-se na diferença entre previsões e observações através de imagens. Esta avaliação mostrou boa concordância entre o tamanho e a temperatura mínima prevista e a observada para previsão de prazos mais curtos, mas tendeu a subestimar o tamanho dos SCM e superestimar a temperatura de brilho do topo das nuvens para prazos mais longos.

Vianna et al. (2009) utilizaram o aplicativo ForTrACC para verificar a ocorrência de CCM e a precipitação associada a esses eventos no Estado do RS entre os meses de outubro e dezembro de 2003. Foram identificados 22 CCM e utilizados dados diários de precipitação de 31 estações meteorológicas no RS para quantificar a precipitação associada aos CCM. O volume médio de precipitação gerada pelos CCM no período foi de 119 mm em outubro, 90 mm em novembro e 152 mm em dezembro. O percentual de precipitação oriundo dos CCM foi de 64% em outubro, 65% em novembro e 61% em dezembro. O volume médio de precipitação gerada pelos CCM acumulado no trimestre foi de 361 mm (63% do

total), confirmando que os CCM contribuem significativamente para a precipitação do Estado, sendo responsáveis por quase dois terços da chuva deste trimestre.

Tendo em vista que vários fatores podem provocar variações nas características dos SCM, sendo um deles a região de formação, Sakamoto et al. (2009) utilizaram o ForTrACC para analisar o ciclo de vida dos SCM observados durante o experimento SALLJEX (verão 2002-2003) separando-os em função da sua origem em SCM continentais e SCM oceânicos. Estes autores focaram seu estudo nos SCM cuja gênese ocorreu ao sul de 20°S e que tiveram um ciclo de vida maior do que 6h. Foi verificado que os SCM continentais se formam geralmente a tarde ou ao anoitecer, sua fase madura ocorre a noite ou pela manhã e sua dissipação acontece ao longo do dia com pico no fim da manhã. Nos SCM oceânicos as fases de iniciação e maturação são mais freqüentes durante a noite e início da manhã e a dissipação é observada durante todo o dia, com pico no final da manhã. Em média tanto SCM continentais quanto os SCM oceânicos apresentam ciclos de vida com duração similar, no entanto, SCM continentais de longa duração apresentam um ciclo de vida superior aos SCM oceânicos. Sistemas noturnos não são comuns, no entanto, quando ocorrem apresentam longa duração em ambas as regiões.

Pinto e Campos (2009) estudaram as características radiativas e morfológicas de um SCM causador dos maiores índices de precipitação observados sobre o RS, no período de novembro de 2002 a fevereiro de 2003, utilizando a técnica ForTrACC. O SCM teve um ciclo de vida de 23 horas, com início às 13 UTC do dia 19/02/03, maturação às 04 UTC e dissipação às 11:30 UTC do dia 20/02/03. Durante todo esse período, apresentou topos frios com núcleos com temperatura abaixo de 210 K. Ficou evidenciado que o sistema teve um comportamento semelhante ao descrito pelos modelos conceituais de SCM, apresentando primeiramente forte convecção, associada a valores mais baixos de temperatura de brilho, para depois expandir-se no estágio de maturação. Os resultados mostraram a existência de diferentes padrões de relação entre a temperatura mínima de brilho e a precipitação registrada em superfície.

## **Materiais e métodos**

### **3.1 Dados e região de estudo**

Foram utilizadas as imagens brutas do satélite GOES do canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE) e serviram como base de dados para a utilização da técnica ForTrACC.

Inicialmente foi realizada uma pré-seleção das imagens brutas do satélite GOES, do período de estudo, com o objetivo de realizar um controle de qualidade dos dados. Para isso, foram desenvolvidas rotinas em linguagem PHP, shell script e algumas funções do software GrADS (Grid Analysis and Display System). As rotinas avaliaram o total de pixels válidos, bem como, o total de valores indefinidos em cada imagem, de forma que imagens que apresentaram muitas falhas ou pixels com valores indefinidos foram automaticamente descartadas. Embora o aplicativo ForTrACC aceite imagens que apresentem poucas falhas, algumas imagens, por apresentarem muitas falhas, comprometem o processamento tornando necessário a pré-seleção das IS.

Após esta análise o aplicativo ForTrACC utilizou, para o período de estudo, um total de 50.911 IS (Fig. 4), assim distribuídas: 13.153 em JFM, 12.359 em AMJ, 11.334 em JAS e 14.065 em OND. Esta quantidade de imagens dá uma média de aproximadamente 28 imagens por dia. Apesar de sua distribuição ser aleatória: existem dias com 42 imagens e outros com menos de 10. É por isso, que para o estudo do ciclo de vida de um SCM, e com o objetivo de estabelecer um seguimento



a partir das exigências impostas pelo ForTrACC (superposição entre imagens sucessivas) incluiu-se na descrição do conjunto de imagens o intervalo máximo de tempo entre duas imagens consecutivas como outro parâmetro para avaliar a “qualidade do seguimento” que se pode obter para os SCM que se desenvolvem durante um dado dia (Apêndices A).

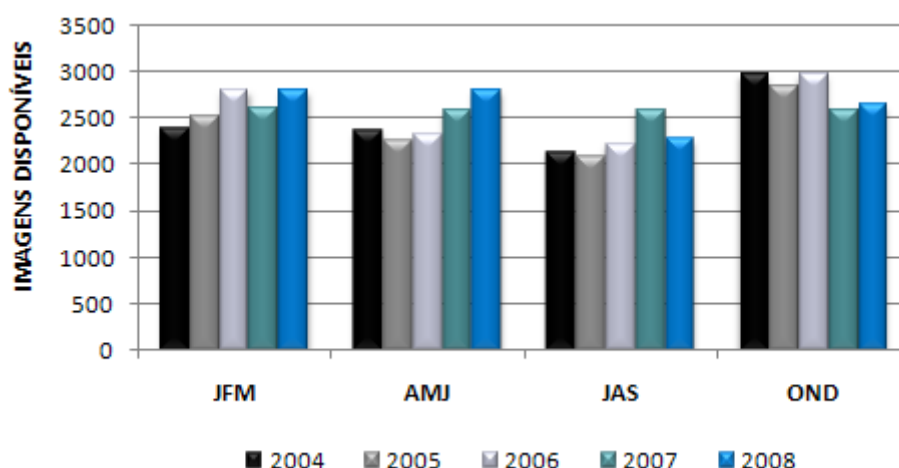


Figura 4 – Imagens do satélite GOES do período de 2004 a 2008 utilizadas pelo ForTrACC.

Este trabalho focou-se no estudo dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram iniciação espontânea e dissipação natural e que tenham atingido a região que cobre o RS. Portanto as análises foram restritas aos SCM que afetaram a região que cobre o RS, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49°W (Fig. 5).

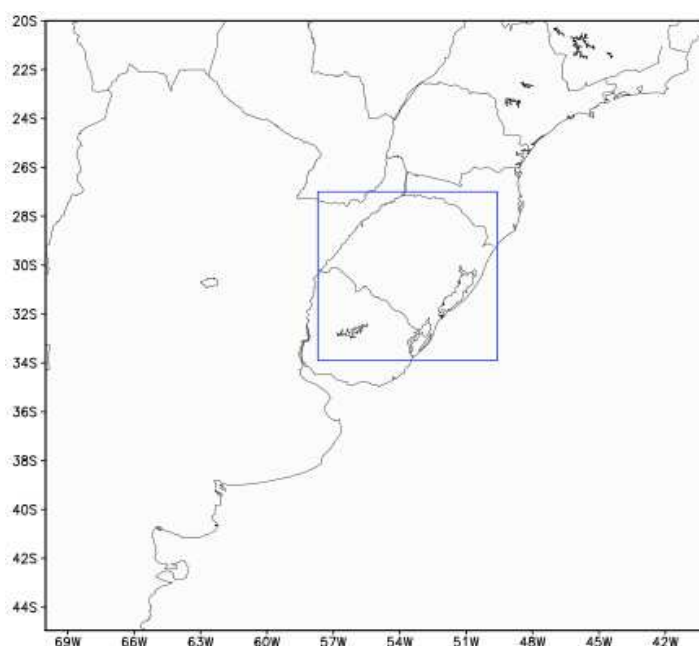


Figura 5 - Região que cobre o Rio Grande do Sul (retângulo entre as latitudes de 27° a 34°S e as longitudes de 58° a 49°W) e que foi afetada por SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h e que tiveram iniciação espontânea e dissipação natural.

### 3.2 Metodologia

Para selecionar os SCM cuja gênese e manutenção ocorreu ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS no período de 2004 a 2008 foi utilizado o aplicativo ForTraCC (VILA et al., 2008) no modo diagnóstico. Este aplicativo, conforme descrito no item 2.2, é um método de identificação e acompanhamento de SCM, que fornece informações das características físicas dos SCM identificados, durante o seu ciclo de vida. O processo de identificação dos SCM pelo ForTraCC, utiliza imagens do satélite GOES e é baseado em limiares de tamanho (150 pixels) e temperatura de brilho do topo das nuvens (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as célula convectivas imersas nos SCM). Conforme descrito anteriormente, cada SCM (ou família) detectado pelo ForTraCC tem seu ciclo de vida descrito pelo conjunto de características apresentadas por ele em cada instante, o qual corresponde a um membro do SCM (ou da família).

Após obter as características geradas pelo ForTrACC ao longo do ciclo de vida de todos os SCM identificados, no período de estudo, somente foram considerados aqueles que mantiveram seu centro de massa durante todo seu ciclo de vida abaixo de 20°S, ou seja, todos os membros de cada SCM deveriam estar localizados em latitudes maiores do que 20°S. Além disso, foram selecionados somente os SCM que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h (pelo menos doze membros). Embora considerando sistemas com ciclo de vida longo, não foi feita nenhuma classificação dos mesmos em SCM, CCM ou LI. Também foram considerados apenas os SCM que tiveram iniciação espontânea e dissipação natural, isto é, tanto no momento de iniciação quanto no de dissipação, não houve interação (fusão) com outros SCM nem a separação do SCM identificado. Esse critério foi o mesmo seguido por (VILA, 2004) para obter um conjunto de informações mais homogêneo para estudar as características físicas dos SCM. Além disso, utilizando essa condição garante-se que o crescimento inicial dos SCM selecionados esteja associado à sua própria dinâmica interna (MACHADO; LAURENT, 2004). Apesar disso, foi permitida a existência de fusões e separações durante o ciclo de vida de um determinado SCM, uma vez que de outra maneira, o conjunto de dados a analisar seria limitado.

Após a seleção dos SCM, com as características citadas acima, os mesmos foram separados por trimestres que representam cada uma das estações do ano, conforme Araujo (2005): período quente (jan-fev-mar, JFM), período temperado frio (abr-mai-jun, AMJ), período frio (jul-ago-set, JAS) e período temperado quente (out-nov-dez, OND). Não foram usados os trimestres astronômicos, que definem as estações do ano, para facilitar as análises com dados dentro do mesmo ano.

A primeira informação que se obteve foi a do total de SCM cuja gênese e manutenção ocorreu ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS em cada trimestre do período de estudo (a partir de agora os SCM com essas características, ou seja, gênese e manutenção ao sul de 20°S, ciclo de vida de no mínimo 6 h, nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS, são mencionados como SCM que afetaram o RS). Para essa seleção foi definida uma área que abrange o RS (retângulo na Fig. 5), com a finalidade de utilizar as informações de latitude e longitude dos membros de cada

SCM, para determinar se a região de influência destes compreendia ou não o RS. Foi determinado que um SCM afetou o RS quando um dos membros do SCM analisado, apresentava latitude e longitude que o localizava dentro da grade que cobre o RS (Fig. 6). Assim, o total de SCM que afetaram o RS em cada trimestre corresponde ao total de SCM que apresentou pelo menos um de seus membros com centro de massa localizado sobre a área demarcada pelo retângulo na Fig. 6.

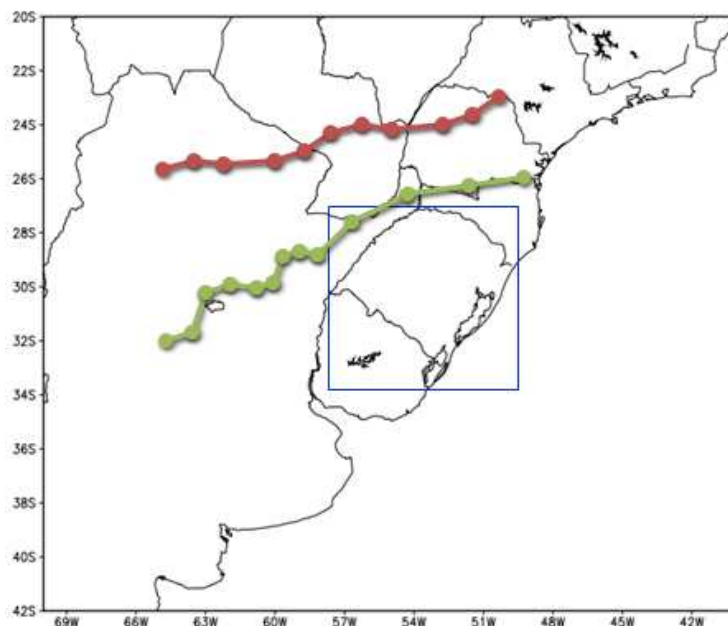


Figura 6- Exemplo da trajetória seguida por um SCM que não afetou o RS (vermelho) e de um que afetou o RS (verde).

Em seguida, analisou-se a distribuição sazonal normalizada para o período de 2004 a 2008 do total de SCM que afetaram o RS. Para isso, foi realizada a normalização do total de SCM observados em cada mês de cada trimestre do período de estudo, visando evitar possíveis erros na totalização dos eventos, uma vez que existem falhas nas imagens de satélite e estas não são iguais para os meses e anos. Para a normalização foram utilizados de cada mês de cada trimestre do período de estudo, os totais de SCM que afetaram o RS, o total de imagens disponíveis e o número máximo de imagens que poderiam estar disponíveis, conforme mostra a equação 5:

$$NMCS_{Nor} = NMCS \cdot \frac{NIMG_M}{NIMG_D}$$

Equação 5

onde para cada mês,  $NMCS$  é o total de SCM que afetaram o RS,  $NMCS_{Nor}$  é o total normalizado de SCM que afetaram o RS,  $NIMG_D$  é o total de imagens disponíveis e  $NIMG_M$  é o número máximo de imagens, que é obtido considerando o intervalo de tempo entre as imagens (1/2 hora) e o total de dias do mês (28, 29, 30 ou 31), assim para cada mês teremos  $NIMG_M = 48 \times DIAS$  (onde DIAS é igual ao número de dias do mês).

Na seqüência foi feita a análise sazonal para os SCM que afetaram o RS no período de estudo: i) do tempo de vida (ou duração do ciclo de vida) desses SCM, isto é, o tempo decorrido entre a iniciação e a dissipação de cada SCM; ii) do tamanho máximo ou área máxima coberta por esses SCM em função do seu tempo de vida e iii) da temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) e da excentricidade no momento da máxima extensão desses SCM. A análise do tamanho, da  $T_{ir}$  e da excentricidade dos SCM foi realizada no momento da máxima extensão, pois é nesta fase (maturação) que o SCM alcança não somente sua maior área, mas também seu maior potencial para provocar precipitação e eventos severos.

Em seguida foi feita a análise sazonal dos horários mais freqüentes de nascimento, maturação e dissipação dos SCM que afetaram o RS. Essa análise foi feita considerando os períodos do dia como segue: madrugada (das 03:00 as 09:00 UTC), manhã (das 09:00 as 15:00 UTC), tarde (das 15:00 as 21:00 UTC) e noite (das 21:00 as 03:00 UTC).

Logo após foi realizada a análise sazonal das regiões preferenciais de nascimento dos SCM que afetaram o RS, cobrindo-se a área de estudo com uma malha regular de  $2^\circ \times 2^\circ$  e calculando-se a quantidade de SCM detectados em cada malha (Fig. 7).

Por fim foi determinada a trajetória média preferencial dos SCM que afetaram o RS em cada trimestre do período de estudo. Para isso foram utilizadas as latitudes e longitudes do centro de massa dos SCM no momento de sua iniciação, maturação e dissipação. Em seguida foram calculadas as latitudes e longitudes médias correspondentes aos estágios de iniciação, maturação e dissipação. Com os valores médios de latitude e longitude de cada estágio foi composta a trajetória média preferencial dos SCM (Fig. 8).

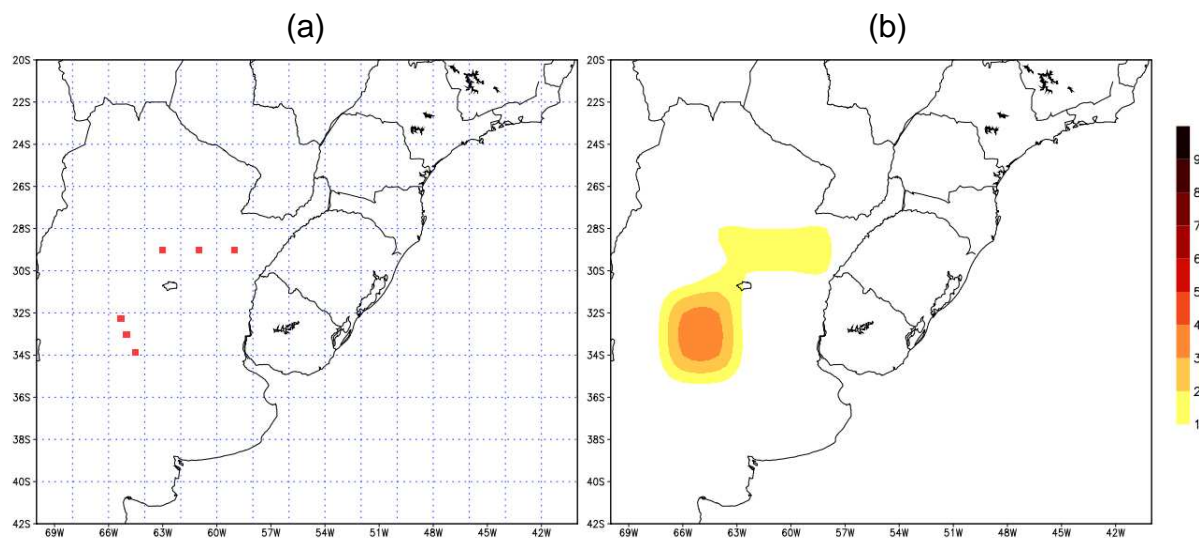


Figura 7 – Exemplo do agrupamento feito para obter as regiões preferenciais de iniciação. (a) Mapa contendo o agrupamento das iniciações em uma malha de  $2^\circ \times 2^\circ$ . (b) Mapa resultante da interpolação do mapa (a).

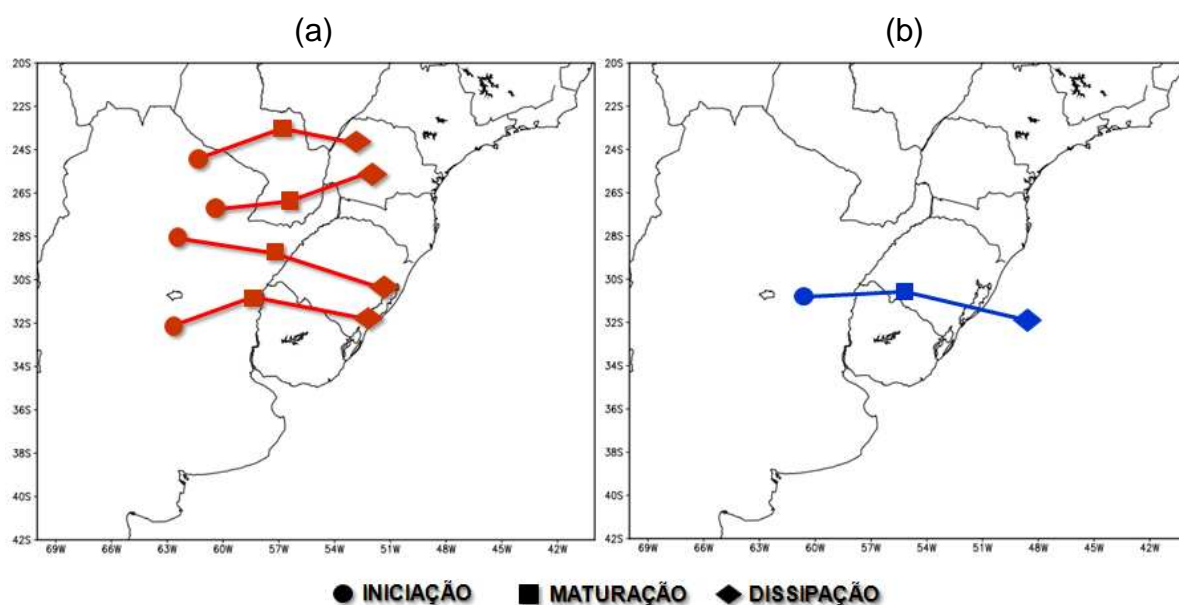


Figura 8 – (a) Exemplo de trajetórias individuais seguidas por SCM, destacando os pontos de iniciação, maturação e dissipação de cada SCM. (b) Composição da trajetória média preferencial.

### **3.3. Divulgação na internet**

Com objetivo de tornar mais eficiente a divulgação dos resultados obtidos neste trabalho, foi desenvolvida uma página na internet (web site) (Apêndice CD-ROM).

## Resultados e discussão

### 4.1 Análise sazonal dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008

#### 4.1.1 Distribuição

A distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S em função do tempo de vida e do tipo de geração e dissipação e a distribuição daqueles SCM que atingiram a região que cobre o RS é mostrada na tab. 3.

Tabela 3 - Distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 do total de SCM cuja gênese e manutenção ocorreu abaixo de 20°S em função do tempo de vida (<6h ou ≥6h) e do tipo de geração e dissipação (geração espontânea-GE e dissipação natural-DN ou outros) e daqueles SCM que afetaram o RS.

Trimestre	Tempo de vida ↓20°S			Tipo de geração e dissipação, <6h ↓20°S		Tipo de geração e dissipação, ≥6h, ↓20°S		↓20°S, ≥6h, GE e DN, afetaram RS
	<6h	≥6h	TOTAL	GE/DN	Outros	GE-DN	Outros	
JFM	77.180	4.446	81.626	47.287	29.893	2.779	1.667	179
AMJ	100.440	4.393	104.833	58.374	42.066	2.589	1.804	150
JAS	114.059	4.199	118.258	67.650	46.409	2.456	1.743	142
OND	112.260	4.813	117.073	65.890	46.370	2.890	1.923	155
TOTAL	403.939	17.851	421.790	239.201	164.738	10.714	7.137	626 (5,84%)

Pode-se observar na tab. 3 que foram detectados pelo ForTrACC no período de estudo 421.790 SCM (ou famílias) que se formaram e se mantiveram ao sul de 20°S, sendo que destes, 10.714 apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h e tiveram



geração espontânea e dissipação normal. Dos 10.714 SCM apenas 5,84% (626 SCM) afetaram a grade que cobre o RS. Cabe ressaltar que as análises que seguem a partir deste ponto levaram em conta apenas estes 626 SCM, ou seja, os SCM que afetaram o RS (aqueles que se formaram e se mantiveram durante o seu ciclo de vida ao sul de 20°S, apresentaram tempo de vida de no mínimo 6 h, tiveram geração espontânea e dissipação normal e que atingiram a grade que cobre o RS).

A distribuição sazonal normalizada para o período de 2004 a 2008 do total de SCM que afetaram o RS é mostrada na Fig. 9. A normalização foi utilizada visando evitar possíveis erros na totalização dos eventos, uma vez que existem falhas nas imagens de satélite e estas não são iguais para os meses e anos.

A análise da tab. 3 e da Fig. 9 mostra que para o período de estudo, os SCM que afetaram o RS são observados em todos os períodos do ano. Porém, considerando os trimestres JFM e OND como períodos quentes e AMJ e JAS como períodos frios do ano, os resultados evidenciam maior ocorrência de SCM nos períodos quentes (50,33%), do que nos períodos frios (49,67%).

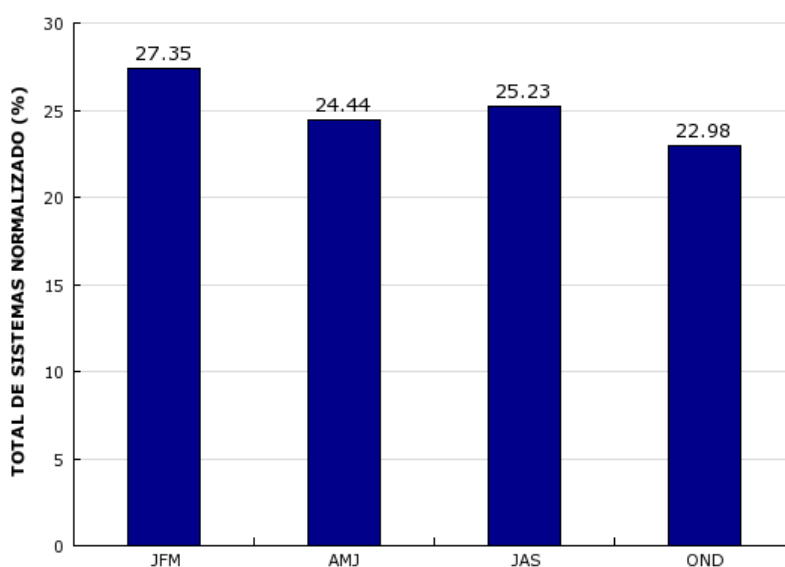


Figura 9 - Distribuição sazonal normalizada para o período de 2004 a 2008 do total de SCM que afetaram o RS.

O predomínio de SCM durante os períodos quentes do ano pode ser explicado pelo estabelecimento de condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, tais como, condições sinóticas de grande escala, influência da topografia, processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem em suas proximidades. Em termos de

grande escala, no verão, a Alta da Bolívia (AB, circulação quase-estacionária em altos níveis, dinamicamente ligada a um cavado sobre o nordeste do Brasil) e a Baixa do Chaco (BC, área de baixa pressão de origem termo-orográfica localizada entre o Paraguai e Bolívia) atuam no sentido de gerar convergência, movimentos ascendentes e aquecimento em baixos níveis, condições necessárias para desencadear a convecção. As principais características dos escoamentos em baixos níveis (850 hPa) no verão na AS são a circulação da Alta do Atlântico Sul (AAS, associada à circulação média meridional da atmosfera, que surge devido a Célula de Hadley) e o JBN (escoamento de norte, a leste dos Andes), que contribuem para o transporte de calor e umidade da região amazônica para a região subtropical (VELASCO; FRITSCH, 1987; ROBERTSON; MECHOSO, 2000; NIETO FERREIRA et al., 2003; VILA, 2004; MARENGO et al., 2004; MATTOS, 2009). Gandú e Geisler (1992) e Figueroa et al. (1995) mostram que os Andes exercem um papel fundamental no estabelecimento de um escoamento de norte, em baixos níveis, na sua encosta leste, na presença de fontes de calor na Amazônia, típicas no verão. Os Andes servem como uma parede para o escoamento zonal sobre a AS e geram impacto na circulação regional contribuindo ainda para a formação de ondas de montanha local e também para determinar a posição de ondas planetárias sobre o Hemisfério Sul (BERBERY; COLLINI, 2000). Segundo Sugahara et al. (1994) o JBN é forçado pelas ondas baroclínicas, que provocam diminuição da pressão em baixos níveis na parte sul da AS, forçando o fluxo de noroeste a girar no sentido horário e tornar-se de norte dirigindo-se para latitudes mais altas, transportando calor e umidade para estas regiões. O estabelecimento deste escoamento de norte, em baixos níveis, do lado leste dos Andes (JBN) é uma situação climatológica típica e muito importante durante o verão na AS, porque além de representar um dos mecanismos dinâmicos responsáveis por transportar ar quente e úmido dos trópicos para os extratrópicos, gera turbulência por meio do cisalhamento do vento e participa ativamente como mecanismo de disparo da instabilidade potencial favorável para a formação de tempestades severas no Sul-Sudeste do Brasil, Norte da Argentina, Bolívia e Sul do Paraguai (VIRJI, 1981; SUGAHARA et al., 1994; NOGUES-PAEGLE; MO 1997; DOUGLAS et al., 1999; SELUCHI; MARENGO, 2000; MARENGO et al., 2004). Esse fato foi também relatado por Salio et al. (2002) quando observaram que os eventos de JBN, que se estenderam ao sul de 25°S,

geram condições de instabilidade necessárias para o desenvolvimento da convecção na área subtropical e explicam 45% da precipitação de verão da região subtropical da AS. Além disso, a variabilidade sazonal da insolação, que é maior nos períodos quentes e menor nos períodos frios, favorece a atividade convectiva em JFM (MATTOS, 2009).

#### 4.1.2 Duração do ciclo de vida

A duração do ciclo de vida ou tempo de vida dos SCM que afetaram o RS em cada trimestre do período de 2004 a 2008 é mostrada na Fig. 10.

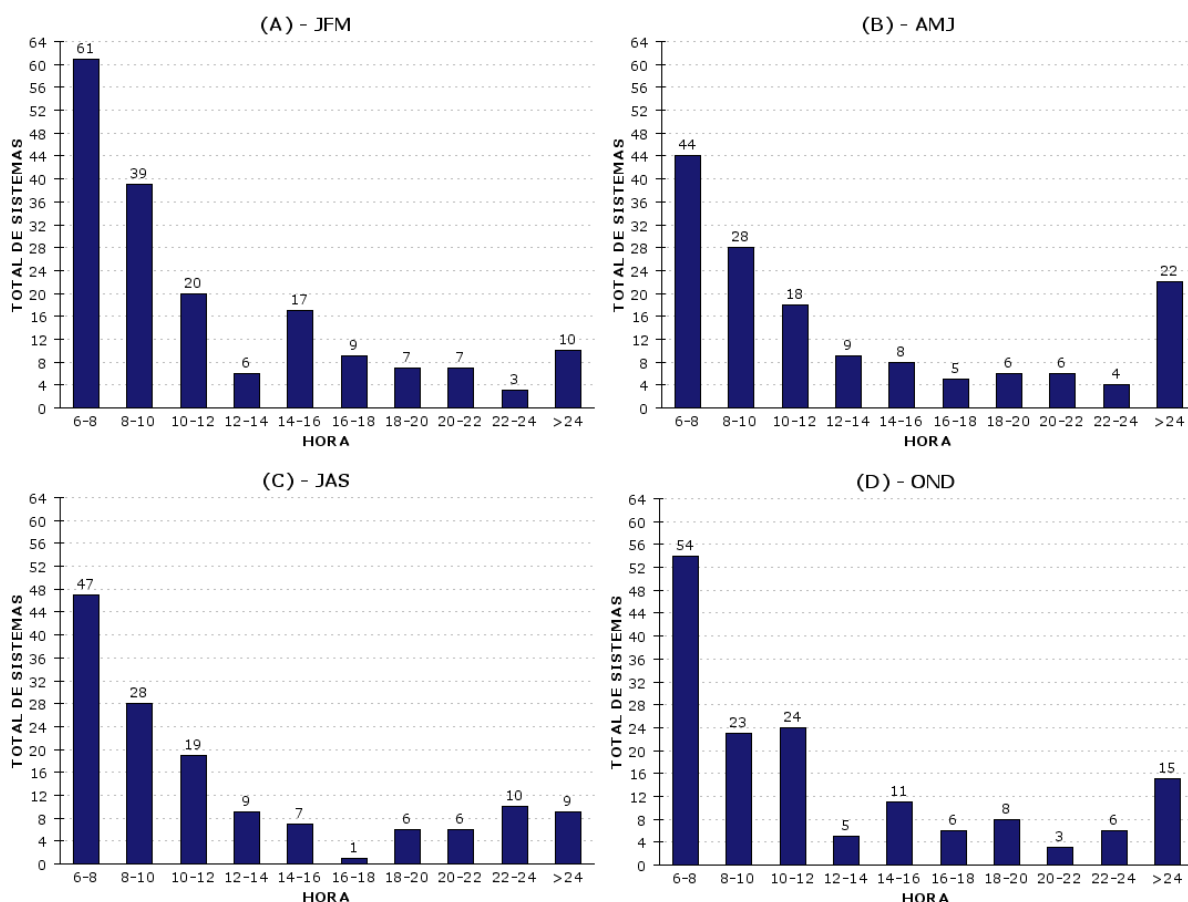


Figura 10 - Tempo de vida dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

No trimestre JFM (Fig. 10a) a maioria dos SCM que afetaram o RS (67% - 120 SCM) apresentou tempo de vida entre 6 e 12h. SCM com tempo de vida entre 12 e

24 horas corresponderam a 27,4% do total detectado (49 SCM) e, somente 5,6% (10 SCM) dos SCM tiveram duração superior a 24 horas. Em AMJ (Fig. 10b) 60% (90 SCM) dos SCM que afetaram o RS apresentou tempo de vida entre 6 e 12h. SCM com tempo de vida entre 12 e 24 horas corresponderam a 25,3% (38 SCM) do total detectado e 14,7% (22 SCM) dos SCM tiveram duração superior a 24 horas. Em JAS (Fig. 10c) 66,2% (94 SCM) dos SCM detectados apresentaram tempo de vida entre 6 e 12h. Do total de SCM que afetaram o RS neste trimestre, 27,5% (39 SCM) apresentou tempo de vida entre 12 e 24 horas e 6,3% (9 SCM) dos SCM duraram mais do que 24 horas. Dos SCM detectados em OND (Fig. 10d) 65,2% (101 SCM) apresentou tempo de vida entre 6 e 12h; 25,2% (39 SCM) apresentou tempo de vida entre 12 e 24 horas e 9,6% (15 SCM) tiveram uma duração superior a 24 horas.

Portanto, pode-se observar que nos quatro trimestres do período de estudo a maioria dos SCM que afetou o RS (64,7%) apresentou tempo de vida entre 6 e 12h e uma pequena parte (~9%) teve tempo de vida maior do que 24h. Cabe lembrar que foram considerados neste estudo, apenas os SCM com tempo de vida de no mínimo 6h. Características semelhantes às encontradas neste estudo foram obtidas por Machado et al. (1998), Mathon e Laurent (2001), Laurent et al. (2002) e Vila (2004) quando estudaram o ciclo de vida de SCM sobre as Américas, região de Sahel (África), sobre a região amazônica e sobre o sul da América do Sul, respectivamente. Velasco e Fritsch (1987) afirmam que esta preferência dos SCM em apresentarem tempo de vida entre 6-12h é um reflexo do forte ciclo diurno da radiação e do tamanho característico dos JBN que alimentam os SCM. Outra justificativa para esse fato foi apresentada por Sakamoto (2009) ao observar que na fase inicial dos SCM a umidade e a convergência do fluxo de umidade são maiores para os SCM com menor duração, invertendo-se essa situação nas fases madura e de decaimento.

Observou-se ainda que o tempo de vida médio dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 foi de 13,4 h com alguma variação entre os períodos quentes (OND: 13,3 h e JFM: 12,5 h) e os frios (AMJ: 14,3 h e JAS: 13,5 h). O mesmo comportamento foi observado por Durkee e Mote (2009) quando analisaram os CCM sobre a região subtropical da América do Sul, durante o período quente (outubro - maio) de 1998 a 2007.

#### 4.1.3 Tamanho máximo

Analisou-se também para o período de estudo, o tamanho máximo ou área máxima (em pixels, 1 pixel= $\sim 16\text{km}^2$ ) atingida pelos SCM que afetaram o RS em função do seu tempo de vida (Fig. 11 e tab. 4). Observou-se que os SCM com menor tempo de vida não chegam a ter grande extensão horizontal, por outro lado os SCM com maior tempo de vida cobrem áreas maiores.

Autores têm verificado uma relação entre o ciclo de vida dos SCM e seu tamanho (VELASCO; FRITSCH, 1987; MACHADO et al., 1998; MACHADO et al., 2002; VILA, 2004), de forma que quanto maior for o tempo de vida do SCM maior será seu tamanho.

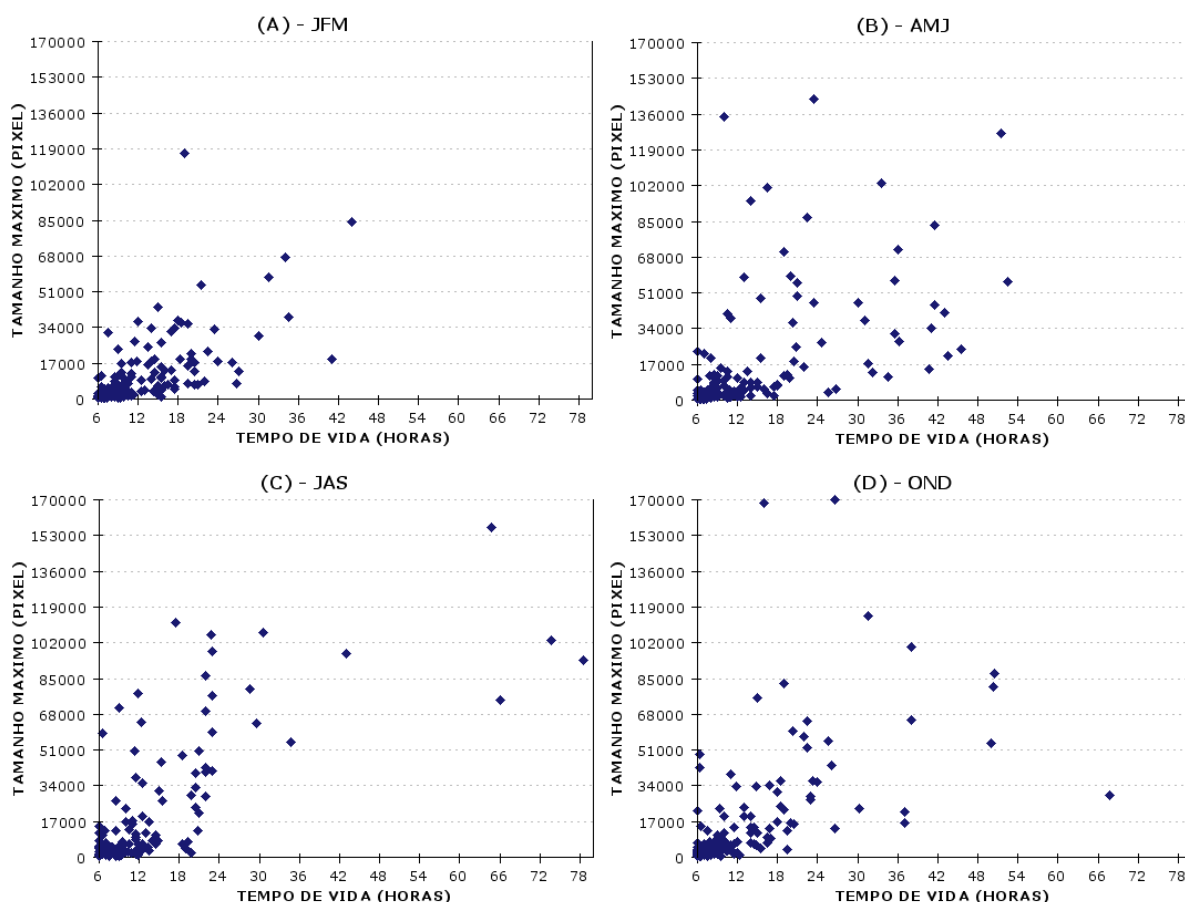


Figura 11 - Tamanho máximo dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 em função do seu tempo de vida. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Maiores SCM foram observados em JAS (Fig. 11c) e OND (Fig. 11d) com um tamanho médio de 20.791 pixels e 17.788 pixels, respectivamente (tab. 4). Por outro lado, menores SCM foram observados em JFM (Fig. 11a) e AMJ (Fig. 11b) com um tamanho médio de 12.976 pixels e 15.976 pixels respectivamente (tab. 4).

Essas diferenças de duração (Fig. 10, tab. 4) e tamanho (Fig. 11, tab. 4) entre os SCM também foram detectadas por outros autores (TOLLERUD; ROGERS, 1991; ASHLEY et al. 2003; SIQUEIRA, 2004; PALMEIRA, 2005). A hipótese sugerida por Ashley et al. (2003) para essas diferenças é que diferentes mecanismos dinâmicos podem causar grandes diferenças nos tamanhos e duração dos SCM. Tais processos incluem diferenças na circulação diurna que estão frequentemente relacionados à cobertura do solo e topografia (LAING; FRISCH, 1997). Portanto não se pode ignorar o efeito da topografia nas circulações atmosféricas contribuindo para o levantamento das parcelas de ar e desestabilização do ambiente, tornando a atmosfera susceptível a convecção profunda (SAKAMOTO, 2009).

Segundo diversos autores (OLIVEIRA; NOBRE, 1986; KOUSKY, 1988; MACHADO; DUVEL, 1998; GARREAUD, 1999; VERA; VIGLIAROLO, 2000) a propagação meridional da convecção na AS, gerada pela passagem de frentes frias e pelas incursões de ar frio das latitudes médias nos trópicos, contribui consideravelmente para a variabilidade total interdiurna da atividade convectiva e influi fortemente no regime de precipitação de diversas regiões do continente.

Tabela 4 – Tamanho médio (pixel) sazonal dos SCM que atingiram o RS e sua relação com a duração dos sistemas com ciclo de vida maiores ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h., entre 12 e 24h e com duração superior a 24 h, para o período de 2004 a 2008.

TRIMESTRE	≥ 6h	6-12h	12-24h	> 24h
JFM	12.976,34	5.580,26	23.559,50	34.307,96
AMJ	15.975,46	7.540,52	22.211,72	35.294,56
JAS	20.790,62	7.835,46	33.348,86	97.342,90
OND	17.787,70	5.546,64	27.880,46	68.039,38
MÉDIAS	<b>16.882,53</b>	<b>6.625,72</b>	<b>26.750,14</b>	<b>58.746,20</b>

Em geral os SCM que se formam na região de estudo se desenvolvem durante a ocorrência de frentes frias, o que estimula a atividade convectiva de forma distribuída ao longo do dia. Segundo Siqueira e Machado (2004) em JAS (inverno austral) ocorrem dois tipos de frentes frias: as que exibem propagação quase-estacionária (com respeito à direção meridional) com a convecção nos subtrópicos e/ou latitudes médias e as que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se com a convecção em direção ao equador, as quais contribuem para pelo menos 50% da variabilidade total interdiurna da convecção nesta estação. Já em OND (primavera austral), segundo esses autores ocorrem penetrações de frentes frias que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se com a convecção em direção ao equador, contribuindo para pelo menos 54% da variabilidade total interdiurna da convecção na AS durante esta estação. Portanto essa interação observada entre os Sistemas Frontais e a convecção favorece a formação de SCM maiores e mais longos nestes dois períodos do ano.

#### **4.1.4 Temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) e excentricidade**

A temperatura mínima no momento da máxima extensão durante o ciclo de vida dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008, a qual fornece informação sobre a atividade convectiva ou intensidade da convecção dos SCM, é mostrada nas Fig. 12 e na tabela 5.

Observou-se que a  $T_{ir}$  (tab. 5) apresentou valores médios menores nos SCM observados em JFM ( $T_{ir}=210,0$  K, Fig. 12a) e OND (209,9 K, Fig. 12d), períodos mais favoráveis à convecção e ocorrência de SCM, devido à alta instabilidade associada à alta umidade e calor na baixa troposfera, do que nos SCM observados em AMJ (211,6 K, Fig. 12b) e JAS (213,5 K, Fig. 12c), períodos que apresentam menos energia disponível para convecção e geração de SCM.

Pode-se observar ainda que a  $T_{ir}$  é inversamente proporcional a duração dos SCM, ou seja, SCM com menor duração (entre 6 e 12h, tab. 5) apresentaram maior  $T_{ir}$  média (214,37 K), enquanto que SCM com maior duração (superior a 24h, Tab. 5), apresentaram menor  $T_{ir}$  média (201,56 K). Diversos autores também observaram essa característica, ou seja, SCM que geram extensa cobertura fria no topo das

nuvens tendem a persistir por mais tempo (LAING; FRITSCH, 1997; MATHON; LAURENT, 2001; MACHADO et al., 1998; MACHADO; LAURENT, 2004).

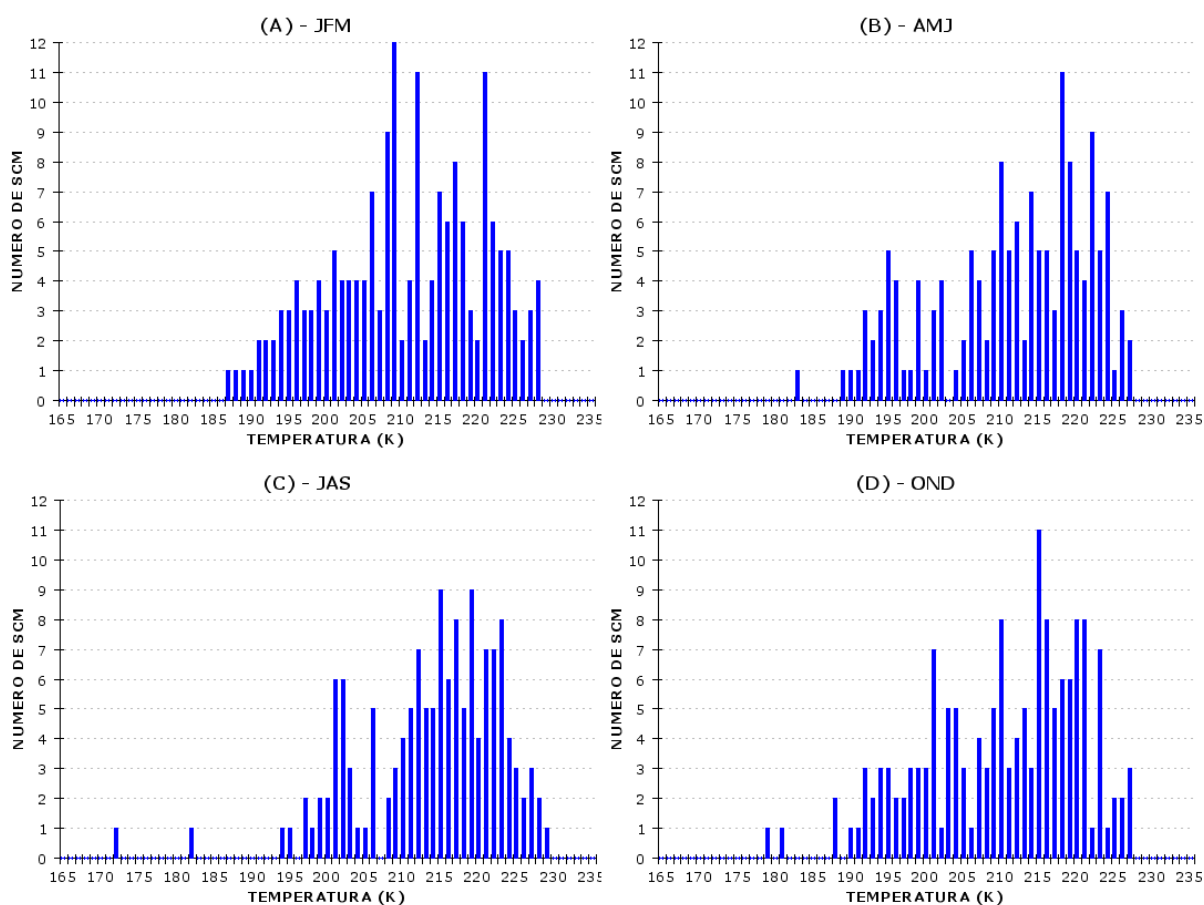


Figura 12 - Temperatura mínima no momento da máxima extensão dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Tabela 5 – Temperatura mínima média (K) sazonal (Tir) e excentricidade média e suas relações com a duração dos sistemas com ciclo de vida maiores ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h., entre 12 e 24h e com duração superior a 24 h, para o período de 2004 a 2008.

TRIMESTRE	≥ 6h.		6-12h.		12-24h.		> 24h.	
	EXC	TEMP	EXC	TEMP	EXC	TEMP	EXC	TEMP
JFM	0,578	210,0	0,560	213,0	0,588	205,1	0,688	196,8
AMJ	0,506	211,6	0,506	214,6	0,503	210,1	0,495	203,6
JAS	0,528	213,5	0,508	216,1	0,605	209,6	0,472	205,2
OND	0,558	209,9	0,556	213,9	0,548	204,0	0,583	200,6
MÉDIAS	0,542	211,3	0,532	214,4	0,561	207,2	0,559	201,6



Observou-se ainda neste estudo a ocorrência de  $T_{ir}$  na fase madura variando entre 172 e 229 K (Fig. 12). Siqueira et al. (2005), utilizando 3 anos de dados das estações: verão, inverno e primavera austral, encontraram que nuvens de convecção profunda dentro dos SCM sobre os subtrópicos e latitudes médias exibem  $T_{ir}$  entre 192 e 222 K na sua fase madura e tendem a estimular convecção profunda sobre áreas maiores. Como há uma relação direta entre área (tamanho) e duração dos SCM, os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com aqueles obtidos por Siqueira et al. (2005), uma vez que foram observados menores valores de  $T_{ir}$  em SCM com maior duração.

Segundo Sakamoto (2009), os SCM dependem de condições ambientais favoráveis para ocorrência de convecção profunda, de forma que a estratificação de temperatura e umidade é importante para sua ocorrência. Já a intensidade dos SCM depende da instabilidade termodinâmica, que controla o movimento vertical das parcelas de ar. O desenvolvimento vertical dos SCM está ligado à temperatura do topo da nuvem, isto é, quanto mais fria a temperatura do topo da nuvem, maior será o desenvolvimento vertical do sistema. Para a região de estudo, observou-se que as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de convecção profunda, ocorrem nos períodos mais quentes do ano (JFM e OND), o que justifica as  $T_{ir}$  médias menores observadas nestes dois períodos (tab. 5).

Analizou-se também a excentricidade no momento da máxima extensão durante o ciclo de vida dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 (Fig. 13 e tab. 5).

A excentricidade fornece informações sobre a forma apresentada pelo SCM podendo ser mais ou menos circular. Valores de excentricidade menores do que 0,3 denotam SCM mais lineares (do tipo LI), entre 0,3 e 0,7 SCM de forma irregular e entre 0,7 e 1 denotam SCM mais circulares (do tipo CCM).

Pode-se observar, analisando a Fig. 13, que dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 em todos os períodos do ano: em torno de 6,4% apresentaram formato mais linear (3,9% em JFM; 6,6% em AMJ; 11,2% em JAS e 4,5% em OND), aproximadamente 64% apresentaram formato irregular (59,8% em JFM; 72,7% em AMJ; 62,0% em JAS e 62,6% em OND) e em torno de 29,6% apresentaram formato mais circular (36,3% em JFM; 20,7% em AMJ; 26,8% em JAS e 32,9% em OND).

Por outro lado, pode-se observar que os SCM mais comuns na região de estudo foram os que apresentaram excentricidade igual ou superior a 0,5 (sistemas com tendência a apresentarem formato mais definido, isto é, mais próximos do formato circular). Esses SCM representam mais de 64% dos SCM que afetaram o RS (Fig. 13). Segundo Mattos (2009) SCM que tendem a se tornar tempestades são aqueles que apresentam formato mais definido, portanto sob essa ótica os resultados deste trabalho confirmam que a região de estudo é uma região bastante favorável ao desenvolvimento de atividade convectiva e ocorrência de tempestades.

Observou-se também que a excentricidade média dos SCM em todos os períodos do ano foi de 0,54 (tab. 5) e que os SCM com maior duração (superior a 24h, tab. 5), apresentaram maior excentricidade média (0,56).

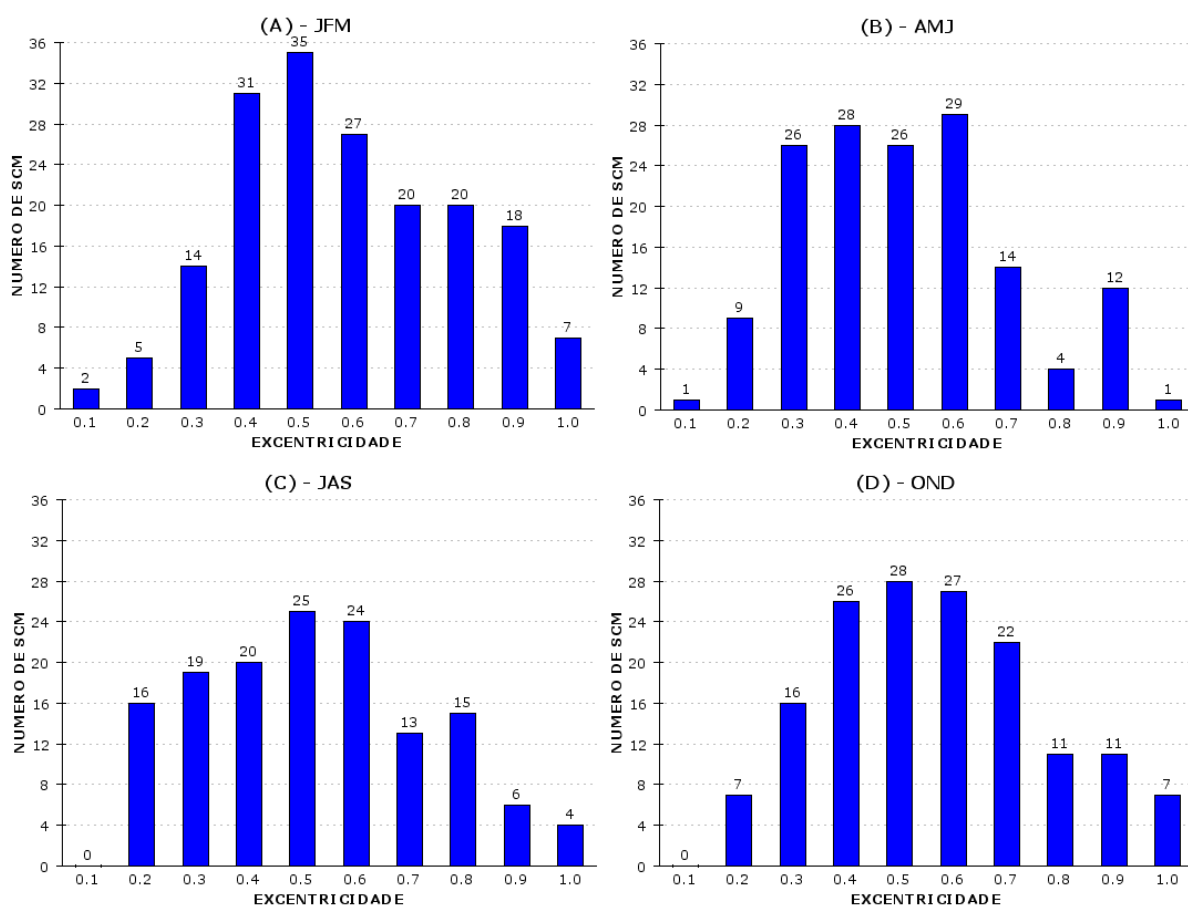


Figura 13 - Excentricidade no momento da máxima extensão dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Com base no exposto acima, a análise conjunta da  $T_{ir}$ , da excentricidade e do tamanho no momento da máxima extensão dos SCM mostrou que valores médios menores de  $T_{ir}$  e maiores de excentricidade (igual ou superior a 0,5) estão relacionados à SCM com maior duração, ou seja, SCM com maior atividade convectiva e com formato mais definido (mais próximo do formato circular) tendem a apresentarem maior duração. Observação semelhante foi feita por Vila (2004) quando analisou os SCM observados na região sul da AS. Também Machado et al. (1998), analisando a evolução das temperaturas mínimas durante o ciclo de vida de sistemas convectivos observados nas Américas, já havia observado que a  $T_{ir}$  é menor em SCM com maior duração. Ou seja, o desenvolvimento de SCM está relacionado à extensão vertical alcançada pelo topo da nuvem, portanto, quanto mais baixa a temperatura do topo da nuvem, maior seu desenvolvimento vertical.

#### **4.1.5 Horários mais freqüentes de nascimentos (iniciações), maturações e dissipações**

A análise sazonal dos horários mais freqüentes de nascimentos, maturações e dissipações (Fig. 14) dos SCM que afetaram o RS no período de estudo foi feita considerando os períodos do dia como segue: madrugada (das 03:00 as 09:00 UTC), manhã (das 09:00 as 15:00 UTC), tarde (das 15:00 as 21:00 UTC) e noite (das 21:00 as 03:00 UTC).

O comportamento do ciclo diurno da atividade convectiva dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008, mostrado na Fig. 14, indica que as 3 fases do ciclo de vida desses SCM podem ocorrer de forma distribuída ao longo do dia. Com algumas diferenças entre os quatro períodos do ano, conforme mostra a descrição a seguir.

Os SCM observados em JFM (Fig. 14a) apresentaram maior ocorrência de iniciação nos períodos da manhã e tarde, maturação nos períodos da tarde e noite e dissipação no período da noite. Em AMJ (Fig. 14b), os SCM que afetaram o RS, apresentaram iniciação mais freqüentes durante a madrugada e a noite; maturação e dissipação foram mais freqüentes no período da tarde. Os SCM que afetaram o RS em JAS (Fig. 14c) apresentaram iniciação e dissipação mais freqüentes no

período da madrugada, o estágio de maturação foi observado de forma distribuída ao longo do dia. Em OND (Fig. 14d) os SCM que afetaram o RS apresentaram iniciação mais freqüente no período da tarde, a maturação foi observada com maior freqüência nos períodos da tarde e noite enquanto que o estágio de dissipação ocorreu com mais freqüência nos períodos da noite e madrugada.

Observam-se diferenças sazonais nos horários de iniciação, maturação e dissipação dos SCM que afetaram o RS ao se analisar os quatro períodos do ano. Isso se deve à diferença de insolação recebida em cada período do ano, ou seja, deve-se à variabilidade sazonal da insolação que é maior em JFM e OND e menor em AMJ e JAS, que faz com que os SCM observados nos períodos frios iniciem seu ciclo de vida mais tarde do que aqueles observados nos períodos quentes, onde a atividade convectiva é favorecida (MATTOS, 2009).

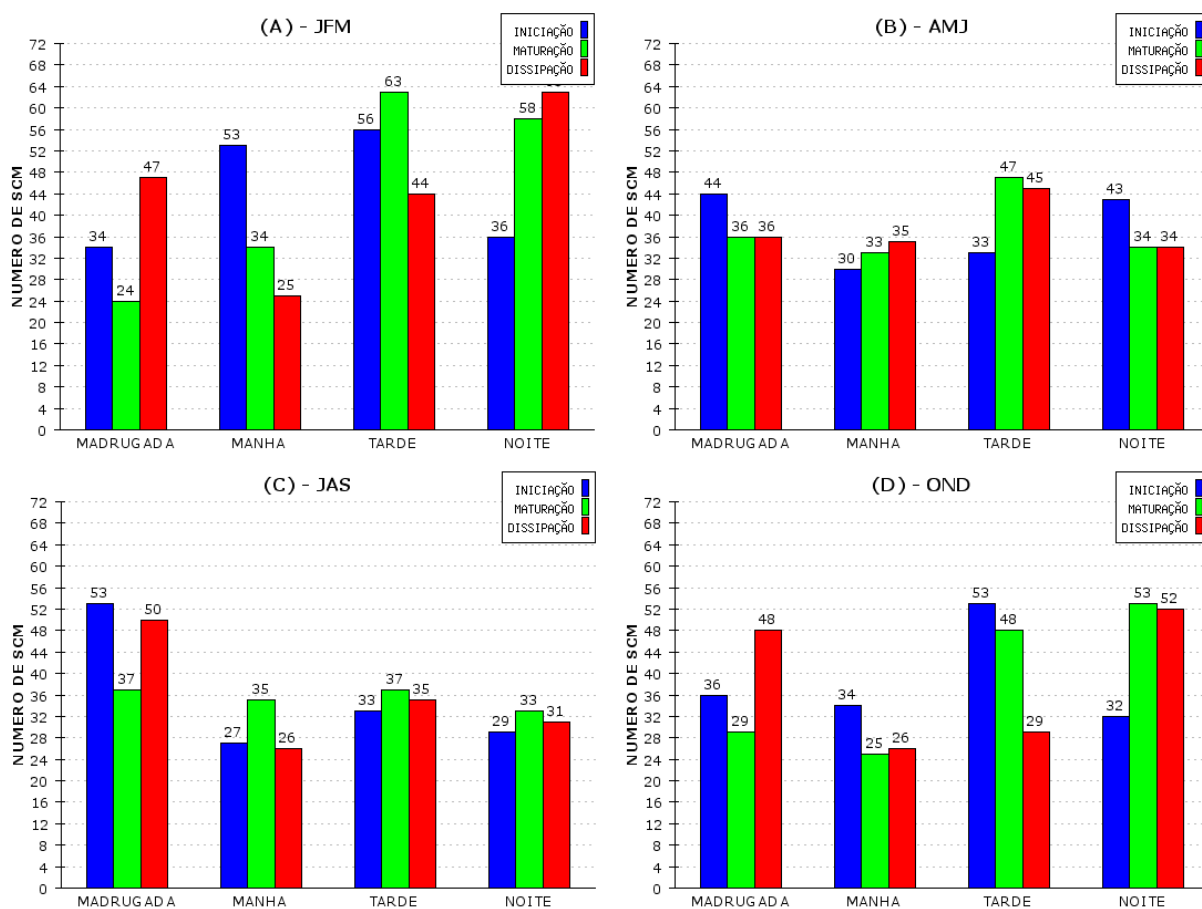


Figura 14 – Distribuição dos horários preferenciais de iniciação (azul), maturação (verde) e dissipação (vermelho) dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

A iniciação ao entardecer e primeiras horas da noite (SILVA DIAS, 1987) indica que é necessário um mecanismo de modulação diurna para acionar esse gatilho desde que a atmosfera esteja condicionalmente estável do ponto de vista termodinâmico. Portanto, o aquecimento diurno parece ser um importante fator na formação dos SCM na região subtropical continental da AS (SAKAMOTO et al., 2009). Segundo Romatschke et al. (2009), o forte cisalhamento do vento com ar úmido de leste nos baixos níveis limitado por ar seco de oeste acima, estimula a forte instabilidade e favorece a convecção. Além disso, conforme mencionado por Velasco e Fritsch (1987) a convergência noturna no vale do Rio Paraná, fortalecida pelos ventos catabáticos dos Andes pode explicar a gênese dos SCM no período da noite. Portanto, a existência de fluxo de ar úmido em baixos níveis e ar seco acima, em combinação com aquecimento diurno e forçantes topográficas e sinóticas levam à formação de SCM (ROMATSCHKE et al., 2009) que podem ocorrer em diferentes horários do dia.

Com relação à fase de maturação dos SCM, segundo Siqueira (2004), os SCM sobre os subtrópicos/latitudes médias adquirem suas maiores porcentagens de cobertura de nuvens do tipo CCB (nuvens frias altas frequentemente associadas com a convecção) de forma distribuída ao longo do dia, exibindo horários de maturação principalmente no final da tarde, no início da noite e durante a madrugada. Este resultado está provavelmente relacionado com a forte atividade de frentes frias nos subtrópicos e latitudes médias, favorecida pela intensa instabilidade baroclínica desta região, o que acaba estimulando a atividade convectiva em diversos horários do dia sobre aquela região (SIQUEIRA et al., 2005).

A ocorrência de maturação no período da madrugada pode ser explicada pela variação diurna e noturna do resfriamento radiativo troposférico entre áreas cobertas de nuvens e as áreas vizinhas com céu claro (GRAY; JACOBSON, 1977). Durante a noite o resfriamento atmosférico radiativo é maior em condições de céu claro do que em áreas com nebulosidade, assim, a divergência em baixos níveis seria menor em áreas com nebulosidade. Randall et al. (1991), por sua vez, sugerem que a estabilização em decorrência da absorção de radiação solar devido às nuvens tenderia a suprimir a convecção durante a tarde comparativamente ao período da madrugada.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram um comportamento dos horários de iniciação, maturação e dissipação dos SCM semelhante aos encontrados por outros autores ao estudarem as características dos SCM na AS (VELASCO; FRITSCH, 1987; MACHADO et al., 1998; VILA, 2004; SIQUEIRA, 2004; SALIO et al., 2007; SAKAMOTO et al., 2009; SAKAMOTO, 2009; DURKEE; MOTE, 2009). Cabe ressaltar que diferenças encontradas devem-se ao fato de que os SCM analisados neste estudo são aqueles que se formaram e se mantiveram durante o seu ciclo de vida ao sul de 20°S, apresentaram tempo de vida de no mínimo 6 h, tiveram geração espontânea e dissipação normal e que atingiram a grade que cobre o RS.

#### **4.1.6 Regiões preferenciais de nascimento dos SCM**

A distribuição geográfica dos nascimentos dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 é mostrada na Fig. 15.

Pode-se observar que em todos os períodos do ano os nascimentos dos SCM que afetaram o RS ocorrem predominantemente dentro e em torno da grade que cobre o RS, com tendência a iniciarem mais no lado oeste da grade sobre o continente.

Pode-se notar que em JFM (Fig.15a) as iniciações se concentraram sobre a grade de estudo, em especial, sobre o nordeste da Argentina, a fronteira entre o RS e o Uruguai, o centro e o oeste do RS, o oeste do estado de Santa Catarina e sul do Paraná e o litoral sul do RS. Em AMJ (Fig. 15b), as iniciações se concentraram no nordeste da Argentina e oeste do RS com picos de iniciação sobre o noroeste do Uruguai. Já em JAS (Fig. 15c) a região mais freqüente de ocorrência de SCM é observada sobre o centro e leste do Uruguai e também sobre uma pequena parte do extremo sul do RS. Em OND (Fig. 15d), foram observado picos de iniciação de SCM sobre o centro do Uruguai, norte do RS e oeste de Santa Catarina. Observa-se ainda que a região mais favorável para o nascimento de SCM, neste trimestre se desloca para oeste, conforme também havia verificado Velasco e Frisch (1987).

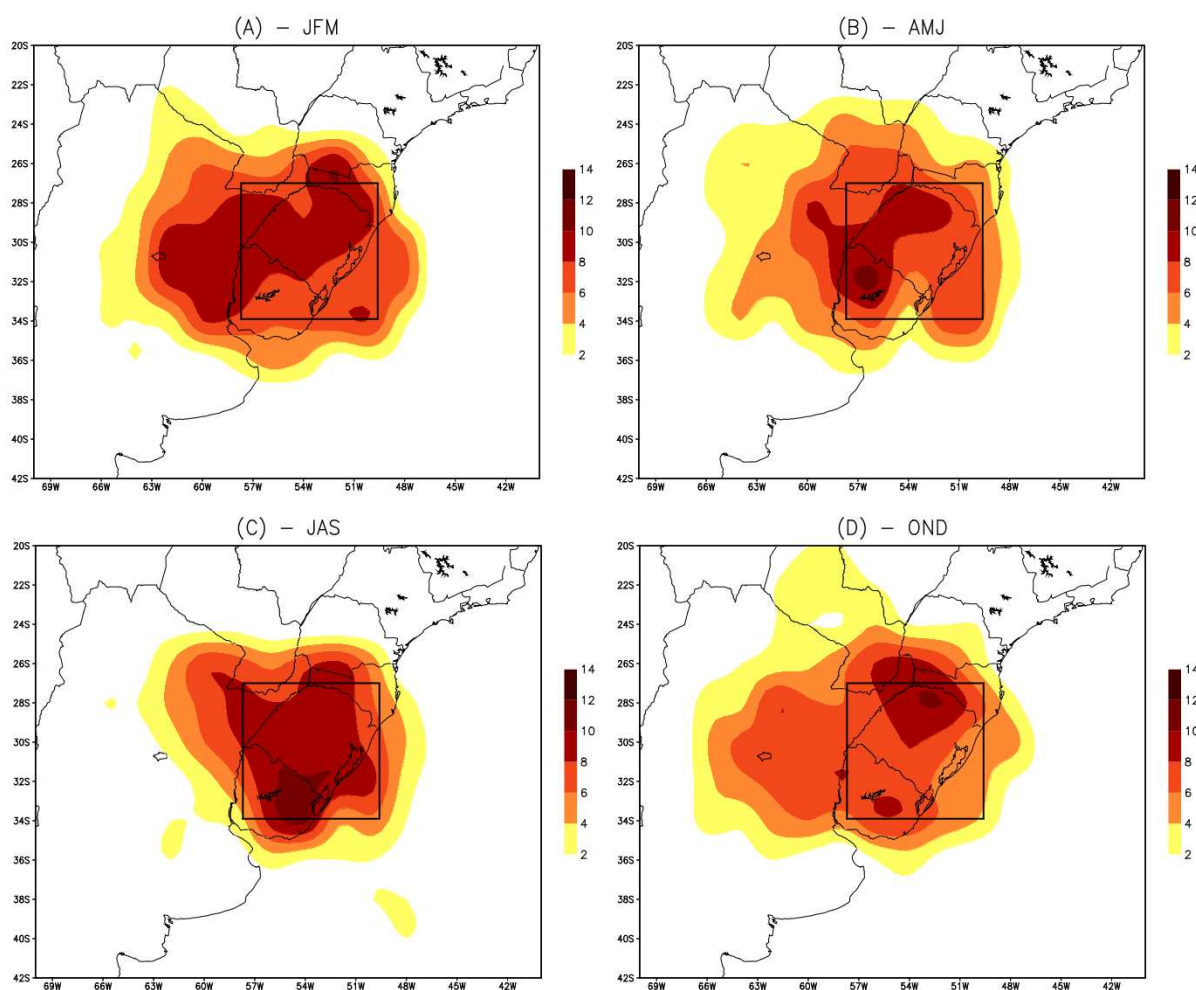


Figura 15 - Distribuição geográfica sazonal dos nascimentos dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Os máximos relativos de atividade convectiva observados em JFM e OND parecem indicar uma alta relação entre a ocorrência de nascimentos de SCM e a topografia, que pode estar relacionado aos efeitos térmicos e orográficos que geram este tipo de sistemas. Em geral, o tipo de convecção que se produz nestas regiões é do tipo local e de pequena escala (VILA, 2004). Segundo Velasco e Fritsch, (1987) fatores de pequena escala como topografia e fontes de calor localizadas podem exercer importante papel para a definição da região mais provável de formação dos SCM.

Por outro lado, a frequência mensal e a distribuição espacial dos SCM sobre a AS são bem conectados a certos processos sinóticos e de mesoescala favoráveis ao seu desenvolvimento. Especificamente, os padrões de frequência e concentração dos SCM no Paraguai, norte da Argentina e sul do Brasil durante o verão são

indicativos de estabilidade estática mínima comum nesta época do ano (DURKEE; MOTE, 2009). Também, o forte aquecimento diurno que ocorre sobre as regiões mais elevadas dos Andes pode gerar ondas de gravidade que se propagam em direção ao continente, estimulando a convecção nestas regiões (MAPES et al., 2003).

Outro fator que justifica a ocorrência dos máximos de atividade convectiva em JFM e OND no norte da Argentina está relacionado com a região de saída o JBN onde há umidade e calor para a geração da convecção. No norte do RS a formação dos SCM pode ter como possíveis causadores a convergência noturna no vale do rio Paraná, o fluxo de umidade oceânica associado à circulação da AAS, as frentes frias e a ZCAS (SAKAMOTO, 2009).

Além disso, nos períodos frios (AMJ e JAS) os máximos relativos de atividade convectiva, mostram que a região favorável para ocorrência de SCM fica ao sul da grade que cobre o RS sobre o Uruguai e o oceano, podendo estar associados a passagem de frentes frias sobre a região nestes períodos. De acordo com Siqueira (2004) a propagação e a intensificação da convecção ocorrem ao longo das frentes frias que atingem a região, sendo que nos períodos frios (AMJ e JAS) elas contribuem fortemente para intensificação da convecção e, portanto para o desenvolvimento de SCM.

Outra característica observada foi a predominância de iniciações sobre o continente em comparação com o oceano, isto é, o número de SCM que se formam sobre o continente é bem superior aqueles que se formam sobre o oceano (SAKAMOTO, 2009), o que também pode ser observado na Fig. 15. Segundo Doswell e Bosart (2001), isso pode ser consequência da baixa capacidade térmica do solo em relação à água, com isso a temperatura sobre o continente se eleva mais rapidamente do que sobre o oceano, fazendo com que regiões continentais desenvolvam maior instabilidade potencial. Além disso, a superfície continental é menos uniforme do que a oceânica, de forma que a topografia e o aquecimento diferencial podem ser gatilhos para a formação de novos SCM.



#### 4.1.7 Trajetória média preferencial

A trajetória média preferencial seguida pelos SCM que atingiram o RS no período de 2004 a 2008 é mostrada na Fig.16. Pode-se notar que em todos os trimestres há uma tendência de a trajetória média preferencial ser de oeste para leste, semelhante à circulação de grande escala (LAU; CRANE, 1995; ROMATSCHKE; HOUZE, 2010).

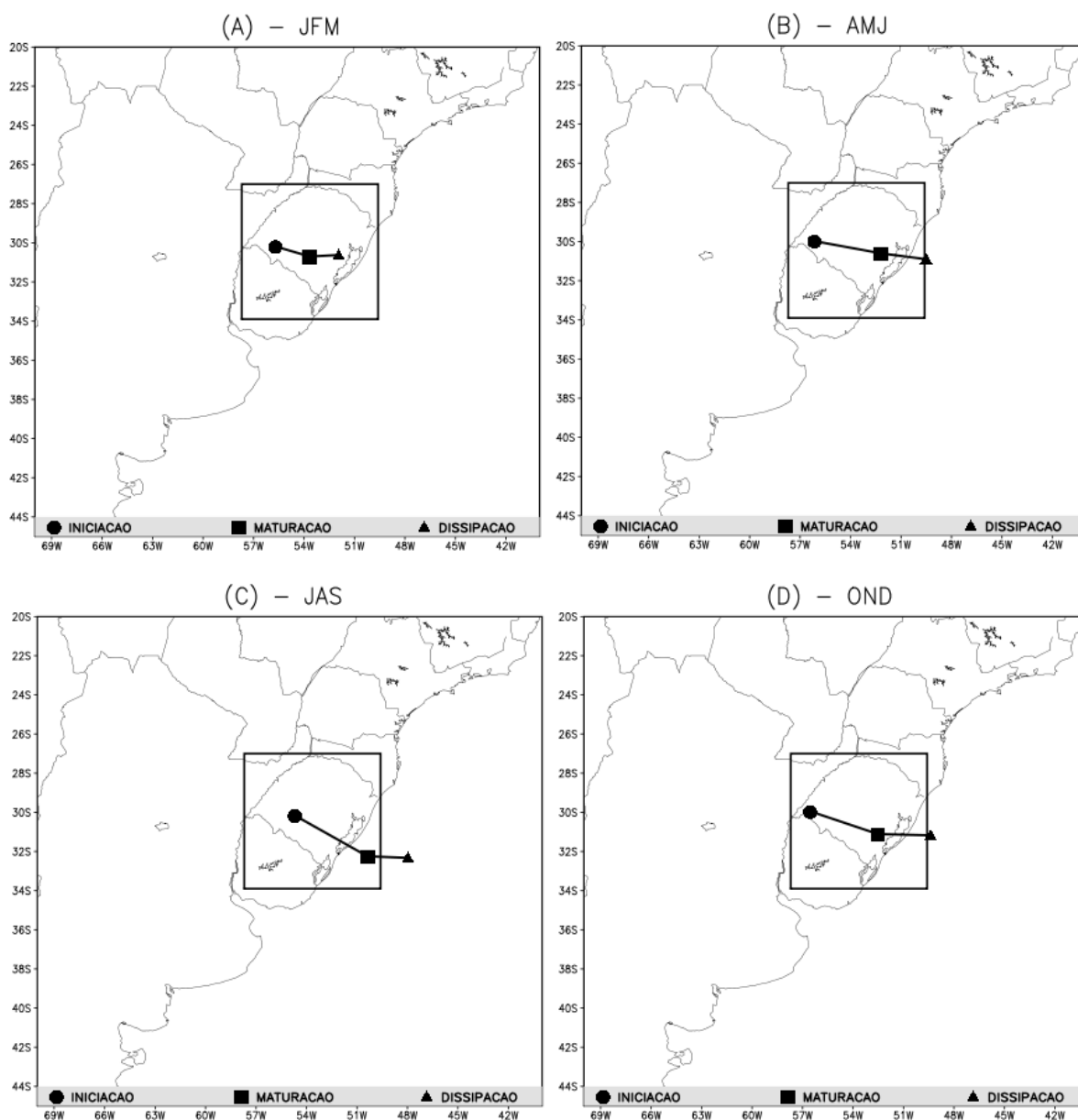


Figura 16 - Trajetórias médias preferenciais sazonais dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Em JFM as etapas de iniciação, maturação e dissipação dos SCM que atingiram o RS ocorreram na média dentro da região de estudo sobre o continente. Neste trimestre, na média a iniciação ocorreu no oeste do RS; a maturação ocorreu no centro-sul do RS e a dissipação ocorreu no leste do RS, respectivamente. Em AMJ e OND os estágios tiveram um comportamento médio semelhante, iniciação no oeste do RS, maturação no leste e dissipação no oceano a leste do RS. Em JAS, apenas a iniciação ocorreu sobre o continente (oeste do RS), os demais estágios ocorrem na média no litoral leste do RS.

Segundo Machado et al. (1998) diferenças nas trajetórias dos SCM são devido aos diferentes tamanhos de SCM selecionados, uma vez que a interação dos SCM com a circulação de grande escala difere em função do tamanho dos mesmos.

Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos encontrados por diversos autores (VELASCO; FRITSCH, 1987; MACHADO et al., 1998; VILA, 2004; SIQUEIRA, 2004; SAKAMOTO et al., 2009; SAKAMOTO, 2009; DURKEE; MOTE, 2009, por exemplo), que mostraram que os SCM subtropicais sul-americanos tendem a se deslocar para leste desde sua gênese até sua dissipação. Isso ocorre porque o movimento do SCM é a soma de uma componente advectiva, dada pelo deslocamento médio das células convectivas, e uma componente de propagação, definido pela taxa de formação e localização de novas células (NEWTON; KATZ, 1958; NEWTON; NEWTON, 1959; BLUESTEIN; JAIN, 1985). Quanto às células convectivas individuais imersas nos SCM, estas tendem a se mover a favor do fluxo médio na camada de nuvens. Contudo, a estrutura em mesoescala do SCM tende a se mover em direção oposta ao fluxo em baixos níveis que fornece ar quente e úmido (CORFIDI et al., 1996; FRITSCH; FORBES, 2001). Além disso, segundo Romatschke e Houze (2010), o movimento para leste dos SCM é esperado em função dos fortes ventos de oeste que são observados em altitude na região.

O deslocamento dos SCM também foi estudado por Siqueira e Marques (2008) que constataram que a grande frequência de SCM observados sobre o continente, litoral e oceano no sudeste do Brasil durante o outono austral, primavera e principalmente durante o verão, indicam uma importante modulação da convecção profunda pelas freqüentes incursões de frentes frias durante todo ano e as forçantes diurnas (térmica e orográfica). Sendo que as trajetórias desenvolvidas pelos SCM são predominantemente, do continente para o oceano, modulados por frentes frias e

forçantes associados a contrastes térmicos e a estratificação atmosférica em grande escala. Um pequeno número de SCM desenvolveu uma trajetória inversa, isto é, do oceano para o continente, aparentemente modulados por influências termodinâmicas da região de estudo, como a brisa marítima. Estes autores também observaram que a circulação predominantemente zonal acima de 500 hPa favorece o deslocamento zonal observado na maioria dos SCM, isso por que a influência dinâmica é mais forte do que influência termodinâmica da região de estudo.

## Conclusão

As características físicas sazonais dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS, durante o período de 2004 a 2008, foram analisadas utilizando a técnica ForTrACC. Pode-se concluir para o período de estudo que:

- i) os SCM que afetaram o RS apresentaram maior número de ocorrência no período mais quente do ano, devido o aparecimento de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de nuvens convectivas, geralmente associadas a um JBN que transporta calor e umidade da região amazônica para a região subtropical;
- ii) nos quatro trimestres do período de estudo a maioria dos SCM que afetou o RS (64,7%) apresentou tempo de vida entre 6 e 12h, o que parece ser uma característica intrínseca dos SCM;
- iii) SCM com menor tempo de vida não chegam a ter grande extensão horizontal, diferentemente dos SCM com maior tempo de vida que cobrem áreas maiores;
- iv) a ocorrência de frentes frias em JAS favorece atividade convectiva e a formação de SCM maiores e mais longos neste período do ano.
- v) a temperatura mínima ( $T_{ir}$ ) apresentou valores médios menores nos SCM observados em JFM e OND, períodos mais favoráveis à convecção e ocorrência de SCM, devido à alta instabilidade associada à alta umidade e calor na baixa troposfera;
- vi) dos SCM que afetaram o RS em torno de 6,4% apresentaram formato mais linear, aproximadamente 64,0% apresentaram formato irregular e em torno de 29,6% apresentaram formato mais circular;

- vii) SCM com maior atividade convectiva tendem a ter formato mais próximo do formato circular e a apresentarem maior duração;
- viii) as 3 fases do ciclo de vida dos SCM que afetaram o RS ocorreram de forma distribuída ao longo do dia;
- ix) em todos os períodos do ano, os nascimentos dos SCM que afetaram o RS ocorrem predominantemente dentro e em torno da grade que cobre o RS, com tendência a iniciarem mais no lado oeste da grade sobre o continente;
- x) em todos os trimestres há uma tendência de a trajetória média preferencial dos SCM que afetaram o RS ser de oeste para leste.

A variabilidade sazonal das características dos SCM que afetaram o RS, bem como os mecanismos que podem contribuir para essas características, foi discutida neste trabalho, com a finalidade de se obter um melhor entendimento da influência deste tipo de sistema sobre o RS. Neste contexto, uma vez que os SCM influenciam de forma significativa as condições do tempo no RS, produzindo impactos em diversos setores da sociedade, sendo muitas vezes responsáveis por grandes prejuízos econômicos e também pela perda de vidas, os resultados obtidos neste estudo fornecem (a pesquisadores, previsores do tempo e tomadores de decisão) importantes informações sobre as principais características dos SCM que afetam o Estado.

Como o RS tem sua economia em grande parte baseada na agricultura, uma das causas de prejuízos e quebras de safras no Estado é a ocorrência de eventos de tempo severo (granizo, enxurrada, vendaval, etc.), que estão associados aos SCM. Neste sentido, o estudo dos processos físicos envolvidos na formação e manutenção de SCM severos que afetam o RS é bastante relevante, isso porque o melhor entendimento deste tipo de sistema permitirá definir como prevê-los e com isso reduzir a vulnerabilidade aos danos causados pelas condições de tempo severo gerados por estes sistemas.

Outro estudo que pode ser realizado é o de verificar a influência de cada tipo de SCM sobre o RS, isto é, verificar, além dos SCM, a influência dos CCM e LI sobre o Estado, o que também pode ser feito com os SF, pois estes freqüentemente afetam o tempo no RS. Desta forma, resultados mostrando o tipo de sistema que

atinge o estado com mais frequência, bem como os mais danosos, são importantes, pois colocariam em evidência esses sistemas.

Aos pesquisadores e previsores do tempo este trabalho mostrou que o aplicativo ForTrACC contribui de forma significativa para o estudo dos SCM, podendo ser utilizado não somente no campo da pesquisa como também na área de previsão do tempo. Desta forma, sugere-se o uso de modelos numéricos em conjunto com o aplicativo ForTrACC, o que permitirá o melhor entendimento dos SCM, através do detalhamento das características do ambiente no qual estes estão inseridos. Este tipo de estudo possibilitará identificar as condições ambientais precursoras para formação dos SCM que afetam o RS o que contribui para a previsão dos mesmos.

Além disso, também é importante o estudo conjunto dos SCM com fenômenos de outras escalas que podem influenciar o desenvolvimento destes sistemas. Por isso, sugere-se verificar o impacto da atuação do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) na ocorrência de SCM, uma vez que o ENOS é um dos principais fenômenos que afetam o regime de precipitação no estado do RS.

Outra sugestão é com relação ao estudo dos mecanismos que atuam como fontes de umidade para os SCM. Vários estudos confirmam a importância do JBN no transporte de calor e umidade da Amazônia para região subtropical da AS, favorecendo a formação e manutenção destes sistemas sobre esta região, sendo sua atuação mais marcante nos períodos mais quentes do ano. Apesar da maioria dos estudos focarem-se nos períodos quentes do ano por ser a época mais favorável a ocorrência destes sistemas, sugere-se que sejam verificados os mecanismos que atuam como fontes de umidade para os SCM nos períodos mais frios. Sugere-se ainda a verificação da influência do oceano Atlântico sobre os SCM que afetam o estado, uma vez que ele é uma importante fonte de umidade para estes sistemas.

## Referências

- ARAUJO, S.M.B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul**. 2005. 54f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ASHLEY, W.S.; MOTE, T.L.; DIXON, P.G.; TROTTER, S.L.; POWELL, E.J.; DURKEE, J.D.; GRUNDSTEIN, A.J. Distribution of Mesoscale Convective Complex Rainfall in the United States. **Monthly Weather Review**, v.131, p. 3003-3017, 2003.
- BERBERY, E. H.; COLLINI, E. A. Springtime precipitation and water vapor flux over Southeastern South America. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 5, p. 1328-1346, 2000.
- BLUESTEIN, H.B.; JAIN M.H. Formation of Mesoscale Lines of Precipitation: Severe Squall Lines in Oklahoma during the spring. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.42, p. 1711-1732, 1985.
- BONNER, W.D. Case Study of Thunderstorm Activity in Relation to the Low Level Jet. **Monthly Weather Review**, v.94, n.3, p. 167–178, 1966.
- CAMPOS, C.R.J.; CHONG, M. Sistema convectivo de mesoescala observado no dia 12 de dezembro de 1992 durante TOGA-COARE: estrutura cinemática e transporte de quantidade de movimento. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.17, n.2-3, p.175-185, 1999.
- CAMPOS, C.R.J; LIMA, E.S.; PINTO, L.B. Complexo Convectivo de mesoescala Observado em 27/11/2002 no Nordeste da Argentina. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v.31, n.2, p.23-32, 2008.
- CARVALHO, L.; JONES, C. A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE). **J. Appl. Meteor.**,v.40, p.1683–1701, 2001.
- CHONG, M.; AMAYENC, P.; SCIALOM, G.; TESTUD, J. A tropical squall line during the COPT81 experiment in West Africa. Part 1: kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data. **Monthly Weather Review**, v.115, p.670-694, 1987.

CONWAY, E.D. An introduction to satellite image interpretation. **The Maryland Space Grant Consortium London**. 242p.1997

CORFIDI, S.F.; MERITT, J.H.; FRITSCH, J.M. Predicting the movement of mesoscale convective complexes. **Wea. Forecasting**, v.11, p.41–46, 1996.

COTTON, W.R.; LIN, M.S.; MCANELLY, R.L.; TREMBACK, C. J. A composite model of mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.117, p.765- 783, 1989.

DOSWELL C.A.; BOSART L.F. Extratropical Synoptic-Scale Processes and Severe Convection. **Meteorological Monographs, American Meteorological Society**, 28 (50): 27-69, 2001.

DOUGLAS MW, NICOLINI M; SAULO C. The Low-Level Jet at Santa Cruz, Bolivia during january-march 1998, pilot ballon observation and model comparison. In: Symposium on global change studies, 10:1999, Dallas, Texas, Extended abstracts ... Dallas, Texas:AMS, 1999, 223-226, 1999.

DURKEE, J.D.; MOTE, T.L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **International Journal of Climatology** Disponível em: < <http://www3.interscience.wiley.com/journal/122267214/abstract> > acesso em: 24 jun 2009.

FIGUEIREDO, J.C.; SCOLAR, J. Estudo das trajetórias dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 7. E CONGRESSO LATINO AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 7. 1996, Buenos Aires-Ag. **Anais do ...**, 1996, p.165-166.

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

FRANK, W.M. Atlantic tropical systems of 1969. **Monthly Weather Review**, v. 98, p.307–314, 1970.

FRITSCH, J.M; FORBES, G.S. Mesoscale Convective Systems: Severe Convective Storms, **Meteorology Monographs**, n.50, p.323-356, 2001.

GANDÚ, A.W.; GEISLER, J.E. A primitive equation model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.48, p.1822-1836, 1991.

GARREAUD, R.D. Cold air incursions over subtropical and Tropical South America: A numerical case study. **Monthly Weather Review**, v.127, n.12, p.2823-2853. 1999.

GRAY WM & JACOBSON JR RW, Diurnal Variation of Deep Cumulus Convection. **Monthly Weather Review**, v.105, p.1171-1188, 1977.



GUEDES, R.L.; DIAS, M.A.F.S. Case study of severe storms associated with the subtropical jet in South America (in Portuguese). BRAZILIAN METEOROLOGICAL CONGRESS, 3. Rio de Janeiro, **Anais do ...** Rio de Janeiro, 1984, p. 289–296.

GUEDES, R.L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. 1985. 89f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-IAG/Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUEDES, R.L.; MACHADO, L.A.T.; SILVEIRA, J.M.B.; ALVES, M.A.S.; WALTZ, R.C. Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 1994. **Anais do ...** Minas Gerais-BH, 1994. v. 2, p. 77-80.

GUEDES, R.L.; MACHADO, L.A.T. Climatologia da estrutura vertical das perturbações convectivas sobre a América do Sul e adjacências. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.18, n.2, p.215-230, 2003.

HOUZE, R.A.; BETTS, A.K. Convection in GATE. **Review Geophysical Space Physical**, v.19, p.541-576, 1981.

HOUZE, R.A. Mesoscale convective systems. In Cloud dynamics. **Academic Press, Inc**, v. 53, p. 334-404, 1993.

JIRAK, I.L.; COTTON, W.R.. Environmental precursors to mesoscale convective system development. In: 11th CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, and Aerospace and the 22nd Conference on Severe Local Storms Opening Remarks, 2004, Hyannis, MA, USA. Trabalhos online... Disponível em: < <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2009.

KOUSKY, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, n.1, p.217-231. 1988.

LAING A.G.; FRITSCH JM. The global population of mesoscale convective complexes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.123, p.2254-2263, 1997.

LAING, A.G.; FRITSCH, J.M. The Large-Scale Environments of the Global Populations of Mesoscale Convective Complexes. **Monthly Weather Review**, n.128, p.2756–2776, 2000.

LAU, N-C; CRANE, MW. A satellite view of the synoptic-scale organization of cloud properties in midlatitude and tropical circulation systems. **Monthly Weather Review**, v.123, p.1984-2006, 1995.

LAURENT H.; MACHADO, L.A.T.; MORALES, C.; DURIEUX, L. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment, **Journal of Geophysical Research**, v.107, (D20), 8054, 2002.

LIMA, E.C.S. **Análise de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) observado na região norte da Argentina no dia 27 de novembro de 2002: Um estudo de caso utilizando o modelo RAMS**. 2004. 73p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MACEDO, S.R.; MACHADO, L.A.T.; VILA D.; MORALES, C.A.; LAURENT H. 2004. Monitoramento de sistemas convectivos de mesoescala atuantes no Brasil utilizando o FORTRACC (Forecast and Tracking of Active and Convective Cells), CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. 2004. Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza, 2004.

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

MACHADO, L.A.T.; GUEDES, R.L.; SILVEIRA, J.M.B.; WALTZ, R.C.; ALVES, M.A.S. Ciclo de vida de sistemas convectivos. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. Belo Horizonte, **Anais do ...** Belo Horizonte, 1994, v. 2, p. 323-326.

MACHADO, L.A.T.; DUVEL, J.P. Propagação meridional da convecção na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 1998, Brasília. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p.1-5. 1 CD-ROM.

MACHADO, L.A.T.; ROSSOW, W.B.; GUEDES, R.L.; WALKER, A.W. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v.126, p.1630-1654, 1998.

MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; LIMA, A.A. Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. **Journal of Geophysical Research** v.107,n.D20, p.31.1-31.15, 2002.

MACHADO, L.A.T.; VILA, D.; LAURENT, H.; MORALES, C.; CEBALLOS, J.; MIRANCOS, F.; NOSAKI, S. 2003: Sistema de Previsão Imediata de Tempestades para Apoio a tomada de Decisão na Distribuição e Manutenção do Sistema Elétrico. II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - CITENEL. 2003, Brasília. v. CDROM.

MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 4, pp. 714-725, 2004.

MACHADO, L.A.T.; LIMA, W.F.A.; VILA, D. The use of satellite and radar data for nowcasting: the ForTraCC technique. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2007, Costa Rica. **Anais do ...**, Costa Rica, 2007.

MADDOX, R.A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. **Monthly Weather Review**, v.108, p.1108-1121, 1980

MADDOX, R.A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.111, n.7, p.1475-1493, 1983.

MARENGO, J.A., SOARES W.R., SAULO C.; NICOLINI M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v.17, n.12, p. 2261-2280, 2004.

MATHON, V.; LAURENT, H. Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v.127, p.377-406, 2001.

MATTOS, E.V. **Relações das propriedades físicas das nuvens convectivas com as descargas elétricas**. 2009, 244p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), INPE, São José dos Campos.

MOREL, C.; SENESI, S. A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery. I: Methodology. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v.128, p.1953–197, 2002.

NEWTON C.W.; KATZ S. Movement of Large Convective Rain-Storms in Relation to Winds Aloft. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.39, p.129-136, 1958.

NEWTON C.W.; NEWTON HR. Dynamical Interactions between Large Convective Clouds and Environment with Vertical Shear. **J. Meteor.**, v.16, p.483-496, 1959.

NICOLINI, M.; SAULO, A.C.; TORRES, J.C.; SALIO, P.: Enhanced precipitation over Southeastern South América related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorologica**, Special Issue for the South American Monsoon System, v.27, p.59-69, 2002.

NICOLINI, M.; SALIO, P.; TORRES, J.C.; ZIPSER, E. The relationship between South American low-level jet events with the formation and maintenance of mesoscale convective systems. In: Inter Clouds and Precipitation Conference, 2004, Bologna, Italy. **Anais do ...** Bologna, Italy, 2004.

NIETO FERREIRA R, RICKENBACH TM, HERDIES DL & CARVALHO LMV. Variability o South American Convective Cloud Systems and Tropospheric Circulation during January-March 1998 and 1999. **Montly Weather Review**, v.131, p.961-973, 2003.

NOGUÉS-PAEGLE J & MO KC. Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. **Montly Weather Review.**, v.125, p.279-291, 1997.

OLIVEIRA, A.S.; NOBRE, C.A. Interaction between frontal systems in South America and tropical convection over the Amazon. In: International Conference on Southern Hemisphere, 3., 1986, Wellington. **Anais do ...** São José dos Campos: INPE, 1986. p.56-59. 1 CD-ROM.

PALMEIRA, F. L. B.; **Análise de características dos sistemas convectivos através de imagens do satélite GOES-12**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PINTO, L. B.; CAMPOS, C.R.J. Ambiente sinótico e perfis verticais de um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.25, n.1, p. 31-43; 2007.

PINTO, L.B; CAMPOS, C.R.J. Análise do comportamento morfológico e radiativo de um Sistema Convectivo de Mesoescala inferido via imagens de satélite. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27, n.1, p. 35-42; 2009.

RANDALL D, HARSHVARDAN A; DAZLICH DA. Diurnal Variability of the hydrologic cycle in a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.48, p.40-62, 1991.

ROBERTSON AW; MECHOSO CR. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, v.128, p.2947–2957, 2000.

ROMATSCHKE U, MEDINA S, HOUZE RA & RASMUSSEN K. Topographic and diurnal effects on tropical and subtropical convection in South America. In: International Conference on Alpine Meteorology, 30: 2009, Rastatt, Germany. **Anais do ... Rastatt: ICAM, 2009. Disponível em: <[http://www.atmos.washington.edu/~ulli/RASTATT2009\\_Romatschke\\_et\\_al.pdf](http://www.atmos.washington.edu/~ulli/RASTATT2009_Romatschke_et_al.pdf)>.** Acesso em: 11 nov. 2010.

ROMATSCHKE U; HOUZE RA. Extreme Summer Convection in South America. **Journal of Climate**. v.23, p.3761–3791, 2010.

ROUX, F. The west-african squall line observed don 23 june 1981 during COPT81. Kinematics and thermodynamics of the convective region. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.45, p.406-426, 1988.

SAKAMOTO M.S. **Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX**. Tese (Doutorado em Meteorologia), USP, 243p, 2009.

SAKAMOTO, M.S; MACHADO L.A.T.; AMBRIZZI, T.; GIMENO, L. Life cycle analysis of the SALLJEX convective systems. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 9, Melbourne, 2009. **Anais do ... Melbourne. Disponível em: <[http://www.bom.gov.au/events/9icshmo/manuscripts/TH1215\\_Sakamoto.pdf](http://www.bom.gov.au/events/9icshmo/manuscripts/TH1215_Sakamoto.pdf)>.** Acesso em: 26 mai. 2010.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A.C. Chaco Low Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. **Journal Geophysical Research**, v.107(D24): 4816, 10.1029/2001JD001315., 2002.

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

SANTOS, G.M.; CAMPOS, C.R.J.; LIMA, K.C. Análise de Jatos de Baixos Níveis associados a um sistema Convectivo de Mesoescala na América do Sul: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.4, p.451-468, 2008.

SELUCHI M; MARENGO J. Tropical-mid latitude Exchange of air masses during Summer and winter in South America: Climatic aspects and extreme events. **Int. J. Climatol.**, v.20, p.1167-1190, 2000.

SILVA DIAS, M.A.F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p.133-150, 1987.

SIQUEIRA, J.R. **Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção**. 2004, 186p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), INPE- São José dos Campos.

SIQUEIRA, J.R.; MACHADO, L.A.T. Influence of the Frontal Systems on the Day-to-Day Convection Variability over South America. **Journal of Climate**, v.17, p.1754-1766, 2004.

SIQUEIRA J.R.; MARQUES V.S. Occurrence frequencies and trajectories of mesoscale convective systems over southeast Brazil related to cold frontal and non-frontal incursions. **Australian Meteorological Magazine**, v.57, p.345-357, 2008.

SIQUEIRA, J.R.; ROSSOW. W.B.; MACHADO, L.A.T.; PEARL, C. Structural Characteristics of Convective Systems over South America Related to Cold-Frontal Incursions. **Monthly Weather Review**, v. 133, p.1045-1064, 2005.

SUGAHARA S, ROCHA RP; RODRIGUES ML. Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8:1994, Belo Horizonte, MG, **Anais do ...** Belo Horizonte: SBMet, 1994, 2: 573-577, 1994.

TOLLERUD, E.I.; RODGERS, D.M. The seasonal and diurnal cycle of mesoscale convection and precipitation in the central United States: Interpreting a 10-year satellite-based climatology of mesoscale convective complexes. **Preprints**, Conf. on Applied Meteorology, 7, Salt Lake City, Utah, 1991.

TORRES, J.C. **Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en el norte y centro de Argentina**. Tese de doutorado. FCEyN-UBA, 2003.

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

VERA, C.S.; VIGLIAROLO, P.K. A diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. **Monthly Weather Review**, v.128, n.1, p.3-24. 2000.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; BURGOBRAGA, R.; FERREIRA, N.J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between october and december of 2003 and associated precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, 276-291, 2009.

VILA, D.A. **Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy mesoscale convective systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)**. 2004. Ph.D. thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 132 pp.

VILA, D.A.; MACHADO, L.A.T.; VELASCO, I.; MACEDO, S.R. Los sistemas convectivos de mesoescala sobre la cuenca Del Plata: La técnica FORTRACC. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 2004a, Brasilia-DF. **Anais do...** Brasilia-DF, 2004a.

VILA, D.A.; MACHADO, L.A.T.; VELASCO, I. Some relationships between mesoscale convective systems life cycle and observed rainfall over del Plata Basin. CGMS/IPWG Workshop-International Precipitation Working Group, 2. 2004b, Montrey. CA. **Eumetsat**, 2004b. v. EU-p44. p. 276-283.

VILA, D.; MACHADO L.A.T. A technique for forecasting and tracking active convective cells: An application to mesoscale convective systems over del Plata basin. WORLD WEATHER RESEARCH PROGRAMME'S SYMPOSIUM ON NOWCASTING AND VERY SHORT RANGE FORECASTING (WSN05), 2005, Toulouse. **Anais do ...** Toulouse, França, 2005.

VILA, D.A.; MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. **Weather and Forecasting**, v. 23, p.233–245, 2008.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over south america estimated from clouds winds. **Monthly Weather Review**, 1981. v.109, p.167-178.

WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V. Atmospheric science: an introductory survey. **Academic Press, Inc**, 2nd ed., p.365, 2006.

WILLIAMS, M.; HOUZE, R.A. Satellite-observed characteristics of winter monsoon cloud clusters. **Monthly Weather Review**, v.115, p.505–519, 1987.

ZIPSER, E.J.; SALIO, P.; NICOLI, M. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. **CLIVAR, Exchanges –Scientific Contributions**. n. 29, march 2004.

## **Apêndices**

**APÊNDICE A.1- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JAN, FEV e MAR de 2004**

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	34	1,5	1	25	3	1	26	3
2	35	1,5	2	33	3	2	13	5,5
3	23	4,5	3	23	8	3	20	4
4	22	3	4	24	3	4	22	3
5	34	2	5	24	3	5	21	3
6	36	1,5	6	29	3	6	31	3
7	28	5	7	32	2,5	7	33	3
8	35	1,5	8	0	24,0	8	30	3
9	36	1,5	9	0	24,0	9	30	3
10	36	1,5	10	0	24,0	10	28	3
11	35	1,5	11	0	24,0	11	24	8
12	34	2	12	0	24,0	12	32	3
13	23	6	13	0	24,0	13	33	3
14	28	6	14	0	24,0	14	32	3
15	34	1,5	15	0	24,0	15	33	3
16	33	2	16	0	24,0	16	30	3
17	34	1,5	17	0	24,0	17	33	3
18	34	1,5	18	2	17,5	18	29	3
19	34	1,5	19	33	2,5	19	29	3
20	35	1,5	20	32	2,5	20	30	3
21	36	1,5	21	34	2,5	21	32	3
22	36	1,5	22	33	2,5	22	32	3
23	36	1,5	23	33	2,5	23	32	3
24	18	12,5	24	34	2,5	24	32	3
25	35	2	25	34	2,5	25	31	3
26	35	1,5	26	34	2,5	26	24	3,5
27	36	1,5	27	32	2,5	27	4	14
28	35	1,5	28	32	3	28	10	13
29	35	1,5	29	26	3	29	30	3
30	35	1,5				30	32	3
31	36	1,5				31	32	3



**APÊNDICE A.2- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para ABR, MAI e JUN de 2004**

ABRIL			MAIO			JUNHO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	30	3	1	28	3	1	29	3
2	31	3	2	26	6,5	2	25	3
3	28	3	3	28	7	3	32	3
4	33	3	4	35	1,5	4	23	3
5	33	3	5	36	1,5	5	34	1,5
6	32	3	6	27	3	6	29	3
7	32	3	7	34	1,5	7	21	3
8	20	6	8	27	3	8	22	3
9	31	3	9	19	3	9	17	3
10	31	3	10	24	3	10	25	3
11	29	3	11	25	3	11	24	3
12	26	3	12	27	3	12	24	3
13	24	3	13	14	6	13	22	3
14	32	3	14	27	3	14	24	3
15	26	4	15	24	6,5	15	27	3
16	27	7	16	31	2	16	27	3
17	30	3	17	31	3	17	24	3
18	18	5	18	27	3	18	23	3
19	31	3	19	23	3	19	32	3
20	29	3	20	20	3	20	35	1,5
21	22	4	21	19	3	21	31	3
22	23	3	22	21	3	22	27	3
23	24	3	23	17	3	23	30	3
24	21	3	24	22	3	24	26	3
25	24	3	25	33	2	25	22	3,5
26	24	3	26	27	3	26	13	9
27	35	1,5	27	24	3	27	34	2
28	30	3	28	30	3	28	27	3
29	24	3	29	24	3	29	24	3
30	29	3	30	17	3	30	25	3
			31	22	3			

**APÊNDICE A.3- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JUL, AGO e SET de 2004**

JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	25	3	1	27	3	1	11	5
2	28	3	2	23	3	2	11	5
3	29	3	3	27	3	3	11	5
4	22	3	4	23	3	4	11	5
5	26	3	5	22	3	5	10	5,5
6	13	3	6	26	3	6	13	5
7	31	3	7	33	1,5	7	11	9,5
8	27	6,5	8	28	3	8	31	3
9	33	3	9	27	3	9	31	3
10	35	1,5	10	23	3	10	26	3
11	32	3	11	19	3	11	22	3
12	31	3	12	8	3	12	6	11
13	25	3	13	10	3	13	13	5
14	19	3,5	14	13	3	14	13	5
15	26	3	15	28	3	15	13	5
16	8	3	16	25	6	16	13	5
17	32	3	17	27	3	17	31	4
18	35	1,5	18	27	3	18	31	4
19	27	3	19	19	3	19	29	4
20	29	3	20	34	3	20	32	4
21	26	3	21	28	3	21	29	4
22	24	3	22	33	3	22	31	4
23	30	3	23	25	3	23	21	4
24	36	1,5	24	33	3	24	16	4
25	35	1,5	25	22	3	25	15	4
26	31	2	26	18	8	26	14	4
27	35	1,5	27	20	3	27	7	6
28	35	1,5	28	33	3	28	20	9
29	36	1,5	29	17	3	29	31	4
30	36	1,5	30	22	3	30	31	4
31	35	2	31	18	4			

**APÊNDICE A.4- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para OUT, NOV e DEZ de 2004**

OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	23	4	1	20	7,5	1	35	1,5
2	28	4	2	34	1,5	2	35	1,5
3	27	4	3	34	1,5	3	35	1,5
4	31	4	4	36	1,5	4	35	1,5
5	30	4	5	38	2	5	34	1,5
6	25	6,5	6	37	2	6	24	3
7	23	6	7	35	1,5	7	35	1,5
8	25	4	8	33	1,5	8	35	1,5
9	30	3	9	33	2	9	26	3
10	33	3	10	34	1,5	10	28	3
11	30	3	11	36	1,5	11	34	1,5
12	33	3	12	35	1,5	12	34	1,5
13	33	3	13	36	1,5	13	24	3
14	34	2	14	36	1,5	14	18	8
15	33	2	15	34	2	15	23	3
16	31	4,5	16	35	1,5	16	46	1
17	31	4,5	17	36	1,5	17	45	1
18	22	3	18	23	8	18	48	0,5
19	34	2	19	34	2	19	47	1
20	33	2	20	34	2	20	48	0,5
21	34	2	21	35	1,5	21	48	0,5
22	28	3	22	35	1,5	22	48	0,5
23	21	3	23	25	3	23	48	0,5
24	31	3	24	18	6,5	24	48	0,5
25	26	3	25	33	2	25	48	0,5
26	34	2	26	35	1,5	26	47	1
27	32	2	27	35	1,5	27	47	1
28	30	2	28	35	1,5	28	47	1
29	26	3	29	35	1,5	29	47	1
30	25	3	30	35	1,5	30	47	1
31	21	3				31	47	1

**APÊNDICE A.5- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JAN, FEV e MAR de 2005**

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	33	2	1	39	2	1	35	2,5
2	25	3	2	37	2	2	35	1,5
3	28	3	3	39	1,5	3	32	1,5
4	30	2	4	42	1	4	35	1,5
5	32	1,5	5	39	1,5	5	36	1,5
6	31	2,5	6	38	1,5	6	35	1,5
7	22	8,5	7	38	1,5	7	32	1,5
8	26	4,5	8	38	1,5	8	25	3
9	22	8	9	41	1	9	25	3
10	21	8,5	10	39	1,5	10	32	3
11	21	8,5	11	38	2	11	21	8
12	17	12,5	12	40	1,5	12	26	3
13	30	2	13	34	2	13	27	3
14	23	8	14	30	2	14	32	3
15	28	2,5	15	37	1,5	15	34	3
16	29	2,5	16	38	1,5	16	27	3
17	28	2	17	36	2,5	17	20	4
18	22	8,5	18	35	2,5	18	21	6
19	26	7,5	19	39	2	19	25	4
20	31	2,5	20	37	2	20	27	3,5
21	22	8	21	34	2,5	21	14	6,5
22	29	2,5	22	32	1,5	22	9	4
23	24	8,5	23	38	1,5	23	26	4
24	24	8,5	24	39	1,5	24	29	3,5
25	30	1,5	25	35	2	25	32	3,5
26	27	4	26	34	1,5	26	21	3,5
27	25	4,5	27	24	3	27	16	6
28	21	5,5	28	20	4	28	25	4,5
29	23	3				29	30	3,5
30	21	6				30	12	4,5
31	21	3				31	12	5

**APÊNDICE A.6- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para ABR, MAI e JUN de 2005**

ABRIL			MAIO			JUNHO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	19	3,5	1	38	3,5	1	11	6,5
2	18	4	2	36	3	2	18	10
3	22	4	3	29	4	3	15	9
4	23	3	4	35	5,5	4	5	9,5
5	23	3	5	44	1	5	7	7,5
6	18	3,5	6	36	3	6	4	11
7	27	3,5	7	35	3	7	8	5,5
8	31	4	8	24	4,5	8	6	13
9	33	3	9	34	3	9	4	10,5
10	24	3	10	28	3	10	6	6,5
11	18	3	11	22	5	11	4	9
12	34	2,5	12	33	3	12	7	9
13	36	2,5	13	21	3	13	22	3
14	35	3	14	30	3	14	15	7,5
15	34	3	15	31	3	15	14	8
16	32	3	16	44	1	16	16	7
17	35	2,5	17	36	3	17	31	3,5
18	34	2,5	18	28	3	18	37	2
19	29	3	19	23	3	19	30	3
20	19	3	20	34	3	20	34	3
21	20	3	21	21	3	21	30	3
22	21	3	22	24	6	22	40	1
23	13	3,5	23	22	11,5	23	35	4
24	34	2,5	24	34	3	24	23	3
25	37	2,5	25	34	3	25	25	3
26	38	2,5	26	36	3	26	19	4
27	40	2,5	27	43	1	27	24	3
28	36	2,5	28	45	1	28	24	3
29	17	3,5	29	45	1	29	21	6
30	25	6	30	45	1	30	21	6
			31	26	6			

**APÊNDICE A.7- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JUL, AGO e SET de 2005**

JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	21	6	1	31	1,5	1	34	3
2	39	1,5	2	28	3	2	36	2,5
3	31	3	3	26	3	3	38	2,5
4	14	6	4	16	3	4	38	3
5	28	5	5	8	3	5	34	3,5
6	35	3	6	24	3	6	24	3,5
7	23	6	7	36	1,5	7	12	4
8	7	6	8	30	3	8	13	4
9	7	6	9	31	3	9	14	4
10	7	6	10	37	1,5	10	14	4
11	19	6	11	40	1,5	11	14	4
12	37	2,5	12	26	3	12	21	3,5
13	34	2,5	13	11	3	13	11	9
14	36	3	14	41	2	14	13	4
15	29	4,5	15	40	2,5	15	13	4
16	25	7	16	40	2,5	16	14	4
17	12	12,5	17	30	3	17	16	4
18	15	7,5	18	28	3	18	14	4
19	3	12	19	22	3	19	19	3,5
20	9	9,5	20	24	3	20	14	4
21	36	1,5	21	39	2,5	21	14	4
22	31	4,5	22	29	3	22	14	4
23	22	6	23	20	3	23	14	4
24	21	6	24	13	3	24	14	4
25	21	6	25	15	3	25	14	4
26	18	4	26	20	3	26	36	3,5
27	22	3	27	9	3	27	35	3,5
28	34	2	28	9	3	28	23	3,5
29	33	3	29	9	3	29	35	3,5
30	27	3	30	24	3	30	34	3,5
31	30	3	31	32	3			

**APÊNDICE A.8- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para OUT, NOV e DEZ de 2005**

OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	33	3,5	1	36	1,5	1	41	1,5
2	35	3,5	2	40	1	2	41	1,5
3	37	3,5	3	34	2	3	42	1,5
4	35	3,5	4	31	2	4	40	1,5
5	30	3,5	5	29	3	5	29	3
6	31	3	6	25	3	6	38	1,5
7	20	4,5	7	36	2	7	40	1,5
8	33	4	8	33	2,5	8	39	2,5
9	37	2,5	9	16	3	9	39	2
10	36	2,5	10	27	3,5	10	39	1,5
11	35	2,5	11	29	3	11	40	1,5
12	36	2,5	12	24	3	12	39	1,5
13	39	3	13	32	3	13	40	1,5
14	32	3	14	33	1,5	14	36	2,5
15	34	2,5	15	8	3	15	39	1,5
16	32	3	16	21	3	16	42	1
17	24	3,5	17	37	2	17	29	5,5
18	7	9,5	18	39	2	18	42	1
19	9	3,5	19	24	3	19	40	1,5
20	10	3	20	8	3	20	24	8
21	10	3	21	36	1,5	21	32	3
22	10	3	22	39	2	22	35	2
23	10	3	23	39	2	23	36	2
24	10	3	24	35	1,5	24	38	1,5
25	33	2	25	40	1,5	25	24	3
26	34	2	26	38	1,5	26	40	1,5
27	36	2	27	26	3	27	36	1,5
28	35	2	28	24	3	28	15	11,5
29	34	1,5	29	34	2	29	31	3
30	35	1,5	30	41	1,5	30	22	10
31	34	1,5				31	38	1,5

**APÊNDICE A.9- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JAN, FEV e MAR de 2006**

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	31	3	1	26	3	1	28	3
2	18	9,5	2	34	1,5	2	33	3
3	35	2,5	3	30	2,5	3	35	3
4	38	1,5	4	38	1,5	4	33	3
5	32	2	5	39	1,5	5	32	3
6	35	2	6	37	1,5	6	35	3
7	33	3	7	29	4	7	30	3
8	37	1,5	8	28	5	8	24	3
9	35	1,5	9	39	2,5	9	16	3
10	35	1,5	10	36	2	10	29	3
11	36	1,5	11	35	1,5	11	22	3
12	32	3,5	12	35	2	12	21	3
13	24	3	13	35	2	13	15	3
14	15	3,5	14	29	2,5	14	32	3
15	25	3	15	33	2,5	15	33	3
16	30	3,5	16	27	3	16	16	12
17	39	1,5	17	29	3	17	30	3,5
18	33	3	18	36	2,5	18	32	3,5
19	33	3	19	34	2,5	19	33	3,5
20	35	2	20	33	2,5	20	21	3,5
21	27	5	21	34	2,5	21	33	3,5
22	39	1,5	22	35	2,5	22	33	3,5
23	29	3,5	23	35	2,5	23	35	3,5
24	38	2,5	24	33	2,5	24	34	3,5
25	32	3	25	33	2,5	25	28	3,5
26	37	1,5	26	34	2,5	26	31	3,5
27	37	3	27	34	2,5	27	32	3,5
28	35	3	28	34	2,5	28	29	3,5
29	35	2,5				29	31	3,5
30	39	1,5				30	23	3,5
31	30	4,5				31	24	3,5



**APÊNDICE A.10- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para ABR, MAI e JUN de 2006**

ABRIL			MAIO			JUNHO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	16	4	1	29	3	1	31	3
2	15	4	2	30	3	2	40	1,5
3	15	3	3	27	3	3	37	1,5
4	23	3,5	4	21	4	4	37	1,5
5	20	6	5	18	3	5	30	3
6	8	5	6	28	3,5	6	23	3
7	8	5	7	26	3	7	25	3
8	18	4	8	34	3	8	32	3
9	34	2,5	9	24	3,5	9	35	3
10	29	2,5	10	21	3	10	20	3
11	24	3	11	15	6	11	8	3
12	30	3	12	26	3	12	8	3
13	26	2,5	13	28	2	13	8	3
14	19	3,5	14	28	3	14	8	3
15	17	3,5	15	34	2	15	42	1,5
16	16	4	16	36	2	16	40	2
17	17	3	17	30	3	17	38	1,5
18	24	4,5	18	37	1,5	18	26	3
19	17	7	19	37	1,5	19	27	3
20	27	2,5	20	30	3	20	28	6
21	25	3	21	22	5	21	21	3,5
22	18	3	22	28	6	22	24	3
23	24	3	23	33	3	23	35	3
24	16	6	24	26	6	24	38	1,5
25	25	5,5	25	16	5,5	25	40	1,5
26	20	3,5	26	22	3	26	38	1,5
27	28	3	27	24	3	27	30	3
28	21	4	28	26	6,5	28	24	3
29	27	3	29	37	1,5	29	27	3
30	33	3	30	42	1,5	30	34	2,5
			31	39	1,5			

**APÊNDICE A.11- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JUL, AGO e SET de 2006**

JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	23	3	1	18	3	1	16	3
2	18	3	2	8	3	2	30	2,5
3	21	5,5	3	8	3	3	34	2,5
4	22	3	4	8	3	4	33	3,5
5	31	2,5	5	8	3	5	33	3
6	22	3	6	28	3	6	34	3
7	37	1,5	7	36	1,5	7	23	3,5
8	33	1,5	8	30	3	8	26	3,5
9	22	3	9	27	3	9	22	3,5
10	32	3	10	16	3	10	28	3,5
11	36	1,5	11	25	3	11	29	4
12	31	1,5	12	28	3	12	25	3,5
13	24	3	13	34	2	13	28	4
14	19	3	14	35	2	14	32	3,5
15	29	3	15	35	2,5	15	26	3,5
16	30	3	16	29	3	16	17	4
17	25	4	17	25	3	17	25	4
18	19	3	18	16	3	18	35	3,5
19	8	3	19	29	3	19	31	3,5
20	8	3	20	24	4,5	20	30	3,5
21	8	3	21	31	3,5	21	27	3,5
22	20	3	22	24	6,5	22	24	3,5
23	27	3	23	14	5	23	18	4
24	28	3	24	19	6	24	25	4
25	33	3	25	26	3	25	35	3,5
26	29	3	26	31	2,5	26	31	3,5
27	32	1,5	27	27	2,5	27	22	3,5
28	28	3	28	11	3	28	24	4
29	19	3	29	16	3	29	26	4
30	12	4	30	12	3	30	32	3,5
31	29	3	31	13	3			

**APÊNDICE A.12- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para OUT, NOV e DEZ de 2006**

OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	34	3,5	1	31	3,5	1	30	3
2	28	3,5	2	34	1,5	2	33	2
3	18	3,5	3	37	2	3	40	1,5
4	29	3,5	4	38	1,5	4	38	2,5
5	29	3,5	5	30	3,5	5	36	2
6	34	3	6	35	3	6	38	1,5
7	33	2,5	7	31	3,5	7	38	1,5
8	33	3	8	32	3	8	36	3
9	32	2,5	9	30	3	9	35	3
10	30	2,5	10	34	1,5	10	32	3
11	35	2,5	11	25	9	11	37	1,5
12	30	3	12	29	3	12	26	7,5
13	32	2,5	13	35	1,5	13	31	3,5
14	32	2,5	14	24	6,5	14	30	3
15	31	3	15	7	5,5	15	30	2,5
16	27	3	16	8	3	16	28	3
17	30	3	17	32	3	17	27	2,5
18	31	3	18	32	3,5	18	26	3
19	32	2	19	33	5,5	19	35	2
20	34	2	20	37	3	20	32	2
21	35	2	21	36	2	21	35	1,5
22	33	2	22	33	3	22	32	3
23	29	2	23	39	1,5	23	38	1,5
24	31	2,5	24	40	1,5	24	37	2
25	32	2	25	38	2	25	36	1,5
26	35	2	26	38	1,5	26	36	1,5
27	32	2	27	39	1,5	27	38	1,5
28	33	2	28	35	2	28	36	2,5
29	38	1,5	29	36	2	29	41	1
30	34	1,5	30	35	3	30	38	1,5
31	32	2				31	37	2

**APÊNDICE A.13- Conjunto de imagens do satélite GOES 12 existente para JAN, FEV e MAR de 2007**

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	38	2	1	38	1,5	1	12	3
2	24	7,5	2	31	3	2	20	3
3	36	2	3	37	1,5	3	31	3
4	38	1,5	4	36	2	4	32	3
5	32	3	5	38	2	5	30	3
6	30	3	6	38	1,5	6	19	11
7	37	1,5	7	35	1,5	7	24	5,5
8	38	1,5	8	42	1	8	23	7,5
9	32	3	9	38	1,5	9	28	3
10	31	2	10	39	1,5	10	26	4,5
11	37	2	11	35	1,5	11	30	3
12	36	2	12	40	1	12	31	3
13	34	2	13	30	3,5	13	29	4
14	36	1,5	14	29	2,5	14	29	3
15	36	2	15	35	2,5	15	13	12,5
16	34	3	16	36	2,5	16	29	3
17	33	3	17	38	2,5	17	29	3
18	35	1,5	18	31	2,5	18	28	3
19	38	1,5	19	32	2,5	19	21	3
20	37	1,5	20	23	6,5	20	26	3
21	38	1,5	21	22	3	21	28	3
22	36	3	22	28	5,5	22	24	4
23	39	1	23	29	3	23	19	6,5
24	38	1,5	24	25	3	24	20	4
25	34	3,5	25	24	3	25	23	3
26	37	2,5	26	28	2,5	26	27	4
27	38	2,5	27	27	3	27	28	3
28	36	1,5	28	25	3	28	26	3
29	38	1,5				29	18	10
30	34	3				30	24	4
31	34	3,5				31	25	2,5

**APÊNDICE A.14- Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para ABR, MAI e JUN de 2007**

ABRIL			MAIO			JUNHO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	26	2,5	1	31	2,5	1	32	1,5
2	28	2,5	2	32	2,5	2	31	2
3	27	2,5	3	29	2,5	3	32	2
4	27	2,5	4	31	2,5	4	34	2
5	31	2,5	5	29	2,5	5	31	2,5
6	30	2,5	6	27	2,5	6	18	9
7	30	2	7	31	2,5	7	32	1,5
8	31	1,5	8	29	2,5	8	29	4
9	30	2,5	9	30	4	9	30	2
10	32	3	10	28	2,5	10	31	2
11	28	2,5	11	28	2,5	11	31	1,5
12	25	7	12	30	2,5	12	32	1,5
13	23	3	13	30	1,5	13	26	4
14	27	3	14	29	2	14	17	6,5
15	31	2,5	15	33	1,5	15	22	6,5
16	31	2,5	16	31	1,5	16	21	9,5
17	34	2,5	17	34	2	17	20	9
18	34	2,5	18	31	1,5	18	18	8,5
19	29	3	19	26	3	19	13	10,5
20	31	2,5	20	26	2,5	20	21	5,5
21	32	2,5	21	29	2,5	21	28	1,5
22	30	2,5	22	28	2	22	34	1,5
23	29	3	23	32	1,5	23	32	2
24	30	2,5	24	31	1,5	24	33	1,5
25	27	4,5	25	31	1,5	25	27	5,5
26	32	2,5	26	32	2	26	32	1,5
27	29	2,5	27	29	1,5	27	34	1,5
28	26	2,5	28	29	2,5	28	34	1,5
29	30	2,5	29	32	1,5	29	30	1,5
30	32	2,5	30	32	1,5	30	33	1,5
			31	30	2			

**APÊNDICE A.15- Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para JUL, AGO e SET de 2007**

JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	32	1,5	1	28	2,5	1	16	13
2	23	6,5	2	32	2	2	33	2,5
3	34	1,5	3	29	3,5	3	23	9,5
4	26	3,5	4	29	2,5	4	27	2,5
5	31	1,5	5	31	1,5	5	28	2,5
6	34	1,5	6	30	2,5	6	31	2,5
7	35	1,5	7	31	2,5	7	33	2,5
8	24	4	8	26	4,5	8	23	8,5
9	23	5	9	22	4,5	9	33	2,5
10	15	8,5	10	25	4	10	11	11
11	34	1,5	11	34	1,5	11	31	2,5
12	18	4,5	12	30	2	12	32	3
13	32	2,5	13	33	1,5	13	27	3
14	24	4	14	35	1,5	14	31	3
15	23	5	15	36	1	15	31	3
16	24	3	16	35	1,5	16	32	3
17	20	6,5	17	35	1,5	17	32	3
18	29	2	18	35	1,5	18	30	3
19	30	2,5	19	35	1,5	19	26	3
20	22	5	20	34	2	20	29	3
21	31	1,5	21	28	6	21	30	3
22	28	2,5	22	31	3,5	22	30	3,5
23	29	2,5	23	29	5,5	23	28	3,5
24	29	2,5	24	36	1	24	29	3
25	33	1,5	25	35	1,5	25	30	3
26	26	3,5	26	35	1,5	26	31	3
27	28	2,5	27	33	2	27	30	3
28	32	1,5	28	33	2	28	27	3
29	30	1,5	29	33	2,5	29	17	11,5
30	28	2,5	30	31	2,5	30	30	3
31	32	2	31	31	2,5			

**APÊNDICE A.16- Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para OUT, NOV e DEZ de 2007**

OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	19	4	1	21	12,5	1	0	24,0
2	23	13,5	2	23	13,5	2	0	24,0
3	30	13,5	3	26	11,0	3	0	24,0
4	31	13,5	4	23	12,5	4	0	24,0
5	45	10	5	22	13,0	5	3	17,5
6	49	9,75	6	22	13,0	6	20	2,5
7	74	2,5	7	21	13,5	7	21	7
8	74	2,5	8	32	8,0	8	18	5,5
9	79	2,5	9	28	10,0	9	19	5,5
10	71	2,5	10	35	6,5	10	25	3
11	73	2,5	11	34	7,0	11	22	7
12	71	2,75	12	27	10,5	12	27	3
13	72	2,75	13	33	7,5	13	23	3
14	69	2,75	14	35	6,5	14	24	3
15	73	2,25	15	29	9,5	15	24	3
16	60	3,75	16	36	6,0	16	22	7,5
17	18	16,75	17	36	6,0	17	19	4
18	69	2,25	18	36	6,0	18	20	6
19	75	2,25	19	35	6,5	19	14	11
20	76	2,25	20	20	14,0	20	24	5,5
21	76	2,25	21	20	11,5	21	21	3,5
22	72	2,25	22	0	24,0	22	17	9
23	75	2,25	23	0	24,0	23	20	9
24	71	2,25	24	0	24,0	24	22	5,5
25	76	2,25	25	5	21,5	25	10	14
26	76	2,25	26	33	7,5	26	21	4,5
27	76	2,25	27	34	7,0	27	19	9,5
28	75	2,25	28	33	7,5	28	18	9,5
29	74	2,25	29	30	9,0	29	17	10
30	75	2,25	30	34	7,0	30	18	10
31	69	2,25				31	19	5

**APÊNDICE A.17 - Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para JAN, FEV e MAR de 2008**

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	19	5	1	17	9,5	1	19	10,5
2	22	4	2	17	9,5	2	24	5,5
3	20	5	3	18	9,5	3	26	3
4	20	5	4	20	4,5	4	26	3
5	21	5,5	5	13	13,5	5	26	3
6	26	2,5	6	18	9,5	6	27	3
7	18	10,5	7	17	9,5	7	16	10
8	20	5	8	18	9,5	8	0	24,0
9	21	5,5	9	18	9,5	9	0	24,0
10	19	5	10	18	9,5	10	0	24,0
11	19	5	11	16	6	11	0	24,0
12	20	5	12	3	23	12	0	24,0
13	18	10,5	13	18	10,5	13	0	24,0
14	19	6,5	14	17	11	14	0	24,0
15	20	4	15	18	9,5	15	0	24,0
16	17	6	16	16	10	16	0	24,0
17	18	10,5	17	17	10	17	0	24,0
18	18	10,5	18	16	10,5	18	0	24,0
19	18	8	19	18	9	19	0	24,0
20	17	10	20	17	9,5	20	0	24,0
21	18	10	21	18	10	21	0	24,0
22	10	10	22	17	10	22	0	24,0
23	18	10,5	23	17	9	23	0	24,0
24	18	8,5	24	17	9,5	24	0	24,0
25	18	10,5	25	17	10	25	0	24,0
26	17	10,5	26	16	10	26	0	24,0
27	18	6	27	17	10	27	0	24,0
28	18	9	28	17	9,5	28	0	24,0
29	27	1,5	29	20	7	29	0	24,0
30	22	2,5				30	0	24,0
31	19	5				31	0	24,0



**APÊNDICE A.18 - Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para ABR, MAI e JUN de 2008**

ABRIL			MAIO			JUNHO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	75	2	1	83	0,75	1	58	1
2	76	2	2	82	0,75	2	59	1,25
3	77	1,75	3	83	0,75	3	63	1,25
4	77	1,75	4	82	0,75	4	68	1,25
5	77	1,75	5	79	1	5	76	1
6	67	3,75	6	83	0,75	6	71	1
7	78	0,75	7	83	0,75	7	63	1,25
8	54	3,5	8	83	0,75	8	66	1,25
9	76	0,75	9	83	0,75	9	67	1,25
10	83	0,75	10	82	0,75	10	50	6,75
11	83	0,75	11	82	0,75	11	57	3
12	83	0,75	12	83	0,75	12	68	1
13	83	0,75	13	83	0,75	13	68	1,25
14	83	0,75	14	83	0,75	14	65	1,25
15	83	0,75	15	83	0,75	15	68	1
16	81	1	16	83	0,75	16	63	1
17	81	1	17	83	0,75	17	65	1
18	83	0,75	18	82	0,75	18	63	1
19	83	0,75	19	83	0,75	19	63	1,25
20	83	0,75	20	82	0,75	20	42	7
21	83	0,75	21	83	0,75	21	66	1
22	83	0,75	22	83	0,75	22	65	1,25
23	83	0,75	23	83	0,75	23	67	1,25
24	83	0,75	24	83	0,75	24	64	1
25	83	0,75	25	82	0,75	25	67	0,75
26	83	0,75	26	82	0,75	26	68	1
27	79	1,5	27	83	0,75	27	63	1,25
28	83	0,75	28	83	0,75	28	64	1,25
29	83	0,75	29	81	0,75	29	60	1,5
30	77	1,5	30	68	1,5	30	63	1
			31	56	1			

**APÊNDICE A.19 - Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para JUL, AGO e SET de 2008**

JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	70	1	1	64	2,5	1	33	11
2	64	1,25	2	68	1,25	2	54	3
3	65	1,25	3	65	1	3	46	4,25
4	64	1	4	61	1	4	58	3,75
5	71	1	5	66	1,25	5	53	2,75
6	62	1,25	6	64	1,25	6	58	3
7	63	1,25	7	56	2,75	7	56	3,5
8	62	1	8	65	1	8	54	2,75
9	62	1,25	9	72	1	9	55	3
10	68	1	10	65	1	10	54	3,5
11	61	1,25	11	68	1,25	11	59	2,75
12	65	1	12	71	1	12	58	3,5
13	72	0,75	13	67	1	13	54	2,75
14	68	1	14	64	1	14	60	3,75
15	62	1,25	15	65	1	15	49	4
16	67	1	16	66	1,25	16	63	2,75
17	43	8,75	17	64	1	17	57	2,75
18	30	14,25	18	46	2,75	18	44	5,75
19	59	2,5	19	68	1	19	55	2,5
20	73	0,75	20	50	6,25	20	58	2,5
21	67	1,25	21	59	2,75	21	64	3,25
22	74	1	22	60	1,25	22	50	2,5
23	80	0,75	23	67	1,5	23	52	2,75
24	56	2,5	24	60	2,75	24	58	3
25	64	1	25	57	3,5	25	59	3,75
26	64	1	26	64	2	26	59	2,5
27	70	0,75	27	75	2	27	58	2,75
28	69	1	28	75	2	28	63	3,25
29	63	1	29	62	2	29	55	2,5
30	67	1	30	60	2	30	50	2,75
31	60	1,25	31	59	2			

**APÊNDICE A.20 - Conjunto de imagens do satélite GOES 10 existente para OUT, NOV e DEZ de 2008**

OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)		Imagens existentes	Intervalo max. sem IS (h)
1	18	15,75	1	54	1	1	81	1
2	62	2,25	2	51	1,5	2	80	1,25
3	71	2,25	3	54	1,5	3	83	0,75
4	54	4	4	52	1,5	4	83	0,75
5	61	3,25	5	45	1,75	5	83	0,75
6	59	2,25	6	42	2,25	6	83	0,75
7	65	2,25	7	58	3,25	7	83	0,75
8	59	2	8	67	1,25	8	73	3,5
9	52	2,25	9	62	1	9	83	0,75
10	57	2,25	10	65	1,25	10	83	0,75
11	53	2,25	11	66	1,5	11	83	0,75
12	62	2	12	83	0,75	12	83	0,75
13	67	2	13	59	6,5	13	83	0,75
14	26	10,25	14	83	0,75	14	83	0,75
15	39	2,75	15	83	0,75	15	83	0,75
16	46	2,25	16	81	1	16	70	2,75
17	51	2,25	17	78	1,5	17	83	0,75
18	42	2	18	82	0,75	18	83	0,75
19	49	2,25	19	83	0,75	19	83	0,75
20	44	2	20	83	0,75	20	78	2
21	49	2	21	83	0,75	21	83	0,75
22	54	1,75	22	83	0,75	22	83	0,75
23	42	1,75	23	83	0,75	23	83	0,75
24	49	2	24	83	0,75	24	83	0,75
25	52	2,5	25	76	2	25	83	0,75
26	41	4,5	26	83	0,75	26	83	0,75
27	56	1,25	27	79	0,75	27	83	0,75
28	54	2	28	83	0,75	28	83	0,75
29	32	7,5	29	83	0,75	29	91	0,75
30	44	2,75	30	81	0,75	30	80	0,75
31	47	1				31	82	0,75

## APÊNDICE B - Tempo de vida médio sazonal dos SCM que atingiram o RS

Trimestre	Tempo de vida médio (h)					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	11,45	16,95	12,42	11,55	10,26	12,53
AMJ	14,60	15,78	11,70	17,2	12,33	14,32
JAS	13,63	12,22	15,08	14,02	12,64	13,52
OND	13,10	15,93	15,25	12,78	9,49	13,31
<b>Média</b>	<b>13,20</b>	<b>15,22</b>	<b>13,61</b>	<b>13,89</b>	<b>11,18</b>	<b>13,42</b>

## APÊNDICE C.1 - Tamanho médio sazonal dos SCM que atingiram o RS

Trimestre	Tamanho médio (pixel)					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	9.101,40	31.825,20	9.566,30	9.683,00	4.705,80	12.976,34
AMJ	20.634,30	28.074,40	6.869,80	18.645,30	5.653,50	15.975,46
JAS	19.256,30	21.610,60	23.934,20	18.694,40	20.457,60	20.790,62
OND	25.840,60	18.779,70	19.320,50	15.440,10	9.557,60	17.787,70
<b>Média</b>	<b>18.708,15</b>	<b>25.072,48</b>	<b>14.922,70</b>	<b>15.615,70</b>	<b>10.093,63</b>	<b>16.882,53</b>

## APÊNDICE C.2 - Tamanho médio sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 6 e 12h

Trimestre	Tamanho médio (pixel)					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	2.969,40	12.770,20	5.420,20	3.244,40	3.497,10	5.580,26
AMJ	17.233,90	5.563,70	5.915,60	6.039,30	2.950,10	7.540,52
JAS	6.285,00	8.842,60	7.783,30	5.090,50	11.175,90	7.835,46
OND	8.036,20	2.902,70	4.194,60	8.290,20	4.309,50	5.546,64
<b>Média</b>	<b>8.631,13</b>	<b>7.519,80</b>	<b>5.828,43</b>	<b>5.666,10</b>	<b>5.483,15</b>	<b>6.625,72</b>

## APÊNDICE C.3 - Tamanho médio sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 12 e 24h

Trimestre	Tamanho médio (pixel)					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	15.880,20	56.860,70	15.668,10	19.076,80	10.311,70	23.559,50
AMJ	18.536,30	43.286,50	4.169,60	31.850,70	13.215,50	22.211,72
JAS	28.280,30	52.333,70	23.463,30	34.229,20	28.437,80	33.348,86
OND	29.117,20	28.824,60	19.620,00	31.290,50	30.550,00	27.880,46
<b>Média</b>	<b>22.953,50</b>	<b>45.326,38</b>	<b>15.730,25</b>	<b>29.111,80</b>	<b>20.628,75</b>	<b>26.750,14</b>

APÊNDICE C.4 - Tamanho médio sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração superior a 24h

Trimestre	Tamanho médio (pixel)					
	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
JFM	57.821,00	51.437,00	17.586,00	37.364,80	7.331,00	34.307,96
AMJ	38.431,70	68.398,10	20.776,50	34.554,50	14.312,00	35.294,56
JAS	86.931,50	74.676,00	89.166,00	79.033,00	156.908,00	97.342,90
OND	106.671,00	57.175,50	71.662,00	36.649,00	-	68.039,38
<b>Média</b>	<b>72.463,80</b>	<b>62.921,65</b>	<b>49.797,63</b>	<b>46.900,33</b>	<b>59.517,00</b>	<b>58.746,20</b>

APÊNDICE D.1 - Temperatura de brilho média sazonal dos SCM que atingiram o RS

Trimestre	Temperatura de brilho média (K)					
	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
JFM	210,1	205,5	209,1	209,3	215,8	210,0
AMJ	210,8	208,9	214,0	207,9	216,6	211,6
JAS	212,1	214,6	210,4	213,6	216,7	213,5
OND	209,1	209,3	206,5	210,4	214,3	209,9
<b>Média</b>	<b>210,5</b>	<b>209,6</b>	<b>210,0</b>	<b>210,3</b>	<b>215,9</b>	<b>211,3</b>

APÊNDICE D.2 - Temperatura de brilho média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 6 e 12h

Trimestre	Temperatura de brilho média (K)					
	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
JFM	213,1	211,0	210,1	213,3	217,3	213,0
AMJ	212,4	214,8	213,5	213,7	218,4	214,6
JAS	214,6	217,0	212,8	217,6	218,5	216,1
OND	212,4	215,2	212,6	211,9	217,2	213,9
<b>Média</b>	<b>213,1</b>	<b>214,5</b>	<b>212,3</b>	<b>214,1</b>	<b>217,9</b>	<b>214,4</b>

APÊNDICE D.3 - Temperatura de brilho média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 12 e 24h

Trimestre	Temperatura de brilho média (K)					
	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
JFM	206,7	196,0	209,2	202,8	210,8	205,1
AMJ	212,5	204,1	216,6	204,1	213,0	210,1
JAS	209,9	207,6	210,5	207,4	212,8	209,6
OND	210,0	200,6	202,3	204,3	202,8	204,0
<b>Média</b>	<b>209,8</b>	<b>202,1</b>	<b>209,7</b>	<b>204,7</b>	<b>209,9</b>	<b>207,2</b>

APÊNDICE D.4 - Temperatura de brilho média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração superior a 24h

Trimestre	Temperatura de brilho média (K)					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	188,0	203,0	196,5	195,5	201,0	196,8
AMJ	200,7	199,9	211,0	197,2	209,3	203,6
JAS	201,5	214,0	200,7	208,0	202,0	205,2
OND	190,0	207,5	194,0	210,8	-	200,6
<b>Média</b>	<b>195,1</b>	<b>206,1</b>	<b>200,6</b>	<b>202,9</b>	<b>204,1</b>	<b>201,6</b>

APÊNDICE E.1 - Excentricidade média sazonal dos SCM que atingiu o RS

Trimestre	Excentricidade média					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	0,544	0,567	0,554	0,593	0,630	0,578
AMJ	0,592	0,492	0,501	0,445	0,499	0,506
JAS	0,557	0,522	0,556	0,450	0,554	0,528
OND	0,568	0,505	0,504	0,578	0,633	0,558
<b>Média</b>	<b>0,565</b>	<b>0,522</b>	<b>0,529</b>	<b>0,517</b>	<b>0,579</b>	<b>0,542</b>

APÊNDICE E.2 - Excentricidade média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 6 e 12h

Trimestre	Excentricidade média					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	0,493	0,533	0,573	0,571	0,630	0,560
AMJ	0,586	0,493	0,525	0,432	0,493	0,506
JAS	0,527	0,500	0,548	0,443	0,520	0,508
OND	0,595	0,488	0,504	0,559	0,635	0,556
<b>Média</b>	<b>0,550</b>	<b>0,504</b>	<b>0,538</b>	<b>0,501</b>	<b>0,570</b>	<b>0,532</b>

APÊNDICE E.3 - Excentricidade média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração entre 12 e 24h

Trimestre	Excentricidade média					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	0,649	0,590	0,503	0,617	0,583	0,588
AMJ	0,570	0,487	0,522	0,426	0,508	0,503
JAS	0,623	0,583	0,640	0,467	0,714	0,605
OND	0,518	0,519	0,433	0,641	0,627	0,548
<b>Média</b>	<b>0,590</b>	<b>0,545</b>	<b>0,525</b>	<b>0,538</b>	<b>0,608</b>	<b>0,561</b>

APÊNDICE E.4 - Excentricidade média sazonal dos SCM que atingiram o RS com duração superior a 24h

Trimestre	Excentricidade média					
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2004-2008</b>
JFM	0,480	0,635	0,675	0,728	0,920	0,688
AMJ	0,663	0,500	0,270	0,512	0,528	0,495
JAS	0,535	0,550	0,477	0,400	0,400	0,472
OND	0,555	0,535	0,645	0,598	-	0,583
<b>Média</b>	<b>0,558</b>	<b>0,555</b>	<b>0,517</b>	<b>0,560</b>	<b>0,616</b>	<b>0,559</b>