



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA

ESTUDO DE UM SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA (SCM)
OBSERVADO NOS DIAS 19 E 20/02/2003
SOBRE O RIO GRANDE DO SUL

LUCIANA BARROS PINTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação da Prof^ª. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro de 2006

Dados de catalogação na fonte:

Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901

Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

P659e Pinto, Luciana Barros

Estudo de um sistema convectivo de mesoescala (SCM) observado nos dias 19 e 20/02/2003 sobre o Rio Grande do Sul / Luciana Barros Pinto ; orientador Claudia Rejane Jacondino de Campos. – Pelotas, 2006. – 84f. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2006.

1.Meteorologia. 2.Sistemas convectivos de mesoescala. 3.Ciclo de vida. 4.Ambiente sinótico. 5.Perfil vertical. I.Campos, Claudia Rejane Jacondino de. II.Título.

No fim tudo dá certo, se não deu certo é porque
ainda não chegou ao fim.

(Fernando Sabino)

Ao meu maior amor: minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e aos meus pais, José Raimundo Pinto Filho e Maria de Fátima Barros Pinto, que sempre foram meus exemplos de pessoas honestas e batalhadoras, pois sem o amor, incentivo, carinho e amizade deles, com certeza não chegaria até aqui.

À minha orientadora professora Dr^a Cláudia Rejane Jacondino de Campos, que desde a graduação me acompanha mostrando sempre o jeito mais claro de colocar minhas idéias, e que para mim é mais que uma professora é uma amiga que levarei para toda a vida.

Aos meus irmãos e amigos distantes pelo carinho e apoio.

À minha amiga Jeanine Falconi Acosta pela amizade de todos esses anos, pelas longas horas de conversas e risadas que sempre me serviram de refúgio.

Aos meus amigos Taís Pegoraro Scaglioni, Mateus Santin e Marcelo Félix Alonso, pela ajuda, paciência e amizade.

Ao Dr. Daniel Vila que teve um papel fundamental na elaboração desse trabalho, com a sua ajuda, disponibilidade e atenção.

Ao Celanir Borges de Farias Junior, funcionário do curso de Pós-Graduação, que sempre esteve pronto para ajudar.

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

Aos professores do Curso de Pós-Graduação por ensinamentos.

À banca examinadora pelas sugestões valiosas para o aprimoramento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

PINTO, LUCIANA BARROS. MS., Universidade Federal de Pelotas, Fevereiro 2006.
Estudo de um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) observado nos dias 19 e 20/02/2003 sobre o Rio Grande do Sul. Professora Orientadora: Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino de Campos.

Nesse trabalho, foi feito um estudo das características radiativas e morfológicas, utilizando a técnica ForTrACC (Vila, 2004) e um estudo do ambiente sinótico e dos perfis verticais de algumas variáveis, utilizando o modelo BRAMS, do caso de Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) mais precipitante sobre o Rio Grande do Sul, ocorrido entre novembro de 2002 a fevereiro de 2003. O caso selecionado foi o do dia 19 e 20/02/2003, onde apenas um sistema foi o responsável pela precipitação registrada nas estações meteorológicas em superfície. Esse teve o 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 também, que o sistema teve um comportamento semelhante ao modelo conceitual, onde primeiro

sofre uma forte convecção, atingindo valores menores de temperatura, para depois se expandir no estágio de maturação. Pode-se concluir que a relação entre a temperatura mínima sobre as estações que foram mais afetadas pelo sistema, e a precipitação registrada em superfície foi inversa, com os maiores valores de precipitação coincidindo com os menores valores de temperatura mínima. Pela simulação feita com o modelo BRAMS, com saídas de 1 em 1 hora, pode-se detalhar todo o ambiente sinótico onde o SCM encontrava-se durante seu ciclo de vida, sendo capaz de reproduzir as condições favoráveis para sua iniciação, desenvolvimento e dissipação. Também foi possível descrever o comportamento dos perfis verticais do vento, umidade específica, velocidade vertical e temperatura potencial equivalente, para cada etapa do ciclo de vida do sistema.

Palavras-chave: Sistemas convectivos de mesoescala, ciclo de vida, Ambiente Sinótico, Perfil Vertical.

ABSTRACT

PINTO, LUCIANA BARROS. MS., Federal University of Pelotas, February 2006. Study of a Convective Mesoscale System (CMS) observed on 19 and 20 February 2003 on Rio Grande do Sul state. Guiding teacher: Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino of Campos.

In this work, it was made a study of a Convective Mesoscale System(CMS) more precipitant on Rio Grande do Sul, occurred between November 2002 and February of 2003, where it was analyzed the: i) radioactive and morphologic characteristics the CMS, using the technique ForTrACC (Torres, 2004) and ii) sinoptic environment and vertical profiles of some meteorological variables, using BRAMS model. The selected case occurred on 19 and 20 February 2003, where just one system was the responsible for the precipitation registered in the meteorological stations in surface. This CMS had a life cycle of 23 hours, with beginning at 13 UTC from 02/19/03, maturation at 04 UTC from 02/20/03 and dissipation at 11:30 UTC from 02/20/03. During that whole period, it presented cold tops with nuclei with temperature below 210 K. It was evidenced also, that the system had similar behavior to the conceptual model, where first suffers a strong convection, reaching smaller values of

temperature, for later to expand in the maturation phase. It can be ended that the relationship between the minimum temperature on the stations that were more affected for the system, and the precipitation registered in surface was inverse, with the higher precipitation values coinciding with the smallest values of minimum temperature. For the simulation made with the BRAMS model, using an interval of exits of 1 hour, could be detailed the whole synoptic environment where CMS was during its life cycle, being able to reproduce the favorable conditions for its initiation, development and dissipation. It was also possible to describe the behavior of the vertical wind profiles, specific humidity, vertical speed and equivalent potential temperature, for each stage of the system life cycle.

Key-word: Convective Mesoscale System, Life Cycle, Synoptic Environment, Vertical Profile

ÍNDICE

	Páginas
RESUMO -----	vii
LISTA DE FIGURAS -----	xiii
LISTA DE TABELAS -----	xvi
INTRODUÇÃO -----	1
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E RADIATIVAS -----	16
<i>INTRODUÇÃO -----</i>	<i>16</i>
<i>MATERIAL E MÉTODOS -----</i>	<i>17</i>
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO -----</i>	<i>19</i>
AMBIENTE SINÓTICO E PERFIS VERTICAIS -----	28
<i>INTRODUÇÃO -----</i>	<i>28</i>
<i>MATERIAL E MÉTODOS -----</i>	<i>30</i>
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO -----</i>	<i>31</i>
Ambiente de grande escala -----	31

Perfis verticais-----	43
CONCLUSÃO GERAL -----	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	50
ANEXOS-----	57
ANEXO 1: CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino de; PINTO, Luciana Barros. <i>Análise das características físicas e do ambiente sinótico de um SCM ocorrido sobre o Rio Grande do Sul nos dias 19 e 20 de fevereiro de 2003. In: III CONGRESO CUBANO DE METEOROLOGÍA, 2005, Havana. CD-ROM do III Congreso Cubano de Meteorología. 2005.</i> -----	58
ANEXO 2: PINTO, Luciana Barros; CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino de. <i>Análise do impacto em superfície do Sistema Convectivo de Mesoescala ocorrido no norte do Rio Grande do Sul. In: XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VII ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2005, Pelotas. CD-ROM do XIV Congresso de Iniciação Científica e VII Encontro de Pós-Graduação. 2005.</i> -----	68

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1 – Método de cálculo da velocidade e direção de propagação do SC.....	13
FIGURA 2 – Representação de um diagrama de blocos dos diferentes módulos que integram o sistema ForTrACC.....	14
FIGURA 3 – Precipitação acumulada (mm) das 12UTC do dia 19/02/03 às 12UTC do dia 20/02/03.....	20
FIGURA 4 – Evolução da temperatura mínima e da taxa de expansão dos 66 sistemas que atuaram sobre a região, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.....	21
FIGURA 5 – Imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho térmico (TRMM/NCEP), mostrando a evolução do SCM entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003.....	23
FIGURA 6 – Evolução do tamanho (pixels) e da Temperatura média (K) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.....	24
FIGURA 7 – Evolução do tamanho (pixels) e da Temperatura mínima (K) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.....	24

FIGURA 8 – Evolução do tamanho dos topos frios (pixels) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.....	25
FIGURA 9 – Evolução da temperatura mínima nas estações meteorológicas de Lagoa Vermelha e Passo Fundo, das 12 UTC do dia 19/02/03 as 12 UTC do dia 20/02/03.	26
FIGURA 10 – Imagens de satélite referentes as três etapas do ciclo de vida do SCM, a) início (13UTC do dia 19/02/2003), b) maturação (07:30UTC do dia 20/02/2003) e c) dissipação (11:30UTC do dia 20/02/2003).	32
FIGURA 11 – Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado) em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.....	35
FIGURA 12 – Campos do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.	36
FIGURA 13 – Campos do BRAMS: a) vento (ms^{-1} , vetor) e divergência (10^{-4}s^{-1} , hachurado) e b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha), no nível de 200 hPa.	36
FIGURA 14 – Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado) em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.....	39
FIGURA 15 – Campos do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.	40
FIGURA 16 – Campos do BRAMS: a) vento (ms^{-1} , vetor) e divergência (10^{-4}s^{-1} , hachurado) e b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha), no nível de 200 hPa.	40
FIGURA 17 – Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado) em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.....	42
FIGURA 18 – Campos do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (g kg^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.	43

FIGURA 19 – Campos do BRAMS de a) vento (ms^{-1} , vetor) e divergência (10^{-4}s^{-1} , hachurado) e b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha), no nível de 200 hPa.43

FIGURA 20 – Perfil vertical de a) vento (ms^{-1}), b) velocidade vertical (ms^{-1}), c) umidade específica (g Kg^{-1}) e d) temperatura potencial equivalente (K). As linhas de cor azul representam a fase de iniciação do sistema, as de cor vermelha, a fase de maturação e, as de cor verde, a fase de dissipação.....46

LISTA DE TABELAS

	Páginas
TABELA 1 – Precipitação registrada em superfície (mm).	27

INTRODUÇÃO

Os fenômenos convectivos são conhecidos pelos danos que causam em suas áreas de atuação, visto que sua ocorrência, geralmente, vem acompanhada de precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e granizo. No Rio Grande do Sul, grande parte da precipitação registrada nas estações quentes, é associada a Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Devido à severidade das condições associadas a eles, os SCM tem sido de grande interesse dos pesquisadores, que buscam um melhor entendimento de sua estrutura de formação e manutenção, a fim de se gerar uma previsão mais confiável da ocorrência dos mesmos, para que se possam diminuir os prejuízos por eles gerados.

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

Houze (1993) definiu os Sistemas Convectivos de Mesoescala 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 o estágio de formação, o sistema surge como um grupo de células isoladas, ora distribuídas aleatoriamente, ora alinhadas. No estágio de desenvolvimento as células isoladas crescem e se fundem, gerando uma região de precipitação com diversos núcleos de precipitação intensa interligados por regiões de precipitação mais fraca. No estágio máximo, forma-se uma grande região de precipitação estratiforme a partir de células mais antigas que persistem enquanto existirem células novas. No estágio de dissipação a formação de novas células diminui, e o sistema se torna uma larga região de precipitação estratiforme, enfraquecendo-se, restando apenas algumas células convectivas tênues. Esse comportamento também foi registrado por Machado e Rossow (1993).

A formação desses sistemas convectivos 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 jatos de baixos níveis, entre outros. Segundo Maddox (1983) e Jirak e Cotton (2003), estudando a região central dos EUA, a condição primordial para a iniciação, organização e manutenção de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um jato em baixos níveis e uma advecção quente e úmida. Essa condição foi comprovada por Guedes et al (1994) que ao estudar a região sul da América do Sul, mostrou que a essa condição estava também associado um jato em altos níveis.

As principais características que podem ser observadas nos SCM são: em baixos níveis, uma zona convectiva marcada por um fluxo convergente 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 e Chong, 1999). Essas são algumas das características bem conhecidas dos SCM (Houze e 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 a subsidência convectiva.

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 e ascendências, onde os núcleos de ascendência são organizados verticalmente na região convectiva e horizontalmente na região estratiforme (Houze, 1993).

Uma outra característica muito importante para se entender a evolução desse tipo de sistema é o comportamento do perfil vertical de determinadas variáveis meteorológicas. Guedes e Machado (2003), estudando o perfil vertical das perturbações convectivas (PC) na região equatorial (15°N e 5°S de latitude e 20°E e 130°W de longitude), para o período de julho de 1983 a dezembro de 1990, observaram que ao comparar o perfil perturbado com o perfil médio o comportamento da temperatura e do geopotencial apresentam-se articulados entre si em todos os níveis de pressão, ou seja, quando há aquecimento ocorre menor geopotencial e quando há resfriamento aumenta o geopotencial observado. Mostraram também que durante a evolução da PC, ao longo do seu ciclo de vida, 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 da própria PC. Seis horas antes da iniciação já é possível identificar condições dinâmicas e termodinâmicas que indicariam a presença de uma PC, tais como, aumento da temperatura, diminuição do geopotencial, aumento da velocidade vertical

principalmente em baixos níveis e aumento da umidade atmosférica. E Torres (2003), estudando os SCM altamente precipitantes no norte e no centro da Argentina, mostrou que ao longo de todo o ciclo de vida dos SCM, encontra-se uma profunda camada de convergência, da superfície até a troposfera média, e divergência na troposfera superior. Essa convergência é associada a um movimento vertical ascendente em toda a troposfera, que se reduz em torno de um terço na dissipação. A vortacidade mostra-se ciclônica na troposfera inferior, destacando-se que em níveis médios da atmosfera, onde é inicialmente ciclônica, diminui entre as etapas de início e maturação do SCM, incrementando-se novamente durante a dissipação, enquanto que em altos níveis a vortacidade anticiclônica aumenta durante todo o ciclo de vida. E, mostra também, que pela análise da temperatura potencial equivalente, encontra-se uma camada profunda com instabilidade convectiva desde a superfície até 600hPa, e estabilidade por cima deste nível. Esse comportamento das variáveis também foi encontrado por Maddox (1983), Cotton et al (1989) e Laing y Fritsch (2000).

O tamanho médio dos sistemas é associado ao seu tempo de vida, maiores sistemas têm maior tempo de vida. Com relação ao horário de formação dos sistemas, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente e, 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, e, que a fase madura dos sistemas têm 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 e Zipser, 2004).

Quanto à trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes (entre 25° e 40°S), segundo Guedes (1985), Figueiredo e Scola (1996), Nicolini et al (2002) e Torres (2003), 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.

Para estudar esses tipos de fenômenos, a meteorologia conta com dados de experimentos realizados ao longo de todo o globo. Esses experimentos geralmente coletam dados que serão utilizados em pesquisas de diferentes áreas dentro da

meteorologia. Para estudos mais focalizados em meteorologia de mesoescala temos alguns exemplos:

- EMEX, realizado sobre a área oceânica tropical da Austrália, durante os meses de janeiro e fevereiro de 1987 (Webster e Houze, 1991);
- TOGA-COARE, durante dezembro de 1992 a fevereiro de 1993 sobre o Pacífico Ocidental (Webster e Lukas, 1992);
- TRMM-LBA foi conduzido na Amazônia de novembro 1998 à fevereiro 1999 (Halverson, et al, 2002);
- SALLJEX, de novembro de 2002 a março de 2003, na América do Sul. (Zipser et al, 2004).

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, podemos citar o ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters), desenvolvida por Vila (2004).

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 RAMS, que tem sido utilizado por vários países e em diversas áreas da meteorologia.

Conforme Pielke et al. (1992) pode-se citar alguns exemplos de trabalhos realizados com o modelo. Simulação de tempestade: Grasso (1993); Formação de nuvens cumulus: Nicholls et al (1991); Formação de nuvens cirrus em latitudes médias: Heckman (1991); Sistemas de Mesoescala forçados fisicamente: Wesley (1991); Circulações termicamente induzidas: Xian e Pielke (1991); Pielke et al (1990); Lee e Pielke (1992); Dispersão de poluentes na atmosfera: Mora et al (1986); Camada Limite: Fisch (1996); Fisch et al (1996) e Nobre et al (1996); Termodinâmica da atmosfera: Carmo (1996); Simulação de CCM: Lima (2004).

Tendo em vista que ainda restam muitas questões a serem respondidas com relação aos SCM, o objetivo geral deste trabalho foi estudar o comportamento do sistema ocorrido sobre o R.S. durante os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003, que foi o mais precipitante sobre essa região no período de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003, período este que integra o experimento SALLJEX. Os objetivos específicos foram: descrever o ciclo de vida, em conjunto com as propriedades morfológicas e

radiativas deste sistema; descrever o ambiente sinótico no qual o SCM estava imerso e; analisar o comportamento dos perfis de algumas variáveis meteorológicas durante as etapas de iniciação, maturação e dissipação do SCM.

METEDOLOGIA GERAL

Neste trabalho foram estudadas as características morfológicas e radiativas, o ambiente sinótico e o perfil vertical de algumas variáveis meteorológicas do Sistema Convectivo de Mesoescala mais precipitante, ocorrido nos dias 19 e 20 de fevereiro de 2003. Os dados e a metodologia utilizados são descritos a seguir:

Imagens de satélite

Foram utilizadas as imagens do satélite GOES 8 (75° W, 0°) com uma resolução espacial de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, correspondentes ao canal 4 (10,7 µm, infravermelho térmico), disponíveis via anonymous ftp pelo “Climate Prediction Center” (NCEP). Estes, foram utilizados como base de dados para a técnica ForTrACC

Dados de superfície

Dados observados de precipitação das 12, 18 e 00UTC (Coordenada de Tempo Universal) e precipitação total (medida às 12 UTC) de 24 estações meteorológicas de superfície, pertencentes ao 8° Distrito do Instituto Nacional de

Meteorologia (vinculado ao Instituto Nacional de Meteorologia, INMET). Esses dados serviram para selecionar quais foram os dias com maiores valores de precipitação em superfície, para que a partir dessa primeira seleção, fosse possível identificar qual era o sistema gerador dessa precipitação.

Análises do modelo ETA

Análises do modelo regional ETA, nos horários das 00, 06, 12, 18UTC, cedidas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), serviram como dados de entrada para a simulação com o modelo BRAMS.

A técnica ForTrACC

A técnica ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) cuja tradução seria Prognóstico e Seguimento de Sistemas de Nuvens Ativos, é um conjunto de programas que permite a construção automática de uma base de dados de sistemas de nuvens a partir de imagens de satélite do canal 4 (10,8 μm) do satélite GOES 8.

Os principais elementos que compõem este sistema são os seguintes:

- Um algoritmo de detecção e construção de conglomerados de nuvens ('clusters');
- Um programa para o cálculo de diversos parâmetros estatísticos e morfológicos dos sistemas achados no ponto anterior;
- A técnica de seguimento em si, que permite a construção das trajetórias dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida ('famílias');
- A etapa da geração de imagens virtuais ou sintéticas. Esta é utilizada para cobrir os horários de imagens faltantes.

1. O método de detecção: identificação dos SCM

O método de detecção de um SCM está associado à determinação de um umbral de temperatura do topo, a partir do qual se pode esperar que esteja refletindo um sistema convectivo (não garantindo só por este umbral, que pode ser, por exemplo, um reflexo de cirrus densos). O umbral de temperatura escolhido arbitrariamente por Vila (2004), foi o mesmo utilizado neste trabalho, ou seja, temperatura de brilho de 235K para a detecção dos sistemas convectivos. Esta eleição coincide com os trabalhos de Laurent et al. (2002) e Machado e Laurent (2004).

Assim mesmo, é importante distinguir aqueles SCM que em alguma etapa do seu ciclo de vida contiveram núcleos de convecção profunda, daqueles que não tiveram. Esta distinção busca-se devido a alguns SCM (incluindo alguns cirrus suficientemente grossos) poderem registrar essa temperatura e não conterem células de convecção profunda em latitudes médias, o que poderia determinar propriedades físicas diferentes de cada um desses SCM. Portanto, além de definir um umbral de temperatura de 235K para a detecção de um SCM deve-se incluir na análise um segundo umbral de temperatura de brilho para a detecção de convecção profunda. Neste estudo, assim como em Vila (2004) foi escolhido um umbral de 210K.

Por outro lado, é importante definir quais características devem ter os núcleos convectivos de um SCM para que o mesmo possa ser descrito tanto radiativamente como morfologicamente, assim como poder ser seguido ao longo do seu ciclo de vida. Este tipo de seleção pode afetar fortemente alguns parâmetros estatísticos como o tempo de vida médio dos SCM, a localização da posição de formação do sistema convectivo e etc.

2. Cálculo de parâmetros

Para cada SCM são calculados, considerando os dois limiares de temperatura, os seguintes parâmetros relativos aos SC:

Parâmetros morfológicos

- Tamanho do SCM (número de pixels e área em km²). As coordenadas de latitude e longitude do centro geométrico do SCM são levadas em conta;
- Raio efetivo do SCM : é o raio de um círculo cuja área seja igual a área do SCM

$$r = \sqrt{\text{surface} / \pi} \text{ (km)}$$

- Fração convectiva e número de células convectivas: as células convectivas são definidas como os aglomerados de pixels que possuem a temperatura de brilho imediatamente mais baixa que o limiar inferior, sendo neste caso 210K.
- Tamanho das cinco maiores células convectivas encontradas no SCM;
- Eixo de inércia;
- Inclinação e excentricidade do SCM: o cálculo é baseado numa representação no plano de todos os pontos do sistema. Após a aplicação da metodologia dos mínimos quadrados nos pontos, a reta gerada (e sua ortogonal) serão os novos eixos de inércia. Logo, os pontos (LAT_i, LON_i) são projetados no novo sistema cartesiano (xx_i, yy_i):

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

onde

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

o valor β representa a inclinação do sistema

A excentricidade é calculada a partir das seguintes equações:

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

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

Nesta definição um círculo perfeito tem uma excentricidade igual a 1.

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).

3. Variáveis incluídas no novo modelo estatístico

O método de identificação de um mesmo SCM no tempo "t" e nas imagens sucessivas em "t+Δt", é baseado no critério de máxima superposição da área dos SCM em imagens sucessivas. O número de pixels mínimo para considerar a continuidade do SCM é de 200 pixels (aproximadamente 3.200 km²) para um Δt= 30 minutos. Se a superposição for menor, o sistema não é considerado como sendo o mesmo sistema no tempo anterior.

Quatro tipos de situações são considerados neste algoritmo de acompanhamento:

Sistema novo ou de geração espontânea (N): 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.

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. Essa situação pode ser visualizada na Figura 1a.

Split (S): Quando no tempo " t " existe um sistema que cumpre com o critério de mínima superposição dos SCM com dois ou mais sistemas no tempo " $t+\Delta t$ ", é considerado um processo de "split". Neste caso, o maior sistema no tempo " $t+\Delta t$ " é considerado como a continuidade do SCM no tempo " t ". Essa situação pode ser visualizada na Figura 1b.

Merge (M): Situação contrária à anterior. Quando no tempo " t " existem dois ou mais SCM que cumprem com o critério de mínima superposição com só um sistema no tempo " $t+\Delta t$ ", é considerado um processo de "merge". Neste caso, cada um dos SCM no tempo " t " é considerado como a continuidade de diferentes famílias de sistemas. Essa situação pode ser visualizada na Figura 1c.

Além dessas considerações sobre o seguimento dos SCM, nesta etapa do processo é calculada a variação temporal dos parâmetros estatísticos mais importantes, levando em conta a continuidade do sistema com as situações descritas no item anterior. As variáveis incluídas numa primeira etapa são: área, temperatura média do SCM, temperatura mínima e temperatura mínima do kernel de nove pixels. Outra variável calculada nesta etapa é a velocidade do sistema. O cálculo é feito naqueles casos em que existe uma continuidade do sistema com a diferença da posição do centro de massa no instante " t " e o instante " $t+\Delta t$ " dividido por " Δt ". A partir desta informação é possível gerar uma lista que descreve a variação temporal do SCM durante seu ciclo de vida desde sua primeira detecção até a dissipação completa.

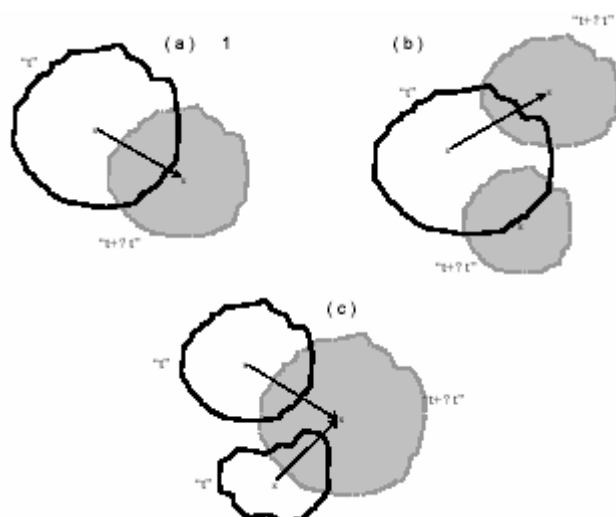


Figura 1: Método de calculo da velocidade e direção de propagação do SC.

4. Descrição do modelo ForTrACC

O modelo ForTrACC está desenhado como um sistema de módulos independentes que são chamados desde uma rotina central que maneja todo o processo. Na Figura 2 se pode observar um esquema de blocos dos diferentes componentes que integram o sistema completo.

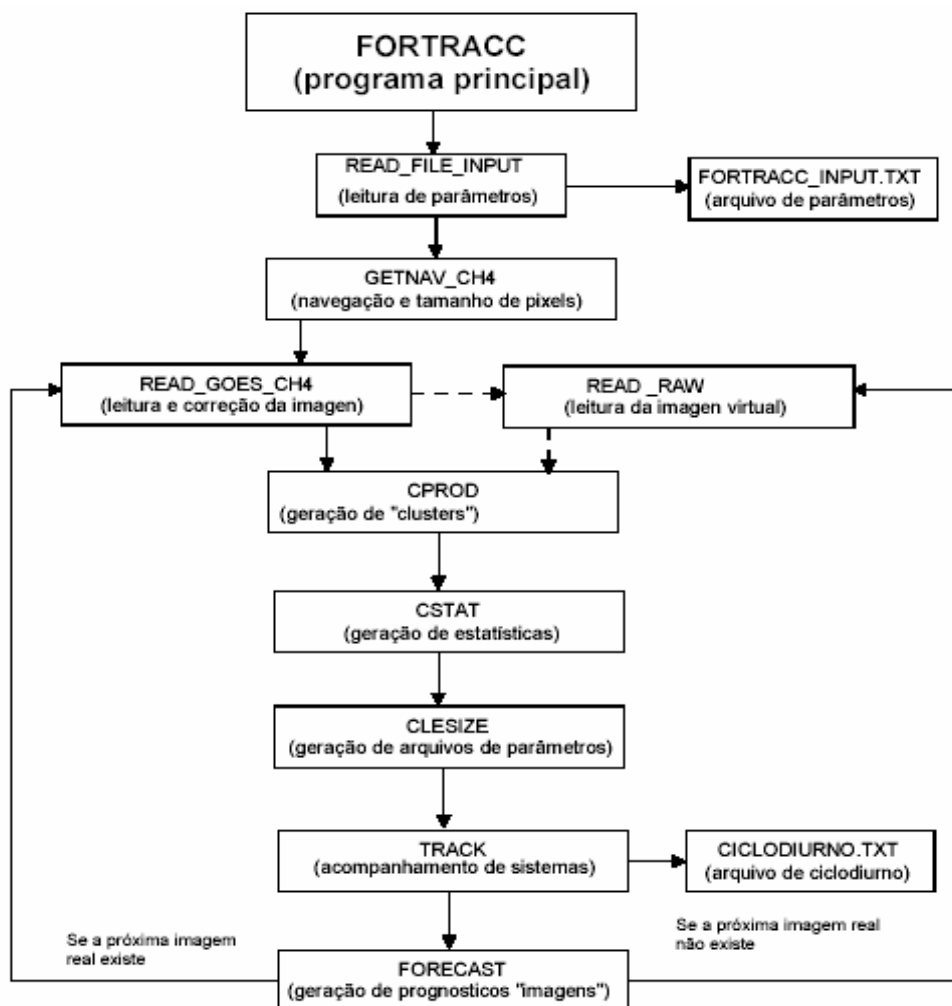


Figura 2: Representação de um diagrama de blocos dos diferentes módulos que integram o sistema ForTrACC.

O modelo regional BRAMS

Dentre os modelos regionais mais usados no mundo, está o Regional Atmospheric Modelling System (RAMS), um modelo de circulação prognóstico desenvolvido na Universidade do Colorado (EUA) a partir de um modelo de mesoescala (Pielke, 1974) e de um modelo de nuvens (Trípoli e Cotton, 1982). O RAMS é fundamentado na integração das equações diferenciais de conservação de momentum, de massa e de energia, com referência a um sistema de coordenadas

que segue o terreno. Por sua complexidade, o modelo RAMS simula qualquer situação de escoamento e pode ser aproveitado em diversas situações.

O modelo BRAMS 2.0 é baseado na versão 5.02 do modelo RAMS com diversos aperfeiçoamentos numéricos e de parametrizações físicas. Um diferencial significativo entre as versões BRAMS 2.0 e RAMS 4.4 encontra-se na parametrização de convecção, a qual sofreu profundas inovações na versão atual. O BRAMS 2.0, além da antiga parametrização convectiva de Kuo, acrescentou ao leque de parametrizações para convecção profunda os esquemas de Grell (Grell e Devenyi, 2002) e de Cumulus rasos (Souza, 1999).

A simulação com o modelo BRAMS foi realizada com uma grade aninhada e fixa, sendo a Grade 1 com 108X78 pontos de grade e resolução horizontal de 36 km (centrada em 27,5°S e 52,5°W, cobrindo uma área de aproximadamente 3888X2808km²), e a Grade 2 com 186X124 pontos de grade e resolução horizontal de 9 km (centrada em 29°S e 52,5°W, cobrindo uma área de 1674X111 km²). Utilizaram-se 32 níveis na vertical em ambas as grades. Os passos no tempo nas grades 1 e 2 foram de 45 e 15s, respectivamente. A simulação teve início às 00UTC do dia 19/03/03 e terminou às 00UTC do dia 21/03/03, compreendendo um total de 48 h com saídas de 1 em 1h. Estes dados foram analisados sobre superfícies isentrópicas e depois interpolados para a grade do modelo.

Os dados de inicialização foram informados ao modelo a cada 3h através do esquema de nudging nos limites laterais da grade maior. Para as duas grades foram utilizadas as seguintes opções: topografia com resolução de 10km; diferenciação na fronteira lateral de Klemp e Wilhelmson (1978), parâmetros de radiação segundo Mahrer e Pielke (1977), parametrização convectiva de Grell e Devenyi (2002), parametrização dos coeficientes de difusão segundo Mellor e Yamada (1974), microfísica de nuvens ativada. Essas parametrizações são as que estão sendo utilizadas operacionalmente no Grupo de Estudos em Previsão Regional (GEPR/FURG).

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E RADIATIVAS

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) tem sido alvo de interesse de pesquisadores nas últimas décadas, devido às características de tempo a eles associados, como precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo, que causam sérios danos à população.

Segundo Houze (1993), os SCM são sistemas formados por blocos de tempestades individuais e em linhas, com uma dinâmica mais complexa do que a destes blocos, por resultarem dos mesmos. Ainda segundo ele, o ciclo de vida dos SCM pode ser dividido em quatro etapas. Durante o estágio de formação, o sistema surge como um grupo de células isoladas, ora distribuídas aleatoriamente, ora alinhadas. No estágio de desenvolvimento as células isoladas crescem e se fundem, gerando uma região de precipitação com diversos núcleos de precipitação intensa, interligados por regiões de precipitação mais fraca. No estágio máximo, forma-se uma grande região de precipitação estratiforme a partir de células mais antigas que persistem enquanto existirem células novas. No estágio de dissipação, a formação de novas células diminui e o sistema se torna uma ampla região de precipitação

estratiforme, enfraquecendo-se, restando apenas algumas células convectivas tênues. Esse comportamento também foi registrado por Machado e Rossow (1993).

Diversos autores (Machado et al, 1994; Nicolini et al, 2002; Torres, 2003; Vila, 2004 e Zipser, 2004) tem analisado vários SCM com o objetivo de determinar o seu tamanho médio e seu horário preferencial de formação e de maturação. Esses estudos mostram que o tamanho médio dos sistemas está associado ao seu tempo de duração, maiores sistemas têm maior tempo de duração. Com relação ao horário de formação dos sistemas, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente e um máximo secundário de formação é observado no fim da noite e início da manhã (entre 5 e 6 horas da manhã). Também tem sido observado que a fase madura dos sistemas tem dois picos, um pela tarde e outro durante a noite ou primeiras horas da manhã.

Outra característica observada é com relação a trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes, que segundo alguns autores (Guedes, 1985; Figueiredo e Scola, 1996; Nicolini et al, 2002 e Torres, 2003) têm a tendência de se deslocarem para leste, entre 25° e 40° S.

Para o estudo dos SCM conta-se com experimentos de campo realizados ao redor de todo o globo, como exemplo podemos citar o SALLJEX (South American Low-Level Jet Experiment) que visa uma melhor compreensão dos Jatos de Baixos Níveis na América do Sul, ocorrido de novembro de 2002 a fevereiro de 2003, abrangendo a janela de 40° a 0° S e 85° a 35° W.

Devido às muitas questões a serem ainda respondidas sobre os SCM, o objetivo deste capítulo é descrever o ciclo de vida e as propriedades morfológicas e radiativas do SCM mais precipitante ocorrido sobre o Rio Grande do Sul, durante o período que integra o experimento SALLJEX, utilizando a técnica ForTrACC.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas as imagens do satélite GOES 8 (75° W, 0°) com uma resolução espacial de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, correspondentes ao canal 4 (10,7 µm, infravermelho térmico), disponíveis via anonymous ftp pelo “Climate Prediction Center” (NCEP). Em conjunto, utilizou-se

dados observados de precipitação das 12, 18 e 24UTC (Coordenada de Tempo Universal) e precipitação total (medida às 12 UTC) de 24 estações meteorológicas de superfície, pertencentes ao 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (vinculado ao Instituto Nacional de Meteorologia, INMET). O período estudado foi de novembro de 2002 a fevereiro de 2003 e a região de interesse é o estado do Rio Grande do Sul (RS).

Primeiramente, analisando os dados de precipitação, foi selecionado o dia com a maior precipitação em superfície registrada na maioria das estações meteorológicas. Então, foram analisadas as imagens de satélite correspondentes, a fim de se identificar a existência sobre o RS de algum tipo de SCM que pudesse ter gerado essa precipitação.

Após a análise objetiva das imagens de satélite, foi utilizado o programa diagnóstico do ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) para um melhor detalhamento do ciclo de vida e das características morfológicas e radiativas do sistema, ou dos sistemas, que atuou(atuaram) sobre a região e que foi(foram) o(s) responsável(is) pela maior parte da precipitação registrada em superfície nesse dia.

Como descrito por Vila et al (2004), o ForTrACC é um método automático para a documentação das características dos SCM através do seu ciclo de vida, utilizando informações dos canais térmicos dos satélites geoestacionários. Os principais elementos que compõem este método são os seguintes: 1) um algoritmo de detecção e construção de aglomerados de nuvens ('clusters') usando um limiar de temperatura; 2) um programa para o cálculo dos diversos parâmetros estatísticos e morfológicos dos sistemas achados na etapa anterior (Vila, 2003; Machado 1998); 3) uma técnica de seguimento em si, baseada na superposição de áreas entre imagens sucessivas, o que permite a construção das trajetórias dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida ('famílias') (Mathon e Laurent, 2001; Laurent et al, 2002) e 4) a etapa da geração de imagens virtuais ou sintéticas, utilizadas para cobrir os horários de imagens faltantes. Neste trabalho foram utilizados os limiares de temperatura de brilho de 235K, para definir o SCM e, de 210K, para definir as células convectivas imersas nesses SCM, que são os valores utilizados pelo ForTrACC (Vila, 2004).

Esse programa, como descrito no parágrafo acima, é dividido em etapas, e uma das principais é a da 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 feitas por ele ao longo do seu ciclo de vida e, a esse conjunto ele dá o nome de família. Assim, família é o comportamento dos sistemas ao longo da sua trajetória durante todo o ciclo de vida. Neste trabalho uma família será denominada como sistema, ou SCM.

Para a seleção do caso, foi observado para cada estação meteorológica de superfície do RS, quais foram os SCM que atuaram sobre elas entre às 12UTC do dia 19/02/03 até as 12 UTC do dia 20/02/03. Para isso, foi utilizado um programa que confronta o conjunto de sistemas gerado pelo ForTrACC com os dados de latitude e longitude de cada estação.

Uma vez selecionado o caso e definido o conjunto de sistemas que mais atuou sobre as estações meteorológicas estudadas, com o conjunto de dados gerados pelo ForTrACC, pode-se estudar o ciclo de vida, a trajetória e as características morfológicas e radiativas do sistema.

Por fim, os dados de precipitação das estações em superfície e os dados de temperatura mínima gerados pelo ForTrACC foram analisados para determinar a atuação do SCM em superfície.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise dos dados de precipitação em superfície e das imagens de satélite, correspondente aos dias que apresentaram precipitação, o caso selecionado foi o ocorrido durante os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003, onde em algumas estações de superfície foram registrados valores de precipitação acima de 75mm.

A figura 3 mostra a precipitação acumulada entre as 12:00 UTC do dia 19/02/03 de fevereiro e às 12:00 UTC do dia 20/02/03. Pode-se observar pela análise desta figura, que os maiores valores de precipitação foram registrados no centro e norte do RS, com um núcleo de valores mais intensos (maiores que 100mm) no nordeste do estado.

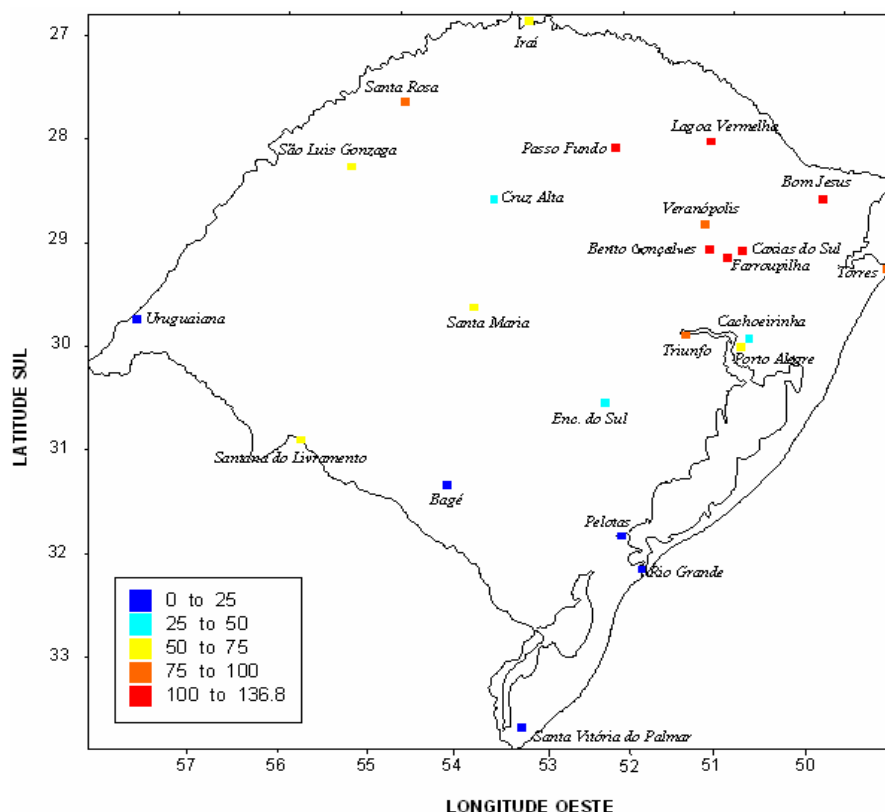


Figura 3: Precipitação acumulada (mm) das 12UTC do dia 19/02/03 às 12UTC do dia 20/02/03.

O conjunto de sistemas gerado pelo ForTrACC mostrou que 66 sistemas atuaram sobre a grade estudada, entre às 12:00 UTC do dia 19 e 12:00 UTC do dia 20 de fevereiro de 2003. O tempo médio de vida destes sistemas foi de, aproximadamente, 1,9 hora, isso devido ao fato de 71% dos casos (47 sistemas) terem tempo de vida inferior a 2 horas. Os casos restantes (29%) dos sistemas tiveram um tempo de vida médio de 5 horas. O deslocamento médio destes sistemas foi para sudeste, o que reforça a idéia de que a trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes (entre 25° e 40°S), tem a tendência de deslocar-se para leste, como sugerido por Guedes (1985), Figueiredo e Sclar (1996), Nicolini et al (2002) e Torres (2003).

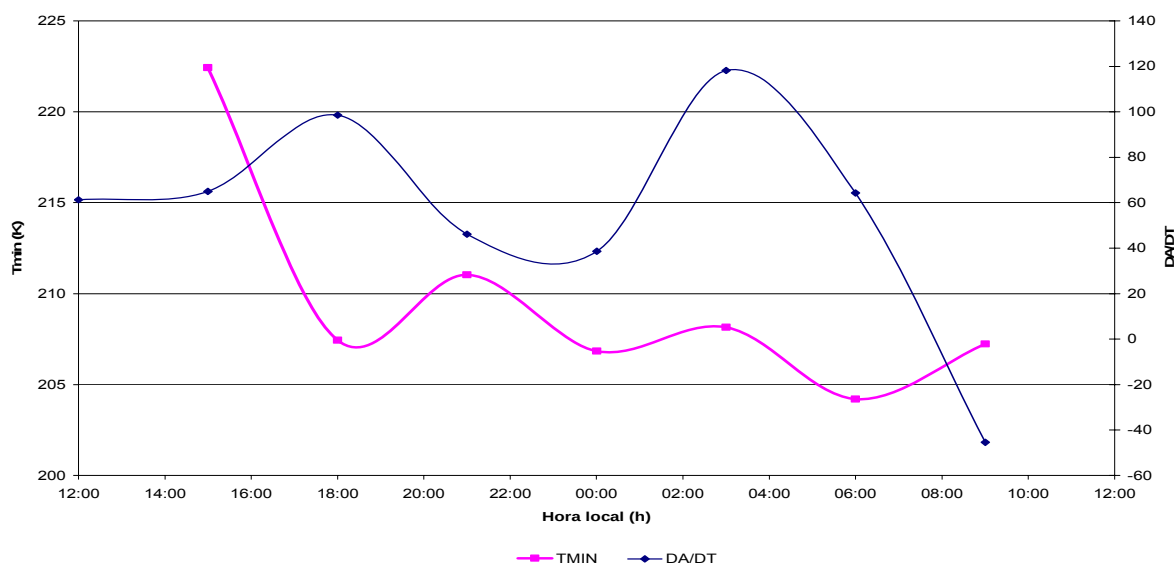


Figura 4: Evolução da temperatura mínima e da taxa de expansão dos 66 sistemas que atuaram sobre a região, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.

A figura 4 mostra a relação entre a temperatura mínima média (abaixo de 210K) e a taxa de expansão média, calculadas de 3 em 3 horas, de todos os 66 sistemas ocorridos sobre o RS entre as 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03. Nela observou-se dois picos isolados de maior expansão, o primeiro no fim da tarde e o segundo no início da manhã, e três picos de temperatura mínima, que ocorrem próximos aos picos de expansão, o primeiro no fim da tarde, o segundo no início da madrugada e um último no início da manhã.

Esse comportamento coincide com o descrito por Machado et al (1994), Nicolini et al (2002), Torres (2003), Vila (2004) e Zipser (2004), onde o horário de formação dos sistemas tem dois picos, um no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente e, outro no fim da noite e início da manhã, e, que a fase madura dos sistemas têm dois picos, uma pela tarde e outro durante a noite e primeiras horas da manhã.

Em relação aos sistemas que atuaram sobre as estações meteorológicas em estudo, todos eram pertencentes ao mesmo sistema, ou seja, dos 66 sistemas detectados pelo ForTrACC, apenas um foi o responsável pela precipitação registrada em superfície, conforme descrito na metodologia.

O ciclo de vida deste sistema foi de 23 horas, tendo início às 13 UTC do dia 19/02 e, finalização às 12 UTC do dia 20/02, estando presente durante todo o período de interesse. Isso pode ser observado na Figura 5.

Pela análise das imagens de satélite (Fig. 5) pode-se observar que o sistema surgiu da dissipação de uma linha de instabilidade às 13:00 UTC (Fig. 5a), cortando o estado do RS de norte a sul e deslocando-se para leste. Às 16:30 (Fig. 5b) surgiram novos núcleos convectivos a oeste do sistema principal, que acabaram unindo-se ao mesmo às 18:00 UTC (Fig. 5c), fazendo com que o deslocamento do centro de massa desse novo sistema fosse para norte. O mesmo aconteceu às 20:00 UTC (Fig. 5d), quando o sistema que estava no nordeste do estado fundiu-se com novos núcleos convectivos que surgiram na divisa noroeste com a Argentina e no sul do Paraguai. A partir deste momento, o sistema ficou estacionado sobre o norte do estado, onde às 04:00 UTC (Fig. 5f) apresentou uma maior região coberta por topos frios (com temperatura abaixo de 210K) e, às 07:30 UTC (Fig. 5g), alcançou sua maior extensão. A partir deste horário, o sistema começou a enfraquecer e dissipar-se, até deixar o RS às 11:30 UTC (Fig. 5h). É importante notar que essa descrição da evolução do sistema através das imagens de satélite, é semelhante à proposta do ciclo de vida dos SCM de Houze (1993) e também registrada por Machado e Rossow (1993), descrito na introdução deste trabalho.

Notou-se também, que devido ao fato do deslocamento do sistema ser determinado pelo seu centro de massa, a trajetória deste foi aleatória, pois seu centro de massa mudou constantemente a cada fusão ou separação sofrido pelos sistemas que o compunham.

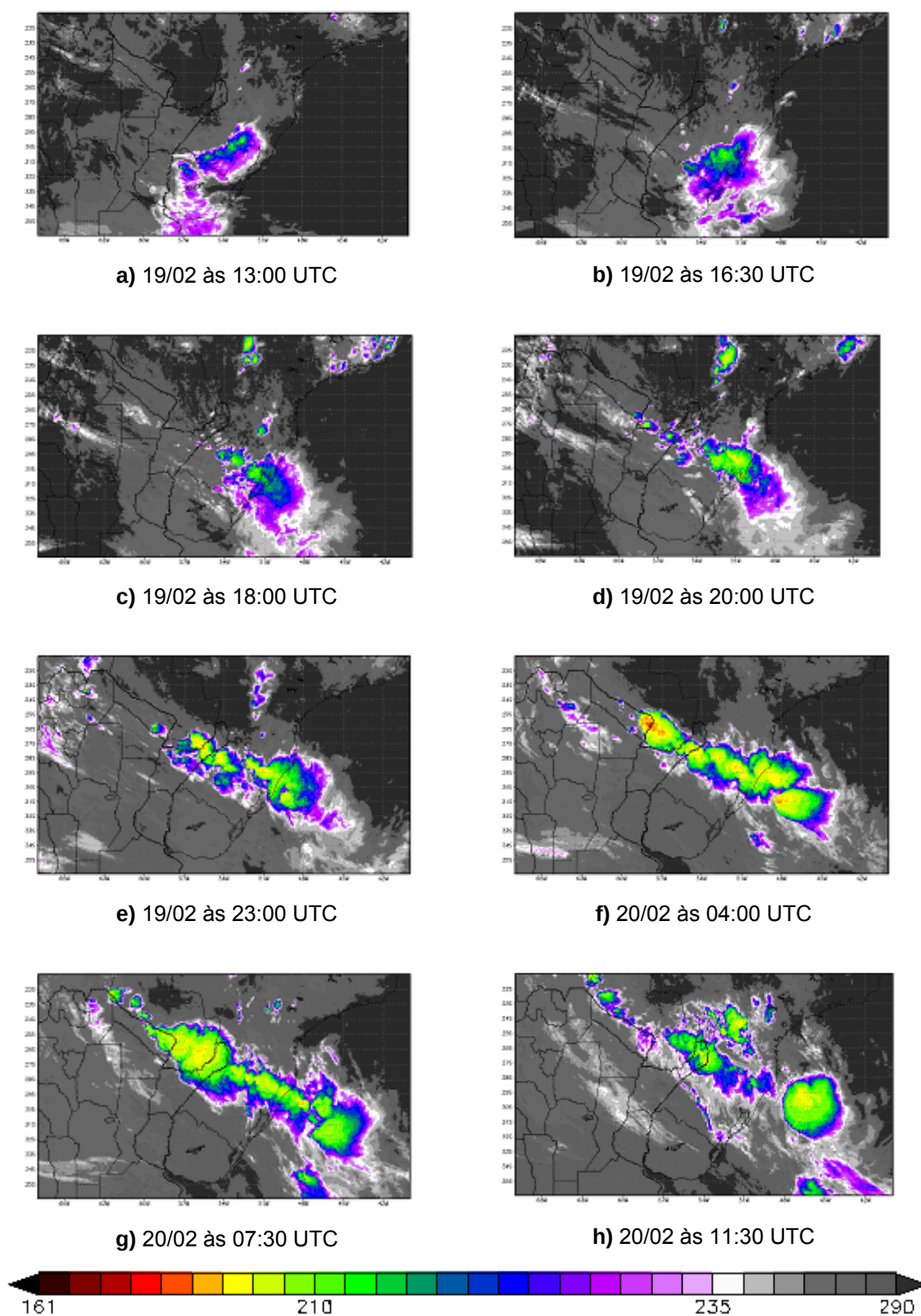


Figura 5: Imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho térmico (TRMM/NCEP), mostrando a evolução do SCM entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003.

As figuras 6 a 8, mostram a evolução de alguns parâmetros físicos e radiativos do SCM ao longo do seu ciclo de vida, permitindo uma melhor descrição do mesmo.

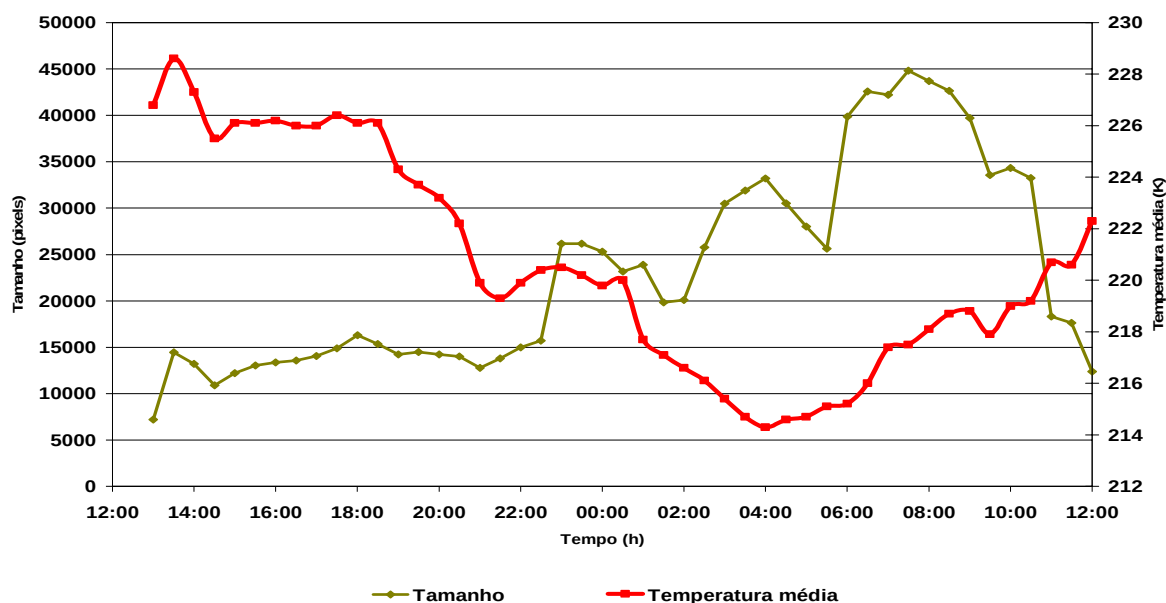


Figura 6: Evolução do tamanho (pixels) e da Temperatura média (K) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.

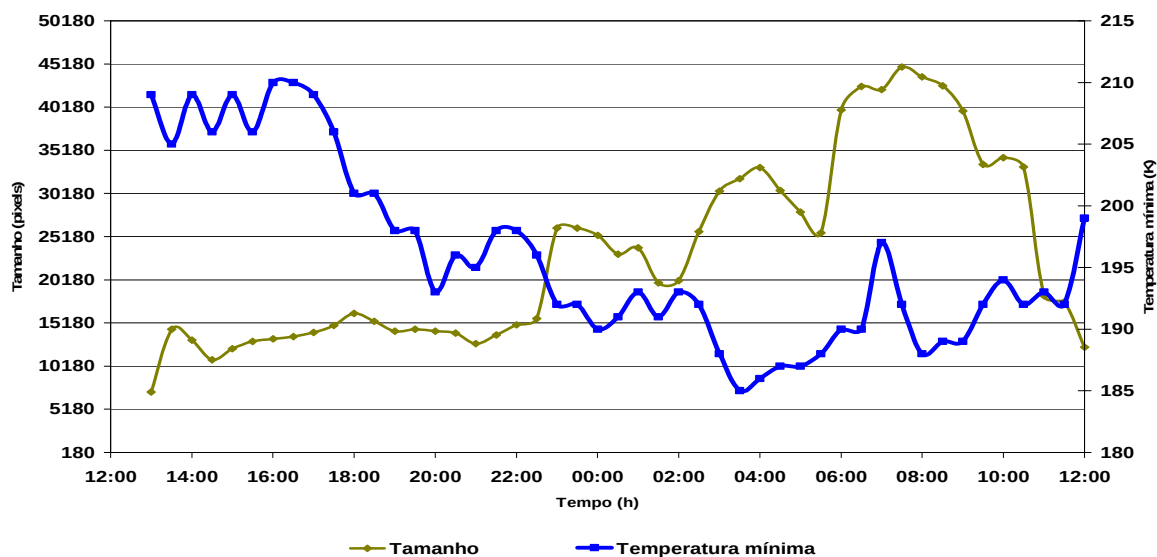


Figura 7: Evolução do tamanho (pixels) e da Temperatura mínima (K) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.

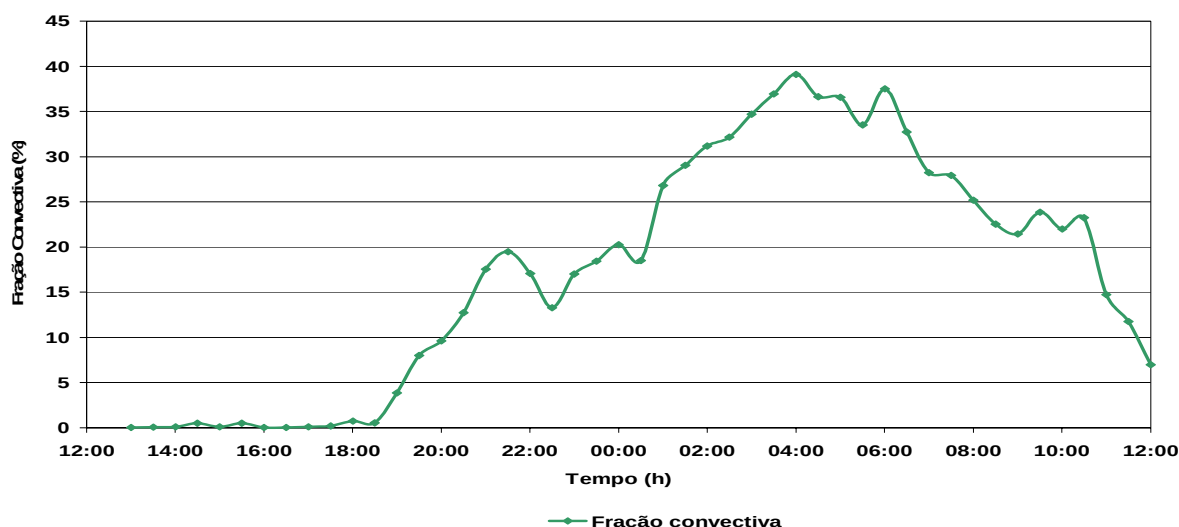


Figura 8: Evolução do tamanho dos topos frios (pixels) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.

Analisando em conjunto as figuras acima, pode-se observar que o sistema teve início às 13 UTC do dia 19/02/03, seguido de uma rápida expansão, até às 13:30 UTC, que foi acompanhado de um ligeiro aumento da temperatura média, embora a temperatura mínima tenha diminuído.

Nas 9 horas seguintes (das 13:30 às 22:30 UTC), o SCM não sofreu variações significativas no seu tamanho. Sua temperatura média só sofreu alteração às 18:30 UTC do dia 19/02/03, quando diminuiu de 228,6 K para 219,3 K às 21:30 UTC, do dia 19/02/03. Essa diminuição de temperatura média ocorreu devido a uma diminuição de temperatura mínima e um aumento, na fração convectiva do sistema, indicando um período de forte convecção.

A partir do horário das 22:30 UTC do dia 19/02/03, o sistema começou a expandir-se, até atingir sua máxima área às 7:30 UTC do dia 20/02/03 (44822 pixels, aproximadamente 717.152 km²). Embora sua maior área tenha sido às 7:30 UTC, o horário de maior atividade convectiva do sistema foi às 4:00 UTC, quando o sistema atingiu menores valores de temperatura média e mínima, e maior valor da fração convectiva.

Após atingir sua maior extensão, o sistema começou a dissipar-se, aumentando as temperaturas média e mínima e diminuindo a fração convectiva.

O mais interessante dessa análise é observar que o sistema primeiro sofreu uma diminuição da temperatura mínima (às 3:30 UTC do dia 20/02/03), para depois

alterar a temperatura média (com mínimo às 4:00 UTC do dia 20/02/03) e a fração convectiva, e só depois então, expandiu-se até atingir sua maior área. Isso confirma a teoria, descrita por Machado e Rossow (1993) e também observada por Vila (2004), de que durante a etapa de formação, o sistema alcança um máximo resfriamento e logo se expande na etapa de maturação.

Em seguida, para verificar se as características do SCM observado pelas imagens de satélite refletem o que ocorreu em superfície foram estudadas algumas das estações que tiveram precipitação acima de 75mm, analisando-se o comportamento da temperatura mínima, e da precipitação registrada em superfície.

A figura 9 mostra o comportamento da temperatura mínima nas estações meteorológicas de Lagoa Vermelha, Caxias do Sul e Passo Fundo. Essas estações foram escolhidas por estarem localizadas ao longo da área de maior atuação do sistema. Observou-se que o comportamento médio da temperatura mínima é praticamente o mesmo nestas três estações. E, que o sistema atuou, aproximadamente, ao mesmo tempo em todas elas. Na figura 9, as falhas no gráfico são referentes a horários onde o sistema não estava atuando sobre as estações, ou seja, quando sobre as estações não foram registradas temperaturas abaixo de 210K.

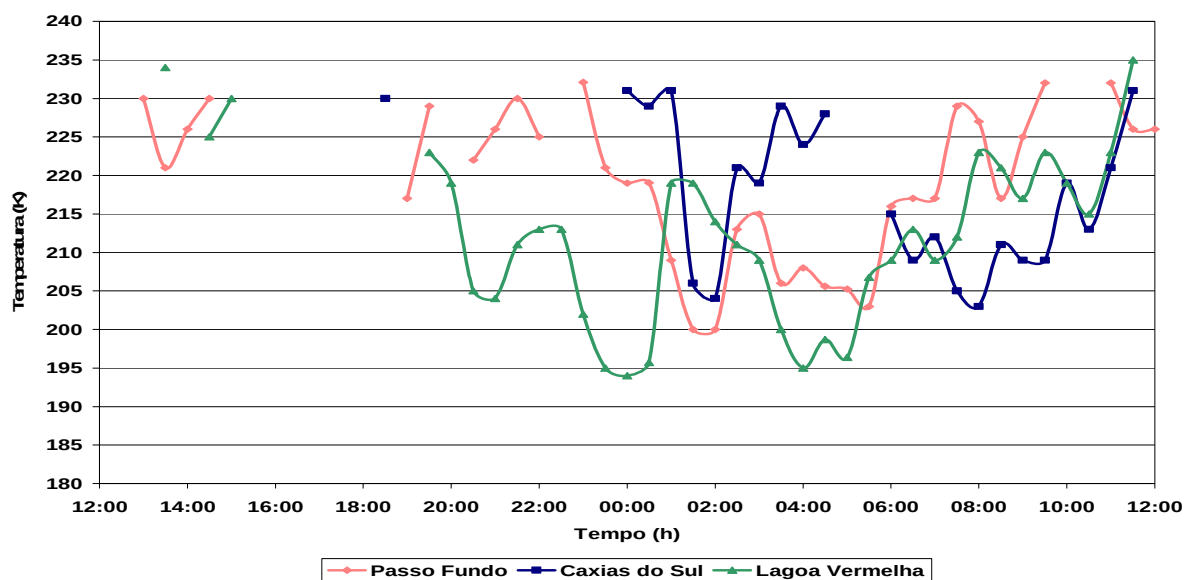


Figura 9: Evolução da temperatura mínima nas estações meteorológicas de Lagoa Vermelha e Passo Fundo, das 12 UTC do dia 19/02/03 as 12 UTC do dia 20/02/03.

Tabela 1: Precipitação registrada em superfície (mm).

Estações	Precipitação (mm)			
	18UTC(19/02)	00UTC(20/02)	12UTC(20/02)	Total
Lagoa Vermelha	0,6	7,4	97,2	105,2
Caxias do Sul	8,4	59,2	69,1	136,7
Passo Fundo	999*	32,0	84,5	116,5

*Ausência de dados.

Pode-se notar pela tabela 1, que os valores de precipitação começaram a ser mais significativos no horário das 00 UTC, que correspondem ao valor acumulado precipitados entre as 18 UTC do dia 19/02/03 e 00 UTC do dia 20/02/03. Mas, a maior intensidade de precipitação foi registrada no horário das 12 UTC do dia 20/02/03, que corresponde ao acumulado das 00 UTC, do dia 20/02/03 até às 12 UTC do dia 20/02/03.

Pela análise da figura 9, pode-se dizer que a precipitação está inversamente relacionada com a temperatura mínima sobre as estações, ou seja, os horários de maior precipitação coincidem com os de menor temperatura de brilho do sistema que atuava sobre as estações em estudo, como mostrado por Vila (2004). Pode-se notar também que o comportamento da temperatura mínima sobre as estações é semelhante ao comportamento do sistema e, que o horário de menor temperatura sobre elas é coincidente com o horário de menor temperatura média do sistema, o que nos leva a concluir que essas estações estão localizadas no centro convectivo do sistema.

Então, é visto que neste caso, as características do sistema observado pelas imagens de satélite refletem com confiabilidade o momento de maior atuação do SCM em superfície, caracterizado pelos maiores valores de precipitação.

AMBIENTE SINÓTICO E PERFIS VERTICAIS

INTRODUÇÃO

O estudo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) tem sido difundido entre os pesquisadores da área há algum tempo, devido ao impacto em superfície causado por eles. Sua passagem ou existência vem geralmente associada à precipitação intensa e fortes rajadas de vento.

Para se entender a ocorrência desses sistemas e para uma melhor previsão dos mesmos, é importante conhecer o ambiente sinótico preferencial para o seu surgimento, desenvolvimento, manutenção e dissipação. Diversos pesquisadores têm realizado estudos a fim de se reproduzir um ambiente padrão desses sistemas. Dentre eles, Maddox (1983) e Jirak e Cotton (2003), estudando a região central dos EUA, mostraram que a condição primordial para a iniciação, organização e manutenção de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um jato em baixos níveis e uma advecção quente e úmida. Essa condição foi comprovada por Guedes *et al* (1994) que ao estudar a região sul da América do Sul, mostrou que a essa condição estava também associado um jato em altos níveis.

Para simulação do ambiente sinótico, vários modelos numéricos tem sido utilizados. Entre esses modelos, podemos destacar o modelo de mesoescala BRAMS. O modelo BRAMS 2.0 é baseado na versão 5.02 do modelo RAMS (Regional Atmospheric Modelling System, modelo de circulação prognóstico desenvolvido na Universidade do Colorado-EUA) com diversos aperfeiçoamentos numéricos e de parametrizações físicas. O diferencial significativo entre as versões BRAMS 2.0 e RAMS 4.4 é encontrado na parametrização de convecção, a qual sofreu profundas inovações na versão atual. O BRAMS 2.0, além da antiga parametrização convectiva de Kuo, acrescentou ao leque de parametrizações para convecção profunda os esquemas de Grell (Grell e Devenyi, 2002) e de Cumulus rasos (Souza, 1999).

Uma outra característica muito importante para se entender a evolução desse tipo de sistema é o comportamento do perfil vertical de determinadas variáveis meteorológicas. Esse tipo de estudo mostra a evolução interna das variáveis meteorológicas do sistema, possibilitando o conhecimento de suas variações com a altura, em qualquer etapa do ciclo de vida do SCM. Um exemplo desse tipo de estudo é o de Torres (2003) que, estudando os SCM altamente precipitantes no norte e no centro da Argentina, mostrou que ao longo de todo o ciclo de vida dos SCM, encontra-se uma profunda camada de convergência, da superfície até a troposfera média, e divergência na troposfera superior. Essa convergência é associada a um movimento vertical ascendente em toda a troposfera, que se reduz em torno de um terço na dissipação. A vortacidade mostra-se ciclônica na troposfera inferior, destacando-se que em níveis médios da atmosfera, onde é inicialmente ciclônica, diminui entre as etapas de início e maturação do SCM, incrementando-se novamente durante a dissipação. Em altos níveis a vortacidade anticiclônica aumenta durante todo o ciclo de vida. Este estudo mostra também, que pela análise da temperatura potencial equivalente, encontra-se uma camada profunda com instabilidade convectiva desde a superfície até 600 hPa, e estabilidade acima deste nível. Esse comportamento das variáveis também foi encontrado por Maddox (1983), Cotton *et al* (1989) e Laing e Fritsch (2000).

Assim, com o interesse em se obter um melhor entendimento sobre os mecanismos de formação, manutenção e dissipação desse tipo de sistema, o objetivo deste capítulo é descrever o ambiente sinótico no qual o SCM, ocorrido sobre o RS durante os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003, estava imerso, e que foi o

mais precipitante sobre essa região no período de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003. O outro objetivo, é analisar o comportamento dos perfis médio e perturbado da atmosfera, antes, durante e após a passagem do SCM.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho conta com as análises do modelo regional ETA (CPTEC/INPE), dos dias 19, 20 e 21 de fevereiro de 2003, período que engloba todo o ciclo de vida do sistema selecionado na primeira parte desse trabalho. Essas análises serviram como dados de entrada para a simulação com o modelo BRAMS. Conta também, com imagens de satélite para mostrar o sistema em cada fase do seu ciclo de vida.

A simulação com o modelo BRAMS foi realizada com uma grade aninhada e fixa, sendo a Grade 1 com 108X78 pontos de grade e resolução horizontal de 36 km (centrada em 27,5°S e 52,5°W, cobrindo uma área de aproximadamente 3888X2808km²), e a Grade 2 com 186X124 pontos de grade e resolução horizontal de 9 km (centrada em 29°S e 52,5°W, cobrindo uma área de 1674X111 km²). Utilizaram-se 32 níveis na vertical em ambas as grades. Os passos no tempo nas grades 1 e 2 foram de 45 e 15s, respectivamente. A simulação teve início às 12UTC do dia 19/03/03 e terminou às 00UTC do dia 21/03/03, compreendendo um total de 48 h com saídas de 1 em 1h. Estes dados foram analisados sobre superfícies isentrópicas e depois interpolados para a grade do modelo.

Os dados de inicialização foram informados ao modelo a cada 3h através do esquema de nudging nos limites laterais da grade maior. Para as duas grades foram utilizadas as seguintes opções: topografia com resolução de 10km; diferenciação na fronteira lateral de Klemp e Wilhelmson (1978), parâmetros de radiação segundo Mahrer e Pielke (1977), parametrização convectiva de Grell e Devenyi (2002), parametrização dos coeficientes de difusão segundo Mellor e Yamada (1974), microfísica de nuvens ativada. Essas parametrizações são as que estão sendo utilizadas operacionalmente no Grupo de Estudos em Previsão Regional (GEPR/FURG).

A Grade 1, que abrange a área onde o SCM encontrava-se durante todo o seu ciclo de vida desde a formação até a sua dissipação, foi utilizada para fazer a

análise do ambiente de grande escala. Para isso foram pré-definidos os níveis de observação em baixos, médios e altos. Em baixos níveis (1000 e 850hPa) foram analisados os campos de vento, umidade específica, temperatura, convergência de umidade, divergência e velocidade vertical (w , em ms^{-1} , apenas no nível de 850hPa). Em níveis médios (500hPa) serão analisados os campos de vento horizontal e velocidade vertical (w). Em altos níveis (200hPa), serão analisados os campos de vento horizontal, divergência e temperatura. Esses campos serão analisados para cada etapa do ciclo de vida do sistema (início, maturação e dissipação).

A Grade 2, que está centrada na região onde o SCM apresentou maior intensidade sobre o RS, foi utilizada para o cálculo dos perfis verticais. Foram estudados os perfis verticais, de umidade específica, velocidade vertical, vento horizontal e temperatura potencial equivalente, nos níveis padrões (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 200 e 100hPa), para o centro de massa do sistema. Para a etapa de início (19/02/2003, 13UTC) o centro de massa foi $30,47^{\circ}\text{S}$ e $53,41^{\circ}\text{W}$, na maturação (20/02/2003, 7:30UTC), $28,67^{\circ}\text{S}$ e $50,72^{\circ}\text{W}$ e, na dissipação (20/02/2003, 11:30UTC), $26,46^{\circ}\text{S}$ e $52,63^{\circ}\text{W}$.

Para definir a posição do SCM em cada fase do seu ciclo de vida, pegou-se a latitude e longitude do centro de massa do sistema calculado pelo programa ForTrACC (obtido do conjunto de dados utilizados no capítulo anterior).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambiente de grande escala

Pelas imagens de satélite pode-se observar a posição do sistema em cada fase do seu ciclo de vida. Foi definido como início a primeira detecção do sistema (às 13UTC do dia 19/02/2003- Fig. 10a); maturação, como sendo o horário em que o sistema atingiu sua maior extensão (às 7:30 UTC do dia 20/02/2003- Fig. 10b) e, dissipação, quando o sistema começou a fragmentar-se e deixar o estado do RS (às 11:30 UTC do dia 20/02/2003- Fig. 10c).

De modo geral, pela simulação feita com o modelo BRAMS (figuras não mostradas), pode-se observar que das 00 às 17UTC do dia 19/02/2003, o vento apresentava um giro anti-horário com a altura, em todo o RS, incluindo a região de formação e desenvolvimento do sistema, indicando advecção quente até altos níveis. Depois desse horário até o final da simulação, os ventos foram de sudeste, em superfície, na maior parte do tempo, girando no sentido horário com a altura, evidenciando uma advecção fria. Essa advecção fria foi confirmada pela entrada de uma massa de ar frio e seco que avançou sobre o estado durante esse período. A temperatura das 00 até às 21UTC, do dia 19/02/2003, foi aumentado de 24°C a 35°C, na região de formação do sistema. O resfriamento durante o restante da evolução do sistema, pode ter sido influenciado pela precipitação causada pelo mesmo, que favoreceu o avanço da massa de ar frio. Durante todo o período foi verificado um gradiente de umidade sobre o RS e toda a área do sistema. Foi observada também convergência de umidade e movimento do ar ascendente em praticamente toda a região do desenvolvimento do ciclo de vida do SCM, os com os maiores valores coincidindo com a posição dos núcleos mais ativos observados nas imagens de satélite.

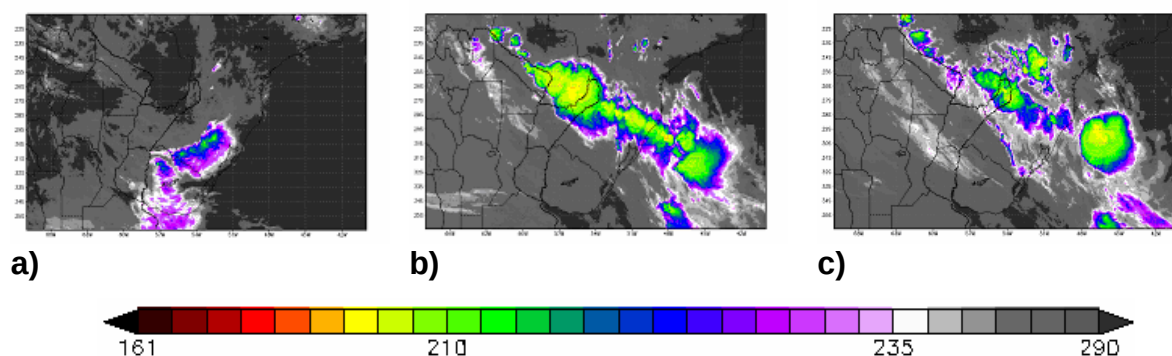


Figura 10: Imagens de satélite referentes as três etapas do ciclo de vida do SCM, a) início (13UTC do dia 19/02/2003), b) maturação (07:30UTC do dia 20/02/2003) e c) dissipação (11:30UTC do dia 20/02/2003).

Para melhor detalhar o desenvolvimento do sistema, será mostrado a seguir uma análise das variáveis de interesse durante cada etapa do seu ciclo, em baixos, médios e altos níveis.

- **Etapas de início (19 de fevereiro de 2003, 13UTC).**

- *Baixos níveis (1000 e 850hPa)*

Em 1000hPa, observou-se a presença de uma frente fria no norte do Uruguai, que está evidenciada por um forte gradiente de temperatura e umidade, e por um núcleo de convergência de umidade (Fig. 11a). O sistema convectivo formou-se adiante da frente fria, no leste do estado do Rio Grande do Sul, onde os ventos foram de NE-N, de aproximadamente 5ms^{-1} , devido à presença de um centro de divergência sobre o oceano, no litoral norte do estado (Fig. 11a). Nesta região havia um gradiente de umidade específica significativo, assim como no norte do estado (Fig. 11c). E, a temperatura estava elevada sobre o RS em torno de 27°C (Fig. 11c).

Ao norte da região de formação do SCM, observou-se dois núcleos bem definidos de convergência de umidade (Fig. 11a), com valores entre 4 e $6\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Essas características são similares às encontradas por Maddox (1983) e Augustine e Caracena (1994) para os CCM e SCM dos Estados Unidos.

Em 850hPa, os ventos (Fig. 11b) são de NO, de aproximadamente 8ms^{-1} , sobre o RS, evidenciando um giro anti-horário em relação ao nível de 1000hPa, indicando uma advecção quente, que é uma das características primordiais para o surgimento e manutenção do sistema, que é mostrada em vários trabalhos sobre sistemas convectivos em geral (Vila, 2004; Maddox 1983; Augustine e Caracena, 1994, e outros). Os valores de velocidade aqui encontrados são menores do que os de Torres (2003) e Maddox (1983), que encontraram valores de 10 e 12ms^{-1} , respectivamente, e maior do que os 5ms^{-1} , encontrados por Cotton *et al* (1989). Nessa região também observava-se um gradiente de umidade específica, temperatura de aproximadamente 18°C (Fig. 11d) e, convergência do vento em torno de $0,5 \cdot 10^{-4}\text{s}^{-1}$ (não mostrado) e de convergência de umidade, com valores de $2\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Fig. 11b). A convergência de umidade presente nessa região ressalta o que foi encontrado nos trabalhos mencionados anteriormente. O centro de divergência estava sobre a costa oeste do estado, já com pouca influência sobre a região do sistema.

Foi observada também, uma faixa de rotação dos ventos de SO para NO ao longo da região frontal (Fig. 11b), que apresentava gradiente de temperatura e umidade bem definidos (Fig. 11d), com um núcleo de convergência do vento de $1 \cdot 10^{-4}\text{s}^{-1}$ (não mostrado) e de umidade de $4\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Fig. 11b).

Sobre a região de formação do SCM tem-se velocidade vertical de $0,05\text{ms}^{-1}$. Na região anterior à frente fria, um núcleo mais definido de w de aproximadamente $0,1\text{ms}^{-1}$ (Fig. 11e). Um outro núcleo de convergência do vento (não mostrado) e de umidade (Fig. 11b) foi encontrado ao norte da região de formação do sistema com valores de 1.10^{-4} s^{-1} e $4\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente.

- Níveis médios (500 hPa)

Em 500hPa (Fig. 12), os ventos foram de 20ms^{-1} de NO a N, sobre todo o estado, que apresentava também um gradiente de temperatura e velocidade vertical de aproximadamente $0,05\text{ms}^{-1}$. Nesse nível, já não se encontrava mais a advecção quente caracterizada pelo giro anti-horário dos ventos. Sobre a região frontal, foi encontrado um núcleo de velocidade de 26ms^{-1} , na direção NO-O, com um núcleo de w de aproximadamente $0,43\text{ms}^{-1}$, indicando convecção profunda devido à presença da frente fria e um pronunciado gradiente de temperatura (não mostrado).

- Níveis altos (200 hPa)

Em 200hPa (Fig. 13a), foi observado um jato de O sobre o RS, com um núcleo de velocidade máxima de 50ms^{-1} coincidente com a localização da região frontal em superfície. A presença de um jato de altos níveis, ao redor do local de formação dos sistemas, também foi encontrado nos trabalhos de Torres (2003) e Vila (2004), que estudaram sistemas convectivos sul americanos, e Maddox (1983) e Cotton *et al* (1989), para CCM norte americanos.

Na região de formação do sistema e na região frontal, a divergência era de aproximadamente $0,5.10^{-4}\text{ s}^{-1}$ (Fig. 13a), e a temperatura de, aproximadamente, -52°C sobre toda a região de estudo (Fig. 13b).

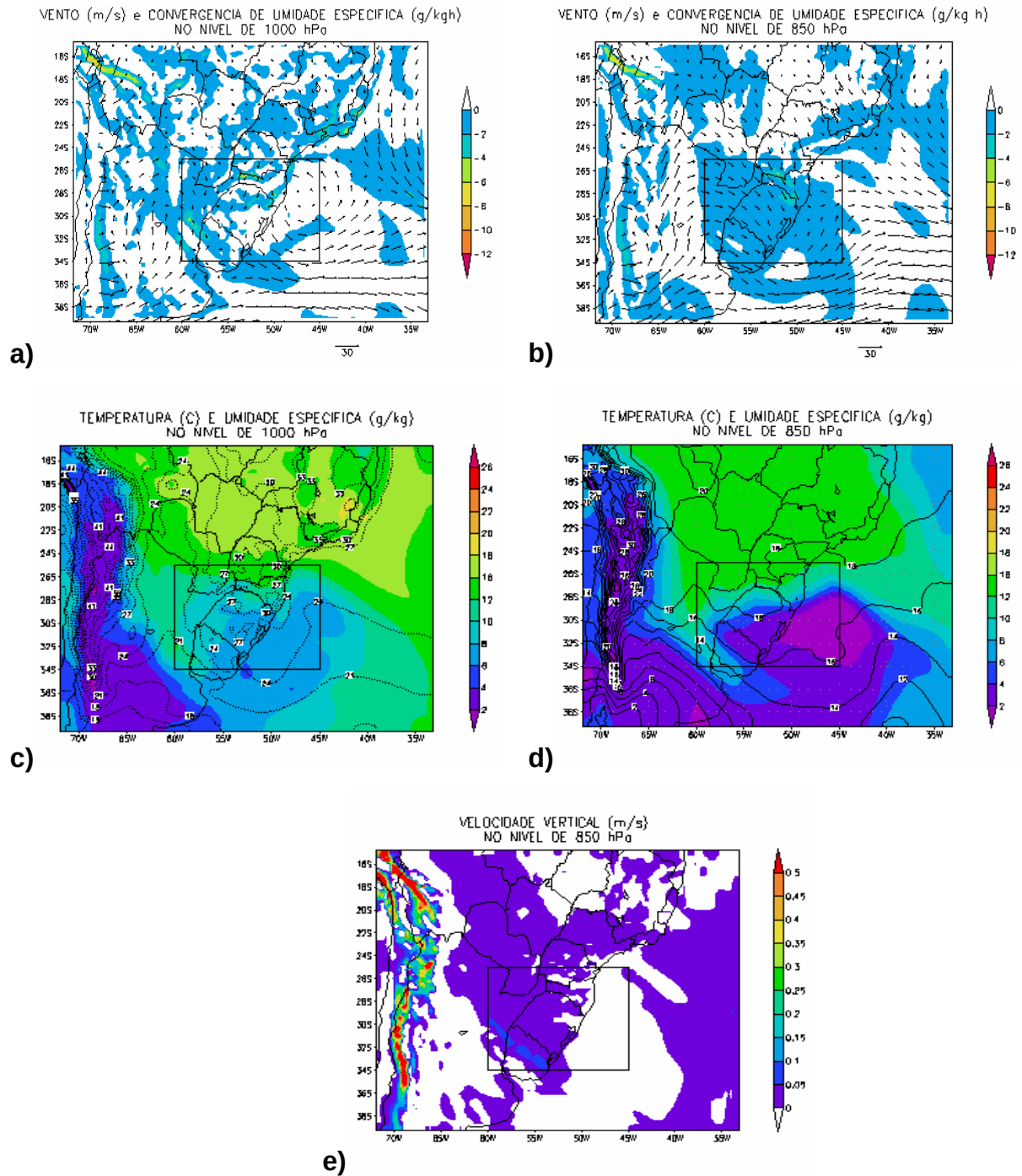


Figura 11: Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado) em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.

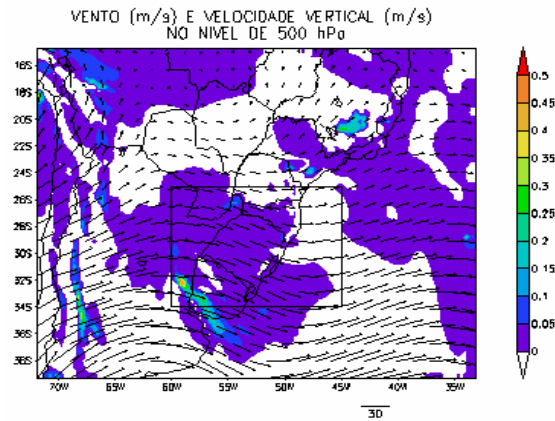


Figura 12: Campo do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.

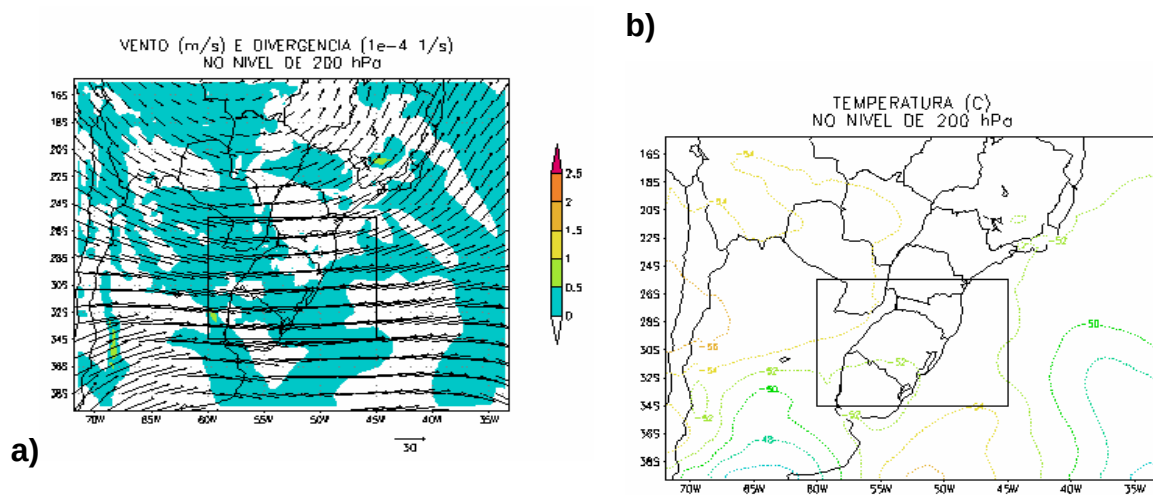


Figura 13: Campos do BRAMS: a) vento (ms^{-1} , vetor) e divergência (10^{-4} s^{-1} , hachurado) e b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha), no nível de 200 hPa.

- **Etapa de maturação (20 de fevereiro de 2003, as 7:30 UTC)**

- *Níveis baixos (1000 a 850 hPa)*

Em 1000hPa, no NE do estado, na região de maturação do SCM, observou-se uma região bem definida de convergência dos ventos, ligada a um núcleo de convergência no litoral leste (Fig. 14a). A convergência de umidade (Fig. 14a) nessa região foi de aproximadamente $2\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ com alguns núcleos de 4 a $6\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ sobre o SCM e um outro núcleo de $8\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ no litoral leste. Nas demais regiões do estado o vento foi de SO. A linha de convergência da região frontal já estava sobre o oceano. Sobre todo o RS teve-se forte gradiente de umidade (Fig. 14c), e temperatura de aproximadamente 24°C , com menores valores a SO e alguns núcleos em torno de 27°C na região do sistema. Essa ligeira queda da temperatura na região do sistema, assim como o acréscimo da umidade relativa, em relação à etapa anterior, também foi apresentado nos trabalhos de Torres (2003) e Maddox (1989).

Em 850 hPa, na região do sistema, os ventos eram de SO de aproximadamente 11ms^{-1} (Fig. 14b), com forte gradiente de umidade e valores de temperatura em torno de 18°C (Fig. 14d). Notou-se que, nessa fase, já não era mais evidente a advecção quente caracterizada pelo giro anti-horário dos ventos com a altura, como mostrado em Torres (2003) e Vila (2004). Foi observada também uma região de inflexão de SO para NO, ao longo de todo o litoral do RS (Fig. 14b). O gradiente de umidade foi mais fraco no centro do estado, onde se tem uma língua com valores de 8gkg^{-1} (Fig. 14d). Existia um gradiente forte de temperatura sobre todo o estado (Fig. 14d). Há convergência do vento em algumas regiões ao longo do SCM, com um núcleo bem definido no NE, na divisa com Santa Catarina, de $2 \cdot 10^{-4}\text{s}^{-1}$ (não mostrado). Na região com convergência de vento havia também convergência de umidade, com o núcleo de $12\text{gkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Fig. 14b). A velocidade vertical foi de $0,05\text{ms}^{-1}$ em praticamente todo o SCM (Fig. 14e).

- Níveis médios (500hPa)

Em 500 hPa (Fig. 15), observou-se a existência de um jato de SO com núcleo de aproximadamente 47ms^{-1} , localizado no oeste do RS e a SO da região do SCM, indicado forte cisalhamento do vento com a altura, que ajuda na convecção. Essa convecção foi evidenciada por um núcleo de velocidade vertical de $0,05\text{ms}^{-1}$ na divisa com SC a nordeste do RS e, em pontos isolados da região de ocorrência do SCM. Esse comportamento do vento difere do encontrado por Torres (2003) e Vila (2004), pois em ambos trabalhos, foram evidenciados a advecção quente e valores de velocidade do vento muito menores do que as encontradas neste trabalho.

- Níveis altos (200hPa)

Em 200 hPa (Fig. 16a), observou-se um jato de oeste com velocidade de aproximadamente 35ms^{-1} , e curvatura anticiclônica, na região do SCM, e um núcleo com velocidade maior que 53ms^{-1} sobre o Uruguai e centro da Argentina. Esse comportamento do vento sobre a região do sistema continua reforçando o cisalhamento vertical que impulsiona a convecção. A temperatura (Fig. 16b) foi baixa em toda a região, aproximadamente -52°C , incluindo a de maturação do sistema. Este comportamento da temperatura é similar ao apresentado por Maddox (1983), Cotton *et al* (1989) e Torres (2003). No campo da divergência, via-se que essa ainda existia embora fraca em toda a divisa com SC a nordeste do RS, o que evidencia núcleos mais intensos de convecção.

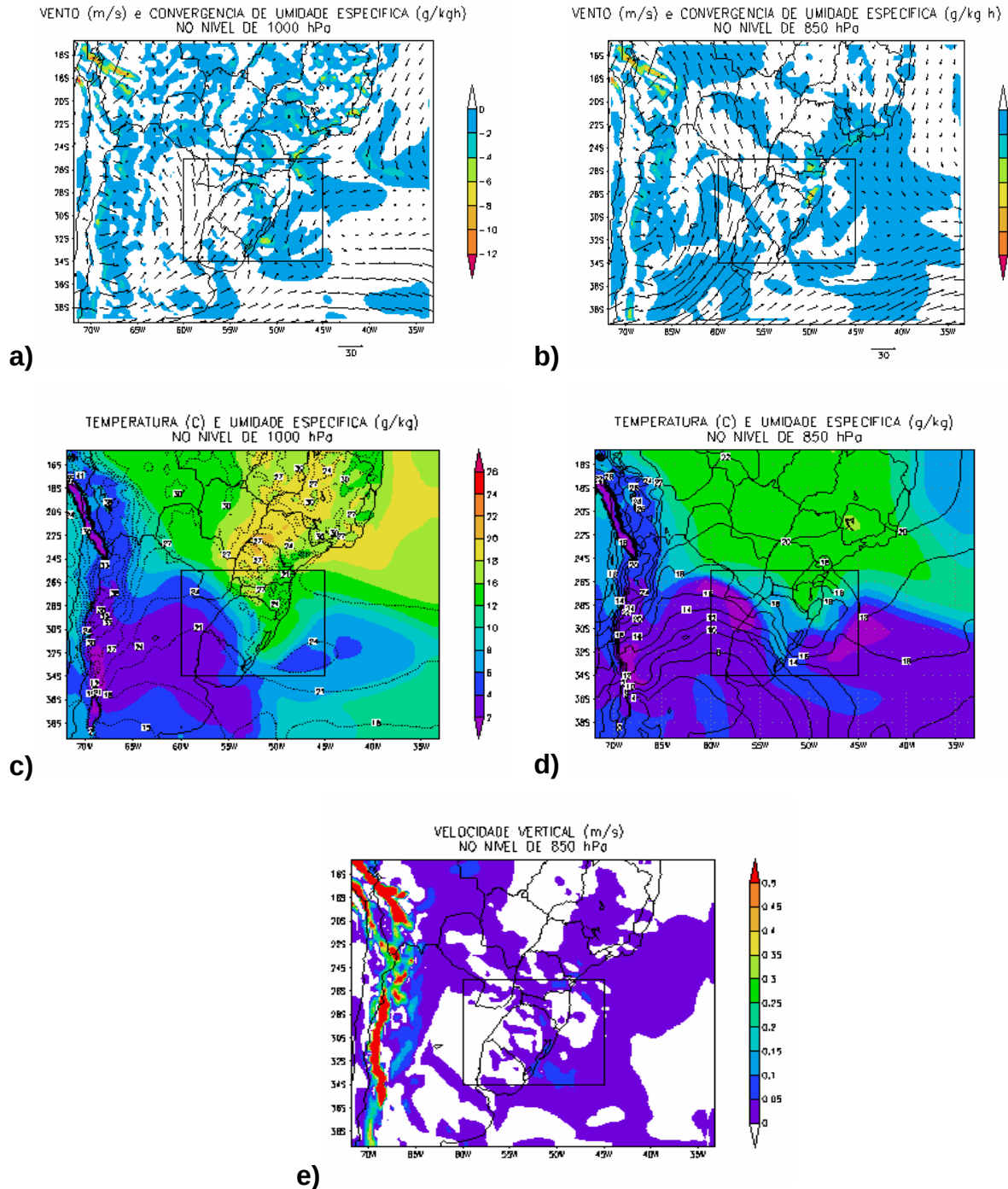


Figura 14: Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado) em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.

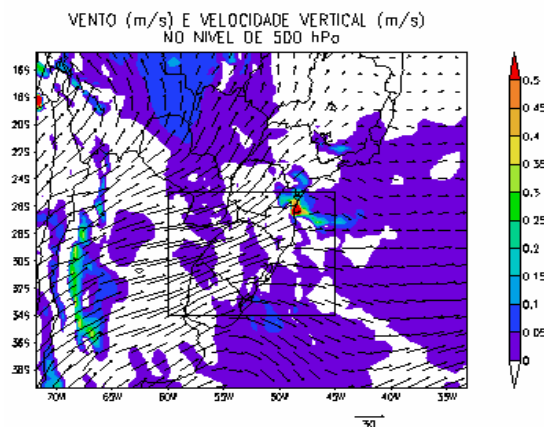


Figura 15: Campo do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.

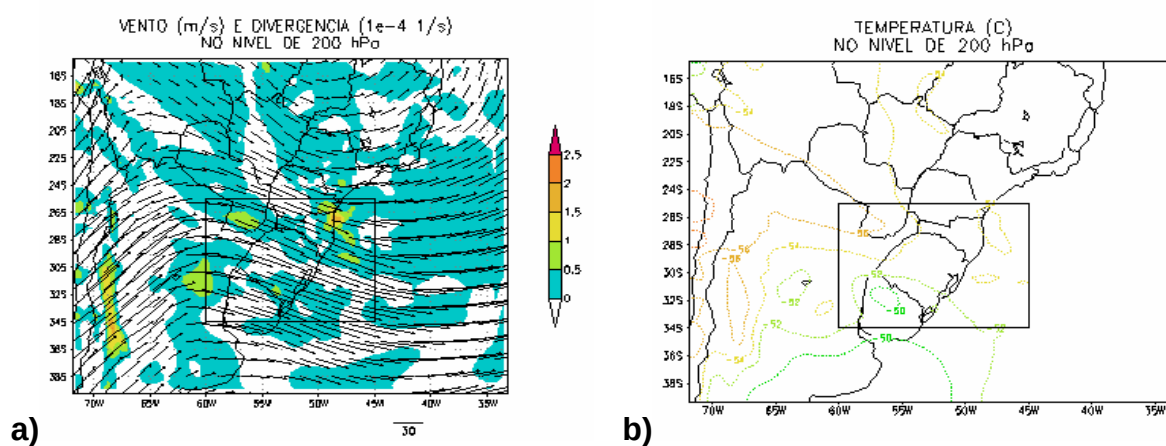


Figura 16: Campos do BRAMS: a) vento (ms^{-1} , vetor) e divergência (10^{-4} s^{-1} , hachurado) e b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha), no nível de 200 hPa.

• Etapa de dissipação (20 de fevereiro de 2003, as 11:30 UTC)

- Níveis baixos (1000 e 850hPa)

Em 1000hPa (Fig. 17a), os ventos foram de SO sobre todo o estado. Observou-se um centro de convergência no litoral leste do estado que gerou um

inflexão dos ventos de SO para NO no litoral norte do RS e leste de SC, que foi a região para onde os núcleos gerados pela dissipação do sistema se deslocaram. Foi observado em todo o estado o avanço do ar mais seco (Fig. 17c), gerando um gradiente de umidade de oeste para leste, devido a presença anterior da frente fria que se deslocou para o oceano. A temperatura foi de aproximadamente 24°C sobre o RS, com um núcleo de 27°C a NE do estado (Fig. 17c), coincidindo com uma convergência de $1.10^{-4}s^{-1}$ ao longo da divisa com SC e no litoral leste do estado, e com convergência de umidade de aproximadamente $4gkg^{-1}h^{-1}$ (Fig. 17a), a combinação desses fatores mostra que ainda existia convecção nessa região.

Em 850hPa (Fig. 17b), os ventos são de SO sobre o RS, com velocidade de $17ms^{-1}$, com uma região de inflexão ao longo do litoral de SC até o litoral leste, mostrando um comportamento similar ao encontrado no nível de 1000hPa. O gradiente de umidade (Fig. 17d) avança sobre o estado diminuindo levemente a umidade sobre a região do SCM. Esse gradiente de umidade é acompanhado de um gradiente de temperatura, de oeste para leste (Fig. 17d).

Ainda em 850hPa existiram dois núcleos bem definidos de velocidade vertical (Fig. 17e), um no oeste de SC com valores de $0,1ms^{-1}$ e outro no nordeste do estado, divisa com SC, que coincidiram com uma região de convergência de vento e umidade com valores de $2.10^{-4}s^{-1}$ (não mostrado) e $8gkg^{-1}h^{-1}$ (Fig. 17b), respectivamente.

- Níveis médios (500hPa)

Em 500 hPa (Fig. 18) , ventos de SO com valores de aproximadamente $30ms^{-1}$ na região do SCM e, uma região de inflexão suave de SO para O ao longo da costa do RS e SC, onde ainda encontrava-se um pequeno núcleo de w de $0,05ms^{-1}$.

- Níveis altos (200hPa)

Ventos (Fig. 19a) de ONO de aproximadamente $44ms^{-1}$ sobre todo o RS, onde a temperatura continuava sendo de -52°C (Fig. 19b). Apenas um pequeno núcleo de divergência de $0,5.10^{-4}s^{-1}$ na costa de SC, mostrando que a convergência em baixos e médios níveis encontrada nessa região era intensa (Fig. 19a). O comportamento da divergência, do vento e da temperatura é similar ao encontrado

por Maddox (1989) e Torres (2003). Eles mostram que a divergência sobre a região do sistema diminui em comparação à fase de maturação, que existe um jato em altos níveis próximo a posição do sistema, com curvatura anti-horária, e baixas temperaturas sobre o SCM.

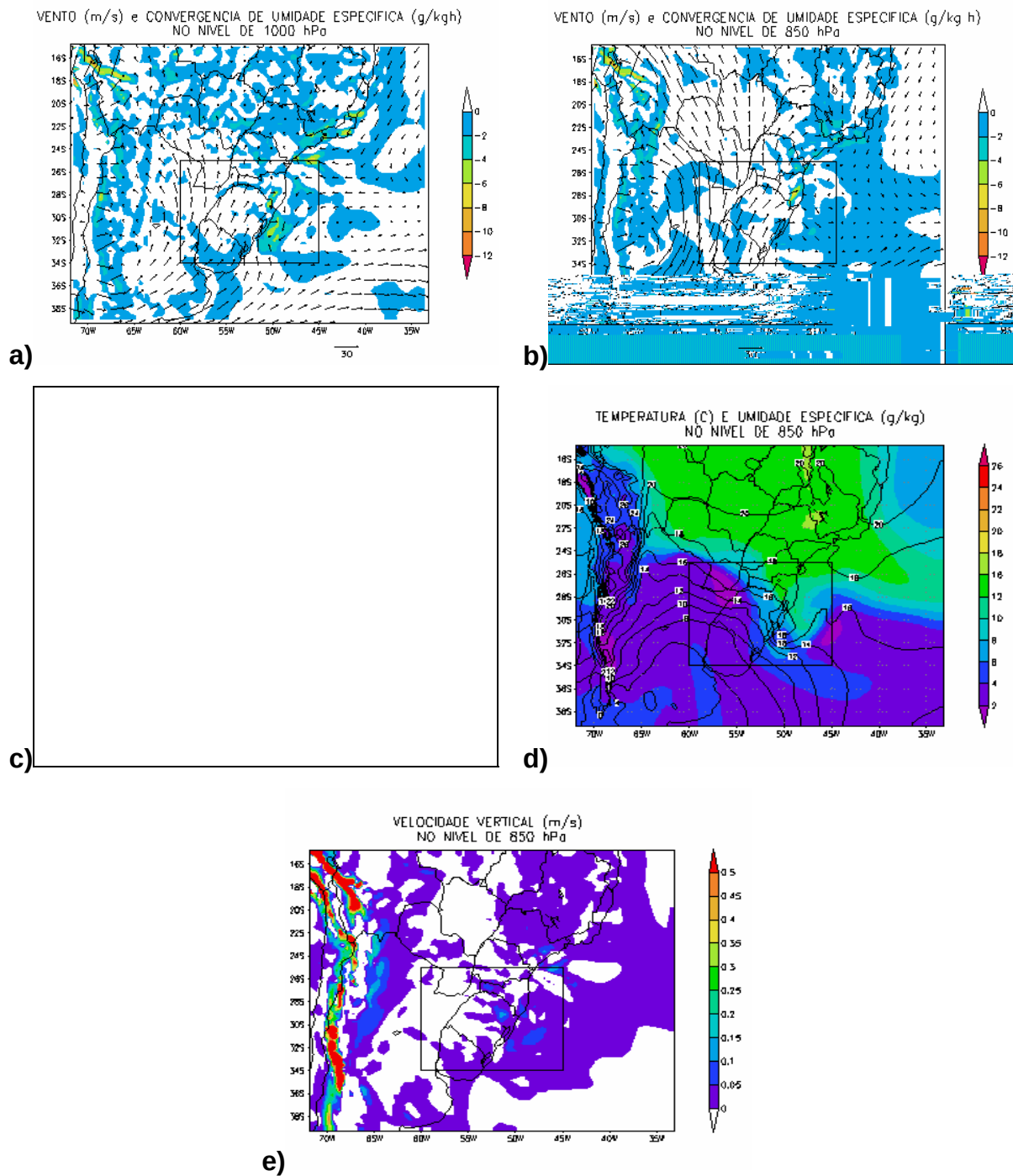


Figura 17: Campos do BRAMS: a e b) vento (ms^{-1} , vetor) e convergência de umidade ($\text{gkg}^{-1} \text{h}^{-1}$, hachurado), c e d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$, linha) e umidade (g kg^{-1} , hachurado)

em 1000 e 850 hPa, respectivamente, e e) velocidade vertical (ms^{-1} , hachurado) em 850 hPa.

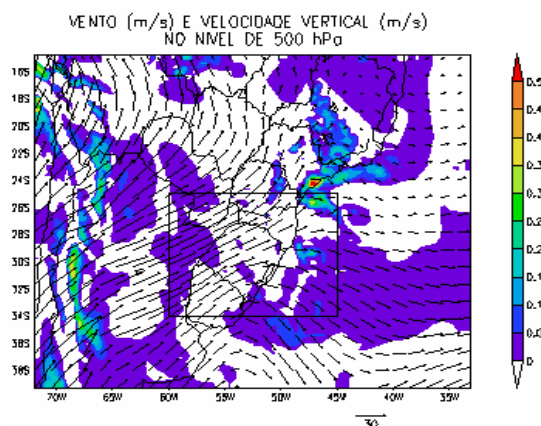
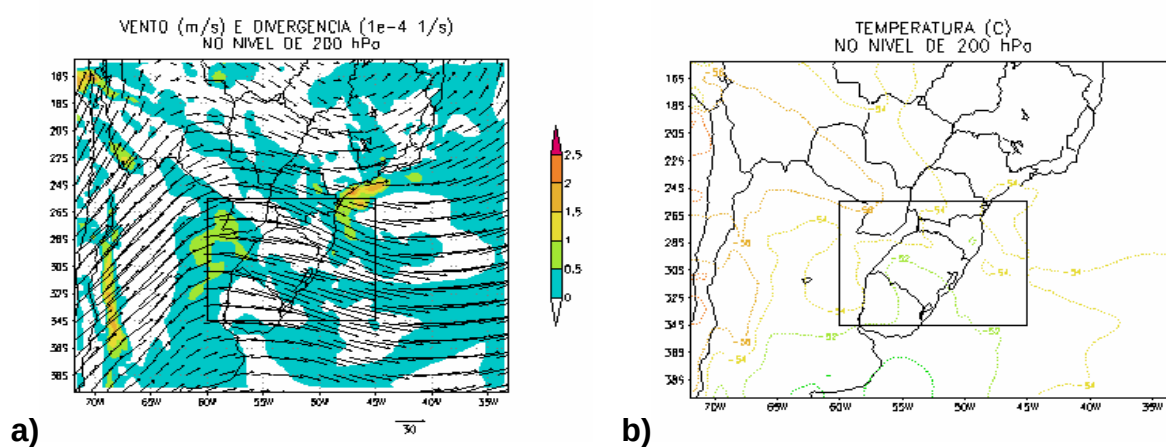


Figura 18: Campo do BRAMS de vento (ms^{-1} , vetor) e velocidade vertical (g kg^{-1} , hachurado), no nível de 500 hPa.



Nessa etapa, foi observado pelo perfil do vento (Fig. 20a, linha azul), que em baixos níveis, o vento assumia valores pequenos, com um máximo em 925hPa. A partir de 850hPa, a velocidade do vento começou a aumentar, até atingir um máximo em 200hPa, o que evidenciou a presença de um jato de altos níveis durante a iniciação do sistema. Esse comportamento do vento em superfície difere do conceitual, onde em superfície é encontrado um jato de baixos níveis, que também foi encontrado por Torres (2003), isso devido ao fato do sistema aqui estudado ter como forçante em superfície a passagem de uma frente fria. E, em altos níveis, o comportamento deste sistema é similar ao conceitual.

Observou-se que a velocidade vertical (Fig. 20b, linha azul) era ascendente abaixo de 925hPa, que não apresentava nenhum tipo de movimento vertical. A partir desse nível, até aproximadamente 300hPa, o movimento ainda era ascendente com valores maiores, vindo a tornar-se subsidente nos níveis acima de aproximadamente 250hPa. O máximo da velocidade vertical foi encontrado no nível de 400hPa. O comportamento da velocidade vertical e a posição do máximo da velocidade de w , é semelhante ao encontrado por Laing e Fritsch (2000) e Torres (2003), que mostraram o máximo entre 300 e 400hPa e 400 e 500hPa, respectivamente.

A umidade específica (Fig. 20c, linha azul) apresentou maior valores em superfície (1000hPa), diminuindo progressivamente para os níveis mais altos.

O perfil da temperatura potencial equivalente (Fig. 20d, linha azul) mostrou instabilidade apenas nos níveis mais baixos, e estabilidade a partir de 700hPa.

• Etapa de maturação

No horário relativo à maturação do sistema (Fig. 20a, linha vermelha), ou seja, horário no qual o sistema apresentou seu maior tamanho, o vento era fraco em superfície, mantendo o mesmo valor em 1000 e 925hPa, tendo um pequeno máximo em 850hPa. A partir do nível de 700hPa, o vento começou a aumentar, até atingir um máximo em 200hPa, mostrando que o jato observado na fase inicial, ainda encontrava-se sobre a região do sistema, embora com menor valor. Como já foi dito na análise da etapa anterior, o comportamento do vento em superfície encontrados neste trabalho difere do conceitual que apresenta a presença de um jato em baixos níveis durante todo o desenvolvimento e maturação do sistema, neste caso o vento é fraco pois o mecanismo de alimentação da instabilidade deste SCM foi a

passagem de uma frente fria, que se deslocou para o oceano, deixando sobre a região de atuação do sistema ventos fracos.

A velocidade vertical (Fig. 20b, linha vermelha) encontrada em superfície (1000hPa) foi ligeiramente maior do que a da fase de iniciação, com valores nulos nos níveis de 925 e 850hPa. A partir desse último nível, até aproximadamente 500hPa, foi encontrada uma camada de subsidência. Essa camada de subsidência é semelhante a encontrada por Cotton *et al* (1989), e pode ter sido gerada pela precipitação encontrada nessa fase. Então, em 400hPa observou-se um novo máximo de ascendência, seguido de uma diminuição que atingiu valores descendentes novamente, no nível de 200hPa.

A umidade específica era de 14gkg^{-1} na superfície, mantendo-se assim até 925hPa, onde a partir desse nível começou a diminuir linearmente com a altura, até secar completamente a partir de aproximadamente 500hPa (Fig. 20c, linha vermelha).

O perfil da temperatura potencial equivalente (Fig. 20d, linha vermelha) mostrou que no horário de maturação, a atmosfera apresentava-se neutra até o nível 850hPa, a partir daí, tornou-se instável até o nível de 500hPa, e estável nos níveis superiores a esse. Esse comportamento é diferente do encontrado por Maddox (1983) e Torres (2003). O primeiro autor, no ponto central da fase madura do sistema, encontrou uma camada praticamente neutra da superfície até 500hPa, e estável acima disso. O segundo autor, encontrou uma atmosfera instável até o nível de 600hPa e estável a partir desse nível.

• Etapa de dissipação

O vento em superfície, no horário da dissipação (Fig. 20a, linha verde), foi maior do que nas outras fases do ciclo de vida do sistema, apresentando um ligeiro máximo em 850hPa. A partir de 700hPa, o vento começa a aumentar até um novo máximo em 200hPa, mostrando que ainda existia o jato em altos níveis, mas agora bem mais fraco do que nas fases anteriores.

Quanto à velocidade vertical (Fig. 20b, linha verde), notou-se que durante a dissipação os valores em superfície são maiores do que nas fases anteriores, sugerindo que ainda existam núcleos convectivos nessa fase. Acima do nível de 800hPa, toda a atmosfera apresentava movimento subsidente.

A umidade em 100hPa, foi a mesma da maturação, 14gkg^{-1} , com a diferença que nesse estágio, começou a diminuir bruscamente acima de 925hPa (Fig. 20c, linha verde).

O perfil de temperatura potencial equivalente (Fig. 20d, linha verde) mostrou instabilidade até o nível de 600hPa e estabilidade acima deste, o que é similar ao descrito por Torres (2003) e próximo ao encontrado por Maddox (1983).

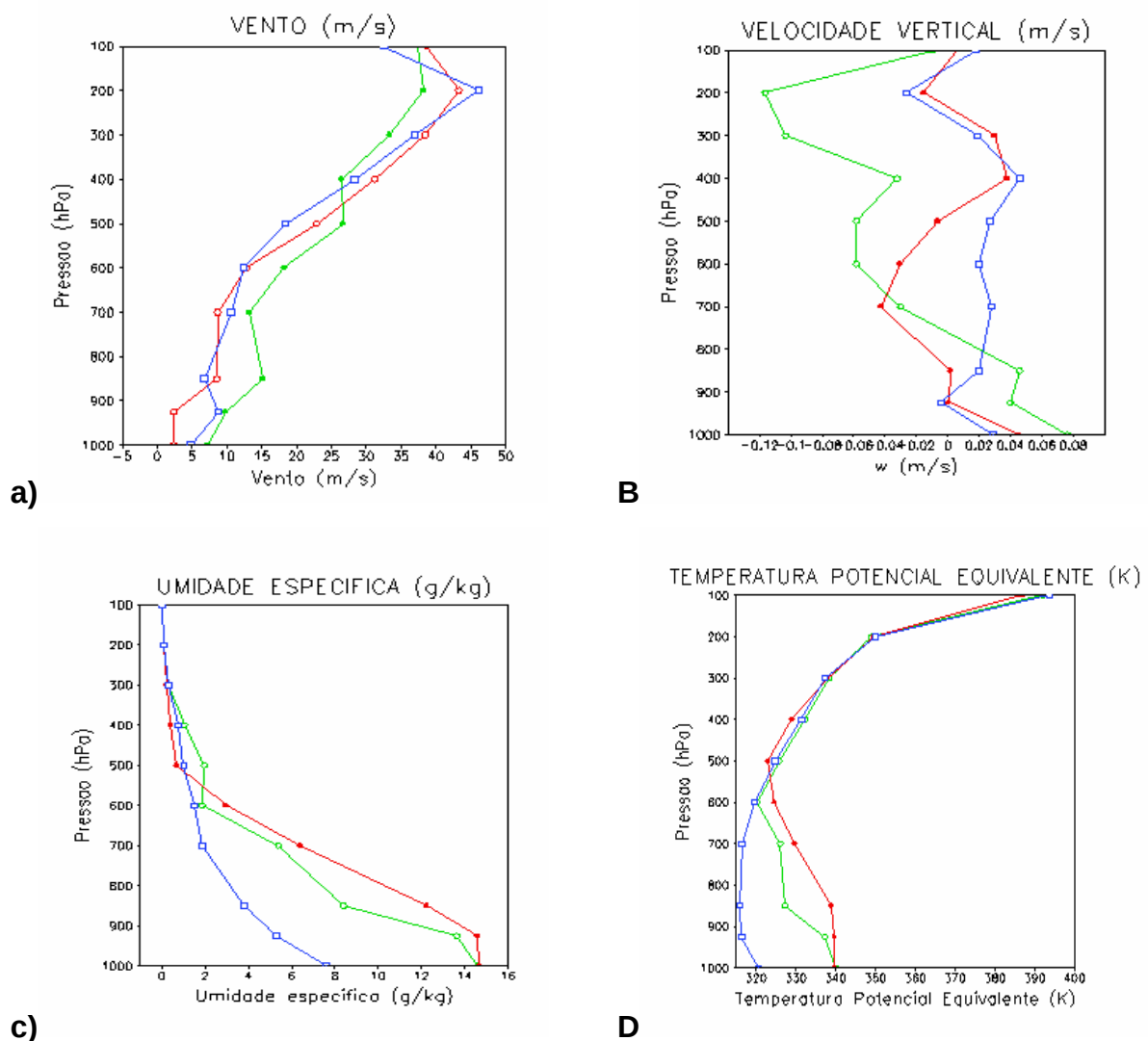


Figura 20: Perfil vertical de a) vento (ms^{-1}), b) velocidade vertical (ms^{-1}), c) umidade específica (g Kg^{-1}) e d) temperatura potencial equivalente (K). As linhas de cor azul representam a fase de iniciação do sistema, as de cor vermelha, a fase de maturação e, as de cor verde, a fase de dissipação.

CONCLUSÃO GERAL

Estudando o período referente ao experimento SALLJEX (novembro de 2002 a fevereiro de 2003), tomando como critério de seleção a precipitação acumulada em superfície, o caso de estudo selecionado foi o ocorrido entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003.

A fim de se estudar as características radiativas e morfológicas do SCM, foi utilizada a técnica ForTrACC (Vila, 2004), utilizados os limiares de temperatura de brilho de 235K, para definir o SCM e, de 210K, para definir as células convectivas imersas nesses SCM. Com isso, foram encontrados 66 sistemas na região de estudo, onde apenas um desses influenciou na precipitação registrada nas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul. Esse sistema teve um ciclo de vida de 23 horas, com início às 13 UTC do dia 19/02/03, maturação às 07:30 UTC e dissipação às 11:30 UTC do dia 20/02/03. Durante todo esse período, apresentou topos frios, ou seja, núcleos com temperatura abaixo 210 K. Ficou evidenciado também, que o sistema teve um comportamento semelhante ao conceitual, onde primeiro sofre uma forte convecção, atingindo valores menores de temperatura, para depois se expandir no estágio de maturação.

Tanto no conjunto total dos sistemas, como o que foi selecionado para estudo, os picos de maturação do sistema coincidem com os dados da literatura, ou

seja, dois picos bem marcados, um durante o período da tarde e outro no final da madrugada e início da manhã.

Devido ao fato deste sistema ter sido marcado por várias fusões e separações durante seu ciclo de vida, sua trajetória foi aleatória.

Por fim, observou-se também que a relação entre a temperatura mínima sobre as estações que foram mais afetadas pelo sistema, e a precipitação registrada em superfície foi inversa, com os maiores valores de precipitação coincidindo com os menores valores de temperatura mínima.

Assim, podemos concluir que as características do sistema observado pelas imagens de satélite refletem com confiabilidade o momento de maior atuação do SCM em superfície, caracterizado pelos maiores valores de precipitação.

Para caracterizar o ambiente sinótico e os perfis verticais de algumas variáveis meteorológicas durante o ciclo de vida do SCM, foram feitas simulações com o modelo regional BRAMS. Com isso, pode-se descrever detalhadamente as condições atmosféricas durante todo o ciclo de vida de um SCM, ocorrido entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003. Isso foi feito utilizando duas grades, uma com resolução horizontal de 36 km (abrangendo toda a área ocupada pelo SCM durante seu ciclo de vida) e a outra com resolução horizontal de 9 km (centrada na região onde o SCM apresentou sua maior intensidade sobre o RS).

Utilizando a grade 1, observou-se que desde o início da simulação, as condições na região eram propícias ao surgimento do sistema, com advecção quente evidenciada pelo giro anti-horário dos ventos com a altura, aumento de temperatura e gradiente de umidade em superfície. Durante a etapa de início observou-se advecção quente em todos os níveis, com os ventos diminuindo a velocidade em superfície, na região de formação do sistema, dando lugar para a convergência de umidade em 1000hPa e ao movimento ascendente em 850hPa e 500hPa, um aumento de temperatura e um forte gradiente de umidade. Em 200hPa foi observado um jato, que persistiu durante todo o ciclo de vida do sistema, combinado com a divergência dos ventos. Esses fatores combinados alimentavam a convecção dando início e condições para o desenvolvimento do SCM. Foi observado também que o sistema se formou anterior à uma frente fria que estava sobre o Uruguai. Na etapa de maturação a advecção quente já não era mais evidente, o vento era de SO tornando-se de O com a altura, o que indicava a advecção fria para a região devido ao avanço de uma massa de ar frio e seco posterior à frente que já

se encontrava no oceano. Na região do sistema ainda tinha-se convergência de umidade e movimento ascendente em praticamente toda a região do SCM, que se encontrava mais ao norte do estado, acompanhando o deslocamento dos gradientes de temperatura e umidade. Na dissipação as condições não foram muito diferentes da maturação, o mais marcante foi que o sistema continuou deslocando-se para norte, conforme o ar frio entrava debilitando a convergência de umidade e a velocidade vertical na região onde o sistema se encontrava.

Analisando a grade 2, foi possível descrever o comportamento do vento, da umidade específica, da velocidade vertical e da temperatura potencial equivalente durante as três fases do ciclo de vida do sistema. O perfil do vento mostrou poucas diferenças entre as etapas do ciclo, a mais evidente foi o aumento da altura da posição do máximo em superfície, de 925hPa na iniciação para 850hPa nas outras duas fases, mas durante todo o ciclo ficou evidente a presença de um jato em alto em 200hPa. O perfil da velocidade vertical mostrou que durante todas as fases do ciclo a ascendência diminui entre os dois primeiros níveis, e que a iniciação é a única etapa que apresenta movimento ascendente em praticamente todos os níveis. O perfil de umidade específica mostra que a fase mais úmida em superfície é a de maturação, onde se teve também uma diminuição mais acentuada com a altura. E o perfil da temperatura potencial equivalente mostrou um comportamento em baixos níveis diferente em cada fase do ciclo, com instabilidade apenas até 925hPa na iniciação, na maturação a instabilidade estava entre 925 e 500hPa e na dissipação, havia instabilidade da superfície até 600hPa.

Com essa análise, foi possível detalhar não só o comportamento das variáveis meteorológicas em grande escala que afetam a ciclo de vida do SCM, mas também analisar o perfil interno do sistema em cada fase do seu ciclo de vida, possibilitando um argumento a mais na compreensão desse fenômeno.

Desde modo, ficou claro que o estudo do SCM, utilizando o modelo regional BRAMS em conjunto com a Técnica ForTrACC, possibilita um melhor detalhamento tanto das condições atmosféricas de grande escala, como das características específicas do sistema durante todo o seu ciclo de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTINE, J. A.; CARACENA, F.: Lower-tropospheric precursors to nocturnal MCS development over the central United States. **Wea. Forecasting**, v.9, p.116-135, 1994.

CAMPOS, C. 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. **Rev. Bras. Geof.**, v.17, n.2-3, p.175-185, 1999.

CARMO, A. M. C. **Estudo da estrutura termodinâmica da atmosfera sobre a Amazônia**. 1996. 111f. Dissertação de Mestrado-INPE, São José dos Campos.

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. **Mon. Wea. Rev.**, v.115, p.670-694, 1987.

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

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

FISCH, G.; CULF, A.D.; NOBRE, C.A. Modelling convective boundary layer growth in Rondônia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M. E VICTORIA, R.L. Amazonia deforestation and climate. John Wiley & Sons, Chichester (UK), p.425-435, 1996.

FISCH, G. **Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. 1996. 171f. Tese (Doutorado em Meteorologia)-INPE, São José dos Campos, Brasil.

GRASSO, L.D. E COTTON, W.R. Tornadogenesis in a simulated supercell thunderstorm. 17th CONFERENCE OF SEVERE LOCAL STORMS, St. Louis, MO, 1993.

GRELL, G. A., DEVENYI, D. A generalized approach to parametrizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, 2002.

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. VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, SBMET, **Anais do ...**, v. 2, p. 77-80, 1994.

GUEDES, R. L. E MACHADO, L.A.T.: Climatologia da estrutura vertical das perturbações convectivas sobre a América do Sul e adjacências. **Rev. Bras. Met.**, v.18, n.2, p.215-230, 2003.

HALVERSON, J.B.; RICKENBACH, T.; ROY, B.; PIERCE, H.; WILLIAMS, E. Environmental Characteristics of Convective Systems during TRMM-LBA. **Mon. Wea. Rev.**, v.130, n.6, p.1493–1509, 2002.

HECKMAN, C. S.; COTTON, W. R.; FLATAU, P. J. Mesoscale numerical simulation of cirrus clouds-FIRE case study. 9th CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, AMS, Boston, MA, 1991.

HOUZE, R.A.; BETTS, A.K. Convection in GATE. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 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: 20 julho 2004.

KLEMP, J. B.; WILHELMSON, R. B. The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. **J. Atmos. Sci.**, v. 35, p. 1070-1096, 1978.

LAING, A. G.; FRITSCH, J. M.: The large-scale environments of the global populations of mesoscale convective complexes. **Mon. Wea. Rev.**, v.128, p.2756-2776, 2000.

LAURENT, HENRI; MACHADO L.A.T.; MORALES C.; DURIEUX, L.: Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment, **J. Geophys. Res.**, v. 107, (D20), p.8054, 2002

LEE, T. J.; PIELKE, R. A. Estimating the soil surface specific humidity. **J. Appl. Meteor.**, v.31, p.480-484, 1992.

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. 69f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Faculdade de Meteorologia, UFPEL, Pelotas.

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

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

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

MADDOX, R.A.. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Mon. Wea. Rev.**, v.121, n.5, p.1398-1416, 1983.

MAHRER, Y.; PIELKE, R. A: A numerical study of the airflow over irregular terrain. **Beitrage zur Physik der Atmosphere**, v.50, p.98-113, 1977.

MATHON V. E LAURENT, H. Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems. **Quart. J. Roy. Meteo. Soc.**, v. 127, p.377-406, 2001.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. **J Atmos. Sci.**, v.31, p.1791-1806, 1974.

MORAN, M. D.; ARRITT, R. W.; SEGAL, M.; PIELKE, R. A. Modification of regional-scale pollutant dispersion by terrain- forced mesoscale circulations. TRANSACTIONS OF THE APCA SECOND INTERNATIONAL SPECIALTY CONFERENCE ON THE

METEOROLOGY OF ACIDIC DEPOSITION, Albany, New York, Air Pollution Control Association, Pittsburgh, Pennsylvania, 136-157, 1986.

NICHOLLS, M. E.; PIELKE, R. E.; COTTON, W. R. A two-dimensional numerical investigation of the interaction between sea breezes and deep convection over the Florida peninsula. **Mon. Wea. Rev.**, v.119, p.298-323, 1991.

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.

NOBRE, C. A.; FISCH, G.; ROCHA, H. R.; LYRA, R. F. F.; ROCHA, E. J. P.; COSTA, A. C. L.; UBARANA, V. N. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M. e VICTORIA, R. L. Amazonia deforestation and climate. John Wiley & Sons, Chichester (UK), p. 425-435, 1996.

PIELKE, R. E. A three-dimensional Numerical Model of Sea Breezes Over South Florida. **Mon. Wea. Rev.**, v.102, p.115-139, 1974.

PIELKE, R. A.; STOCKER, R. A.; VERDON, A. J.; SNOW, J. T. Reply. **J. Appl. Meteor.**, v.29, p.1082, 1990.

PIELKE, R. E.; COTTON, W. R.; WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; LYONS, W. A.; GRASSO, L. D.; NICHOLLS, M. E.; MORAN, M. D.; WESLEY, D. A.; LEE, T. J.; COPELAND, J. H. A comprehensive meteorological modeling system - RAMS. **Meteor. Atmos. Phys.**, v.49, p.69-91, 1992.

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

SOUZA, E.P. **Estudo Teórico e Numérico da Relação entre Convecção e Superfícies Heterogêneas na Região Amazônica.** 1999. Tese (Doutorado em Meteorologia) Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TRIPOLI, G.J.; COTTON, W.R. The Colorado University Three-Dimensional Cloud/Mesoscale Model Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments. **Jour. Res. Atm.**, v.16, p.185-220, 1982.

TORRES, J. C. **Sistemas Convectivos en Mesoescala Altamente Precipitantes en el Norte y Centro de Argentina.** Tese de doctorado. FCEyN-UBA, 2003.

WEBSTER, P.J., HOUZE, R.A. The Equatorial Mesoscale Experiment (EMEX): An Overview. **Bull. Amer. Met. Soc.** v.72, n.10, p.1481–1506, 1991.

WEBSTER, P.J., LUKAS, R. TOGA COARE: The Coupled Ocean—Atmosphere Response Experiment. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v.73, n.9, p.1377–1416, 1992.

VELASCO, I., and FRITSCH, J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **J. Geophys. Res.**, v.92, p.9591-9613, 1987.

VILA D., MACHADO, L. A. T., Shape and Radiative Properties of Convective Systems Observed from Infrared Satellite Images, aprovado para publicação no **International Journal of Remote Sensing**, 2003.

VILA, D. A.: **Sistemas Convectivos Precipitantes de Mesoescala sobre Sudamerica: ciclos de vida e circulación en gran escala asociada.** Tese de Doutorado. FCEyN-UBA, 2004.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; VELASCO, I. E MACEDO, S. R: Los sistemas convectivos de mesoescala sobre la cuenca Del Plata: La Técnica FORTRACC. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, CD-ROM do XIII CBMet., 2004.

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.

WESLEY, D. A. An investigation of the effects of topography on Colorado Front Range winter storms. Atmospheric Science, 489, Colorado State University, Dept. of Atmospheric Science, Fort Collins, CO, 1991.

XIAN, Z.; PIELKE, R. A. The effects of width of land masses on the development of sea breezes. **J. Appl. Meteor.**, v.30, p.1280-1304, 1991.

ANEXOS

ANEXO 1: CAMPOS, Cláudia Rejanejacondino de; PINTO, Luciana Barros. Análise das características físicas e do ambiente sinótico de um SCM ocorrido sobre o Rio Grande do Sul nos dias 19 e 20 de fevereiro de 2003. In: III CONGRESO CUBANO DE METEOROLOGÍA, 2005, Havana. CD-ROM do III Congreso Cubano de Meteorología. 2005.

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DO AMBIENTE SINÓTICO
DE UM SCM OCORRIDO SOBRE O RIO GRANDE DO SUL NOS DIAS 19 E 20 DE
FEVEREIRO DE 2003**

Claudia Rejane Jacondino de Campos e Luciana Barros Pinto

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Campus Universitário, s/nº, caixa
postal 354,

CEP 96010-900, Pelotas RS, Brasil, Fax: 55-053-3275-7329, e-mail:

cicampos@ufpel.edu.br

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) tem sido alvo de interesse de pesquisadores nos últimos tempos, devido às características de tempo a eles associados, como precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo, que causam sérios danos a população.

Diversos autores (Machado et al, 1994; Nicolini et al, 2002; Torres, 2003; Vila, 2004 e Zipser, 2004) têm analisado vários SCM com o objetivo de determinar o seu tamanho médio e seu horário preferencial de formação e maturação. Esses estudos mostram que o tamanho médio dos sistemas está associado ao seu tempo de vida, maiores sistemas têm maior tempo de vida. Com relação ao horário de formação dos sistemas, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente e, um máximo secundário de formação é observado no fim da noite e início da manhã (entre 5 e 6 horas da manhã). Também tem sido observado que a fase madura dos

sistemas tem dois picos, um pela tarde e outro durante a noite e primeiras horas da manhã.

Outra característica observada é com relação a trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes, que segundo alguns autores (Guedes, 1985; Figueiredo e Scola, 1996; Nicolini et al, 2002 e Torres, 2003) têm a tendência de se deslocarem para leste, entre 25° e 40°.

Para se entender a ocorrência desses sistemas, e para uma melhor previsão dos mesmos, é importante conhecer o ambiente sinótico preferencial para o seu surgimento, desenvolvimento, manutenção e dissipação. Diversos pesquisadores têm realizado pesquisas a fim de se reproduzir um ambiente padrão desses sistemas. Entre eles, Maddox (1983) e Jirak e Cotton (2003), estudando a região central dos EUA, mostraram que a condição primordial para a iniciação, organização e manutenção de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um jato em baixos níveis e uma advecção quente e úmida. Essa condição foi comprovada por Guedes *et al* (1994) que ao estudar a região sul da América do Sul, mostrou que a essa condição estava também associado um jato em altos níveis.

Devido às muitas questões a serem ainda respondidas sobre os SCM, o objetivo deste trabalho é descrever o ciclo de vida, as propriedades morfológicas e radiativas do SCM mais precipitante ocorrido sobre o Rio Grande do Sul, durante o período que integra o experimento SALLJEX, e o ambiente sinótico em que ele estava imerso.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas as imagens do satélite GOES 8 (75° W, 0°) com uma resolução espacial de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, correspondentes ao canal 4 (10,7 µm, infravermelho térmico), disponíveis via anonymous ftp pelo "Climate Prediction Center" (NCEP). E, em conjunto, utilizou-se dados observados de precipitação das 12, 18 e 24UTC e precipitação total (medida as 12 UTC) de 24 estações meteorológicas de superfície, pertencentes ao 8° Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (8°Dism./INMET). O período estudado foi de novembro de 2002 a fevereiro de 2003, e a região de interesse é o estado do Rio Grande do Sul.

Primeiramente, analisando os dados de precipitação, foi selecionado o dia com a maior precipitação em superfície registrada na maioria das estações meteorológicas. Então, foram analisadas as imagens de satélite correspondentes, a fim de se identificar a existência sobre o RS de algum tipo de SCM que pudesse ter gerado essa precipitação.

Para a confirmação de qual(is) da(s) família(s) de sistemas, ocorrida(s) sobre o estado nesse dia, foi(foram) a(s) responsável(is) pela maior parte da precipitação registrada, foi utilizado o programa ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters). Essa técnica estuda as características dos SCM através do seu ciclo de vida, utilizando informações dos canais térmicos dos satélites geoestacionários. Os principais elementos que compõem este sistema são os seguintes: 1) um algoritmo de detecção e construção de aglomerados de nuvens ('clusters') usando um umbral de temperatura; 2) um programa para o cálculo dos diversos parâmetros estatísticos e morfológicos dos sistemas achados no ponto anterior (Vila, 2003; Machado 1998); 3) uma técnica de seguimento em si, baseada na superposição de áreas entre imagens sucessivas, o que permite a construção das trajetórias dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida ('famílias') (Mathon e Laurent, 2001; Laurent et al, 2002) e 4) a etapa da geração de imagens virtuais ou sintéticas, utilizadas para cobrir os horários de imagens faltantes. Neste trabalho foram utilizados os limiares de temperatura de brilho de 235K, para definir o SC e, de 210K, para definir as células convectivas imersas nesses SCM, que são os valores utilizados pelo ForTrACC (Vila, 2004).

Para a seleção do caso, foi observado, para cada estação meteorológica de superfície do RS, quais foram as famílias que atuaram sobre elas entre as 12UTC do dia 19/02/03 até as 12 UTC do dia 20/02/03. Para isso foi utilizado um programa que confronta o conjunto de famílias gerado pelo ForTrACC com os dados de latitude e longitude de cada estação.

Então, uma vez selecionado o caso, e definido o conjunto de famílias que mais atuou sobre as estações meteorológicas estudadas, com o conjunto de dados gerados pelo ForTrACC, pode-se estudar o ciclo de vida, a trajetória e as características morfológicas e radiativas do sistema.

Para o estudo do ambiente sinótico foram utilizadas as análises do modelo regional ETA (CPTEC/INPE), dos dias 19, 20 e 21 de fevereiro de 2003, período que

engloba todo o ciclo de vida do sistema selecionado, que serviram como dados de entrada para a simulação com o modelo BRAMS.

A simulação com o modelo BRAMS foi realizada com uma grade com 108X78 pontos de grade e resolução horizontal de 36 km (centrada em 27,5°S e 52,5°W, cobrindo uma área de aproximadamente 3888X2808 km. Utilizaram-se 32 níveis na vertical. Os passos no tempo nas grades 1 e 2 foram de 45 e 15 s, respectivamente. A simulação teve início às 12UTC do dia 19/02/03 e terminou às 00UTC do dia 21/02/03, compreendendo um total de 48 h com saídas de 1 em 1 h. Estes dados foram analisados sobre superfícies isentrópicas e depois interpolados para a grade do modelo.

Os dados de inicialização serão informados ao modelo a cada 3 h através do esquema de nudging nos limites laterais da grade maior. Serão utilizadas as parametrizações que estão sendo utilizadas operacionalmente no Grupo de Estudos em Previsão Regional (GEPRA/FURG).

Foram analisadas as seguintes variáveis: em baixos níveis (1000 e 850 hPa) serão analisados os campos de vento, umidade específica, temperatura, convergência de umidade, divergência e velocidade vertical (w , em ms^{-1} , apenas no nível de 850 hPa); em níveis médios (500 hPa) serão analisados os campos de vento e velocidade vertical (w) e, em altos níveis (200 hPa), serão analisados os campos de vento, divergência e temperatura. Esses campos serão analisados para cada etapa do ciclo de vida do sistema (início, maturação e dissipação).

RESULTADOS

Pela análise dos dados de precipitação em superfície e das imagens de satélite, correspondente aos dias que apresentaram precipitação, o caso selecionado foi o ocorrido durante os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003, onde em algumas estações de superfície foram registrados valores de precipitação acima de 75mm, sendo que os maiores valores de precipitação foram registrados no centro e norte do RS, com um núcleo de valores mais intensos (maiores que 100mm) no nordeste do estado.

a) Ciclo de vida

O ciclo de vida desta família foi de 23 horas, tendo início às 13 UTC do dia 19/02 e, finalização as 12 UTC do dia 20/02, estando presente durante todo o período de interesse. Pela figura 1 podemos ver que o sistema surgiu a partir da dissipação de uma linha de instabilidade as 13 UTC do dia 19/02/03 (Figura 1a e 1b). O ciclo de vida desse sistema foi marcado por várias fusões com novos aglomerados convectivos que se formaram no norte do estado do RS e sobre o oeste do Paraguai (Figura 1c). As 04 UTC do dia 20/02/03, o sistema atinge a sua fase mais ativa (Figura 1d), e então após esse horário expandiu-se até atingir o seu maior tamanho, as 07:30 UTC (Figura 1e), vindo a dissipar-se e deixar o RS depois desse horário (Figura 1f).

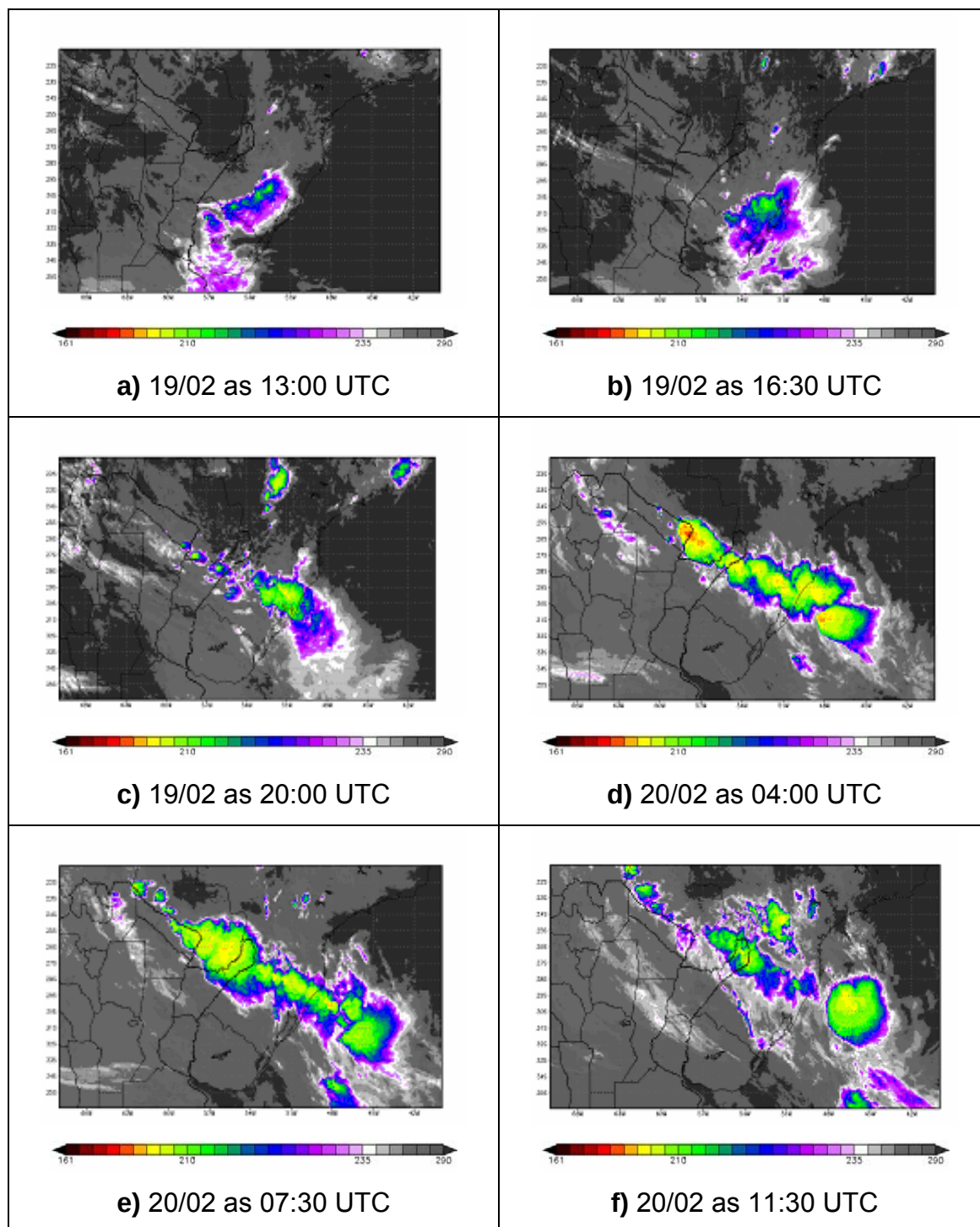


Figura 1: Imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho térmico (TRMM/NCPE), mostrando a evolução do SCM entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003.

Pela figura 2 pode-se ver que durante todo o período o sistema apresentou topos frios, ou seja, núcleos com temperatura abaixo 210 K, com o menor valor de

temperatura mínima as 04 UTC. Já a maior área coberta pelo sistema ocorreu as 07:30 UTC. Esses horários de menor temperatura mínima e maior tamanho deixam evidenciado também, que o sistema teve um comportamento semelhante ao conceitual, onde primeiro sofre uma forte convecção, atingindo valores menores de temperatura mínima, para depois se expandir no estágio de maturação.

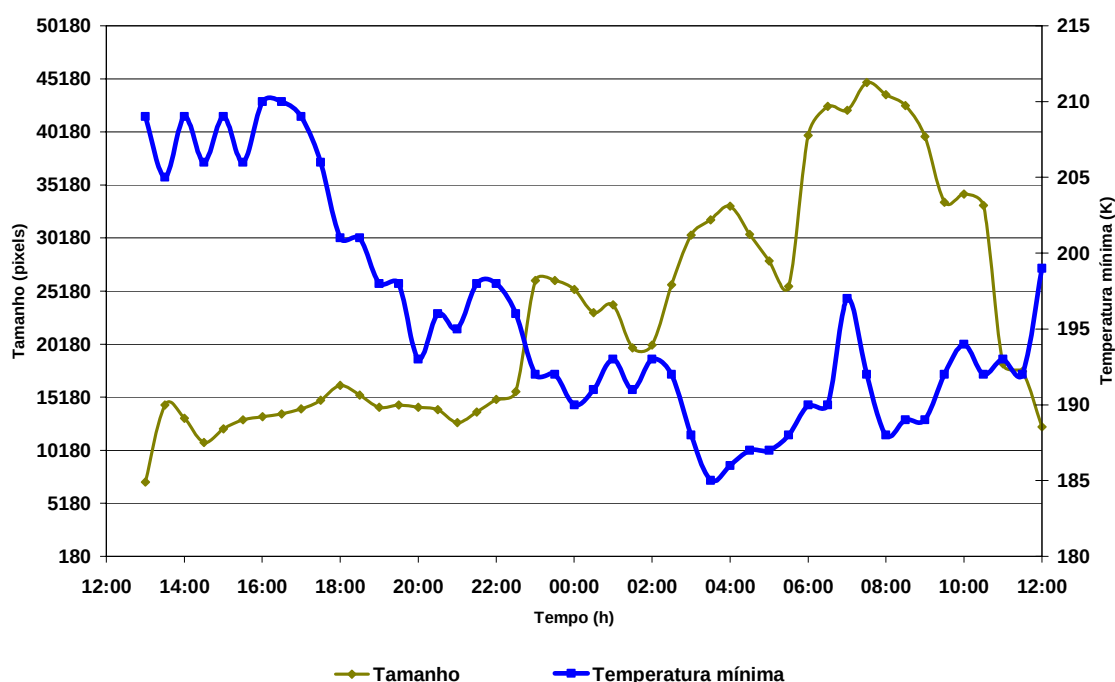


Figura 2: Evolução do tamanho (pixels) e da temperatura mínima (K) do SCM que atingiu o estado, das 12 UTC do dia 19/02/03 às 12 UTC do dia 20/02/03.

b) Ambiente sinótico

De modo geral, pela simulação feita com o modelo BRAMS, pode-se observar que das 00 às 17 UTC do dia 19/02/2003, o vento apresentava um giro anti-horário com a altura, em todo o RS, incluindo a região de formação e desenvolvimento do sistema, indicando advecção quente até altos níveis. Depois desse horário até o final da simulação, os ventos foram de sudeste, em superfície, na maior parte do tempo, girando no sentido horário com a altura, evidenciado uma advecção fria. Essa advecção fria foi confirmada pela entrada de uma massa de ar frio e seco que avançou sobre o estado durante esse período. A temperatura das 00 até as 21 UTC, do dia 19/02/2003, foi aumentado de 24°C a 35°C, na região de formação do sistema. O resfriamento durante o restante da evolução do sistema,

pode ter sido influenciado pela precipitação causada pelo mesmo, que favoreceu o avanço da massa de ar frio. Durante todo o período foi verificado um gradiente de umidade sobre o RS e toda a área do sistema. Foi observada também convergência de umidade e movimento do ar ascendente em praticamente toda a região do desenvolvimento do ciclo de vida do SCM, os com os maiores valores coincidindo com a posição dos núcleos mais ativos observados nas imagens de satélite.

CONCLUSÃO

Analisando o conjunto de famílias gerado pelo FORTRACC, observou-se que o SCM teve ciclo de vida de 23 horas, com início às 13UTC do dia 19/02/03 e dissipação às 12UTC do dia 20/02/03. Esse SCM originou-se no centro do RS e deslocou-se para o norte, tendo sua maior extensão na madrugada e início da manhã do dia 20/02/03. Analisando os campos de vento(m/s), temperatura(°C) e umidade específica(g/Kg) em 1000, 850, 500 e 200hPa e a velocidade vertical(m/s) em 850 e 500hPa, pode-se constatar que o sistema surgiu devido a presença de uma frente fria ao sul do Estado, caracterizada por gradientes de temperatura e umidade, confluência dos ventos em superfície e valores positivos de velocidade vertical na região frontal. Essa frente dissipou-se e deixou sobre a região nordeste do estado uma região de convergência dos ventos associada a altos valores de temperatura e umidade, que manteve o sistema até o ar frio tomar conta dessa região, resultando na dissipação deste. A metodologia utilizada permitiu uma descrição clara do ciclo de vida do sistema, e definiu quais as forçantes sinóticas influenciaram em cada fase do seu ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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: 20 julho 2004.

LAURENT, HENRI; MACHADO L.A.T.; MORALES C.; DURIEUX, L.: Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment, J. Geophys. Res., Vol. 107, (D20), 8054, 2002

MACHADO, L.A.T., GUEDES, R.L., SILVEIRA, J.M.B., WALTZ, R.C. e ALVES, M.A.S. Ciclo de vida de sistemas convectivos. VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, SBMET, Anais, v. 2, p. 323-326, 1994.

MACHADO, L., A., T.; W. B. ROSSOW, R. L. GUEDES E A. W. WALKER: Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. Mon. Wea. Rev., Vol 126, pp. 1630-1654, 1998.

MADDOX, R.A.. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. Mon. Wea. Ver., v. 121, n. 5, p. 1398-1416, 1983.

MATHON V. E LAURENT, H. Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems. Quart. J. Roy. Meteo. Soc., Vol. 127, pp. 377-406, 2001.

NICOLINI, M.; SAULO, A.C.; TORRES, J.C. e 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, 27, 59-69, 2002.

TORRES, J. C.: Sistemas Convectivos en Mesoescala Altamente Precipitantes en el Norte y Centro de Argentina. Tese de doctorado. FCEyN-UBA, 2003.

VILA D., MACHADO, L. A. T., Shape and Radiative Properties of Convective Systems Observed from Infrared Satellite Images, aprovado para publicação no International Journal of Remote Sensing, 2003.

VILA, D. A.: Sistemas Convectivos Precipitantes de Mesoescala sobre Sudamerica: ciclos de vida e circulación en gran escala asociada. Tese de Doutorado. FCEyN-UBA, 2004.

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.

ANEXO 2: PINTO, Luciana Barros; CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino de. Análise do impacto em superfície do Sistema Convectivo de Mesoescala ocorrido no norte do Rio Grande do Sul. In: XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VII ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2005, Pelotas. CD-ROM do XIV Congresso de Iniciação Científica e VII Encontro de Pós-Graduação. 2005.

ANALISE DO IMPACTO EM SUPERFÍCIE DO SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA OCORRIDO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

PINTO, Luciana Barros¹, CAMPOS, Cláudia Jacondino²

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Campus Universitário, s/nº, caixa postal 354,

CEP 96010-900, Pelotas RS, Brasil. E-mails: ⁽¹⁾ lubb@pop.com.br e ⁽²⁾

cjcampos@ufpel.edu.br

RESUMO

O estudo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) tem sido de grande interesse dos estudiosos devido à severidade das condições de tempo associadas a eles, visto que sua ocorrência vem, geralmente, associada a precipitações intensas e fortes rajadas de ventos. O objetivo deste trabalho é confrontar os dados de superfície, de 24 estações meteorológicas de superfície (8º Distrito de Meteorologia-INMET) com a estrutura observada nas imagens de satélite (GOES-8, resolução espacial de 4x4 km e resolução temporal de 30 minutos, no infravermelho, cedidas pelo CPTEC/INPE), a fim de analisar a intensidade de precipitação causada pelo SCM, ocorrido ao norte do RS, nos dias 19 e 20/02/03.

Analisando o conjunto de famílias gerado pelo FORTRACC (Vila, 2004), junto com os dados de precipitação em superfície e as imagens de satélite, observou-se que o SCM em estudo teve um ciclo de vida de 23 hrs, com início às 13 UTC do dia 19 e dissipação às 12 UTC do dia 20. Esse SCM originou-se no centro do RS e deslocou-

se para o norte, tendo sua maior extensão na madrugada e início da manhã do dia 20, período onde, segundo os dados de precipitação, foi o mais chuvoso em todas as estações atingidas pelo SCM.

Dentre as 24 estações, 9 apresentaram precipitação acima de 75mm durante a ocorrência do SCM, mas só foram analisadas 5 delas, devido a falhas nos dados das outras. Nestas, o pico de precipitação ocorreu no horário das 00 UTC do dia 20. A pressão teve um aumento gradativo durante o ciclo de vida do SCM. A umidade relativa apresentou um padrão no qual teve-se um aumento antes do pico de precipitação, e uma diminuição após o mesmo. O comportamento da temperatura do ar foi marcado por menores valores durante o pico de precipitação, com exceção de Caxias do Sul, onde se teve um aumento durante o mesmo.

Conclui-se então que o conjunto dos dados de superfície com as saídas do programa FORTRACC caracterizaram com bastante precisão a relação do SCM com a precipitação registrada.