



**Ocorrência de Granizo Associada a um SCM que Afetou o
Rio Grande do Sul em Agosto de 2006**

Hail Occurrence Related to a Mesoscale Convective System that Reached
Rio Grande do Sul in August 2006

Cláudia Rejane Jacondino de Campos & Diogo Monteiro Maria

*Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, C.P. 354,
96.010-970, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil*

E-mails: cjcamos@ufpel.edu.br, diogomonteiro@hotmail.com

Recebido em: 08/09/2013 Aprovado em: 16/12/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_1_46_60

Resumo

Neste trabalho analisaram-se as características do ambiente termodinâmico e sinótico associado à ocorrência de granizo gerado por um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) que afetou o Rio Grande do Sul (RS) entre os dias 14 e 17/08/06, bem como o comportamento morfológico e radiativo deste SCM. Essas análises permitiram destacar as principais condições atmosféricas que atuaram para a ocorrência deste caso. Os resultados mostraram que as condições atmosféricas observadas na região foram extremamente propícias à formação e desenvolvimento do SCM que teve início a partir do dia 14/08/06, o qual favoreceu a ocorrência granizo em 15/08/06 em Victor Graeff e precipitação extrema no norte do RS em 16/08/06.

Palavras-chave: granizo; sistema convectivo de mesoescala; ForTrACC

Abstract

This work analyzed thermodynamic and synoptic environmental characteristics associated with the occurrence of hail generated by a Mesoscale Convective System (MCS) that reached Rio Grande do Sul (RS) from 2006/08/14 to 2006/08/17, as well as morphological and radiative behavior of this MCS. These analyses allowed highlight the main atmospheric conditions which contributed for the occurrence of this event. The results showed that the atmospheric conditions observed in the region were extremely favorable to formation and development of the MCS that began in 2006/08/14, which favored the hail occurrence in 2006/08/15 in Victor Graeff and extreme precipitation in Northern RS in 2006/08/16.

Keywords: hail; mesoscale convective systems; ForTrACC

1 Introdução

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) têm sido alvo de estudos nas últimas décadas, devido aos danos que são observados nas regiões onde estes atuam.

Na região onde se localiza o Rio Grande do Sul (RS) os SCM são frequentes, sendo responsáveis por 60% da precipitação total (Mota, 2003). Estes sistemas meteorológicos são constituídos por aglomerados de nuvens convectivas, apresentando precipitação contínua em sua área de atuação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, e possuem variadas formas (Houze, 1993; Machado & Rossow, 1993). Podem ocorrer durante todo ano, apresentando maior frequência no período quente (Outubro a Março). Uma grande parte destes SCM dura de 6 à 12h e sua trajetória média é de oeste para leste, ou seja, do continente para o oceano (Nicolini *et al.*, 2002; Vila, 2004). A contribuição dos SCM para a geração de eventos severos é bem significativa, apesar disso, estes sistemas ainda não são bem previstos (Corfidi *et al.*, 1996; Jacobsen & Braun, 2006).

Com bastante frequência, os SCM vêm acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo (Silva Dias, 1999; Zipser *et al.*, 2006). São, portanto, um dos tipos de sistemas meteorológicos associados à ocorrência de episódios de desastre desencadeados por fenômenos meteorológicos severos, também conhecidos como eventos severos, os quais podem causar desde danos na agropecuária, fornecimento de energia pelas hidrelétricas, desastres naturais (ex: enchentes, deslizamentos, inundações, granizo, vendaval) até perdas de vidas.

Um evento severo típico que frequentemente acompanha os SCM, e que costuma causar grandes impactos econômicos e sociais nas regiões onde atua é o granizo. Este tipo de evento severo é um dos mais frequentes notificados pela Defesa Civil do RS (DCRS, <http://www.defesacivil.rs.gov.br>), além de ser também um dos mais frequentes gerados por SCM que atuam no Estado (Rasera, 2013). Como o RS possui sua economia voltada à agroindústria (ASERS, <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>) e é um dos Estados que mais sofre com quebra de safras causadas por eventos severos (DCRS), mostra-se de grande importância o estudo de casos

de granizo associados à SCM que afetam o RS. Isso porque eventos severos deste tipo no RS, além de ser um dos mais frequentes, ocorrem em todos os períodos do ano (Vargas Jr. *et al.*, 2011). Além disso, impactos sociais e econômicos causados pela ocorrência de granizo são tão significativos que tornam importante o melhor conhecimento das características atmosféricas associadas aos sistemas meteorológicos que atuam para a sua formação.

Para a formação do granizo necessita-se de alguns ingredientes na atmosfera (Knight & Knight, 2001; Wallace & Hobbs, 2006) como, por exemplo, valores elevados de advecção quente e convergência de umidade em baixos níveis (transporte de calor e umidade), que tornam a atmosfera instável e criam um ambiente favorável ao disparo da convecção e à formação de correntes ascendentes intensas. Essas correntes ascendentes mantêm os hidrometeoros (partículas de gelo e gotas de água) em suspensão dentro das nuvens convectivas por mais tempo, antes de precipitarem, permitindo a formação do granizo pela colisão entre essas partículas. Apesar da ocorrência de granizo, não ser evitável, o melhor conhecimento do ambiente atmosférico associado a sua formação pode possibilitar sua detecção prévia e, portanto minimizar os danos por ele causados.

Com base no exposto acima, o objetivo deste trabalho foi analisar as características do ambiente termodinâmico e sinótico associado à ocorrência de granizo gerada por um SCM que afetou o RS entre os dias 14 e 17/08/06, bem como o comportamento morfológico e radiativo deste SCM. A partir deste ponto este SCM é referenciado como SCM_{GRA-2006}. Essas análises permitiram destacar as principais condições atmosféricas que atuaram para a ocorrência deste caso.

2 Material e Métodos

Para selecionar o caso de estudo utilizaram-se dados de 2004 a 2008: dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}), definidos como sendo aqueles SCM que atingiram a grade que cobre o RS, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49° W, obtidos por Campos & Eichholz (2011); e dos SCM que afetaram o RS e que geraram granizo (SCM_{GRA}), os quais foram obtidos por Rasera (2013).

A seguir descreve-se como Campos & Eichholz (2011) e Rasesa (2013) selecionaram para o período de 2004 a 2008 os SCM_{RS} e os SCM_{GRA} , respectivamente. E na sequência como foi selecionado o caso de estudo e as análises realizadas.

2.1 Seleção dos SCM_{RS} entre 2004 e 2008

Para selecionar os SCM_{RS} entre 2004 e 2008, Campos & Eichholz (2011) utilizaram o aplicativo ForTraCC (*Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters*, Vila *et al.*, 2008) no modo diagnóstico e como base de dados imagens brutas dos satélites GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) 10 e 12, no canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de ½ hora, fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O ForTraCC é um método de identificação e acompanhamento de SCM, que fornece informações sobre as características físicas e morfológicas dos SCM identificados, durante o seu ciclo de vida. É importante ressaltar que uma das principais etapas do ForTraCC é a de formação das “famílias”. Nessa etapa, o programa acompanha os sistemas desde o seu surgimento até a sua dissipação, levando em consideração todas as fusões e divisões sofridas por ele ao longo do seu ciclo de vida e, a esse conjunto de sistemas (ou membros) dá-se o nome de família. Neste trabalho uma família é designada por sistema ou SCM. Portanto, cada SCM (ou família) detectado pelo ForTraCC tem seu ciclo de vida descrito pelo conjunto de características apresentadas por ele em cada instante, o qual corresponde a um membro do SCM (ou da família). O processo de identificação dos SCM pelo ForTraCC utiliza imagens brutas do satélite GOES e é baseado em limiares de tamanho (150 pixels, 1 pixel=16 Km²) e temperatura de brilho do topo das nuvens- T_b (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as células convectivas mais profundas imersas nos SCM). Segundo alguns estudos (Laurent *et al.*, 2002; Machado & Laurent, 2004; Vila, 2004) os limiares de T_b utilizados por Campos & Eichholz (2011) são aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da América do Sul (AS),

permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas imersas nele.

De todos os SCM (ou famílias) identificados pelo ForTraCC, no período de 2004 a 2008, Campos & Eichholz (2011) consideraram em seu estudo somente aqueles SCM que: i) mantiveram seu centro de massa durante todo seu ciclo de vida abaixo de 20°S; ii) apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h. Esse critério foi adotado porque além de SCM mais longos tenderem a cobrir áreas maiores (Machado *et al.*, 1994; Nicolini *et al.*, 2002; Vila, 2004) eles podem causar eventos com precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granzos (Silva Dias, 1999), podendo causar grandes impactos nas regiões onde atuam; iii) apresentaram iniciação espontânea e dissipação normal, isto é, tanto no momento de iniciação quanto no de dissipação, não houve interação (fusão) com outros SCM nem a separação do SCM identificado. Porém, foi permitida a existência de fusões e separações durante o ciclo de vida de um determinado SCM, uma vez que de outra maneira, o conjunto de dados a analisar seria limitado. Esse critério foi o mesmo seguido por Vila (2004) para obter um conjunto de informações mais homogêneo para estudar as características físicas dos SCM. Além disso, utilizando essa condição garante-se que o crescimento inicial dos SCM selecionados esteja associado à sua própria dinâmica interna (Machado & Laurent, 2004) e, iv) afetaram o RS. Foi determinado que um SCM afetou o RS quando pelo menos um dos membros do SCM analisado apresentava latitude e longitude que o localizava dentro da grade que cobre o Rio Grande do Sul, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49° W.

Durante o período de 01/01/2004 a 31/12/2008 Campos & Eichholz (2011) selecionaram 626 SCM com as características citadas acima, denominando-os de SCM_{RS} , os quais estavam distribuídos da seguinte forma: 179 em JFM (Jan, Fev, Mar), 150 em AMJ (abr, Mai, Jun) 142 em JAS (Jul, Ago, Set) e 155 em OND (Out, Nov, Dez).

2.2 Seleção dos SCM_{GRA} entre 2004 e 2008

Para selecionar os SCM_{GRA} Rasesa (2013) utilizou os seguintes dados do período de 2004 a 2008: i) tamanho máximo, tempo de vida e trajetórias dos SCM_{RS} , selecionados por Campos & Eichholz

(2011) com o uso do ForTrACC; ii) registros de granizo e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS e iii) imagens brutas no canal infravermelho termal dos satélites GOES 10 e 12, com resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de ½ hora, fornecidas pela DAS/CPTEC/INPE.

Para verificar quais dos 626 SCM_{RS} no período de 2004 a 2008 geraram granizo (SCM_{GRA}), Rasera (2013) adotou o seguinte procedimento. Primeiramente organizou as informações sobre o tamanho máximo, tempo de vida e trajetória de cada SCM_{RS} em uma planilha eletrônica. Em seguida verificou se no(s) dia(s) que foi observado cada um dos SCM_{RS} , houve registro de granizo notificado no banco de dados da DCRS. Tendo sido verificada a ocorrência de granizo dentro do período compreendido pelo ciclo de vida do SCM_{RS} , então identificou os municípios atingidos, e plotou suas latitudes e longitudes em um mapa utilizando o aplicativo GrADS. Em seguida neste mesmo mapa plotou a trajetória do SCM_{RS} em análise (utilizando para isso as latitudes e longitudes de todos os seus membros), para acompanhar a evolução do seu ciclo de vida e verificar se este sistema estava atuando sobre os municípios atingidos. Visando maior precisão na verificação dos municípios atingidos pelo SCM_{RS} em análise, no mesmo mapa foram sobrepostas as imagens dos satélites GOES com temperatura de brilho realçada abaixo de 235K (limiar utilizado para detectar SCM) de todo o ciclo de vida do SCM_{RS} . Quando constatou que o SCM_{RS} em análise afetou o(s) município(s) que registrou(ram) granizo, então classificou este SCM_{RS} como um SCM que afetou o RS e que gerou granizo (SCM_{GRA}). Esse mesmo procedimento foi utilizado para selecionar os SCM que geraram além de granizo, os seguintes eventos severos (SCM_{ES}): granizo/vendaval (ocorrência simultânea dos dois eventos), vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento e deslizamento.

Utilizando a metodologia citada acima, Rasera (2013) observou que dos 626 SCM_{RS} , 29 geraram granizo (SCM_{GRA}) e 38 geraram os outros tipos de eventos severos citados acima (SCM_{ES}). Além disso, este autor observou que os SCM_{GRA} estavam distribuídos da seguinte forma: 6 em AMJ, 13 em JAS e 10 em OND.

2.3 Seleção do Caso de Estudo

Os critérios utilizados para a seleção do caso de estudo, basearam-se primeiro na sua ocorrência ter se dado no período do ano com maior frequência dos SCM_{GRA} e depois na maior duração e maior tamanho do mesmo. Além disso, procurou-se selecionar um caso cujas etapas de iniciação, maturação e dissipação ocorressem em horários o mais próximo possível dos horários sinóticos em que são disponibilizados os dados de reanálise global geradas no NCEP-CFSR (*National Centers for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis*). Assim foi selecionado um caso no período frio – JAS, $SCM_{GRA-2006}$: 14/08/06 a 17/08/06, que se encaixou nos critérios definidos acima.

Após a seleção do $SCM_{GRA-2006}$, foram utilizados dados diários de precipitação pluvial acumulada as 12 UTC, de 16 EMS pertencentes ao 8° DISME/INMET, do período de 13/08/06 a 18/08/06. Essas 16 EMS foram escolhidas por pertencerem a diferentes regiões ecoclimáticas (regiões com características climáticas semelhantes) do RS (Figura 1). Esses dados serviram para se verificar os valores de precipitação que foram registrados no RS, antes, durante e após a atuação do $SCM_{GRA-2006}$.

Para analisar o ambiente termodinâmico associado à ocorrência do caso de estudo se analisou alguns índices de instabilidade que funcionam como ferramentas diagnósticas da possibilidade de formação de tempestades severas que podem gerar granizo. Os índices de instabilidade analisados foram CAPE (*Convective Available Potential Energy*) que fornece uma medida direta da energia potencial disponível para o desenvolvimento da atividade convectiva; índice de levantamento (Lifted Index, LI) e Showalter (IS) que denotam apenas a instabilidade da camada e são negativos quando há umidade e calor nos níveis baixos da atmosfera e ar frio em 850 hPa; K que é significativo quando há calor em baixos níveis da atmosfera e umidade em abundância desde a superfície até 700 hPa; Total Totals (TT) que exige calor e umidade em 850 hPa e frio em 500 hPa e não restringe a umidade em 700 hPa e SWEAT (*Severe Weather Threat*) que dá peso a umidade em 850 hPa, ao TT alto e incorpora a informação do efeito do vento. Analisou-se ainda o nível de congelamento, ou seja, a altura onde a

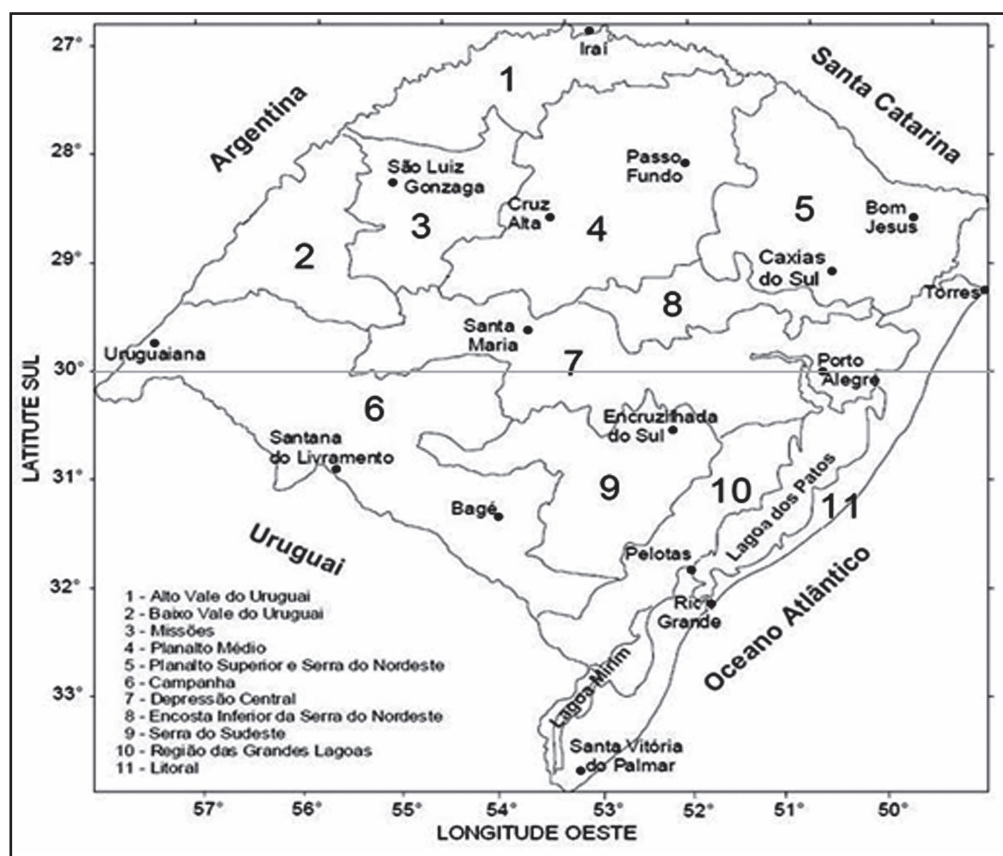


Figura 1 Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, em suas respectivas Regiões Ecoclimáticas.

temperatura do bulbo úmido (T_w) atinge 0°C , uma vez que a ocorrência de granizo está associada a esta altura (Fawbush & Miller, 1953). Escolheu-se o horário da 00 UTC do dia 15/08/06 para a análise dos índices e do nível de congelamento, tendo em vista que a queda de granizo ocorreu na madrugada do dia 15/08/06 (informações da DCRS). Os dados aerológicos utilizados nestas análises foram obtidos da radiossondagem realizada na estação de Porto Alegre ($30,06^\circ\text{S}$ e $51,22^\circ\text{W}$) à 00 UTC do dia 15/08/06 (estação mais próxima à Victor Graeff), disponível em <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Na sequência utilizou-se o aplicativo ForTrACC no modo diagnóstico e imagens do satélite GOES 12 no canal infravermelho termal, com resolução espacial de $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ no ponto subsatélite e resolução temporal de $\frac{1}{2}$ hora, do período de atuação do $\text{SCM}_{\text{GRA-2006}}$ (14 a 17/08/06) para gerar informações que permitiram analisar o ciclo de vida, trajetória (acompanhamento da posição do $\text{SCM}_{\text{GRA-2006}}$ em cada instante do seu ciclo de vida, desde a iniciação até a dissipação) e deslocamento

(considerou-se apenas as posições do $\text{SCM}_{\text{GRA-2006}}$ nos instantes de iniciação, maturação e dissipação) do $\text{SCM}_{\text{GRA-2006}}$ em estudo; bem como a evolução temporal do seu tamanho (dado pelo número de pixels com temperatura de brilho inferior a 235 K), da temperatura de brilho mínima do topo das nuvens (T_{bmim}) e da fração convectiva. A relação entre a área ocupada pelos topos frios (pixels com T_b inferior a 210 K) e a área total do SCM (pixels com T_b inferior a 235 K) é definida como fração convectiva, a qual representa o tamanho relativo dos núcleos ativos do SCM e evidencia o horário em que o SCM atingiu seu período com convecção mais intensa.

Por fim, para a análise do ambiente em grande escala (sinótico) associado à atuação do $\text{SCM}_{\text{GRA-2006}}$ em suas fases de iniciação, maturação e dissipação foram utilizados dados de reanálise global gerados no NCEP-CFSR (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#cfsr>), com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e disponibilizados de 6 em 6 horas (00, 06, 12 e 18 UTC). Com esses dados foram gerados campos meteorológicos dos horários mais próximos das etapas de iniciação, maturação e dissipação do

SCM_{GRA-2006}. Os campos utilizados foram: pressão em superfície e vento em 10 metros, para analisar a posição dos centros de alta e baixa pressão na região de atuação do SCM_{GRA-2006}; advecção de temperatura e convergência de umidade e vento em 850 hPa, que indicam locais propensos à ocorrência de convecção, uma vez que a advecção quente e a convergência de umidade (transporte de calor e umidade em baixos níveis) tornam a atmosfera instável e criam um ambiente favorável à formação e desenvolvimento de SCM (Jirak & Cotton, 2004); velocidade vertical (Omega) em 500 hPa, para analisar os movimentos verticais do ar que expressam o nível de estabilidade/instabilidade atmosférica presente. Logo, regiões com movimento do ar ascendente (velocidade vertical negativa) estão associadas à instabilidade atmosférica e ao favorecimento do disparo da convecção em baixos níveis (Ucellini & Johnson, 1979); e divergência do vento em 200 hPa, que indica se na superfície há convergência de umidade e calor que geram movimentos verticais ascendentes, evidenciando a atividade convectiva de uma região (Lima *et al.*, 2003).

3 Resultados e Discussão

Segundo o Boletim Climanálise (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~recliman1/boletim>) durante o mês de agosto de 2006, sete Sistemas Frontais (SF) atuaram no Brasil (número dentro da climatologia para latitudes entre 25°S e 35°S). No dia 13/08/06 formou-se um SF entre o Uruguai e o sul do Brasil que se posicionou sobre o oceano no dia 14/08/06. Neste mesmo dia formou-se um centro de baixa pressão sobre o Uruguai que deu origem a outro SF que gerou aumento de nebulosidade na região sul, que associado à presença de um escoamento bem configurado de norte, que transportava calor e umidade desde a região amazônica até a área de estudo (conhecido como JBN-Jato de Baixos Níveis, Velasco & Fritsh, 1987; Marengo *et al.*, 2004), gerou intensa atividade convectiva no norte do RS e SC, provocando chuvas significativas na região. Além disso, o boletim registrado pela DCRS declarou que em Victor Graeff (28,56°S, 54,75°O) na madrugada do dia 15/08/06 houve ocorrência de granizo, que afetou as áreas urbana e rural do município, com registro de danos parciais em aproximadamente 50 residências. Por esta análise inicial, a atmosfera

no sul do Brasil indicava condições favoráveis à formação de granizo e precipitação intensa a partir do dia 14/08/06.

A análise da precipitação acumulada (mm) nos dias 13 a 18/08/06 às 12 UTC mostrou que as EMS de Bom Jesus (28,66°S; 52,43°O), Iraí (27,18°S; 53,23°O) e Passo Fundo (28,21°S; 52,4°O), localizadas no norte do estado, foram as que registraram os maiores volumes de chuva associados à atuação do SCM_{GRA-2006} no RS, entre as 16 EMS analisadas (Figura 1). Na Figura 2 pode-se observar que a precipitação associada ao SCM_{GRA-2006} foi registrada a partir do dia 15/08/06, com maior volume de precipitação acumulada registrada em Bom Jesus, 21,5 mm. O máximo de precipitação associado ao SCM_{GRA-2006} ocorreu no dia 16/08/06, em Iraí e Passo Fundo onde foram registrados 102,3 e 84,5 mm, respectivamente. Cabe destacar que em apenas 24 horas as EMS de Iraí e Passo Fundo registraram 64 e 45%, respectivamente, do total de precipitação esperado para o mês de agosto (Ramos *et al.*, 2009), mostrando a intensidade do SCM_{GRA-2006} que atuou na região.

A composição da precipitação acumulada (mm) registrada no dia 16/08/06, para as 16 EMS do RS utilizadas neste estudo (Figura 3), confirma que o máximo de precipitação ocorreu no norte do Estado, com valores acima de 100,0 mm, na região de Iraí. Em grande parte do litoral gaúcho, nas regiões de fronteira com o Uruguai e extremo sul com a Argentina, não foi registrada precipitação no dia 16/08/06, portanto o SCM_{GRA-2006} atuou na porção norte do estado. Cabe lembrar que a precipitação acumulada registrada no dia 16/08/06 é o valor acumulado entre as 12 UTC do dia 15/08/06 e 12 UTC do dia 16/08/06.

Em seguida se analisou o ambiente termodinâmico associado ao caso de estudo utilizando índices de instabilidade e o nível de congelamento. Os valores de referência dos índices de instabilidade encontrados na literatura para detecção de tempestades severas que podem gerar granizo (CAPE>100: Brooks, *et al.*, 2003 e LI e SI>0, K>24, SWEAT>270, TT>50: Silva Dias, 2000) e os valores destes índices obtidos pela radiosondagem de Porto Alegre para o dia 15/08/06 à 00 UTC são mostrados na Tabela 1.

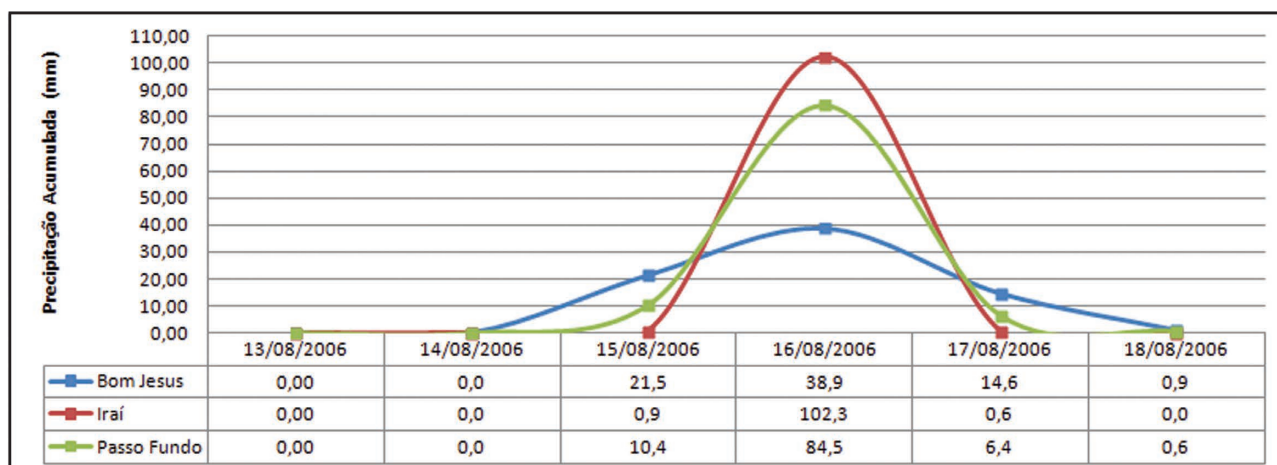


Figura 2 Precipitação acumulada (mm) nos dias 13 a 18/08/06 as 12 UTC, nas estações meteorológicas de Bom Jesus, Iraí e Passo Fundo.

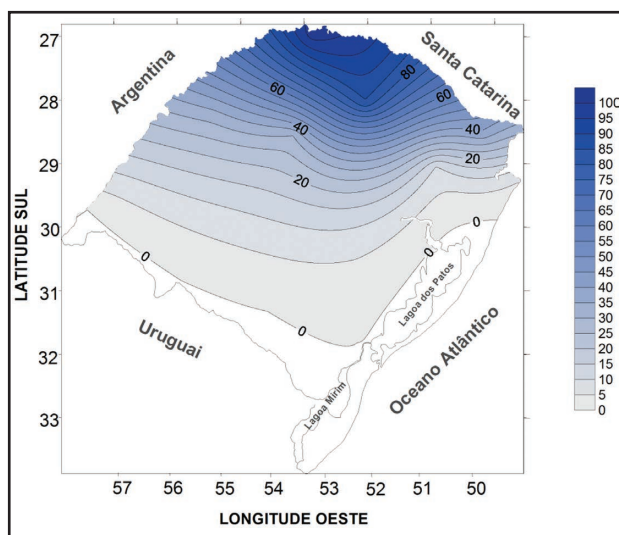


Figura 3 Composição da precipitação acumulada (mm) registrada no dia 16/08/06, para 16 estações meteorológicas de superfície do Rio Grande do Sul.

A análise dos índices de instabilidade mostrou que o ambiente termodinâmico no dia 15/08/06 à 00 UTC apresentava condições favoráveis à formação de tempestade severa com potencial para gerar granizo. Isso porque todos os índices obtidos para à 00 UTC do dia 15/08/06, quando comparados com os seus valores de referência mostrados na literatura, apresentavam a valores que indicavam que o ambiente continha os ingredientes necessários para o desenvolvimento de tempestades severas com potencial para gerar granizo (Tabela 1). Ou seja, existia energia potencial disponível para o desenvolvimento da atividade convectiva ($CAPE=159,97 \text{ J Kg}^{-1}$). Apesar de o limiar mínimo para CAPE documentado por Nascimento (2005)

para detecção de tempestades severas ser de 1000 J Kg^{-1} , Brooks *et al.* (2003), que mapearam as regiões mais propensas ao desenvolvimento de tempestades severas a partir do uso de índices para o globo, mostraram que para a AS o limiar mínimo de CAPE é 100 J Kg^{-1} . Os índices LI e SI negativos ($-0,75^\circ\text{C}$ e $-4,2^\circ\text{C}$, respectivamente) indicavam que havia instabilidade na atmosfera com a presença de umidade e calor nos níveis baixos. O índice $K=41,1^\circ\text{C}$ indicava que havia calor em baixos níveis da atmosfera e umidade em abundância desde a superfície até 700 hPa. Os índices $TT=52,9^\circ\text{C}$ e $SWEAT=387$ mostravam que havia ameaça de tempo severo. Todos esses fatores em conjunto davam condições à ocorrência do caso de granizo e da precipitação extrema observada nos dias 15 e 16/08/06.

	CAPE (J Kg^{-1})	LI	SI	K ($^\circ\text{C}$)	SWEAT	TT ($^\circ\text{C}$)
(1)*	100	<0	<0	>24	>270	>50
(2)	159,97	-0,75	-4,2	41,1	387	52,9

* CAPE (Brooks *et al.*, 2003) e LI, SI, K, SWEAT, TT (Silva Dias, 2000)

Tabela 1 Índices de instabilidade: (1)* valores de referência na literatura para detecção de tempestades severas que podem gerar granizo e (2) obtidos pela radiossondagem da estação de Porto Alegre para o dia 15/08/06 à 00 UTC.

Outro fator que condicionou a ocorrência de granizo no dia 15/08/06 em Victor Graeff foi a altura em que a T_w atingiu 0°C , ou seja, altura do nível de congelamento que indica a possibilidade de formação de granizo. Segundo Fawbush & Miller (1953) para haver formação de granizo $T_w=0^\circ\text{C}$ tem que estar a uma altura acima da superfície entre 2.000 e 3.500 m. No

presente caso esta altura estava próxima a 3.500 m (ver seta vermelha na Figura 4), portanto indicando que na atmosfera havia condições para a formação de granizo.

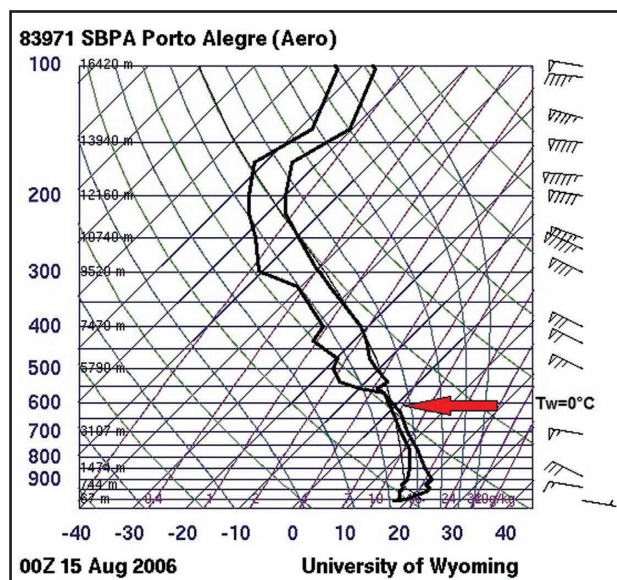


Figura 4 Radiossondagem da estação de Porto Alegre-RS no dia 15/08/2006 à 00UTC. A seta em vermelho indica a altura da isolinha da temperatura do bulbo úmido de 0°C. Fonte: (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

Para analisar a evolução do SCM_{GRA-2006} entre os dias 14 e 17/08/06 utilizou-se as imagens realçadas no canal 4 (infravermelho termal) do satélite GOES 12 (Figura 5). A Figura 5A mostra o horário estimado pelo ForTrACC da iniciação do SCM_{GRA-2006}, às 21 UTC do dia 14/08/06. Pode-se notar nesta imagem a atuação já sobre o oceano Atlântico do SF que se formou neste dia e que gerou aumento de nebulosidade na região sul da AS. Entre o horário da iniciação do SCM_{GRA-2006} e as 09 UTC do dia 14/08/06 (Figura 5A,B,C) pode-se notar a presença de células convectivas no Paraguai, sudoeste do PR, sudeste de SC e norte do RS que se desenvolviam e que levou à maturação do SCM_{GRA-2006}, estimada pelo ForTrACC, às 11 UTC do dia 15/08/06 (Figura 5D).

No momento de sua máxima extensão, dia 15/08/06 às 11:00 UTC, o SCM_{GRA-2006} já atuava sobre o RS (além de boa parte dos estados do PR e SC) como mostra a Figura 5D. Durante a fase de maturação do SCM_{GRA-2006}, entre às 11 UTC do dia 15/08/06 e às 03 UTC do dia 16/08/06 (Figura 5D,E,F,G,H) observa-se que sobre o norte

do RS havia a presença de nuvens com topos mais frios (abaixo de 220K) e, portanto, com maior desenvolvimento vertical. Essas nuvens indicavam a presença de núcleos convectivos na região de Victor Graeff (círculo vermelho na Figura 5D,E,F,G,H) onde houve queda de granizo, no dia 15/08/06, que foi favorecida pela presença dessa nebulosidade, a qual também gerou a máxima precipitação registrada sobre a região norte do RS no dia 16/08/06 (Figura 3).

Após atuar sobre o sul do Brasil, o SCM_{GRA-2006} dissipou-se sobre o oceano Atlântico e no dia 17/08/06 à 01 UTC (horário estimado pelo ForTrACC), não se pode mais observá-lo atuando sobre a região (Figura 5I), totalizando um ciclo de vida de aproximadamente 52 horas.

Analisou-se também a trajetória e o deslocamento do SCM_{GRA-2006} que são mostrados na Figura 6. Pode-se observar que o SCM_{GRA-2006} apresentou trajetória irregular, formou-se no Oceano Atlântico no dia 14/08/06, atingiu sua máxima atuação no norte do RS entre os dias 15 e 16/08/06 e dissipou-se no oceano no dia 17/08/06 (Figura 6A). Conforme mencionado anteriormente, esse sistema formou-se associado à incursão de um SF que atuou na região em 14/08/06. Nestes casos, quando há formação do SCM com incursão de SF, normalmente o sistema tende a seguir o deslocamento dos SF que se formam no sul do Brasil, os quais se movem em direção aos trópicos, devido às características da circulação em 300 hPa, onde geralmente há presença de fortes ventos de oeste-sudoeste que se movem para norte (Siqueira & Marques, 2008). Portanto, analisando-se o deslocamento do SCM_{GRA-2006}, dado pela sua posição nos instantes da iniciação, maturação e dissipação (Figura 6B), pode-se perceber que este apresentou deslocamento para norte-nordeste, resultado da sua interação com o SF do dia 14/08/06, o qual por atuar em uma escala maior contribuiu para o deslocamento do SCM_{GRA-2006} no mesmo sentido.

Vários estudos (Velasco & Fritsch, 1987; Guedes *et al.*, 1994; Nicolini *et al.*, 2002; Campos & Eichholz, 2011) mostram que os SCM que se formam no sul da AS tendem a apresentar deslocamento médio para leste. O principal fator que direciona os SCM de oeste para leste é a incursão de SF, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e a circulação forçada associada a contrastes de temperatura e a estratificação atmosférica

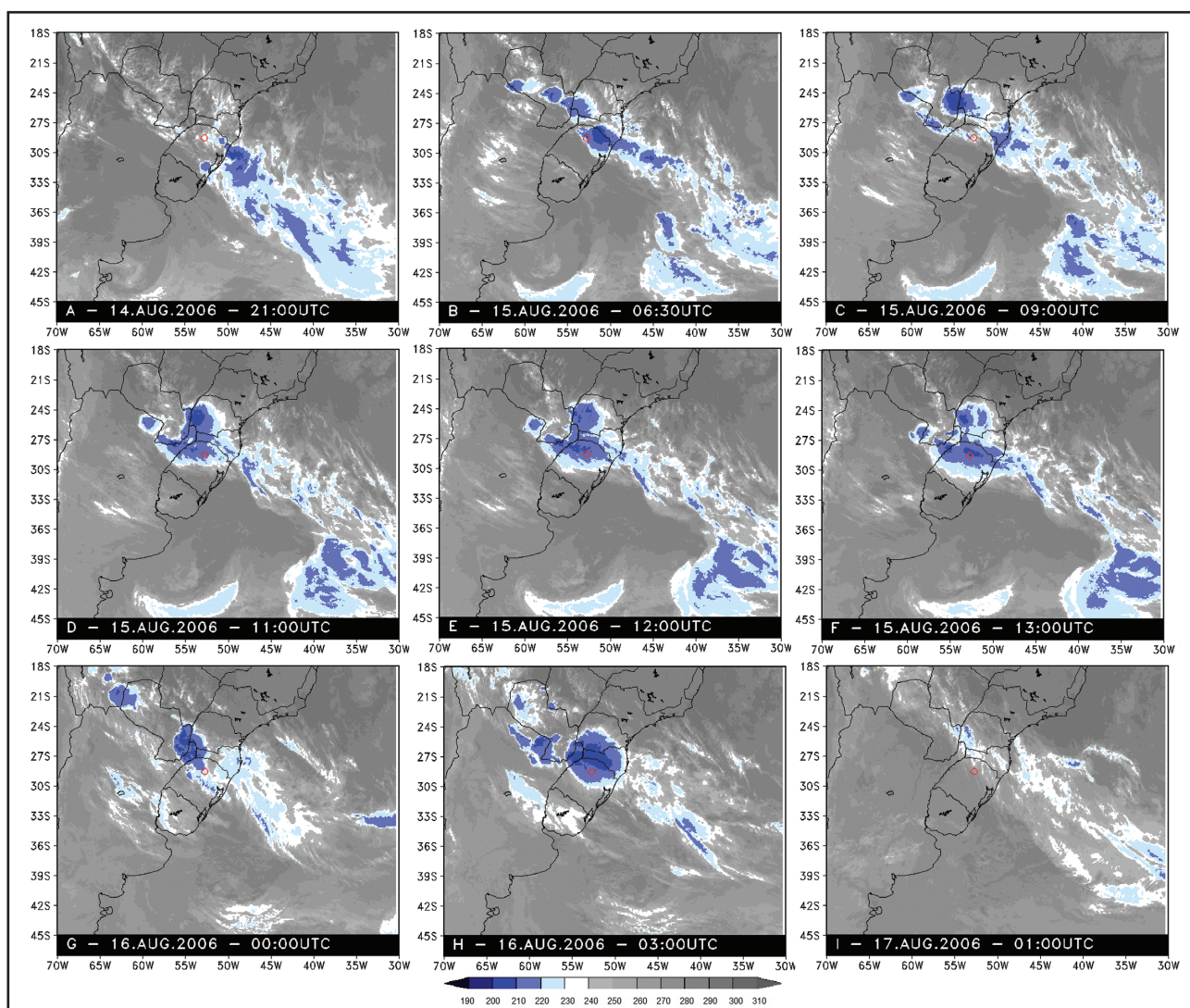


Figura 5 Imagens do satélite GOES 12 no canal 4, mostrando a evolução do SCM_{GRA-2006} entre os dias 14 e 17/08/06 sobre o RS. O círculo em vermelho localizado no norte do Rio Grande do Sul representa a localização de Victor Graeff, município onde houve queda de granizo.

de larga escala, que exibem propagação similar no sul do Brasil (Siqueira & Marques, 2008). É importante frisar que nem todos os SCM seguem o deslocamento médio de oeste para leste, uma vez que fatores termodinâmicos podem influenciar no seu deslocamento, como a circulação mar-terra. Sakamoto (2009) mostra que dos SCM que se deslocam para leste a maioria segue no sentido nordeste, deslocamento semelhante ao observado no SCM_{GRA-2006}. Além disso, a trajetória dos SCM também pode variar em função da estação do ano, segundo Velasco & Fritsch (1987) essas tendem a ser zonais (oeste para leste) na primavera e início do outono e meridionais (sul para norte) no verão.

Para uma melhor descrição do SCM_{GRA-2006}, têm-se as Figuras 7 e 8, que mostram a evolução temporal de alguns de seus parâmetros morfológicos (tamanho e T_{bmin} , Figura 7) e radiativos (fração convectiva, Figura 8), ao longo de seu ciclo de vida.

Na Figura 7 nota-se que a partir da iniciação (21 UTC do dia 14/08/06) há um decréscimo da T_{bmin} , enquanto que o tamanho do SCM_{GRA-2006} aumenta. O pico de T_{bmin} observado às 09 UTC, na iniciação, mostra que o SCM_{GRA-2006} primeiro alcançou seu máximo resfriamento (198 K) e logo em seguida se expandiu, atingindo seu tamanho máximo na maturação (107.052 pixels), as 11 UTC do dia

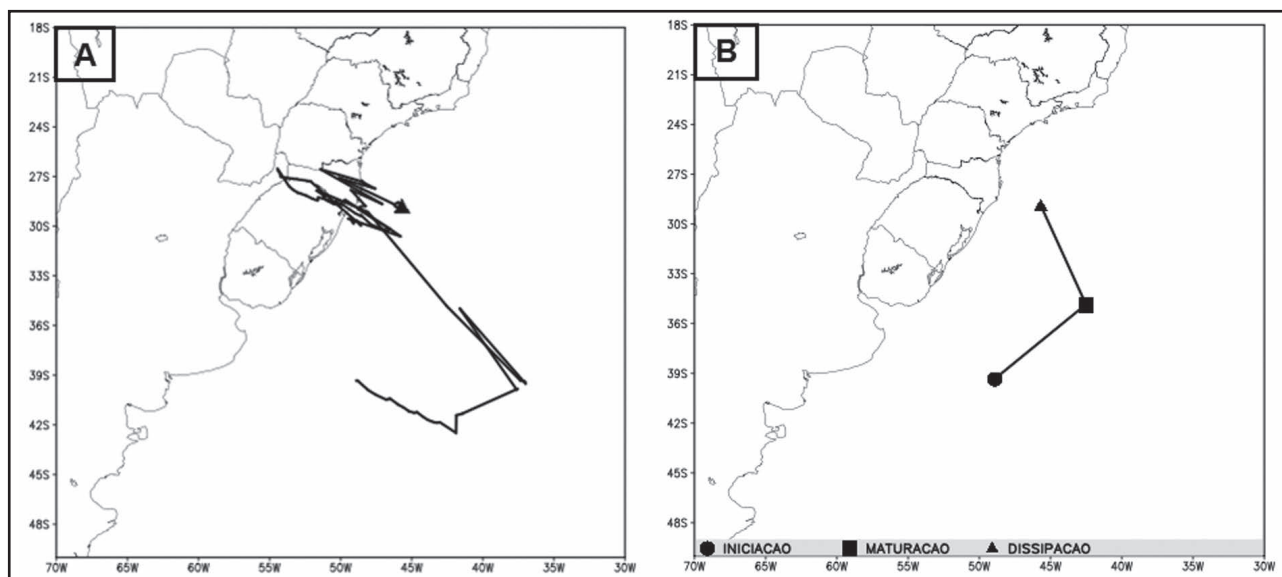


Figura 6 Trajetória seguida pelo SCM_{GRA-2006}, ao longo de seu ciclo de vida entre os dias 14 e 17/08/06.

15/08/06, conforme o observado por Machado & Rossow (1993) e Pinto & Campos (2009).

Na etapa de maturação a T_{bmin} atinge seus menores valores e posteriormente volta a se elevar até o momento da dissipação. Os menores valores de T_{bmin} observados na maturação indicavam nuvens com topos frios, que apresentavam condições favoráveis à formação de granizo em 15/08/06 e precipitação intensa em 16/08/06.

Segundo Sakamoto (2009) a intensidade dos SCM depende da instabilidade termodinâmica, que controla o movimento vertical das parcelas de ar. Logo o desenvolvimento vertical dos SCM está ligado a T_{bmin} , isto é, quanto menor a T_{bmin} , maior será o desenvolvimento vertical do SCM e maior a probabilidade da nebulosidade associada a este ultrapassar a isoterma de 0°C e gerar granizo. Portanto o SCM_{GRA-2006}, por apresentar T_{bmin} baixa teve condições de gerar a queda de granizo registrada em Victor Graeff em 15/08/06.

A análise da evolução da fração convectiva do SCM_{GRA-2006} (Figura 8) mostra na iniciação valor próximo de zero, um pico próximo as 09 UTC, indicando início da convecção e vários picos na maturação, um em torno das 12 UTC do dia 15/08/06 e outros mais pronunciados as 03, 06:30 e 11:30 UTC do dia 16/08/06. Pôde-se observar, ainda pelos dados gerados pelo ForTrACC, que durante a fase

de maturação o SCM_{GRA-2006} sofreu fusão com vários outros SCM que se formaram e estavam atuando na região. Essa fusão provocou o aumento da fração convectiva do SCM_{GRA-2006} que foi observado nos dias 15 e 16/08/06 e, portanto, a ocorrência de granizo e precipitação extrema na região norte do RS, como se pode notar na Figura 3. Na dissipação a fração convectiva mostrava valor próximo à zero indicando que a convecção havia cessado.

A análise do ambiente em grande escala associado à atuação do SCM_{GRA-2006} mostrou que na sua fase de iniciação (Figuras 10A, 11A, 12A e 13A), foi observado em 850 hPa um JBN de noroeste que advectava calor e umidade para o norte do RS, que estava associado a uma circulação do vento no sentido horário, que evidenciava o surgimento de um centro de baixa pressão na região de formação do SCM_{GRA-2006}, no Oceano Atlântico à leste do RS (Figura 9A). Nessa região podem-se notar valores elevados de advecção de temperatura (Figura 10A) e de convergência de umidade específica (Figura 11A). Ainda na fase de iniciação, em 500 hPa, pode-se notar que a velocidade vertical se encontrava ascendente praticamente em toda a região de formação do SCM_{GRA-2006} e que estava associada à formação do centro de baixa pressão em superfície (Figura 9A) que favoreceu o levantamento da parcela de ar (Figura 12A). No campo de divergência do vento em 200 hPa, pode-se observar que havia sobre a região de formação do SCM_{GRA-2006} um Jato de Altos

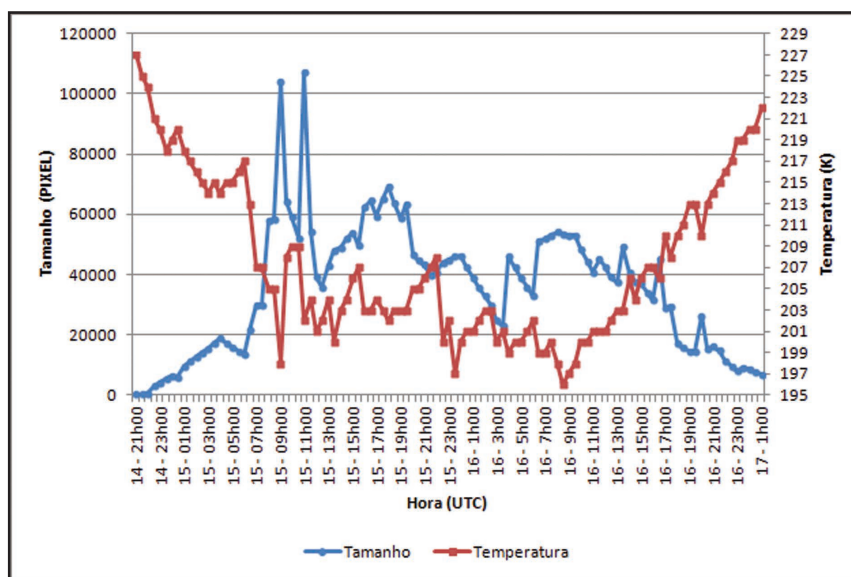


Figura 7 Evolução temporal do tamanho (em número de pixels com temperatura abaixo de 235 K) e da temperatura de brilho mínima (abaixo de 235 K) do SCMGRA-2006 entre às 21 UTC do dia 14/08/06 e a 01 UTC do dia 17/08/06.

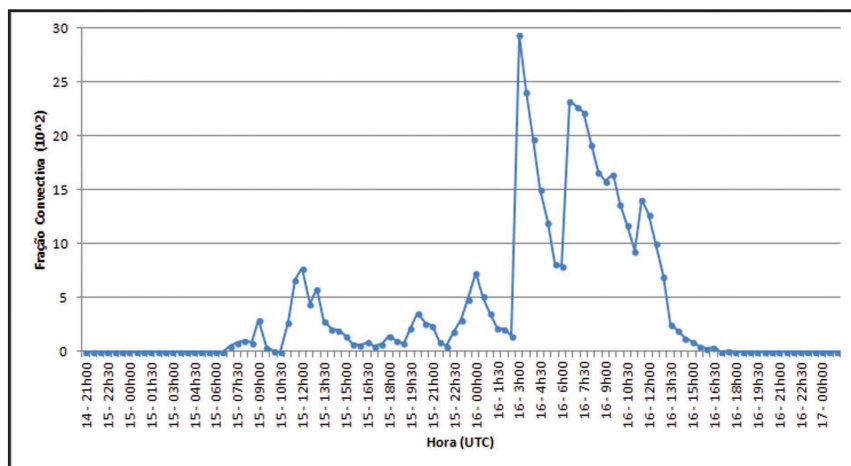


Figura 8 Evolução temporal da fração convectiva do SCMGRA-2006 entre às 21 UTC do dia 14/08/06 e a 01 UTC do dia 17/08/06.

Níveis (JAN) e a presença de divergência do vento (Figura 13A). Portanto, o campo de divergência do vento em 200 hPa na iniciação indicava a existência de convecção em níveis inferiores, o que propiciou condições favoráveis ao desenvolvimento do $SCM_{GRA-2006}$.

Na maturação (Figuras 10B, 11B, 12B, 13B) em 850 hPa, o JBN continuou advectando ar quente (Figura 10B) e úmido (Figura 11B) para o oeste de SC e PR e norte do RS onde havia maior nebulosidade. Isso ocorreu devido ao posicionamento dos centros de alta pressão que atuavam na região, um sobre o Oceano Atlântico e outro sobre o nordeste da Argentina (Figura 9B), que gerou o escoamento de calor e umidade desde o Paraguai até o Oceano Atlântico (onde se encontrava o centro de baixa pressão) e a convergência de umidade observada.

Ainda nesta fase, foi verificada a presença de divergência do vento no nível de 200 hPa (Figura 13B), a qual estava associada ao forte movimento vertical em 500 hPa (Figura 12B), indicando a presença de atividade convectiva sobre a região de maturação do $SCM_{GRA-2006}$ associada as nuvens de topo frio observadas nesta fase na região. Portanto, as condições observadas na maturação favoreceram a formação e queda de granizo em 15/08/06 e precipitação intensa em 16/08/06 no norte do RS.

Após a fase de maturação o $SCM_{GRA-2006}$ entrou em processo de dissipação, nesta fase pôde-se observar que sobre o RS já não havia mais atividade convectiva associada ao $SCM_{GRA-2006}$ (Figura 5I). Em 850 hPa pôde-se observar que houve diminuição dos valores de advecção de temperatura (Figura 10C) e convergência de umidade específica (Figura

11C) sobre o RS em relação as etapas de iniciação e maturação. Observa-se ainda, em 850 hPa, que o escoamento de noroeste que trazia calor e umidade para a região de atuação do SCM_{GRA-2006} nas fases de iniciação e maturação, deu lugar a um escoamento de sudeste que favoreceu a entrada de ar mais frio na região, inibindo a atividade convectiva e diminuindo os movimentos verticais ascendentes em 500 hPa (Figura 12C) e a divergência no nível de 200 hPa (Figura 13C). Portanto, nesta fase, o ambiente onde o SCM_{GRA-2006} estava inserido deixou de fornecer calor e umidade necessários para sustentar a atividade convectiva que o alimentava, podendo-se observar significativa diminuição de sua área, acompanhada de sua dissipação (Figura 5I).

Em suma, as condições atmosféricas observadas na região foram extremamente propícias à formação e desenvolvimento do SCM_{GRA-2006}, que gerou granizo em Victor Graeff e precipitação extrema no norte do RS em 16/08/06, o qual se formou associado a um SF que atuou na região em 14/08/06. Essa interação entre SF e SCM na geração de precipitação foi estudada por diversos autores que observaram que essa interação pode favorecer a ocorrência de eventos severos, como queda de granizo e precipitação extrema (Kousky, 1988; Garreaud, 1999; Vera & Vigliarolo, 2000; Eichholz & Campos, 2011).

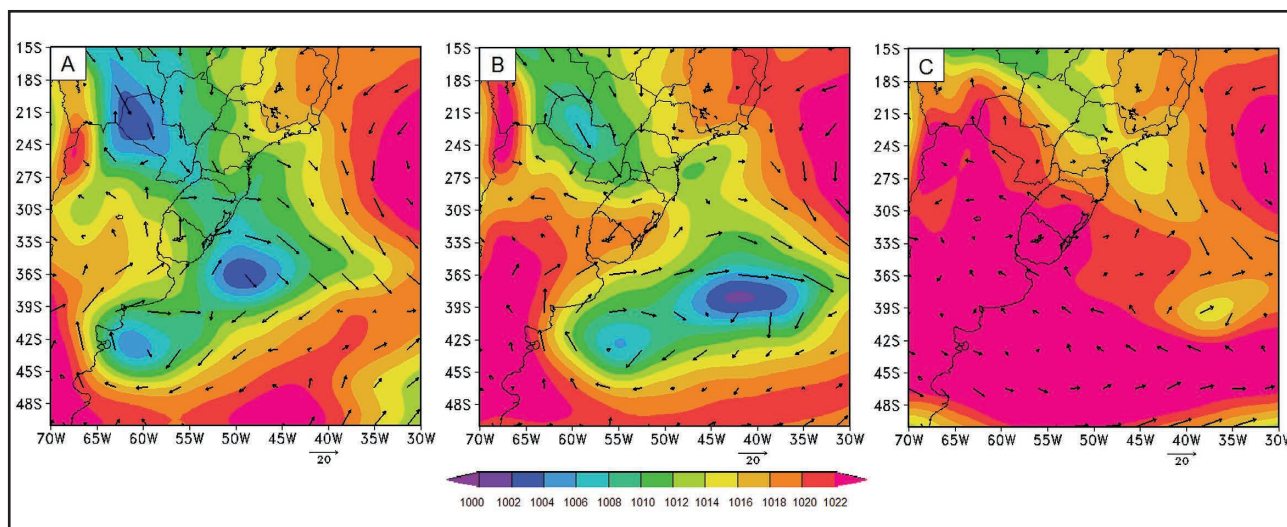


Figura 9 Pressão atmosférica (hPa) à superfície e vetor vento em 10 m (ms-1): (A) 14/08/06 às 18 UTC, (B) 15/08/06 às 12 UTC e (C) 17/08/06 às 00 UTC.

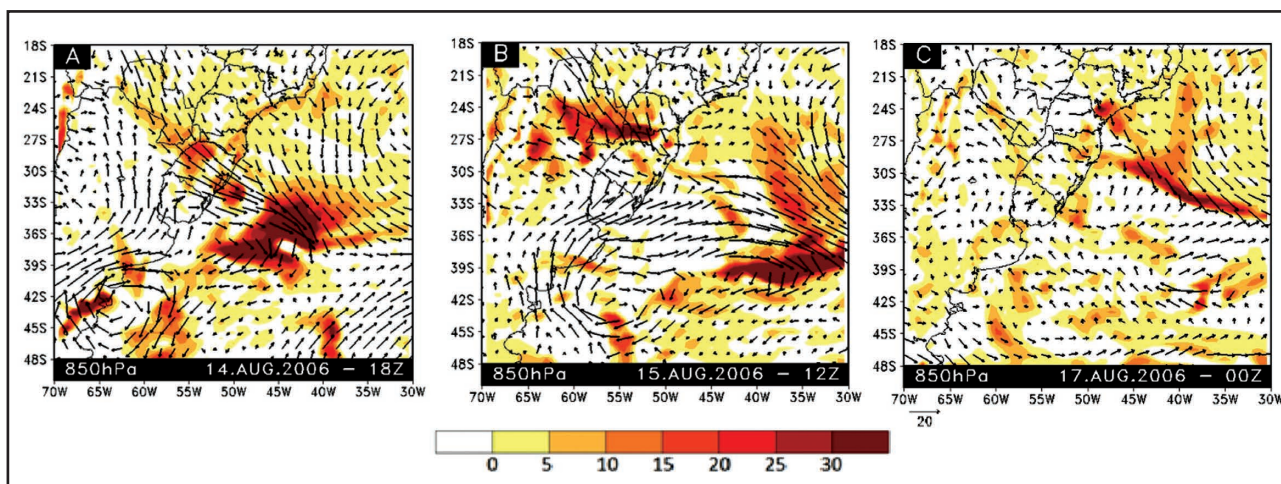


Figura 10 Advecção de temperatura (10-4Ks-1) (sombreado) e vento (m.s-1) no nível de 850hPa: (A) 14/08/06 às 18 UTC, (B) 15/08/06 às 12 UTC e (C) 17/08/06 às 00 UTC.

Ocorrência de Granizo Associada a um SCM que Afetou o Rio Grande do Sul em Agosto de 2006
Cláudia Rejane Jacondino de Campos & Diogo Monteiro Maria

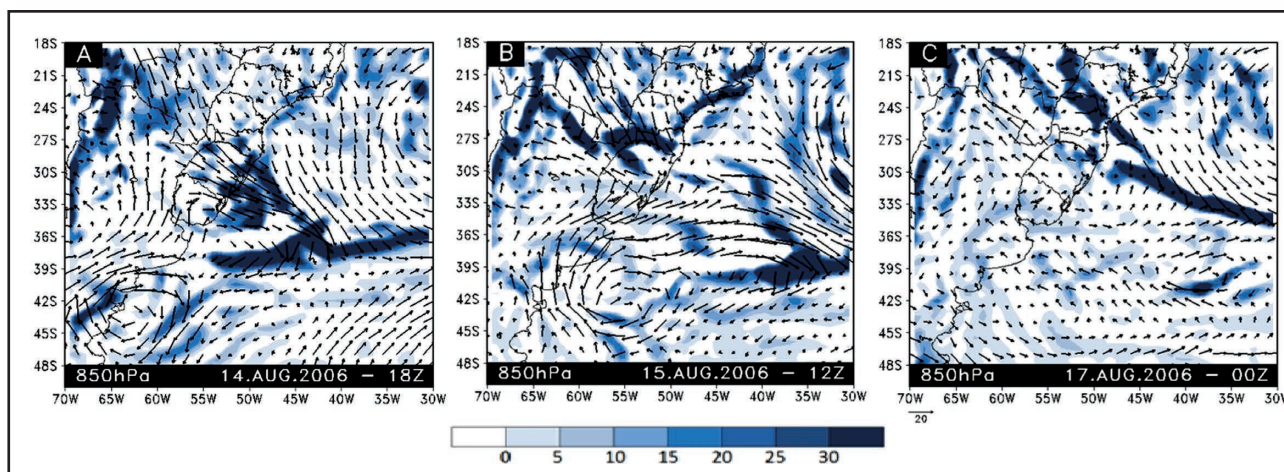


Figura 11 Convergência de umidade ($10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1}$) (sombreado) e vento (m.s-1) no nível de 850 hPa: (A) 14/08/06 às 18 UTC, (B) 15/08/06 às 12 UTC e (C) 17/08/06 às 00 UTC.

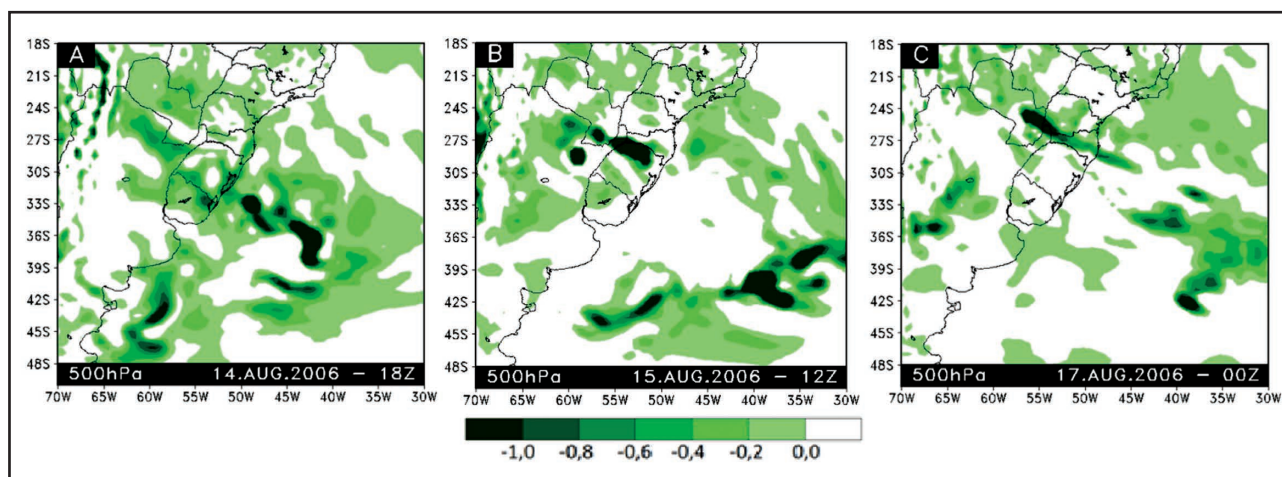


Figura 12 Velocidade vertical (Omega) ($Pa.s^{-1}$) (sombreado) no nível de 500hPa: (A) 14/08/06 às 18 UTC, (B) 15/08/06 às 12 UTC e (C) 17/08/06 às 00 UTC.

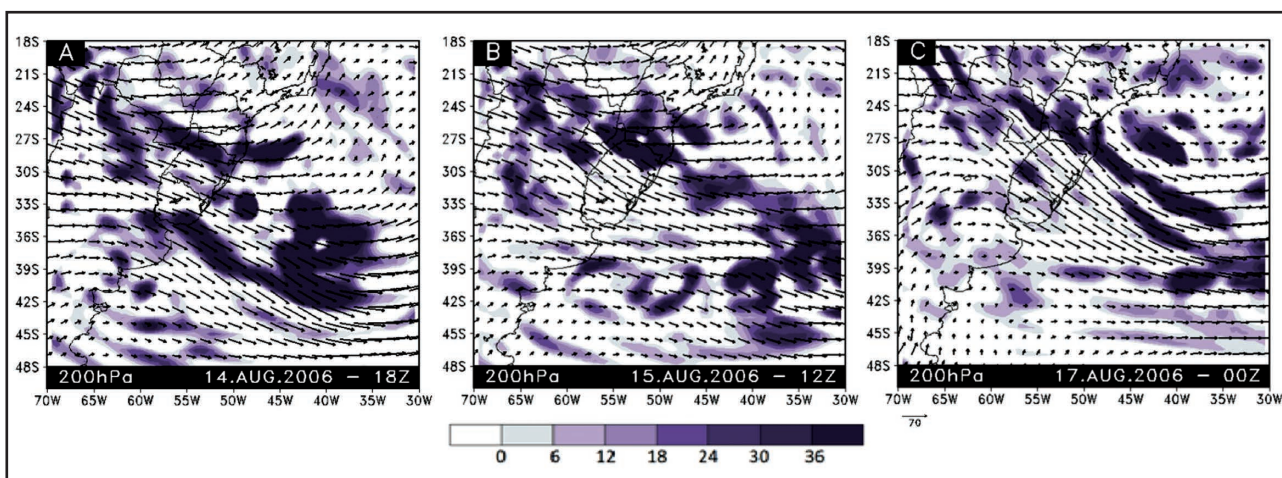


Figura 13 Divergência ($10^{-5}s^{-1}$) (sombreado) e vento (m.s-1) no nível de 200hPa: (A) 14/08/06 às 18 UTC, (B) 15/08/06 às 12 UTC e (C) 17/08/06 às 00 UTC.

4 Conclusão

A queda de granizo em 15/08/06 em Víctor Graeff e a precipitação extrema registrada em 16/08/06 no norte do RS foi o resultado das condições atmosféricas extremamente favoráveis observadas na região, que levaram à formação e atuação do SCM_{GRA-2006} detectado nos dias 14 a 17/08/06, o qual se formou associado a um SF que atuou na região em 14/08/06.

O SCM_{GRA-2006} apresentou trajetória irregular, com deslocamento para nordeste, formou-se no Oceano Atlântico no dia 14/08/06, atingiu sua máxima atuação no norte do RS em 15 e 16/08/06 e dissipou-se no oceano no dia 17/08/06, com um ciclo de vida de aproximadamente 52 horas. A intensidade deste SCM estava associada às condições atmosféricas atuantes na região.

O ambiente termodinâmico e sinótico associado ao evento apresentava condições favoráveis à formação de tempestade severa com potencial para gerar granizo. Isso porque havia na região umidade e calor em abundância que foram trazidos pelo JBN, que favoreceram o disparo da convecção em baixos níveis da atmosfera. Essa condição contribuiu para instabilizar a atmosfera e gerar movimentos verticais ascendentes intensos, os quais favoreceram a formação de nuvens com elevado desenvolvimento de vertical, propícias à formação de granizo e precipitação intensa.

Este estudo mostra que o melhor conhecimento das condições atmosféricas associadas à ocorrência de granizo é bastante relevante. Isto porque o monitoramento das condições atmosféricas associadas à ocorrência deste tipo de evento severo é extremamente importante para a geração de alertas e mitigação dos danos à sociedade.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

6 Referências

- Brooks, H.E.; Lee, J.W. & Craven, J.P. 2003. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. *Atmosphere Research*, 67: 73-94.
- Campos, C.R.J. & Eichholz, C.W. 2011. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, 29: 331-345.
- Corfidi, S.F.; Meritt, J.H. & Fritsch, J.M. 1996. Predicting the movement of mesoscale convective complexes. *Weather and Forecasting*, 11: 41-46.
- Eichholz, C. W. & Campos, C.R.J. 2011. Distribuição de eventos extremos de precipitação no estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO CUBANO DE METEOROLOGIA, 6, Habana, 2011. *Anais*, Habana-Cuba, Sociedade Cubana de Meteorología.
- Fawbush, E.J. & Miller, R.C. 1953. A method for forecasting hailstone size at the earth surface. *Bulletin of American Meteorological Society*, 34: 235-244.
- Garreaud, R.D. 1999. Cold air incursions over subtropical and Tropical South America: A numerical case study. *Monthly Weather Review*, 127 (12): 2823-2853.
- Guedes, R.L.; Machado, L.A.T.; Silveira, J.M.B.; Alves, M.A.S. & Waltz, R.C. 1994. Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, Belo Horizonte-MG, 1994. *Anais*, Belo Horizonte, SBMet, p. 77-80.
- Houze, R.A. 1993. Mesoscale convective systems. In: HOUZE, R.A. (ed.). *Cloud dynamics*. Academic Press, Inc., v. 53, p. 334-404.
- Jacobsen, L.O. & Braun, S. 2006. Monitoramento de tempestades no sul do Brasil: caso de um sistema convectivo de mesoescala na zona sul do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, Florianópolis-SC, 2006. *Anais*, Florianópolis, SBMet.
- Jirak, I.L. & Cotton, W.R. 2004. Environmental precursors to mesoscale convective system development. In: CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, AND AEROSPACE, 11 AND CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS OPENING REMARKS, 22, Hyannis-MA-USA, 2004. *Trabalhos online*, Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf>>. Acesso em: 06/12/2013.
- Knight, C.A. & Knight, N.C. 2001. Hailstorms. In: DOSWELL III, C.A. (ed.). *Severe Convective Storms*. American Meteorological Society. Meteorological Monographs, 28 (50): 223-249.
- Kousky, V.E. 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3 (1): 217-231.
- Laurent H.; Machado, L.A.T.; Morales, C. & Durieux, L. 2002. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 107 (20): 8054.
- Lima, A. A.; Machado, L. A. T. & Laurent, H. 2003. A divergência do vento em altos níveis e sua relação com a cobertura de nuvens e a precipitação, durante o WETAMC/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 18 (2): 105-117.
- Machado, L.A.T. & Rossow, W.B. 1993. Structural characteristics and radiative of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, 121 (12): 3234-3260.
- Machado, L.A.T. & Laurent, H. 2004. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. *Monthly Weather Review*, 132 (4): 714-725.
- Machado, L.A.T.; Guedes, R.L.; Silveira, J.M.B.; Waltz, R.C. & Alves, M.A.S. 1994. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, Belo Horizonte, 1994. *Anais*,

- Belo Horizonte, SBMet, p. 323- 326.
- Marengo, J.A.; Soares, W.R.; Saulo C. & Nicolini, M. 2004. Climatology of the Low- Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17 (12): 2261- 2280.
- Mota, G.V. 2003. *Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the Tropical Rainfall Measuring Mission over South America*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, University of Utah, Tese de Doutorado, 215 p.
- Nascimento, E.L. 2005. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: Uma estratégia operacional adotável no Brasil? *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20 (1): 121-140.
- Nicolini, M.; Saulo, A.C.; Torres, J.C. & Salio, P. 2002. 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.
- Pinto, L.B. & Campos, C.R.J. 2009. Análise do comportamento morfológico e radiativo de um Sistema Convectivo de Mesoescala inferido via imagens de satélite. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27 (1): 35-42.
- Ramos, A.M.; Santos, L.A.R. & Fortes, L.T.G. 2009. *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília-DF: INMET. 465 p.
- Rasera, G. 2013. *Eventos severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 94 p.
- Sakamoto, M.S. 2009. *Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Silva Dias, M. A. F. 1999. Storms in Brazil. In: PIELKE, R. SR. & PIELKE, R. JR. (Orgs.). *Storms - hazard and disasters series*. Routledge, p. 207-219.
- Silva Dias, M. A. F. 2000. Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas. Universidade de São Paulo, SP. Disponível em: <<http://master.iag.usp.br/ensino/indices.pdf>>. Acessado em: 09/12/2013.
- Siqueira, J. R. & Marques, V. S. 2008. Occurrence frequencies and trajectories of mesoscale convective systems over southeast Brazil related to cold frontal and non-frontal incursions. *Australian Weather Review*, 57: 345-357.
- Uccellini, L.W. & Johnson, D.R. 1979. The coupling of upper and lower tropospheric jet streams and implications for the development of severe convective storms. *Monthly Weather Review*, 107: 682-703.
- Vargas Jr., V.R.; Campos, C.R.J.; Rasera, G. & Eichholz, C.W. 2011. Eventos severos que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 7, Santa Maria-RS, 2011. *Anais*, Santa Maria, UFSM. Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wpcontent/uploads/M%C3%93DULO_ANAIS.pdf>. Acessado em: 20/02/2013.
- Velasco, I. & Fritsch, J.M. 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal Geophysical Research*, 92: 9591-9613.
- Vera, C.S. & Vighiarolo, P.K. 2000. A diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. *Monthly Weather Review*, 128 (1): 3-24.
- Vila, D.A. 2004. *Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy mesoscale convective systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)*. Programa de Pós-graduação em Ciências. Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Buenos Aires, Tese de doutorado, 132 p.
- Vila, D.A.; Machado, L.A.T.; Laurent, H. & Velasco, I. 2008. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. *Weather and Forecasting*, 23: 233–245.
- Wallace, J.M. & Hobbs, P.V. 2006. *Atmospheric science: an introductory survey*. Academic Press- Inc, 2 ed. 365 p.
- Zipser, E.J.; Liu, C.; Cecil, D.J.; Nesbitt, S.W. & Yorty, D.P. 2006. Where are the Most Intense Thunderstorms on Earth? *Bulletin of American Meteorological Society*, 87: 1057–1071.