

Análise sazonal dos SCM que geraram eventos severos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008

Seasonal analysis of MCS that generated severe events on Rio Grande do Sul from 2004 to 2008

Cláudia Rejane Jacondino de Campos¹, Gustavo Rasera²

¹Mestre em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil

²Doutorando PPGMet-UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

Resumo

Neste trabalho foram analisados os Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul (RS) e que geraram Eventos Severos (SCM_{RS-ES}), bem como os Eventos Severos associados a estes (ES_{SCMRS}), durante o período de 2004 a 2008. Foram utilizados dados de tamanho máximo, tempo de vida e trajetória dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}) gerados a partir de informações fornecidas pela ferramenta ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters); imagens brutas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 10 e 12 do canal 4 e notificações de Eventos Severos (ES) reportadas no banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS. Os resultados mostraram que: i) 10,7% dos SCM_{RS} geraram 45% dos ES; ii) SCM_{RS-ES} foram mais frequentes em JAS (Jul, Ago, Set); iii) JAS e OND (Out, Nov, Dez) apresentaram o maior número de ES_{SCMRS} ; iv) houve uma relação direta entre tamanho e tempo de vida dos SCM_{RS-ES} ; v) SCM_{RSES} menores e que duraram menos ocorreram em JFM (Jan, Fev, Mar); vi) SCM_{RS-ES} mais longos ocorreram em AMJ (Abr, Mai, Jun), enquanto que os maiores em JAS e vii) as trajetórias médias preferenciais dos SCM_{RS-ES} , em todos os trimestres, foram predominantemente zonais, de oeste para leste.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto. ForTrACC. SCM. Eventos Severos.

Abstract

In this study were analyzed Mesoscale Convective Systems that reached Rio Grande do Sul state (RS), Brazil, and generated severe events (MCS_{RS-SE}), as well as the Severe Events related to them (SE_{MCSRS}), from 2004 to 2008. For this study, different data sources were used: maximum size, lifetime and trajectories of MCS that reached RS (MCS_{RS}) based on Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters (ForTrACC) analysis tool; raw infrared (channel 4) satellite imagery from GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 10 and 12 satellites and Severe Events (SE) reports obtained from RS Civil Defense data base. The results showed that: i) 10.7% of MCS_{RS} generated 45% of SE; ii) MCS_{RS-SE} were more frequent in JAS (Jul, Aug, Sep); iii) JAS e OND (Oct, Nov, Dec) presented the largest number of SE_{MCSRS} ; iv) there was a direct relationship between size and lifetime of MCS_{RSES} ; v) the smallest size and duration of MCS_{RS-SE} was detected in JFM (Jan, Feb, Mar); vi) the longest MCS_{RS-SE} were observed in AMJ (Apr, May, Jun) while the largest in JAS; vii) MCS_{RSES} preferred mean trajectory, in all quarters, were predominantly zonal, from west to east.

Keywords: remote sensing. ForTrACC. MCS. severe events.

1 Introdução

As condições do tempo e clima estão intimamente relacionadas às atividades humanas. Tem-se observado que os impactos sociais e econômicos causados pela ocorrência de Eventos Severos (ES), também denominados episódios de desastre relacionados a condições meteorológicas extremas, que vão desde danos na agropecuária, fornecimento de energia pelas hidrelétricas, desastres naturais (ex: enchentes, deslizamentos, inundações, granizo, vendaval) até perdas de vidas (Castro, 1998; Kobiyama et al., 2006; CEDCRS, 2012), são tão significativos que tornam importante o melhor conhecimento dos sistemas meteorológicos que atuam para a sua formação. Neste sentido, um dos sistemas meteorológicos que atuam para a formação dos ES são os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os quais são formados por grandes aglomerados de nuvens, com topos bastante elevados em decorrência da intensa atividade convectiva a eles associada (Houze, 1993; Machado & Rossow, 1993; Silva Dias, 1999; Zipser et al., 2006).

No sul da América do Sul (AS), onde se localiza o Estado do Rio Grande do Sul (RS), os SCM são frequentes, sendo responsáveis por grande parte da precipitação nesta região (Velasco & Fritsch, 1987; Nebit et al., 2006; Zipser et al., 2006). Estes sistemas meteorológicos podem ocorrer durante todo ano, apresentando maior frequência no período quente (Outubro a Março), devido à existência nesse período de condições favoráveis ao desenvolvimento de nuvens convectivas. Na sua maioria, apresentam duração entre 6 e 12h e sua trajetória média é de oeste para leste, ou seja, do continente para o oceano (Nicolini et al., 2002; Torres, 2003, Campos & Eichholz, 2011). A contribuição dos SCM para a geração de ES é bem significativa, apesar disso, estes sistemas ainda não são bem previstos (Corfidi et al., 1996; Jacobsen & Braun, 2006). Geralmente os SCM vêm acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo, que causam sérios danos à população e a economia das regiões onde atuam (Silva Dias, 1999; Zipser et al., 2006).

Como o RS tem sua economia atrelada principalmente à agricultura, que frequentemente sofre com perdas e até mesmo quebras de safras devido à ocorrência de ES (ASERS, 2012; CEDCRS, 2012), fica evidente a importância do estudo dos SCM que atingem o RS e que geram ES (SCM_{RS-ES}) e dos ES gerados por esses sistemas (ES_{SCMRS}).

Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a distribuição sazonal dos SCM_{RS-ES} e ES_{SCMRS} , bem como as características sazonais dos SCM_{RS-ES} , no período de 2004 a 2008.

2 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os seguintes dados do período de 2004 a 2008:i)

tamanho máximo, tempo de vida e trajetórias dos SCM selecionados por Campos & Eichholz (2011); ii) ocorrências de ES e municípios atingidos pelos ES (MA_{ES}) obtidos no banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS (CEDCRS, 2012) e iii) imagens brutas no canal infravermelho termal do satélite GOES 10 e 12, com resolução temporal de ½ hora e resolução espacial de 4 km x 4 km (ponto subsatélite). Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE).

2.1 Seleção dos SCM que afetaram o RS (SCMRS)

Neste trabalho foram considerados os SCM selecionados por Campos & Eichholz (2011) que 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 do satélite GOES 10 e 12 do canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008 (fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE).

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. Cabe ressaltar que 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) e temperatura de brilho do topo das nuvens-Tb (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as célula convectivas imersas nos SCM). Segundo alguns estudos (Carvalho & Jones, 2001; Laurent et al., 2002; Machado & Laurent, 2004; Vila, 2004) os limiares de Tb utilizados por Campos & Eichholz (2011) parecem aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da AS permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas imersas nele.

Dos SCM 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. Apesar de considerar SCM com ciclo de vida longo (um dos critérios para definir CCM (Complexo Convectivo de Mesoescala), por exemplo), não foi feita nenhuma classificação destes. Um dos critérios adotados por Maddox (1980) para identificar CCM's foi considerado, o ciclo de vida mínimo de seis horas. Esse critério foi

adotado porque além de SCM mais longos tenderem a cobrir áreas maiores (Machado et al., 1994; Nicolini et al., 2002; Torres, 2003; Vila, 2004; Zipser et al., 2004) eles podem causar eventos com precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo (Silva Dias, 1996) 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 RS, 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 que afetaram o RS (SCM_{RS}). Esses SCM_{RS} estavam distribuídos da seguinte forma: 179 em JFM, 150 em AMJ, 142 em JAS e 155 em OND e foram organizados em uma planilha contendo as seguintes informações: dia, mês e ano de ocorrência de cada SCM_{RS} , número de identificação de cada SCM_{RS} (gerado pelo ForTrACC), horário (UTC), latitude e longitude do centro de massa dos membros correspondentes a iniciação, maturação e dissipação de cada SCM_{RS} .

2.2 Seleção dos SCM_{RS-ES} e dos ES_{SCMRS}

Primeiramente, selecionou-se dentre todos os registros de ES notificados pela CEDCRS no período de estudo, apenas os eventos do tipo: granizo, granizo/vendaval (ocorrência de granizo acompanhado de vendaval), vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento, deslizamento, os quais podem ser gerados por SCM. Criou-se um arquivo Excel com as seguintes informações: data de ocorrência do ES, tipo de ES observado e município atingido. Na sequência para selecionar os SCM_{RS-ES} e os ES_{SCMRS} no período de 2004 a 2008, confrontaram-se as informações dos SCM_{RS} e dos ES adotando-se o seguinte procedimento. Inicialmente foi verificado se no(s) dia(s) que foi observado cada um dos SCM_{RS} selecionados por Campos & Eichholz (2011), houve ocorrência de algum ES. Tendo sido verificada a ocorrência de algum ES

dentro do período compreendido pelo ciclo de vida do SCM_{RS} , então foram identificados os municípios atingidos pelo ES e plotadas suas latitudes e longitudes em um mapa utilizando o aplicativo GrADS. Em seguida neste mesmo mapa plotou-se 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 do satélite GOES com temperatura de brilho realçada abaixo de 235K (limiar utilizado para detectar SCM) de todo o ciclo de vida do SCM_{RS} . Essa verificação foi importante, devido à grande dimensão dos SCM_{RS} selecionados. Por isso, a trajetória dos SCM_{RS} , que foi construída utilizando os pontos (latitude e longitude) que representavam os centros de massa de cada um de seus membros, foi insuficiente, em alguns casos, para verificar se o SCM_{RS} havia atingido municípios que não se encontravam tão próximos aos pontos da sua trajetória, mas que apesar disso haviam registrado ocorrência de ES. Assim, caso tenha sido constatado que o SCM_{RS} em análise afetou o(s) município(s) que registrou (ram) o ES detectado, então este SCM_{RS} foi considerado um SCM_{RS-ES} e o ES um ES_{SCMRS} .

2.3 Análises realizadas

Após a seleção dos SCM_{RS-ES} e dos ES_{SCMRS} os mesmos foram separados em trimestres, representando as estações do ano (Araújo, 2005): período quente (jan-fev-mar, JFM), período temperado frio (abr-mai-jun, AMJ), período frio (jul-ago-set, JAS) e período temperado quente (out-nov-dez, OND).

Na sequência foi feita a contagem dos SCM_{RS-ES} e dos ES_{SCMRS} em cada trimestre. Em seguida determinaram-se as seguintes características sazonais dos SCM_{RS-ES} : tempo de vida médio (tempo médio decorrido entre a iniciação e a dissipação dos SCM_{RS-ES}) que foi calculado e separado em quatro categorias para análise: maiores ou iguais a 6 horas, de 6 a 12 horas, de 12 a 24 horas e acima de 24 horas; tamanho máximo médio que foi calculado a partir do tamanho máximo de cada SCM_{RS-ES} fornecido pelo ForTrACC; e trajetória média preferencial, calculada a partir das latitudes e longitudes dos membros correspondentes à iniciação, maturação e dissipação de cada SCM_{RS-ES} .

3 Resultados e discussões

3.1 Distribuição sazonal dos SCM_{RS-ES} e dos ES_{SCMRS}

Entre 2004 e 2008 foram observados 626 SCM_{RS} , 67

SCM_{RS-ES} , 246 ES e 111 ES_{SCMRS} (Tabela 1). Portanto, 10,7% dos 626 SCM_{RS} geraram ~ 45% dos ES, o que mostra a importância dos SCM_{RS} na geração de ES.

Considerando os trimestres JFM e OND como períodos quentes e AMJ e JAS como períodos frios do ano, pode-se observar na Tabela 1 que houve menor ocorrência de SCM_{RS-ES} (29) e ES_{SCMRS} (52) nos períodos quentes do que nos períodos frios (38 SCM_{RS-ES} e 59 ES_{SCMRS}). Observou-se também que a porcentagem sazonal de SCM_{RS-ES} em relação aos SCM_{RS} e de ES_{SCMRS} em relação aos ES foi maior em JAS (16,9% e 58,5%, respectivamente) e menor em JFM (5,6% e 28%, respectivamente).

As contribuições trimestrais do número de SCM_{RS-ES} obtidas neste estudo diferem das obtidas por Campos & Eichholz (2011), que mostram maiores percentuais de ocorrência de SCM em JFM (28,6%) e OND (24,8%) num estudo sobre SCMs no RS, também para o período de 2004 a 2008. Outro estudo, realizado sobre SCMs no Oeste da Amazônia (Pará) entre janeiro de 2008 e maio de 2012 por Sodré & Vitorino (2013), indicou AMJ (31,5%) e JFM (26,9%) como sendo os trimestres com as maiores contribuições de ocorrência de SCM. Tais diferenças possuem causas distintas. O estudo de Campos & Eichholz (2011), apesar de cobrir a mesma região e período de estudo, levou em conta apenas os SCMs, desconsiderando o fato de terem ou não causado ES. No estudo de Sodré & Vitorino (2013), o período e a região de estudo foi outra, com regime pluviométrico diverso do RS, favorecida por convecção local e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul. Além disso, os autores avaliaram apenas SCM circulares, independentemente de estarem ou não relacionados a ES.

Assim, a análise sazonal mostrou que em todos os trimestres foram observados SCM_{RSES} e ES_{SCMRS} . Porém, os resultados evidenciam maior ocorrência de SCM_{RS-ES} durante o período frio do ano (JAS) e maior número de ES_{SCMRS} em JAS e OND (Tabela 1). Pode-se observar ainda na Tabela 1 que o número de ES_{SCMRS} é superior ao número de SCM_{RS-ES} em todos os trimestres. Isso se deve ao fato de que um mesmo SCM pode causar mais de um tipo de ES.

O predomínio de SCM_{RS-ES} no período frio (JAS) pode estar relacionado com a ocorrência mais frequente de Sistemas Frontais (SF) na região sul do Brasil nesse período (Cavalcanti & Kousky, 2003). Isso ocorre porque neste trimestre as condições baroclínicas no RS são mais intensas, devido ao maior gradiente latitudinal de temperatura. Além disso, as ondas baroclínicas nos ventos de oeste, mais intensos em JAS, produzem maior convergência de umidade, favorecendo a ciclogênese e a maior penetração no RS de SF mais intensos nesta época do ano (Grim, 2009). Portanto, a interação entre os SF e a convecção pode favorecer a formação de maior número de SCM_{RS-ES} neste período do ano (Siqueira & Machado, 2004) que propiciam condições mais favoráveis à ocorrência de ES.

A ocorrência de ES em todos os trimestres do ano também foi observada por outros autores (Viana et al., 2009; Vargas Jr. et al., 2011), isso deve-se ao fato que, na região sul do Brasil em comparação à outras regiões observa-se condições baroclínicas mais intensas (Cavalcanti et al., 2009) e, portanto forte cisalhamento vertical do vento que favorece a formação de tempo severo. Por isso, a região sul do Brasil, e mais especificamente o RS, é bastante favorável à ocorrência de ES_{SCMRS} , uma vez que as tempestades convectivas tendem a tornarem-se severas (com ocorrência de ES) quando se desenvolvem sob condição de forte cisalhamento vertical do vento.

Apesar de a região sul do Brasil apresentar condições favoráveis à formação de ES_{SCMRS} durante todo o ano (Figura 1), observou-se que JAS e OND foram os trimestres mais favoráveis.

Em JAS as condições atmosféricas observadas favorecem a formação de maior número de ES_{SCMRS} , conforme já mencionado anteriormente. Dentre elas pode-se destacar além da condição baroclínica mais intensa e da propagação e intensificação da convecção que ocorrem ao longo dos SF mais intensos; a maior frequência ao sul de 20°S dos Jatos de Baixos Níveis (JBN, escoamento de norte, a leste dos Andes) (Salio et al., 2002; Marengo et al., 2004), que é outro sistema de escala sinótica que também pode influenciar diretamente a formação de

Tabela 1. Distribuição sazonal dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}), dos SCM que afetaram o RS e que geraram ES (SCM_{RS-ES}), dos Eventos Severos que atingiram o RS (ES), dos ES gerados por SCM_{RS} (ES_{SCMRS}) e as respectivas porcentagens sazonais.

	SCM_{RS}	SCM_{RS-ES}	% ¹	ES	ES_{SCMRS}	% ²
JFM	179	10	5,6%	50	14	28,0%
AMJ	150	14	9,3%	45	21	46,7%
JAS	142	24	16,9%	65	38	58,5%
OND	155	19	12,3%	86	38	44,2%
TOTAL	626	67	10,7%	246	111	45,1%

1 porcentagem de SCM_{RS-ES} em relação aos SCM_{RS} . 2 porcentagem de ES_{SCMRS} em relação aos ES.

SCM (devido principalmente ao transporte de umidade e calor) e consequentemente de ES_{SCMRS} .

Por outro lado, em OND as condições sinóticas de grande escala como a Alta da Bolívia (AB, circulação quase-estacionária em altos níveis, dinamicamente ligada a um cavado sobre o nordeste do Brasil) e a Baixa do Chaco (BC, área de baixa pressão de origem termo-orográfica localizada entre o Paraguai e Bolívia) atuam no sentido de gerar convergência, movimentos ascendentes e aquecimento em baixos níveis, condições necessárias para desencadear a convecção. Também, nessa época em baixos níveis (850 hPa) na AS a circulação da Alta do Atlântico Sul (AAS, associada à circulação média meridional da atmosfera, que surge devido a Célula de Hadley) e o JBN, contribuem para o transporte de calor e umidade da região amazônica para a região subtropical (Velasco & Fritsch, 1987; Vila, 2004; Marengo et al., 2004; Mattos, 2009). Além de transportar calor e umidade para a região sul da AS o JBN também gera turbulência por meio do cisalhamento do vento e participa ativamente como mecanismo de disparo da instabilidade potencial favorável para a formação de tempestades severas no Sul-Sudeste do Brasil, Norte da Argentina, Bolívia e Sul do Paraguai (Sugahara et al., 1994; Marengo et al., 2004) e portanto de ES. Além da presença das condições atmosféricas citadas acima, existe ainda o efeito do aquecimento diurno mais presente, nesta época, devido à aproximação do solstício de verão no hemisfério sul, o que favorece a manutenção dos SCM e, portanto a formação de maior número de ES_{SCMRS} .

3.2 Tempo de vida médio e tamanho máximo médio dos SCMRs-ES

O tempo de vida médio dos SCM_{RS-ES} no período de 2004 a 2008 (Tabela 2) foi de 18,84 h com alguma variação entre os períodos quentes (JFM: 12,4 h e OND: 20,53 h) e frios (AMJ: 25,01 h e JAS: 17,43 h). Observou-se também que em JFM, ocorreram os SCM_{RS-ES} com menor tempo médio de vida (12,4 h) e menor tamanho máximo médio (187.262 km²). Por outro lado, SCM_{RS-ES} que ocorreram em AMJ apresentaram o maior tempo médio de vida

(~ 25 h), e os observados em JAS apresentaram o maior tamanho máximo médio (697.077 km²).

A maior duração média dos SCM_{RS-ES} ocorridos em AMJ pode ser explicada pela grande quantidade de SCM_{RS-ES} com tempo de vida superior a 24 horas (segundo Rasera (2013), 7 dos 14 SCM_{RS-ES} deste trimestre) observados neste trimestre, no período de 2004 a 2008. Já nos trimestres JFM, JAS e OND, os SCM_{RS-ES} com duração superior à 24h representaram 0%, 12,5% e 21,1%, respectivamente, do total de SCM_{RS-ES} detectados. Essa maior proporção de SCM com duração superior a 24 horas em AMJ quando comparada aos outros trimestres do ano também foi verificada por Campos & Eichholz (2011) quando analisaram os SCM_{RS} , no mesmo período deste estudo.

Cabe destacar que um dos fatores que contribuiu para o maior tamanho máximo médio dos SCM_{RS-ES} ter ocorrido em JAS pode ter sido a presença neste trimestre do maior SCM_{RS-ES} (2.510.528 km²) detectado no período de estudo, que contribuiu para elevar a média do tamanho máximo dos SCM_{RS-ES} deste trimestre. Além disso, os SCM_{RS-ES} que se formam na região de estudo nesta época do ano geralmente se desenvolvem durante a ocorrência de frentes frias, o que estimula a atividade convectiva de forma distribuída ao longo do dia e do ano. Segundo Siqueira & Machado (2004) em JAS (inverno austral) ocorrem dois tipos de frentes frias: as que exibem propagação quase-estacionária (com respeito à direção meridional) com a convecção nos subtrópicos e/ou latitudes médias e as que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se com a convecção em direção ao equador, as quais contribuem para pelo menos 50% da variabilidade total interdiurna da convecção nesta estação. Portanto a interação observada entre os SF e a convecção tende a favorecer a formação de SCM maiores (JAS) e mais longos (AMJ).

Também se pode justificar o maior tamanho máximo médio dos SCM_{RS-ES} em JAS pelas condições atmosféricas presentes neste período do ano na região, que favorecem a formação de SCM com essas características, conforme mencionado anteriormente. Somado a isso, o RS se localiza em uma região bastante favorável à ocorrência

Tabela 2. Tempo de vida médio (h) e Tamanho máximo médio-Tmm (km²) sazonal dos SCM que atingiram o RS e que geraram Eventos Severos (SCM_{RS-ES}) e sua relação com a duração dos sistemas com ciclo de vida maiores ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h, entre 12 e 24h e com duração superior a 24 h, no período de 2004 a 2008.

Trimestre	Tempo de vida médio	Tmm > 6h	Tmm 6-12h	Tmm 12-24h	Tmm > 24h
JFM	12,40	187.262	171.546	202.979	-
AMJ	25,01	669.307	84.720	686.035	824.384
JAS	17,43	697.077	383.983	726.682	1.746.405
OND	20,53	605.714	189.269	663.204	1.219.512
Médias	18,84	539.840	207.379	569.725	1.263.434

de SCM (Velasco & Fritsch, 1987; Vila, 2004; Durkee & Mote, 2009; Sakamoto, 2009). Devido a sua topografia que contribui para o levantamento das parcelas de ar e desestabilização do ambiente, tornando a atmosfera susceptível a convecção profunda e também devido a situar-se na região de saída dos JBN, onde há umidade e calor para a geração da convecção, o que contribui para a formação de SCM maiores neste trimestre.

Ainda analisando a Tabela 2, verificou-se uma relação direta entre tamanho máximo médio e tempo médio de vida dos SCM_{RS-ES} . Observou-se que SCM_{RS-ES} com duração entre 6 e 12 horas tiveram menor tamanho máximo médio, enquanto que os SCM_{RS-ES} que tiveram duração superior à 24 horas tiveram maior tamanho máximo médio. Esse padrão foi verificado em todos os trimestres do ano, ou seja, SCM_{RS-ES} com maior tempo médio de vida tendem a apresentar maior extensão, assim como já foi observado por diversos autores (Velasco & Fritsch, 1987; Machado et al., 1998; Machado et al., 2002; Vila, 2004; Eichholz, 2011).

Com o fim de avaliar se as médias dos tamanhos máximos dos SCM_{RS-ES} eram significativas estatisticamente entre as classes de duração (6 a 12h, 12h a 24h e >24h), utilizou-se o teste de t-Student. Verificou-se uma tendência crescente de aumento do tamanho máximo em relação à duração, significativa a um nível de confiança de 85% entre as duas primeiras classes. Entre as demais classes, a tendência de acréscimo do tamanho em função da duração dos SCM_{RS-ES} foi significativa para um nível de confiança de 80%. Compararam-se também as médias dos tamanhos máximos dos SCM_{RS-ES} entre os trimestres, tendo o teste t-Student mostrado significância entre os tamanhos médios dos SCM_{RS-ES} observados em JFM e JAS, para um nível de 80% de confiança.

As diferenças de duração e tamanho entre os SCM_{RS-ES} (Tabela 2) também foram detectadas por outros autores quando analisaram SCM (Tollerud & Rodgers, 1991; Ashley et al. 2003; Siqueira, 2004; Eichholz, 2011). A hipótese sugerida por Ashley et al. (2003) para essas diferenças é que diferentes mecanismos dinâmicos podem causar grandes diferenças nos tamanhos e duração dos SCM. Tais processos incluem diferenças na circulação diurna que estão frequentemente relacionados à cobertura do solo e topografia (Laing & Frisch, 1997).

A comparação dos resultados obtidos neste estudo com aqueles obtidos por Campos & Eichholz (2011) para os SCM_{RS} , mostrou que os SCM_{RS-ES} têm tempo de vida médio maior (SCM_{RS} : 13,4 h e SCM_{RS-ES} : 18,84 h) e tamanho médio aproximadamente duas vezes maior (SCM_{RS} : 270.120 km² e SCM_{RS-ES} : 539.840 km²). Portanto os resultados evidenciam que os SCM que geram ES são aqueles que duram mais e apresentam maior tamanho.

3.3 Trajetória média preferencial dos SCMR-S-ES

As trajetórias médias preferenciais sazonais dos

SCM_{RS-ES} no período de 2004 e 2008 mostraram uma tendência de deslocamento médio zonal (de oeste para leste) em todos os trimestres (Figura 1, linhas pretas), semelhante à circulação de grande escala. Isso se deve à influência dinâmica ser maior do que a influência termodinâmica nesta região, assim os SCM tendem a seguir a circulação predominante no sul do Brasil que é zonal acima de 500 hPa (Lau & Crane, 1995; Romatschke & Houze, 2010). Além disso, o principal fator que direciona os SCM de oeste para leste é a incursão de SF, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a circulação forçada associada aos contrastes de temperatura e a estratificação atmosférica de larga escala, que exibem propagação similar no sul do Brasil. Esse resultado é semelhante ao encontrado por diversos autores que afirmam que existe uma tendência de SCM que se originam à leste da Cordilheira dos Andes a se deslocarem para leste (Velasco & Fritsch, 1987; Machado et al., 1998; Vila, 2004; Siqueira, 2004; Siqueira & Marques, 2008; Sakamoto et al., 2009; Sakamoto, 2009; Durkee & Mote, 2009; Campos & Eichholz, 2011).

A análise sazonal mostrou que nos períodos quentes do ano (JFM, Figura 1A–linha preta e OND, Figura 1D–linha preta) as trajetórias médias preferenciais dos SCM_{RS-ES} apresentaram uma componente para norte. Isso pode ser explicado pelo fato de que os SCM tendem a se mover na direção de áreas com temperatura potencial equivalente maior, ou seja, na direção do equador (Sakamoto, 2009). Também de acordo com Velasco & Fritsch, (1987) os CCMs na AS possuem movimento meridional quando o cisalhamento vertical do vento é mais fraco, situação comum nos períodos quentes do ano (Cavalcanti et al., 2009). Além disso, a análise dos SCM_{RS-ES} observados em JFM e OND mostrou que estes, em sua maioria, não estavam associados à incursão de SF e eram modulados pelo aquecimento diurno. Esse tipo de SCM segundo Siqueira & Marques (2008) são mais frequentes nos períodos quentes (JFM e OND), quando há a presença de fortes ventos de oeste-noroeste em direção ao Oceano Atlântico Tropical, que tendem a mover os SCM com uma componente para norte. Observou-se ainda que as trajetórias médias preferenciais em JFM e OND diferiram na sua extensão. Em JFM ela foi menor, provavelmente devido à desintensificação do Jato Subtropical de Altos Níveis (JSAN) que neste trimestre costuma ser mais fraco (Pezzi et al., 1996).

Com relação à trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} observados em JAS (Figura 1C linha preta) observou-se que esta, assim como as observadas em JFM e OND, apresentou uma componente para o norte. A análise dos SCM_{RS-ES} observados neste trimestre, bem como em AMJ, mostrou que eles estavam em sua maioria associados à incursão de SF e que apresentaram um ciclo noturno. De acordo com Siqueira & Marques (2008), quando há interação entre os SCM e a incursão de SF, ocorrem ventos de oeste-sudoeste fortes em 300 hPa que tendem a deslocar os SCM em direção aos trópicos. Por

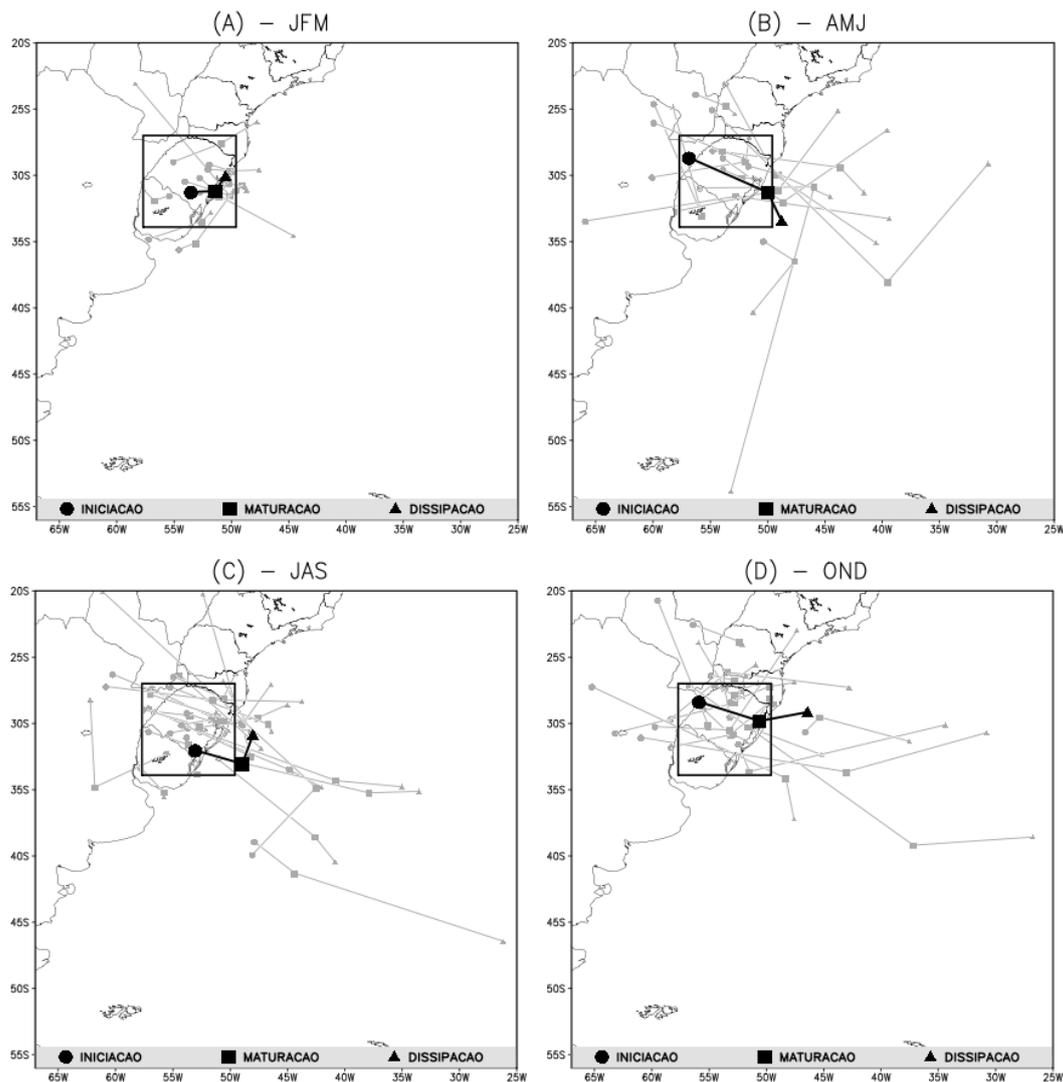


Figura 2. Trajetórias médias preferenciais (linha preta) sazonais dos SCM que afetaram o RS e que geraram Eventos Severos (SCM_{RS-ES}) no período de 2004 e 2008 e as trajetórias individuais de cada SCM_{RS-ES} (linhas cinzas). A) JFM, B) AMJ, C) JAS e D) OND

outro lado, a trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} observados em AMJ (Figura 1C linha preta) mostrou uma componente para sul. Apesar de nesse trimestre a maioria dos SCM_{RS-ES} também estar associado à incursão de SF, estes foram mais estacionários (Climánilise, 2004 a 2008) o que pode ter favorecido o seu deslocamento com uma componente para o sul. Essa configuração não é incomum, Sakamoto (2009) analisando SCM na AS observou que dos SCM com deslocamento para leste, 42% apresentaram uma componente para sudeste, assim como o observado em AMJ neste estudo.

Uma observação interessante é que nas estações de transição (AMJ e OND) as trajetórias médias preferenciais dos SCM_{RS-ES} foram mais longas do que em JFM e JAS (Figura 1 linhas pretas). Conforme discutido anteriormente o tempo de vida médio dos SCM_{RS-ES} em AMJ foi maior em comparação com os demais trimestres do ano (Tabela 2). Por consequência da maior duração, era esperado que a trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} observada

em AMJ fosse mais longa também, uma vez que existe uma relação direta entre tamanho e duração dos SCM (Velasco & Fritsch, 1987; Machado et al., 1998; Machado et al., 2002; Vila, 2004; Eichholz, 2011). Por outro lado, conforme mencionado anteriormente, em OND existe o efeito do aquecimento diurno mais presente, devido à aproximação do solstício de verão no hemisfério sul, o que favorece a manutenção dos SCM e, portanto suas trajetórias médias tendem a ser mais longas.

Ainda na Figura 1 (linhas cinzas), é possível observar as trajetórias individuais dos SCM_{RS-ES} observados em cada trimestre. Pode-se notar que a maioria dos SCM_{RS-ES} seguiu trajetória para leste, variando entre as direções nordeste, sudeste e leste. Sakamoto (2009) também observou que a maioria dos SCM que se formam no sul da AS (78%) se deslocam para leste, sendo que destes 57% seguem para nordeste, 42% para sudeste e 1% para leste. Apesar de a trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} ter sido para leste, houve casos, em todos

os trimestres, que seguiram trajetória para oeste (de sudeste para noroeste) com dissipação sobre o Paraguai. Siqueira & Marques (2008) estudando as trajetórias dos SCM no sudeste do Brasil observaram que dos SCM que se formam no sul da AS ~30% tendem a se deslocar para oeste. Isso ocorre devido à influência termodinâmica observada no sul do Brasil, gerada pela circulação de brisa marítima, a qual produz movimentos ascendentes que favorecem o desenvolvimento convectivo sobre o continente. Além deste estudo, Sakamoto (2009) mostra que dos SCM que se formam no sul da AS 22% tendem a se deslocar para oeste e destes 77% se movem para noroeste. Estes estudos indicam que apesar de o deslocamento dos SCM para oeste ser menos frequente, ele pode ocorrer nessa região, como também mostram os resultados deste estudo.

4 Conclusões

A análise dos SCM_{RS-ES} e dos ES_{SCMRS} que atingiram o RS entre 2004 e 2008 mostrou que:

- i) 10,7% dos SCMRS geraram 45% dos ES;
- ii) SCMRS-ES foram mais frequentes em JAS;
- iii) JAS e OND apresentaram o maior número de ESSCM-RS;
- iv) houve uma relação direta entre tamanho e tempo de vida do SCMRS-ES;
- v) SCMRS-ES menores e que duraram menos ocorreram em JFM;
- vi) SCMRS-ES mais longos ocorreram em AMJ, enquanto que os maiores em JAS e vi) as trajetórias médias preferenciais dos SCMRS-ES, em todos os trimestres, foram predominantemente zonais, de oeste para leste.

Ficou evidente a importância dos SCM_{RS} na geração de ES, uma vez que 10,7% dos SCM_{RS} geraram ~45% dos ES observados no período de estudo. Também se pôde observar que os SCM que geram ES são aqueles que duram mais e apresentam maior tamanho.

Portanto, estudos deste tipo são fundamentais para um melhor entendimento da atuação e das características dos SCM_{RS-ES} nesta região, já que eles geram uma porcentagem considerável de ES que causam sérios danos à economia do Estado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências

ARAÚJO, S. M. B. Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas média

do ar no Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 54p. 2005.

ASERS, 2012. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SCP/DEPLAN. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>>. Atualizado em: 23/09/2011. Acesso em: 20 dez. 2012.

ASHLEY, W. S.; MOTE, T. L.; DIXON, P. G.; TROTTER, S. L.; POWELL, E. J.; DURKEE, J. D.; GRUNDSTEIN A. J. Distribution of Mesoscale Convective Complex Rainfall in the United States. *Monthly Weather Review*, v.131, p. 3003-3017, 2003.

CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W. 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)*, v. 29, p. 331-345, 2011.

CARVALHO, L.; JONES C. A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE). *Journal of Applied Meteorology*, v. 40, p. 1683–1701, 2001.

CASTRO, A. L. C. Glossário de Defesa Civil: estudo de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998, 283 p.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY V. E. Climatology of South American cold fronts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 7. 2003, Wellington. Anais... Wellington, New Zealand: American Meteorological Society, CD-ROM.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil, São Paulo: Oficina de textos, 2009, 463 p.

CLIMANÁLISE, 2004 a 2008. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. São José dos Campos-SP: INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 06 jan. 2013.

CEDCRS, 2012. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>>. Acesso em: 02 set. 2012.

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

- DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. *International Journal of Climatology*, v. 30, p. 418–431, 2009. doi: 10.1002/joc.1893. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1893/pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2012.
- EICHHOLZ, C.W. Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 2011, 102p.
- GRIM, A.M. Variabilidade Annual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*, São Paulo: Oficina de textos. 2009, Cap. 22, p. 353-374.
- HOUZE, R. A. Mesoscale convective systems. In: HOUZE, R.A. *Cloud dynamics*. Academic Press, Inc, 1993, v. 53, p. 334-404.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. *Prevenção de desastres: conceitos básicos*. Florianópolis: Editora Organic Trading, 2006. 109p.
- 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. 2006, Florianópolis. Anais do... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia.
- LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. The global population of mesoscale convective complexes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.123, p.2254-2263, 1997.
- LAU, N. C.; CRANE, M. W. A satellite view of the synoptic-scale organization of cloud properties in midlatitude and tropical circulation systems. *Monthly Weather Review*, v.123, p.1984-2006, 1995.
- LAURENT, H.; MACHADO, L. A. T.; MORALES, C.; DURIEUX, L. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n.D20, p. 8054, 2002.
- MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. Structural characteristics and radiative of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, v.121, n.12, p.3234-3260, 1993.
- MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. *Monthly Weather Review*, v. 132, n. 4, p. 714-725, 2004.
- MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; SILVEIRA, J. M. B.; WALTZ, R. C.; ALVES, M. A. S. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 1994, Belo Horizonte-MG. Anais do... Belo Horizonte-MG: SBMet, 1994, v. 2, p. 323-326.
- MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. *Monthly Weather Review*, v.126, p.1630-1654, 1998.
- MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; LIMA, A. A. Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, p.31.1-31.15., 2002.
- MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 61, n. 14, p. 1374-1387, 1980.
- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.
- MATTOS, E.V. 2009. Relações das propriedades físicas das nuvens convectivas com as descargas elétricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, Dissertação de Mestrado, 2009, 244p.
- NESBITT, S. W.; CIFELLI, R.; RUTLEDGE, S. A. Storm morphology and rainfall characteristics of TRMM precipitation features. *Monthly Weather Review*, v.134, p.2702-2721, 2006.
- NICOLINI, M.; SAULO, A. C.; TORRES, J. C.; SALIO, P. Enhanced precipitation over Southeastern South America 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.
- PEZZI, L.P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. A Corrente de Jato sobre a América do Sul. In: *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise*

- Climática. Edição comemorativa 10 anos. 1996. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/jatclim.html>>. Acesso em: 27 abr. 2012.
- RASERA, G. 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, 2013, 94 p.
- ROMATSCHKE, U.; HOUZE, R. A. Extreme Summer Convection in South America. *Journal of Climate*, v.23, p.3761–3791, 2010.
- SAKAMOTO, M. S. Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, USP, Tese de Doutorado, 2009, 243p.
- SAKAMOTO, M. S.; MACHADO, L. A. T.; AMBRIZZI, T.; GIMENO, L. Life cycle analysis of the SALLJEX convective systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 9. 2009, Melbourne, Anais do... Melbourne. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/events/9icshmo/manuscripts/TH1215_Sakamoto.pdf>. Acesso em: 16 out. 2012
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A.C. Chaco Low Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. *Journal Geophysical Research*, v. 107, n. D24, p. 4816, 10.1029/2001JD001315, 2002.
- SILVA DIAS, M. A. F. Complexos convectivos de mesoescala. In: *Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos*. Cachoeira Paulista: INPE/CPTEC, 1996, p.173-182.
- SILVA DIAS, M. A. F. Storms In Brazil. In: PIELKE, R. SR.; PIELKE, R. JR. (Org.). *Storms - hazard and disasters series*. 1 ed. Londres: ROUTLEDGE, 1999, v. 1, p. 207-219.
- SIQUEIRA, J. R. Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, Dissertação de Mestrado, 2004, 186 p.
- SIQUEIRA, J. R.; MACHADO, L. A. T. Influence of the Frontal Systems on the Day-to- Day Convection Variability over South America. *Journal of Climate*, v.17, p.1754- 1766, 2004.
- SIQUEIRA, J. R.; MARQUES, V. S. Occurrence frequencies and trajectories of mesoscale convective systems over southeast Brazil related to cold frontal and nonfrontal incursions. *Australian Meteorological Magazine*, v.57, p.345-357, 2008.
- SODRÉ, G. R. C.; VITORINO, M. I. Análise observacional de sistemas convectivos de mesoescala associados a extremos climáticos na Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013, Foz do Iguaçu. Anais do ... São José dos Campos: TecArt Editora Ltda, 2013. v. 16. p. 1877-1884. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0940.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2014.
- SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P.; RODRIGUES, M. L. Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 1994, Belo Horizonte, MG, Anais do ... Belo Horizonte: SBMet, 1994, v. 2, p. 573-577.
- TOLLERUD, E. I.; RODGERS, D. M. The seasonal and diurnal cycle of mesoscale convection and precipitation in the central United States: Interpreting a 10-year satellite-based climatology of mesoscale convective complexes. In: CONFERENCE ON APPLIED METEOROLOGY, 7. 1991, Salt Lake City, Utah.
- TORRES, J. C. Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en El norte y centro de Argentina. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de Buenos aires, Tese de doutorado, 2003, 130 p.
- VARGAS JR., V. R.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Eventos severos que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 7, 2011, Santa Maria-RS. Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wpcontent/uploads/M%C3%93DULO_ANAIS.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2013.
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal Geophysical Research*, v.92, p. 9591-9613, 1987.
- VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MUÑOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a Complexos Convectivos de Mesoescala. *Revista Sociedade & Natureza*, v.21, n.2, p. 91-105, 2009.
- VILA, D. A. Sistemas convectivos precipitantes de

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

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

ZIPSER, E. J.; SALIO, P.; NICOLI, M. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. *CLIVAR (Exchanges –Scientific Contributions)*, v. 9, n. 1, p. 14-18, 2004.

ZIPSER, E. J.; LIU, C.; D'ECIL, D. J., NESBITT, S. W.; YORTY, D. P. Where are the Most Intense Thunderstorms on Earth? *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 87, p. 1057–1071, 2006.