

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



Dissertação

**Eventos Severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do
Sul no período de 2004 a 2008**

Gustavo Rasera

Pelotas, 2013

GUSTAVO RASERA

**Eventos Severos gerados por SCM que atingiram o RS no período de 2004 a
2008**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Pelotas, 2013

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Prof^a. Dr^a. Luciana Barros Pinto

Dr. Anderson Spohr Nedel

Dedicatória

À minha família e a todos que sempre acreditaram em mim e me incentivaram.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por todas as oportunidades que tive ao longo da minha vida, à minha família que sempre esteve ao meu lado e me incentivou.

Aos amigos da Pós-Graduação, que sempre foram ótimas companhias e nunca se recusaram a ajudar.

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

À Professora Dr^a Cláudia Rejane Jacondino de Campos, responsável pela minha orientação, e também por toda a sua organização, paciência, sugestões e por seu jeito descontraído e simpático que tornou o ambiente sempre muito agradável.

Ao ex-aluno do curso de Pós-Graduação, e hoje mestre, Cristiano Wickboldt Eichholz, responsável pela criação de scripts fundamentais na geração de alguns resultados, bem como pelo seu auxílio sempre que requisitado.

À banca examinadora pelas sugestões de grande valia para que o trabalho ficasse ainda mais elaborado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Resumo

RASERA, Gustavo. **Eventos Severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A humanidade vive num meio condicionado pela natureza, logo, atividades como agricultura, pecuária e até mesmo o modo de vida nas cidades são influenciados pelas intempéries climáticas. Eventos com condição de tempo severo (ES) tais como enchente, granizo, vendaval, entre outros, tem contribuído para provocar quebras de safras agrícolas, prejuízos econômicos e até mesmo perda de vidas. Sendo os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) um tipo de fenômeno atmosférico fortemente relacionado à geração de ES, este trabalho teve como objetivos determinar e analisar, para o período de 2004 a 2008, a distribuição sazonal: dos SCM (com ciclo de vida de no mínimo 6 horas) que atingiram o Rio Grande do Sul (RS) (SCM_{RS}) e que causaram ES (SCM_{RS-ES}); dos ES associados a estes sistemas; e dos municípios atingidos. Para a seleção dos SCM_{RS} foi utilizado o aplicativo ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) e imagens brutas (arquivos binários) do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 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. Também foram utilizados dados de ocorrência de ES no RS do período de estudo, obtidos do banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS (CEDEC/RS). O confronto dos SCM_{RS} com os ES permitiu determinar quais SCM_{RS} estavam associados a ES e quais municípios foram atingidos. Os resultados para o período de estudo mostraram que: i) a maioria dos SCM_{RS-ES} ocorreu no trimestre Jul-Ago-Set (JAS); ii) as trajetórias médias preferenciais dos SCM_{RS-ES} tiveram predomínio de deslocamento zonal (de oeste para leste); iii) vendaval e granizo foram os tipos de ES mais frequentes; iv) JAS foi o trimestre com a maior diversidade de ES; v) há relação direta entre número de SCM_{RS-ES} , número de ES e número de municípios atingidos; vi) o tamanho dos SCM_{RS-ES} tem forte influência no número de municípios atingidos e vii) a maioria das municípios afetados por ES associados aos SCM_{RS-ES} estava localizada na metade norte do Estado. Tais resultados serviram para se obter um melhor entendimento sobre a relação dos SCM_{RS-ES} com condições ambientais que são favoráveis ao seu desenvolvimento, tais como, condições sinóticas de grande escala, influência da topografia, processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem em suas

proximidades. Dessa forma se mostra bastante importante como material de apoio de pesquisadores e tomadores de decisões.

Palavras-chave: sistemas convectivos de mesoescala, ForTrACC, eventos severos, vendaval, granizo.

Abstract

RASERA, Gustavo. **Severe Weather Events associated with MCS that affected the Rio Grande do Sul State on the period of 2004 to 2008.** 2012. 94f. Thesis (MA) - Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The humanity live in an environment conditioned by the nature, soon, activities like agriculture, livestock and even the daily of the cities are influenced by the severe weather. Events with severe weather condition (ES), like, flood, hail, windstorm and other, can cause crop loss, economic loss and also deaths. Mesoscale Convective Systems (MCS) are part of a meteorological phenomenon strongly associated with the generation of ES, therefore, this study aimed to determine and analyze, for the period of 2004 to 2008, the seasonal distribution: of the MCS (with life cycle of minimum 6h) that affected the Rio Grande do Sul-RS (MCS_{RS}) and that caused ES (MCS_{RS-ES}), of the ES associated with these systems and of the affected municipalities. For the selection of the MCS_{RS} was utilized the ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) application and the rough images of the GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 10 and 12 satellite of the channel 4 (thermal infrared), with space resolution in the subsatellite point of 4 km x 4 km and the time resolution of $\frac{1}{2}$ hour, of the period of 1/1/2004 to 12/31/2008. Also were utilized the data of ES occurrence in the RS on the period of study, obtained from the database of the State Civil Defense Coordination of RS (CEDEC/RS). The comparison of the days of occurrence of MCS_{RS} and of ES allowed determine what MCS_{RS} were associated with ES and what municipalities were affected. The results for the study period showed that: i) the majority of the MCS_{RS-ES} occurred on Jan-Aug-Sep (JAS); ii) the MCS_{RS-ES} preferential mean tracks had a predominance of zonal displacement; iii) windstorm and hail were the ES types most frequent; iv) JAS was the quarter with the ES greatest diversity; v) there is a direct relationship among the number of MCS_{RS-ES} , ES number and the number of affected municipalities; vi) the MCS_{RS-ES} size have a great influence in the number of affected municipalities; vii) the majority of the affected municipalities by ES associated with MCS_{RS-ES} was located on the north half of the RS State. These results served to obtain a better understanding about the relationship of the MCS_{RS-ES} with the environmental conditions that are conducive to their development, such as large scale synoptic conditions, topography influence and dynamic and thermodynamic processes that occur in its vicinity. This shows quite important as material support of researchers and decision makers.

Keywords: mesoscale convective systems, ForTrACC, severe weather, windstorm, hail.

Lista de figuras

Figura 1	Mapa topográfico (esquerda) e das unidades geomorfológicas do RS (direita) Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011)	23
Figura 2	Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul Fonte: RIO GRANDE DO SUL (1994)	24
Figura 3	Mapa com a divisão municipal (a) e com as bacias hidrográficas (b) do RS Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011)	25
Figura 4	Tipos de clima da Região Sul do Brasil Fonte: ANTUNES (1996, p. 90).	26
Figura 5	(a) Temperatura média anual e (b) Precipitação pluvial média anual do RS Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011)	28
Figura 6	Corte vertical de um SCM Fonte: WALLACE; HOBBS (2006, p. 365).	33
Figura 7	Coordenadorias Regionais de Defesa Civil do RS Fonte: DEFESA CIVIL DO RS (2011)	46
Figura 8	Página principal do site da Defesa Civil do RS com a indicação do local onde se encontram os dados sobre eventos severos (seta em azul) Fonte: http://www.defesacivil.rs.gov.br	47
Figura 9	Municípios atingidos por ES de 2003 a 2010 (seta azul) e a partir de 2011 (seta vermelha) Fonte: http://www.defesacivil.rs.gov.br	48
Figura 10	Região que cobre o Rio Grande do Sul (retângulo entre as latitudes de 27° a 34°S e as longitudes de 58° a 49°W) e que foi afetada por SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que	

	tiveram iniciação espontânea e dissipação natural e que geraram Eventos Severos. A linha que passa sobre a latitude de 30°S divide o Estado em Metade Norte (MN) e Metade Sul (MS)	57
Figura 11	Exemplo de: (a) trajetórias individuais seguidas pelos SCM_{RS-ES} e (b) composição da trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES}	60
Figura 12	Distribuição sazonal dos SCM que afetaram o RS e que geraram Eventos Severos (SCM_{RS-ES}) (coluna em azul) e as contribuições sazonais desses em relação aos SCM_{RS} (coluna em cinza), no período de 2004 a 2008	62
Figura 13	Trajetoárias médias preferenciais sazonais dos SCM que afetaram o RS e que geraram Eventos Severos no período de 2004 e 2008	66
Figura 14	Distribuição sazonal dos Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS ($ES_{SCMRS-ES}$) (coluna em verde) e as contribuições sazonais desses em relação ao total de ES registrados pela Defesa Civil do RS (coluna em cinza), no período de 2004 a 2008.....	69
Figura 15	Distribuição sazonal dos tipos de eventos severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d)	69
Figura 16	Distribuição sazonal dos municípios atingidos por Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS (coluna em vermelho) e contribuições sazonais desses em relação ao total de municípios atingidos por ES reportados pela Defesa Civil do RS (coluna em cinza), no período de 2004 a 2008	72
Figura 17	Distribuição geográfica sazonal dos municípios atingidos por Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d)	76
Figura 18	Distribuição sazonal dos municípios atingidos pelos diferentes tipos de Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS, 2004 e 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d)	78

Lista de tabelas

Tabela 1	Exemplo contendo alguns SCM_{RS} de janeiro/2004. Estão contidas informações a respeito do número da família, dia, mês e ano, e para cada uma das etapas (iniciação, maturação e dissipação) o horário e as latitudes e longitudes dos centros de massa	57
Tabela 2	Exemplo mostrando os SCM_{RS-ES} nos trimestres JFM, AMJ e parte de JAS de 2004. Constan: o número, família, dia, mês, ano, além do horário, latitude e longitude do centro de massa para as etapas de iniciação, maturação e dissipação, e ainda os municípios atingidos e o tipo de ES registrado	59
Tabela 3	Tempo de vida médio (h) e tamanho máximo médio (km^2) 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	64
Tabela 4	Distribuição sazonal dos ES gerados pelos SCM que afetaram o RS entre 2004 e 2008 Fonte: Defesa Civil do RS (2011)	68
Tabela 5	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} ($ES_{SCMRS-ES}$), dos municípios atingidos por ES (MA_{ES}), dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ ($MA_{ES-SCMRS-ES}$) e as respectivas contribuições sazonais. 74

Tabela 6 Número de municípios da Metade Norte (MN) e Sul (MS) do RS atingidos por Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 75

Lista de abreviaturas e siglas

AMJ	Abril – maio – junho
AS	América do Sul
BRAMS	Brazilian Regional Atmospheric modeling system
Cb	Nuvens cumulonimbus
CCM	Complexo convectivo de mesoescala
Cf	Zona climática fundamental temperada e no tipo fundamental
Cfa	Zona climática fundamental temperada e no tipo fundamental, com verões quentes
Cfb	Zona climática fundamental temperada e no tipo fundamental, com verões suaves
COMDEC	Coordenadoria Municipal de Defesa Civil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
cT	Massa de ar Continental Tropical
DCRS	Defesa Civil do Rio Grande do Sul
DISME/INMET	Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ES	Eventos com Condição de Tempo Severo
ES _{SCMRS-ES}	Eventos com Condição de Tempo Severo gerados por Sistemas Convectivos de Mesoescala que atingem o Rio Grande do Sul

EUA	Estados Unidos da América
ForTrACC	Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters
FF	Frentes Frias
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAS	Julho – agosto – setembro
JBN	Jato de baixos níveis
JBNSA	Jato de Baixos Níveis Sul Americano
JFM	Janeiro – Fevereiro – Março
JSAN	Jato Subtropical de Altos Níveis
LBA/RACCI	Radiation Cloud and Climate Interaction in LBA Amazon dry to wet season
LI	Linha de instabilidade
MN	Metade norte do Rio Grande do Sul
mP	Massa de ar Marítima Polar
MA _{ES}	Municípios do Rio Grande do Sul atingidos por Eventos Severos gerados por Sistemas Convectivos de Mesoescala
MS	Metade sul do Rio Grande do Sul
mT	Massa de ar Marítima Tropical
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OND	Outubro – novembro – dezembro
OPE	Oscilação Pacífico Equatorial
REDEC	Regional de Defesa Civil
RS	Rio Grande do Sul
SALLJEX	South American Low-Level Jet Experiment
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SCM _{RS}	Sistemas Convectivos de Mesoescala que atingem o Rio

	Grande do Sul
SCM _{RS-ES}	Sistemas Convectivos de Mesoescala que atingem o Rio Grande do Sul e causam Eventos Severos
SF	Sistema Frontal
T _b	Temperatura de brilho do topo das nuvens
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UTC	Universal Time Coordinated
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1 Introdução	19
2 Revisão de literatura	23
2.1 Características da área de estudo	23
2.1.1 Características físicas e geográficas	23
2.1.2 Clima	25
2.1.2.1 Temperatura	27
2.1.2.2 Precipitação	27
2.2 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)	31
2.3 Resultados de pesquisas sobre SCM	36
2.4 Eventos com Condição de Tempo Severo ou episódios de desastre associados a condições meteorológicas extremas (ES)	43
2.5 Resultados de pesquisas sobre ES	48
3 Materiais e métodos	55
3.1 Seleção dos SCM que atingiram o RS (SCM _{RS})	55
3.2 Seleção dos ES que atingiram o RS e que foram gerados pelos SCM _{RS} ...	57
3.3 Análise sazonal dos SCM _{RS} e que geraram ES (SCM _{RS-ES}), dos ES gerados por estes SCM e dos municípios afetados	59
4 Resultados e discussão	61
4.1 Análise sazonal dos SCM que afetaram o RS e que geraram ES (SCM _{RS-ES}) no período de 2004 a 2008.....	61
4.1.1 Distribuição	61
4.1.2 Duração média e tamanho máximo médio.....	63

4.1.3 Trajetória média preferencial	65
4.2 Análise sazonal dos ES gerados pelos SCM _{RS-ES} no período de 2004 a 2008	67
4.2.1 Distribuição	67
4.3 Análise sazonal dos municípios atingidos pelos ES gerados pelos SCM _{RS-ES} no período de 2004 a 2008	71
4.3.1 Distribuição	71
4.3.2 Número de municípios atingidos por cada um dos tipos de ES gerado pelos SCM _{RS-ES}	77
5 Conclusão	80
Referências	82

Introdução

A humanidade está inserida num meio onde as condições de tempo e clima coordenam e influenciam as suas atividades. Desde os primórdios o homem procura lugares onde as condições do tempo propiciem um ambiente agradável para viver e que forneçam condições para a prática da agricultura, essencial para a sua sobrevivência. Com a evolução da espécie, o homem passou a ter condições de se adaptar a ambientes mais inóspitos, contudo a produção de alimentos, animal e vegetal, ainda continua dependente da condição do tempo e clima. A meteorologia, portanto, foi ganhando importância e seu estudo teve início a partir de 350 a.C com o livro “Meteorológica” de autoria de Aristóteles. Desde então essa ciência vem se desenvolvendo com estudos mais aprofundados e característicos de cada região do globo.

No Rio Grande do Sul (RS) vários estudos mostram que a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, porém há uma variabilidade espacial significativa, uma vez que a precipitação anual na Metade Sul (MS) é inferior à Metade Norte (MN) do Estado (NIMER, 1989; IPAGRO, 1989; ÁVILA et al., 1996; BERLATO et al., 2000; MATZENAUER et al., 2007; CAMPOS; SILVA, 2010). Um dos fatores que contribui para as diferenças no regime de precipitação das duas porções do Estado é a distribuição topográfica do RS que é bastante variada. A MN apresenta topografia mais acidentada, com altitudes que podem exceder 1.000 m, enquanto que a MS é mais plana, com altitudes chegando a menos de 100 m. Segundo Viana et al. (2009a), os relevos acidentados estão estritamente relacionados à ocorrência de enxurradas. Outra questão interessante é com relação aos sistemas meteorológicos que geram a precipitação no RS: nas estações frias (AMJ: Abr-Mai-Jun e JAS: Jul-Ago-Set) grande parte da precipitação registrada é associada a sistemas sinóticos (SF) e nas estações quentes (OND: Out-Nov-Dez e JFM: Jan-

Fev-Mar) a sistemas de mesoescala (SCM), respectivamente (SCAGLIONI; SARAIVA, 2005; MARQUES, 2005).

Os SCM produzem cerca de 60% da precipitação total na região sul da América do Sul - AS (MOTA, 2003) e são os principais responsáveis pelo desenvolvimento de Eventos com Condição de Tempo Severo (ES) nesta região (SILVA DIAS, 1999; ZIPSER et al., 2006). Estes sistemas, que são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e que apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, possuem formas variadas (HOUZE, 1993; MACHADO; ROSSOW, 1993). Esses sistemas podem ser classificados em três categorias: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares (COTTON; ANTHES, 1989).

Segundo Maddox (1980), os CCMs são definidos como sendo um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cb) frias e espessas que apresentam forma circular e crescimento vertical num intervalo de tempo entre 6 a 12 horas e associam-se a eventos com precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo (SILVA DIAS, 1996). Devido ao fato de os CCMs serem responsáveis por condições adversas de tempo (ES) e pela dificuldade de sua previsão, diversos estudos feitos por pesquisadores da área de ciências atmosféricas têm dado grande atenção a este fenômeno atmosférico, visando compreender os seus mecanismos físicos e dinâmicos (MADDOX, 1980; VELASCO; FRITSCH, 1987; SILVA DIAS, 1987 e 1996, LAING; FRITSCH, 2000, etc).

Os SCM são responsáveis pela maior parte da precipitação da estação quente nas regiões tropicais e temperadas da AS (VELASCO; FRITSCH 1987; VILA, 2004), contribuindo para a geração de condições de tempo adverso, apesar disso, eles ainda não são bem previstos (CORFIDI et al., 1996; JACOBSEN; BRAUN, 2006).

Monitorar o deslocamento e a evolução dos SCM é de grande importância para a previsão do tempo e de fenômenos meteorológicos adversos. Por isso, com o objetivo de se obter um melhor conhecimento do ciclo de vida dos SCM, assim como um melhor entendimento de suas características físicas e morfológicas, foram desenvolvidas técnicas de acompanhamento dos mesmos através de imagens de satélite no infravermelho e por correlação espacial (MACHADO et. al, 1998;

CARVALHO; JONES, 2001; MATHON; LAURENT, 2001; MOREL; SENESI, 2002). Dentre essas técnicas, pode-se citar o Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters - ForTrACC (VILA et al., 2008), que utiliza os limiares, nas imagens do canal-4 do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), de 235 K para definir o SCM e de 210K, para definir as células convectivas imersas no SCM. Estes limiares se mostraram aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da AS permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas nele imersas (CARVALHO; JONES, 2001; LAURENT et al., 2002; MACHADO; LAURENT, 2004; VILA, 2004). Estes estudos dão uma contribuição significativa para o entendimento do tempo e clima e para a previsão dos SCM reduzindo com isso a vulnerabilidade aos danos causados pelos ES gerados por estes sistemas.

No RS os ES ocorrem em todas as estações do ano, sendo mais frequentes nos meses mais quentes (JFM e OND) (VARGAS Jr. et al., 2011a). Segundo esse autor, o predomínio de ES durante os períodos quentes do ano pode ser explicado pelo estabelecimento de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento dos SCM, tais como, condições sinóticas de grande escala, influência da topografia, processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem em suas proximidades. Além disso, a variabilidade sazonal da insolação, que é maior nos períodos quentes, favorece a atividade convectiva nesses períodos e, portanto, a maior ocorrência de SCM (MATTOS, 2009) resultando em mais ES. Nos períodos frios do ano (abril a setembro) há maior atuação de SF, que contribuem fortemente para a intensificação da convecção (SIQUEIRA, 2004) e, portanto para a ocorrência de SCM e de ES.

A ocorrência de ES, também denominados episódios de desastre relacionados a condições meteorológicas extremas (granizo, vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento, deslizamento), que são gerados por SCM e SF. Esses podem causar desde pequenos danos na agricultura até grandes destruições com danos materiais, prejuízos econômicos como quebra de safras e até mesmo perda de vidas. No RS, a agricultura é a base da economia, o Estado é grande produtor de soja, arroz, trigo, milho, entre outras culturas. Por serem culturas cultivadas majoritariamente em locais externos, sem abrigo, a produção dessas é completamente influenciada pelas condições climáticas. Dessa forma, excessos e déficits de chuva, pelas ocorrências de inundação e estiagem, podem causar grandes perdas agrícolas, conseqüentemente prejuízos econômicos. Além disso,

também existem os ES, que podem danificar severamente várias culturas agrícolas, acarretando perdas financeiras ao Estado. Portanto, o estudo de ES gerados por SCM que atingem o RS ($ES_{SCMRS-ES}$), se mostra de grande importância, uma vez que com um maior conhecimento destes episódios, possam ser tomadas medidas investigativas a fim de minimizarem as perdas econômicas para o Estado.

Pelo exposto acima, fica evidente a importância do estudo de $ES_{SCMRS-ES}$. Dentro deste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar os $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008. Como objetivos específicos buscou-se determinar e analisar a distribuição sazonal no período de estudo:

- dos SCM (com ciclo de vida de no mínimo 6 h) que atingiram o RS e que geram ES (SCM_{RS-ES}) (distribuição, duração média, tamanho máximo médio e trajetória média preferencial);
- dos $ES_{SCMRS-ES}$ (distribuição);
- dos municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$ (distribuição geográfica, número de municípios atingidos por cada tipo de $ES_{SCMRS-ES}$).

Revisão de literatura

2.1 Características da área de estudo

2.1.1 Características físicas e geográficas

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) está localizado na região mais meridional do Brasil, entre as latitudes de 27°05'S e 33°45'S e longitudes de 49°43'O e 57°39'O. Sua extensão territorial é de aproximadamente 282.184 km². Grandes lagunas e ambientes lacustres pertencentes ao Estado correspondem a 5,2% da sua área total, além disso, possui 622 km de costa marítima. A topografia é bem distinta, com um planalto ao norte, serra no nordeste, depressões no centro e planícies costeiras. As altitudes, portanto, oscilam bastante, com mais de 1.000m no nordeste e chegando a menos de 100m na Depressão Central e Planície Costeira (Fig. 1).

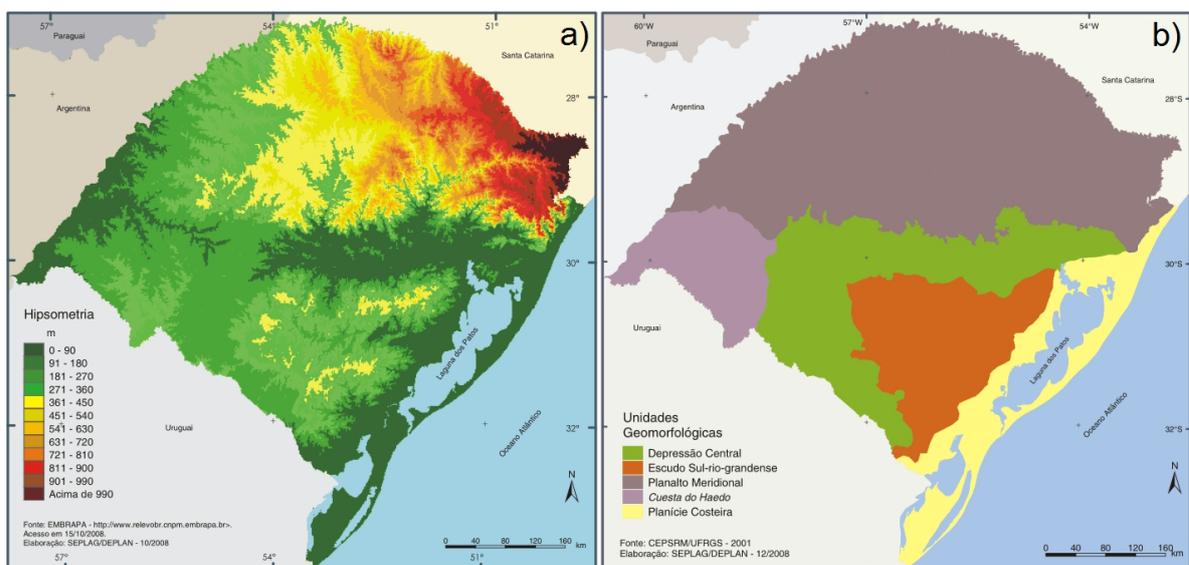


Figura 1 – Mapa topográfico (a) e das unidades geomorfológicas do RS (b).

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011)

O RS também pode ser definido segundo suas regiões ecoclimáticas, caracterizadas pelo macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul, realizado pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (RIO GRANDE DO SUL, 1994). Na Fig. 2 estão representadas as 11 Regiões ecoclimáticas do RS.

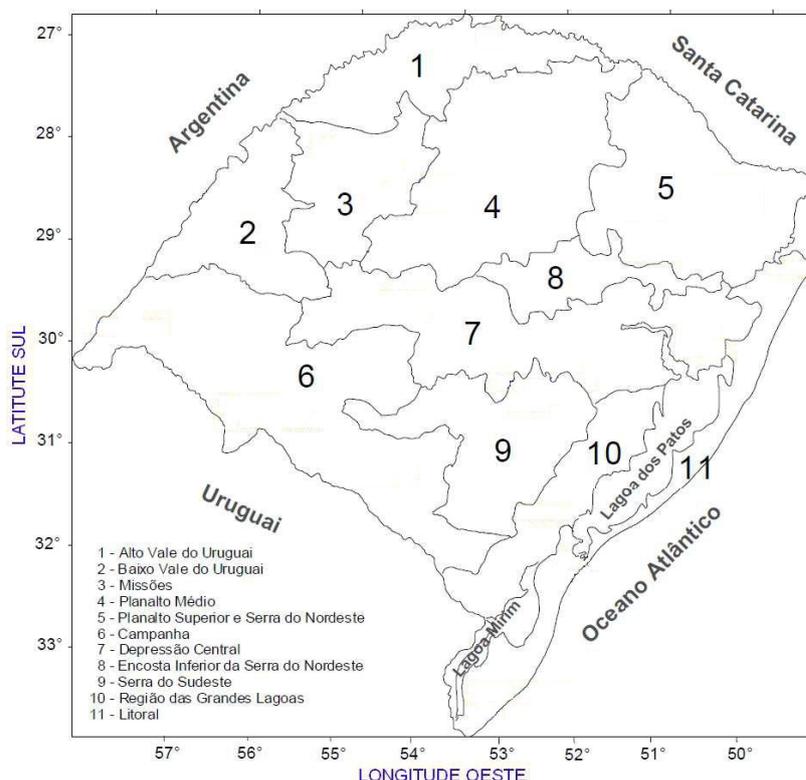


Figura 2 – Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.

Fonte: RIO GRANDE DO SUL (1994)

De acordo com o Atlas Sócio Econômico do RS (2011), o RS possui 496 municípios (Fig. 3a), sendo 432 deles (87,1% do total) localizados na metade norte do estado (MN), ou seja, ao norte de 30°S. O restante dos municípios (64) está localizado na metade sul do estado (MS), ao sul de 30°S. A desproporcionalidade do número de municípios nas duas metades do Estado tem raízes históricas. O crescimento populacional proveniente da chegada de novos grupos étnicos na região norte do RS e o fracionamento dessas inúmeras colônias fizeram com que novos municípios fossem criados, enquanto que na MS não se verificou o mesmo padrão de colonização e os municípios ficaram praticamente com a mesma configuração do início do século XX (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2011).

Com relação aos recursos hídricos do Estado, estes estão divididos em três grandes bacias hidrográficas (Fig 3b): a Bacia do Uruguai (verde-claro), situada na

porção ocidental do estado e que abrange 57% da área total do RS; a Bacia do Guaíba (verde-escuro), sendo a mais densamente povoada, localizada na região nordeste do Estado, abrangendo a região metropolitana de Porto Alegre e se estendendo até o centro do RS possuindo 30% da área total do Estado e por fim, a Bacia Litorânea (marrom), que compreende toda a porção leste do RS, tendo uma área que representa 13% do total do Estado (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2011). Tanto a bacia do Uruguai quanto a Litorânea tem o uso dos seus solos vinculado principalmente às atividades agropecuárias e agroindustriais. Já na bacia do Guaíba o uso do solo é ligado a atividades diversificadas, incluindo indústria, agropecuária, agroindústria, entre outras. Cabe ressaltar que o RS é um dos Estados brasileiros mais avançados na discussão de questões relacionadas a gestão de recursos hídricos. Possui Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas cujo trabalho visa definir instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo a sua recuperação e conservação.

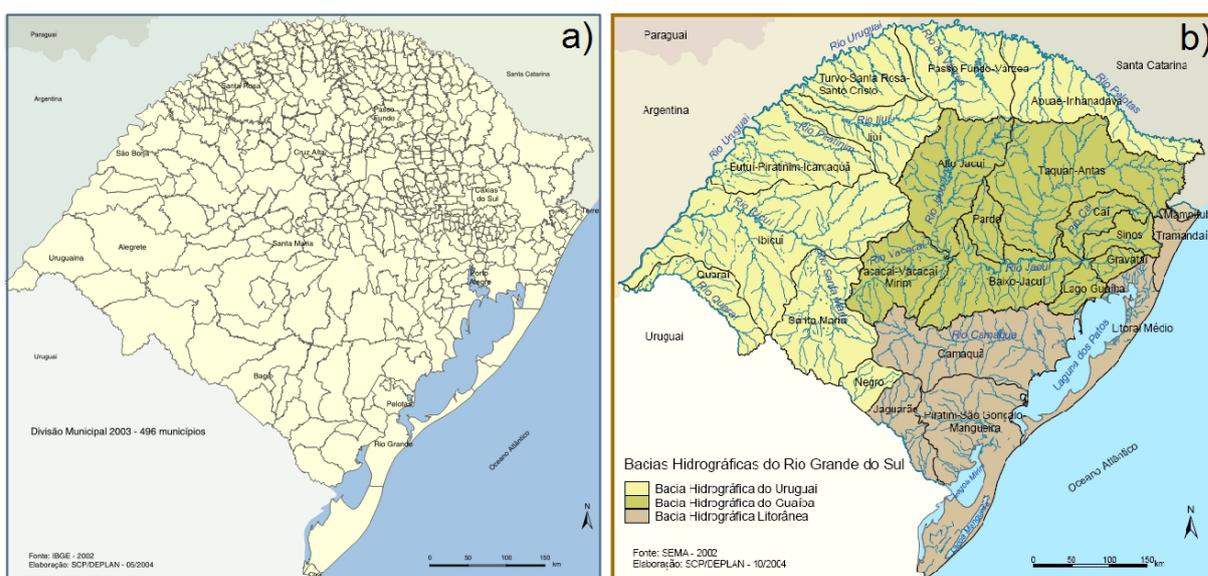


Figura 3 – Mapa com a divisão municipal (a) e com as bacias hidrográficas (b) do RS.

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011)

2.1.2 Clima

Climaticamente, o RS se enquadra na zona fundamental temperada ou "C" e no tipo fundamental "Cf" ou temperado úmido, segundo o sistema de classificação climática de Köppen. No Estado, este tipo "Cf" se subdivide em duas variedades:

"Cfa" e "Cfb", que se caracterizam por apresentarem chuvas durante todos os meses do ano e possuírem a temperatura média do mês mais frio superior a 3°C. O que as diferencia é a temperatura média do mês mais quente, que no caso da variedade "Cfa" é superior a 22°C enquanto que para a variedade "Cfb" é inferior a 22°C. A variedade "b" se restringe ao Planalto Meridional e ao escudo Sul-Rio-Grandense, enquanto que as demais áreas pertencem à variedade "a" (MORENO, 1961). Na Fig. 4 são ilustrados os diferentes tipos de clima na Região Sul do Brasil, sendo que a variedade "Cfa" é denominada por "Subtropical com verões quentes" e "Cfb" por "Subtropical com verões suaves".

Tanto a temperatura (apesar de sua diversificação espacial), quanto a pluviosidade, no Sul do Brasil, exercem um papel de unificar e uniformizar o clima regional. Porém, isto não significa que os valores e comportamento da temperatura sejam semelhantes. Significa, apenas, que existe uma relativa semelhança, que não permite a determinação de áreas intra-regionais muito distintas, como se verifica em outras regiões geográficas do Brasil (NIMER, 1989).

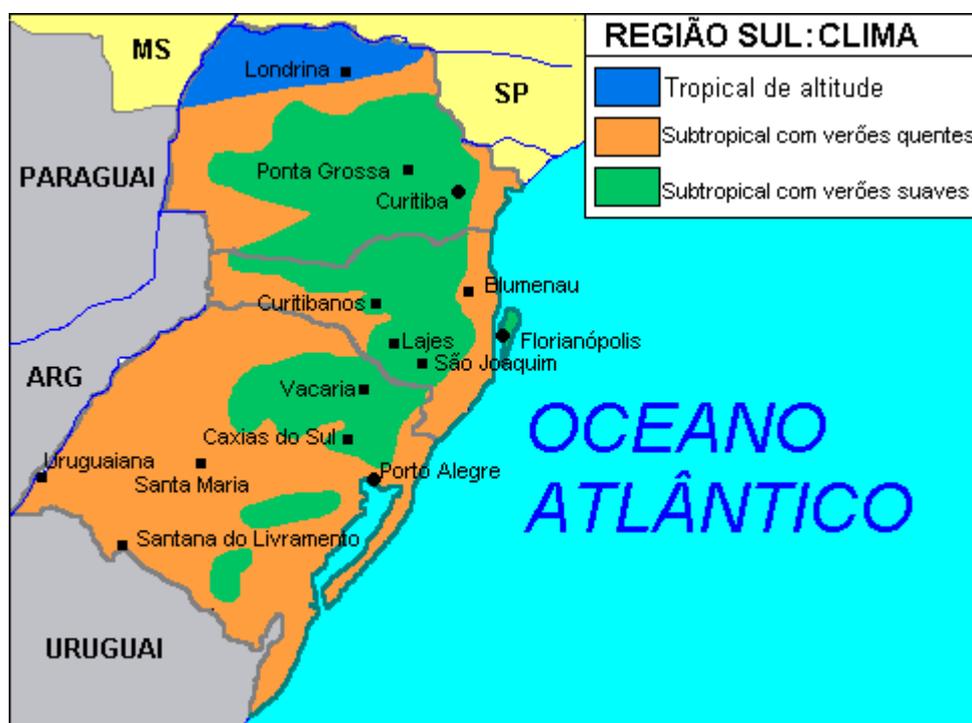


Figura 4 – Tipos de clima da Região Sul do Brasil.

Fonte: ANTUNES (1996, p. 90).

2.1.2.1 Temperatura

Conforme o Atlas Sócio Econômico do RS (2011), a temperatura média do ar no RS apresenta grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geada e precipitação eventual de neve principalmente na serra. As temperaturas médias anuais variam de 10 a 20°C (Fig. 5a). A amplitude térmica anual do RS é consideravelmente grande, sendo bastante influenciado por SF provenientes de latitudes médias e altas. O regime de temperatura deste Estado é influenciado pelas massas de ar Marítima Tropical (mT), Marítima Polar (mP) e Continental Tropical (cT) (ANDRADE, 1972). A massa de ar Continental Tropical atua principalmente no oeste do Estado, e sua influência se dá pela elevação das temperaturas durante o verão. Durante o inverno, o avanço das massas de ar de origem polar (Marítima Polar), provoca expressiva redução nas temperaturas (ANDRADE, 1972; TUBELIS; NASCIMENTO, 1983). Outros fatores, tais como a latitude, o relevo e a continentalidade/maritimidade também exercem influência na temperatura do RS (MORENO, 1961; NIMER, 1989).

2.1.2.2 Precipitação

Segundo diversos autores (MOTA, et al. 1971; NIMER, 1989; TUBELIS; NASCIMENTO, 1983; VIANELLO; ALVES, 2000), a região Sul do Brasil é a que apresenta a distribuição espacial de precipitação mais uniforme de todo o Globo possuindo um regime de precipitação pluvial bem distribuído e bem definido. Contudo, essa baixa variabilidade pluviométrica do RS não deve ser interpretada como uma situação constante no clima regional do Sul do Brasil (uma vez que não é incomum a ocorrência de estiagens e enchentes), mas tão somente como uma situação de maior frequência. Portanto, os valores médios de precipitação pluvial no RS apresentam regularidades ao longo do ano, mas com variações espaciais (Fig. 5b) e sazonais dentro do RS. Essa característica pode ser comprovada em diversos estudos como os apresentados a seguir.

Diversos trabalhos (NIMER, 1989; IPAGRO, 1989; ÁVILA et al., 1996; BERLATO et al., 2000; SILVA, 2010) mostram que apesar de o relevo regional não interferir a ponto de criar grandes variações na pluviometria anual, sua influência é sentida, uma vez que na Metade Sul do RS (sul do paralelo 30° S) chove menos que

na Metade Norte (norte do paralelo 30° S). Ao sul de 30° S são registradas precipitações pluviiais anuais, inferiores a 1.500 mm, enquanto que na Metade Norte do Estado são registrados totais anuais de precipitação superiores a 1.500 mm, com intensidade maior de chuvas no nordeste do RS.

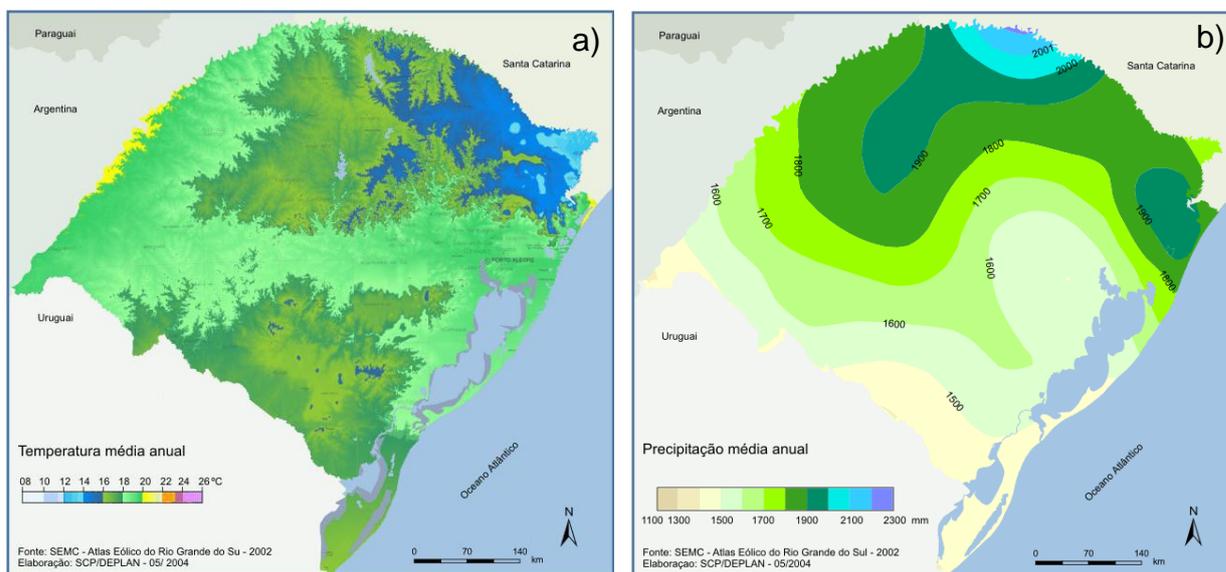


Figura 5 – (a) Temperatura média anual e (b) Precipitação pluviial média anual do RS

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2011).

Matzenauer et al. (2007) caracterizaram o regime de chuvas no RS utilizando uma série atualizada de dados de 24 estações meteorológicas distribuídas nas diferentes regiões ecoclimáticas do Estado, para o período 1976-2005. Observaram que a Metade Norte do RS apresentou um maior volume anual de chuvas quando comparado com a MS. Em certas regiões da MN o volume de chuvas ultrapassou 1.900 mm anuais, enquanto que na MS existiram porções que apresentaram volumes inferiores a 1.400 mm, caracterizando, portanto, uma variabilidade espacial significativa. A primavera foi a estação do ano quando se concentrou o maior volume de chuvas na Metade Norte do Estado, com valores superiores a 550 mm em certas localidades, enquanto que o menor volume de chuvas ocorreu durante o inverno, nas regiões da Campanha (Bagé e Uruguaiana) e Baixo Vale do Uruguai (Itaqui e São Borja), com valores inferiores a 250 mm.

Ao utilizar dados mensais de precipitação pluviial para 29 estações meteorológicas para o período de 1948 a 1988, Ferreira e Nery (1999) concluíram que existe uma maior concentração da precipitação pluviial nas regiões oeste e

nordeste do Estado e uma menor concentração, na região noroeste e na região do estuário do Guaíba. Um dos fatores que contribui para essa variação espacial da precipitação no RS é a diferença que existe no relevo das MN e MS. A MN possui maiores altitudes e relevos mais acidentados, que provocam maior instabilidade atmosférica durante a passagem de um sistema, ao passo que, na MS o predomínio é de planícies, que não geram o mesmo efeito.

Em alguns anos, a precipitação pluvial é tão abundante que em certas áreas chega-se a atingir os totais equivalentes ao dobro (ou até mais) da precipitação pluvial média, representativa da normal climatológica, enquanto que em outros anos, o decréscimo é tão notável que a precipitação acumulada fica abaixo da metade da precipitação pluvial média (NIMER, 1989). De acordo com Puchalski (2000), o RS apresenta anomalias positivas de precipitação pluvial em anos de El Niño e anomalias negativas de precipitação pluvial em anos de La Niña. Segundo Berlato (1992), na MS do RS, a frequência de anos considerados secos é maior, sendo que na Campanha (Bagé e Uruguaiana) e Baixo Vale do Uruguai (Itaqui e São Borja), a frequência média de anos secos atinge 20%. Nessas regiões do Estado ocorrem as mais intensas e extensas estiagens, como mostram as séries históricas disponíveis de observações meteorológicas (BERLATO, 1992).

Ao analisarem a variabilidade interanual do número de dias com precipitação pluvial no Estado do RS, Fontana e Almeida (2002) concluíram que não ocorreram grandes variações entre todas as estações do ano, apresentando tendência de incremento em todas as regiões climáticas. O incremento é maior na primavera e verão, o que é favorável à agricultura, visto que, nestes períodos, ocorrem as maiores probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica no Estado devido à maior taxa de evaporação causada pelo aumento da insolação.

Silva (2010) analisou o regime hídrico do RS, durante o período de 1977 a 2006, usando dados de 16 estações meteorológicas de superfície distribuídas no Estado, pertencentes ao 8º DISME/INMET (Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia). E assim como outros autores, observou que a distribuição sazonal da precipitação pluvial foi bastante uniforme, porém a MN do RS apresentou volumes pluviométricos superiores aos da MS nesse período. As condições normais para o RS no período estudado mostraram que a MN do RS apresentou excesso hídrico durante todo ano, sendo JAS o trimestre mais favorável para a ocorrência desta condição hídrica nesta porção do Estado. Já na MS do RS a

autora observou déficits hídricos em JFM e OND, porém estes foram inferiores aos excessos hídricos. Exceção ocorreu em JFM na região leste (região de Porto Alegre e Rio Grande), onde ocorreu somente déficit hídrico. Apesar de não ter ocorrido falta de água na porção Sul do Estado no período de estudo, a autora observou que o leste desta região em JFM é a região mais favorável para a ocorrência desta condição hídrica.

Numa análise específica para o ano de 2006, Campos e Silva (2010) analisaram o impacto de sistemas meteorológicos (SF, SCM e ES) no regime hídrico do RS. Essas autoras observaram que a distribuição da precipitação pluvial no RS em 2006 foi uniforme nos quatro períodos do ano, com registro de maior volume pluviométrico na MN do Estado, onde não ocorreu falta de água em 2006. Observaram também que neste ano ocorreu falta de água na MS do RS nos períodos quente (JFM) e temperado quente (OND). Segundo as autoras, essa configuração ocorreu pelo fato de neste ano a MS ter apresentado: menor frequência de SCM e ES comparado à MN e menor ocorrência de SF em relação à normal climatológica. Outro fator que contribuiu para a falta de água na MS do RS nos períodos quentes de 2006 foi atuação do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) cuja configuração nestes períodos provocou estiagem na região sul do Brasil. Esta estiagem ocorreu porque, em JFM estava atuando a La Niña e em OND o El Niño Modoki, que se caracterizam por tenderem a provocar precipitação abaixo da normal.

Em outro estudo, Silva e Campos (2011) determinaram e analisaram as anomalias dos componentes dos Balanços Hídricos Decadais de 1977 a 1986, 1987 a 1996 e 1997 a 2006 em relação aos componentes do Balanço Hídrico Climatológico de 1977 a 2006. Utilizaram dados mensais de temperatura média do ar e precipitação pluvial de 16 estações meteorológicas de superfície do RS, do período de 1977 a 2006 e os métodos propostos por Thornthwaite e Mather (1955) e Thornthwaite (1948) para calcular os balanços hídricos e a evapotranspiração, respectivamente. Este estudo mostrou que as décadas 1977-1986 e 1987-1996 foram mais secas do que a normal climatológica na maior parte do RS. Porém não ocorreu falta de água, porque, mesmo que os excedentes hídricos tenham sido inferiores à média normal climatológica, foram suficientes para repor a demanda evaporativa dessas décadas. A década 1997-2006 foi mais úmida do que a normal climatológica estudada, portanto, nessa década, houve excesso d'água no RS. As

autoras destacaram que eventos de grande escala como o ENOS e a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico) influenciam o regime hídrico do RS, porém de forma diferenciada dependendo do período e da região. O que mostra que estudos específicos para cada região são necessários para um melhor entendimento do comportamento do seu regime hídrico.

2.2 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)

Entre os diferentes tipos de sistemas meteorológicos de várias escalas que afetam o regime de chuvas na região Sul do Brasil, destacam-se os SCM.

Durante as estações quentes, no RS, grande parte da precipitação registrada é associada à SCM, que causam frequentemente condições de tempo severo (ES), uma vez que sua ocorrência, geralmente, vem acompanhada de precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e granizo. Por terem tamanha importância, os SCM têm sido alvo de diversos estudos (VILA, 2004a; PALMEIRA, 2005; SAKAMOTO, 2009; EICHHOLZ, 2011), que buscam um melhor entendimento à respeito da sua estrutura de formação e manutenção, com o objetivo de gerar previsões mais confiáveis da ocorrência desses sistemas, visando diminuir os prejuízos consequente deles.

Por ser uma estrutura de mesoescala, as dimensões horizontais dos SCM podem ser superiores a 2 Km. Houze (1993) definiu os SCM como sendo sistemas formados por blocos de tempestades individuais e em linhas, com uma dinâmica mais complexa do que a dos mesmos, por sua formação ser ocasionada pela união destes sistemas. Ainda de acordo com o autor, o ciclo de vida dos SCM pode ser dividido em quatro etapas. Durante a formação, o sistema apresenta-se como um grupo de células isoladas, distribuídas ora de forma aleatória, ora alinhadas. Em seguida, durante o estágio de desenvolvimento, as células isoladas crescem e se fundem criando regiões de intensa precipitação interligadas por regiões de menor precipitação. Quando o estágio de desenvolvimento atinge o seu pico, observa-se precipitação estratiforme na retaguarda do SCM sobre uma grande região, que se mantém enquanto novas células se formam na parte dianteira do sistema. Quando o sistema deixa de formar novas células entra em fase de dissipação, isto é, como a formação de novas células diminui, o sistema não tem como se sustentar, o que

provoca seu enfraquecimento e por fim, sua dissipação (HOUZE, 1993; MACHADO; ROSSOW, 1993).

Os SCM possuem formas variadas, sendo classificados como Linhas de Instabilidade (LI), quando possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), quando possuem um aspecto mais circular, ou simplesmente, SCM, quando suas formas são irregulares (COTTON; ANTHES, 1989). Contudo, esses sistemas possuem características em comum entre eles, como por exemplo, de todos os tipos apresentarem área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva. O tempo de vida desse tipo de sistema frequentemente fica entre 6 e 12h e em algumas ocasiões, enquanto que a parte estratiforme da bigorna do SCM pode durar vários dias.

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

Uma representação dos movimentos contidos nos SCM é mostrada na Fig. 6. Em baixos níveis da atmosfera, as principais características que podem ser observadas nos SCM são: uma zona convectiva marcada por um fluxo convergente de umidade que alimenta o sistema, principalmente as ascendências convectivas. Atrás deste fluxo, pode-se observar um fluxo divergente que se incorpora ao sistema. Parte deste fluxo é desviada para os níveis mais próximos da superfície, atrás do fluxo que entra, e alimenta as subsidências convectivas. Uma outra parte, a mais larga é acelerada para trás dentro da região estratiforme onde, por natureza, a subsidência de ar ocorre. Nas camadas intermediárias e altas, o fluxo na região convectiva apresenta um aspecto divergente acima das células convectivas. Após a linha convectiva, este fluxo se incorpora ao sistema e mais especificamente à região estratiforme sofrendo deformação (CAMPOS; CHONG, 1999). Essas são algumas das características bem conhecidas dos SCM (HOUZE; BETTS, 1981; CHONG et

al., 1987; ROUX, 1988). Observa-se também que as subsidências convectivas são claramente distintas da subsidência de mesoescala. Estas últimas, na região estratiforme contribuem, em grande parte, para alimentar o fluxo dirigido para trás do sistema e observa-se também a presença de uma corrente de densidade associada à subsidência convectiva.

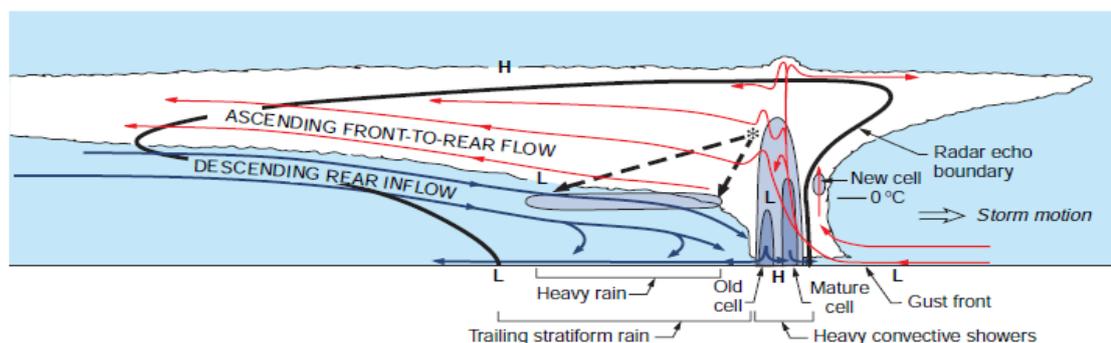


Figura 6 – Corte vertical de um SCM.

Fonte: WALLACE; HOBBS (2006, p. 365).

Sobre os movimentos verticais associados aos SCM, a corrente descendente que ocorre na retaguarda do sistema induz a ocorrência de precipitações convectivas, geralmente associadas a chuvas com precipitação elevada e queda de granizo e que alimentam o ar frio que se acumula abaixo da região convectiva, que forma a frente de rajada do SCM. Além das subsidências de baixos níveis podem-se observar subsidências de altitude que tendem a ocorrer em ambos os lados dos núcleos de ascendências, sendo esses núcleos organizados verticalmente na região convectiva e horizontalmente na região estratiforme (HOUZE, 1993). O comportamento do perfil vertical de determinadas variáveis meteorológicas é outra característica muito importante para se entender a evolução desse tipo de sistema. Ao longo do ciclo de vida de um SCM, o geopotencial, a temperatura, a umidade e a velocidade vertical evoluem de forma combinada entre as fases, e acopladas verticalmente, podendo assim, em função desse acoplamento determinar as fases de iniciação, intensificação e a própria duração do sistema (MADDOX, 1983; COTTON et al., 1989; LAING; FRITSCH, 2000; GUEDES; MACHADO, 2003; TORRES, 2003; PINTO; CAMPOS, 2007).

Existe uma relação direta entre o tamanho médio dos SCM e seu tempo de vida, com os maiores sistemas possuindo os maiores tempos de vida. Salio et al.

(2007) estudaram SCM sobre a região sudeste da AS (10° a 40°S e 40° a 75°W) e sua relação com o JBN, no período de setembro de 2000 a maio de 2003, e observaram que os SCM tropicais são menores e duram menos do que os SCM subtropicais. Uma explicação para isso está no fato de que os SCM tropicais recebem calor e umidade devido ao aquecimento diurno, enquanto que os SCM subtropicais recebem calor e umidade trazidos pelo JBN. Observaram também que os SCM tropicais possuem forte variabilidade sazonal associada ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) enquanto que os SCM subtropicais mostram menor variabilidade sazonal. Estes resultados demonstram que existe uma co-evolução e inter-relação entre o JBN o ciclo de vida dos SCM subtropicais.

Sobre o horário de formação dos SCM, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário quando ocorre a máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente. Isso porque a formação de nuvens está diretamente associada a movimentos convectivos, e estes estão associados ao aquecimento de parcelas de ar. Logo, a tarde é o período em que se registram as maiores temperaturas e máxima atividade convectiva. Um máximo secundário de formação é observado no fim da noite e início da manhã (entre 5 e 6 horas da manhã), coincidindo com o máximo de convecção sobre os oceanos. A fase madura dos sistemas tem dois picos, uma pela tarde e outra durante a noite e primeiras horas da manhã (MACHADO et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003; VILA, 2004; ZIPSER et al., 2004; PINTO; CAMPOS, 2007, EICHHOLZ, 2011), comportamento que provavelmente está relacionado com uma atividade mais intensa de frentes frias, nos subtrópicos e latitudes médias, que estimula a atividade convectiva em diferentes horários do dia sobre aquelas regiões (SIQUEIRA, 2004).

A tendência de deslocamento dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes (entre 25° e 40°S) é de deslocar-se para leste. (GUEDES, 1985; FIGUEIREDO; SCOLAR, 1996; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003, EICHHOLZ, 2011). Por outro lado, Velasco e Fritsch (1987) mostram uma maior variabilidade de trajetórias com uma tendência a serem mais zonais (de oeste para leste) na primavera e início do outono e mais meridionais (de sul para norte) no verão.

Diversos estudos têm mostrado que o JBN é uma característica muito presente no ambiente durante os estágios de formação e maturação dos SCM sobre as grandes planícies dos Estados Unidos da América (EUA) (UCCELLINI et al.,

1979; STENSRUD; FRITSCH, 1993). O JBN da AS tem um papel análogo, adveitando calor e umidade da bacia Amazônica para as regiões do Sudeste e Sul da AS. É considerado eficaz no transporte de calor e umidade das regiões tropicais para as latitudes médias, gerando condições ideais para a convecção inicial e desenvolvimento de SCM (SALIO et al., 2007). Assim, a consequência deste transporte está na formação ou intensificação de tempestades severas que se desenvolvem na saída do JBN, causando intensa precipitação (BONNER, 1966; GUEDES, 1985; MARENGO et al., 2004; SANTOS et al., 2008).

O estabelecimento de um escoamento de norte do lado leste dos Andes é uma situação climatológica típica de verão na América do Sul (VIRJI, 1981). Gandú e Geisler (1991) e Figueroa et al. (1995) mostram que os Andes exercem um papel fundamental no estabelecimento do escoamento de norte, em baixos níveis, na sua encosta leste, na presença de fontes de calor na Amazônia, típicas no verão. No estudo de Salio et al. (2002) encontra-se que os eventos de JBN (os que se estenderam ao sul de 25°S) geraram condições de instabilidade necessárias para o desenvolvimento da convecção na área subtropical e explicaram 45% da precipitação de verão da região subtropical da AS. Fritsch e Forbes (2001) documentaram as características dinâmicas e padrões termodinâmicos presentes no ambiente de grande escala relacionado com os SCM. Um dos mecanismos subsinóticos eficientes na desestabilização da atmosfera foi provido pelo JBN situado paralelo à Cordilheira dos Andes. Analisando as condições ambientes de 27 casos de SCM que ocasionaram precipitação intensa no sul da AS, Nicoloni et al. (2004) observaram uma alta correlação entre estes eventos e a ocorrência de JBN estendendo-se mais ao sul da AS em 81% dos 27 casos.

Para o estudo do ambiente sinótico, das características dinâmicas e termodinâmicas dos SCM conta-se com diversos modelos numéricos de mesoescala, como o modelo BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System), que tem sido utilizado por vários países e em diversas áreas da meteorologia. Pode-se citar alguns exemplos de trabalhos realizados com o modelo: simulação de SCM no RS: Lima (2004); Campos et al. (2008); simulação de SCM no RS: Pinto e Campos (2007); Santos et al. (2008).

2.3 Resultados de pesquisas sobre SCM

Como descrito no início da seção 2.2, diversos autores vêm realizando trabalhos sobre SCM com o intuito de melhor compreender as suas características. Alguns deles são descritos abaixo.

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

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

Vila et al. (2004a) utilizaram o ForTrACC para analisar os SCM que ocorreram sobre a bacia do Prata no período de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003, durante o experimento SALLJEX (South American Low-Level Jet Experiment). O tempo de vida médio dos SCM nessa região foi de 4 horas e o tamanho máximo médio dos mesmos foi de 14.000 km². A iniciação dos SCM coincidiu com o horário da máxima insolação, o que vem acompanhado por um processo de forte expansão. A maior atividade convectiva é noturna.

Também durante o experimento SALLJEX, Vila et al. (2004b) estudaram a relação entre o ciclo de vida dos SCM e a precipitação observada sobre a bacia do Prata, região correspondente a 54°47'W-48°53'W e 22°52'S-27°36'S, usando o ForTrACC. Observaram que o tempo de vida médio dos SCM associados à

precipitação foi três vezes maior do que o dos SCM que não tiveram precipitação associada. Outra observação feita foi a de que SCM associados à precipitação também apresentaram temperatura do topo das nuvens menor durante o seu ciclo diurno do que os demais SCM. Observaram também que os SCM atingem a temperatura mínima 1 a 2 horas antes de alcançarem a máxima extensão.

Durante o experimento LBA/RACCI (Radiation Cloud and Climate Interaction in LBA Amazon dry to wet season), Machado et al. (2007) usaram dados de radar e de satélite para previsão imediata e o aplicativo ForTrACC para monitorar e prever o deslocamento e o tamanho dos SCM. Esta técnica foi combinada com informações sobre relâmpagos, mostrando alguns parâmetros que podem ser utilizados para a previsão da atividade elétrica. A expansão da área mostrou ser uma ferramenta muito útil para a previsão do vigor da atividade de trovoadas em curto prazo.

Com o intuito de estudar os SCM observados sobre a região sudeste da América do Sul (10° – 40° S e 40° – 75° W) e sua relação com o Jato de Baixos Níveis Sul Americano (JBNSA), Salio et al (2007) utilizaram o aplicativo ForTrACC para o período de 01 de setembro de 2000 a 31 de maio de 2003. Esses autores verificaram que os SCM tropicais são menores, duram menos do que os SCM subtropicais e são caracterizados por um ciclo diurno condicionado principalmente pelo aquecimento radiativo. Outra conclusão foi de que a maturação dos SCM subtropicais ocorre preferencialmente à noite sobre a Argentina e há uma tendência para um pico durante o dia sobre o Uruguai e sul do Brasil. Verificaram que os SCM subtropicais se desenvolvem com maior frequência durante a ocorrência de JBNSA, durante a estação quente, porém não existe muita relação entre SCM e JBNSA durante o outono. Também notaram que em todas as estações do ano pelo menos um SCM se desenvolveu em 41% dos dias com JBNSA, por outro lado, nos dias sem JBNSA esta frequência foi de apenas 12%. Outra observação feita foi que os SCM tropicais possuem forte variabilidade sazonal associada ao deslocamento da ZCIT enquanto que os SCM subtropicais mostram menor variabilidade em função da época do ano. Estes resultados demonstram que existe uma co-evolução e inter-relação entre o JBN o ciclo de vida dos SCM subtropicais.

Viana et al. (2009b), com a utilização do aplicativo ForTrACC, analisaram a ocorrência de CCM e a precipitação associada a esses eventos no Estado do RS entre os meses de outubro e dezembro de 2003. Também utilizaram dados diários de precipitação de 31 estações meteorológicas no RS para quantificar a precipitação

associada aos CCM. Foram identificados 22 CCM nesse período e o volume médio de precipitação gerada pelos CCM no período foi de 119 mm em outubro, 90 mm em novembro e 152 mm em dezembro. O percentual de precipitação associada aos CCM foi de 64% em outubro, 65% em novembro e 61% em dezembro. O volume médio de precipitação gerada pelos CCM acumulado no trimestre foi de 361 mm (63% do total), ratificando que os CCM contribuem significativamente para a precipitação do Estado, sendo responsáveis por quase dois terços da chuva deste trimestre.

Sakamoto et al. (2009) utilizaram o ForTrACC para analisar o ciclo de vida dos SCM observados durante o experimento SALLJEX (verão 2002-2003) separando-os em função da sua origem em SCM continentais e SCM oceânicos. O foco desse estudo foram os SCM cuja gênese ocorreu ao sul de 20°S e que tiveram um ciclo de vida maior do que 6 horas. Foi verificado que os SCM continentais se formam geralmente à tarde ou ao anoitecer, sua fase madura tem a sua ocorrência durante a noite ou pela manhã e sua dissipação acontece ao longo do dia com um pico no fim da manhã. Já para os SCM oceânicos, as fases de iniciação e maturação são mais frequentes durante a noite e início da manhã e a dissipação é observada durante todo o dia, com pico no final da manhã. Em média, tanto SCM continentais quanto os SCM oceânicos apresentam ciclos de vida com duração similar, no entanto, SCM continentais de longa duração apresentam um ciclo de vida superior aos SCM oceânicos. Sistemas noturnos não são comuns, no entanto, quando ocorrem apresentam longa duração em ambas as regiões.

Pinto e Campos (2009) analisaram as características radiativas e morfológicas de um SCM que gerou os maiores índices de precipitação observados sobre o RS, no período de novembro de 2002 a fevereiro de 2003, utilizando a técnica ForTrACC. O SCM teve um ciclo de vida de 23 horas, com início às 13:00 UTC do dia 19/02/03, maturação às 04:00 UTC e dissipação às 11:30 UTC do dia 20/02/03. Durante todo esse período, apresentou topos frios com núcleos possuindo temperatura abaixo de 210 K. Ficou evidenciado que o sistema teve um comportamento semelhante ao descrito pelos modelos conceituais de SCM, uma vez que apresentou forte convecção inicialmente, associada a valores mais baixos de temperatura de brilho, para depois expandir-se no estágio de maturação. Os resultados mostraram a existência de diferentes padrões de relação entre a temperatura mínima de brilho e a precipitação registrada em superfície.

Eichholz et al. (2010a) analisaram as características físicas sazonais dos SCM que ocorreram ao sul de 20°S, com ciclo de vida de no mínimo 6 horas, nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram o RS (SCM_{RS}) em 2006. Foram detectados 105 SCM_{RS} que ocorreram neste ano, sendo que 61% destes ocorreram em JFM e OND. Com relação à duração do ciclo de vida dos SCM_{RS} , isto é, o tempo decorrido entre os estágios de iniciação e dissipação, 61,9% deles apresentaram duração entre 6 e 12 horas e apenas 9,5% ultrapassaram 24 horas. Com relação ao tamanho máximo que os SCM_{RS} atingiram, notaram que SCM_{RS} com menor tempo de vida não atingiram uma grande extensão horizontal, ao contrário dos SCM_{RS} com longo tempo de vida que cobriram áreas maiores. Analisando a excentricidade (razão entre os 2 eixos do SCM, mais circular à medida que se aproxima de 1), observaram que mais de 60% dos SCM em todos os períodos do ano (68,4% em JFM; 63,6% em AMJ; 63,2% em JAS e 65,4% em OND) apresentaram excentricidade superior a 0,5. Ou seja, mais circular o que indica que estes são os sistemas que tendem a se tornar tempestades (MATTOS, 2009). Com relação à temperatura mínima de brilho no momento da máxima extensão, notaram que estas foram menores nos trimestres JFM e OND, que foram os períodos mais favoráveis à ocorrência de SCM.

Eichholz et al. (2010b) analisaram a precipitação associada aos SCM_{RS} em novembro de 2006. Observaram 7 SCM_{RS} , sendo que 4 causaram precipitação no Estado. O tempo de vida médio foi de aproximadamente 22 horas e a precipitação total causada por eles foi de 91,4 mm. Além disso, os maiores SCM_{RS} tiveram maior tempo de vida. O SCM_{RS} que ocorreu no dia 06/11/2006 foi o que atingiu a maior área (98.142 pixels - 1 pixel=16km²) e também foi o mais precipitante (53,2 mm). Além disso, seu tempo de vida foi superior a 30 horas.

Rasera et al. (2010) analisaram a formação e o deslocamento dos SCM_{RS} durante o ano de 2006, utilizando o aplicativo ForTrACC. Verificaram que os horários de iniciação, maturação e dissipação variaram bastante com o trimestre podendo ocorrer de forma distribuída ao longo do dia. Em JFM a etapa de iniciação ocorreu predominantemente no período da manhã e da tarde, e tanto a maturação quanto a dissipação ocorreram durante a noite. Em AMJ, a etapa de iniciação foi bem distribuída entre os períodos da madrugada, manhã e noite. A maturação e a dissipação ocorreram na madrugada e à tarde, respectivamente. Em JAS, a etapa de iniciação ocorreu no período da madrugada, a maturação durante a madrugada e

a manhã e a dissipação durante a manhã. Em OND, a iniciação ocorreu no período da madrugada e tanto a maturação quanto a dissipação ocorreram no período da tarde. As trajetórias médias seguiram uma direção de oeste para leste em todos os trimestres.

Eichholz (2011) analisou as características físicas sazonais dos SCM_{RS} durante o período de 2004 a 2008, utilizando o aplicativo ForTrACC. Observou que os SCM_{RS} tiveram maior ocorrência durante o período quente do ano, quando há uma condição ambiental favorável ao desenvolvimento de nuvens convectivas. Além disso, constatou que a ocorrência de frentes frias em JAS favorece a formação de SCM_{RS} maiores e mais longos neste período. Também observou que: a maioria dos SCM_{RS} (64,7%) apresentou tempo de vida entre 6 e 12h; SCM_{RS} com maior tempo de vida cobrem áreas maiores; a temperatura mínima dos SCM_{RS} apresentou valores médios menores em JFM e OND; SCM_{RS} com maior atividade convectiva tendem a ter formato mais próximo do formato circular e a apresentarem maior duração. Outra característica observada nos SCM_{RS} foi que as 3 fases do ciclo de vida destes sistemas podem ocorrer de forma distribuída ao longo do dia e que em todos os períodos do ano os nascimentos destes sistemas ocorrem predominantemente dentro e em torno da grade que cobre o RS, com tendência a iniciarem mais no lado oeste da grade sobre o continente. Observou ainda que em todos os trimestres há uma tendência de a trajetória média preferencial dos SCM_{RS} ser de oeste para leste.

Neta et al. (2011) analisaram um SCM que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 12/12/2010 utilizando imagens realçadas do canal infravermelho do GOES 12, além dos dados de reanálises do NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Foram analisados os campos de pressão ao nível médio do mar, vento, temperatura e umidade específica nos níveis de 850hPa e 250hPa. Observaram que a formação e a evolução do SCM analisado se deram devido à baixa pressão em superfície, acompanhada de convergência de ar quente e úmido em 850hPa trazidos pelo JBN.

Bacelar et al. (2011a) analisaram a precipitação associada aos SCM_{RS} em JAS de 2006. Foram utilizadas imagens brutas do satélite GOES 12, no canal infravermelho (2004 a 2008), o aplicativo ForTraCC e 12 estações meteorológicas de superfície no RS (1977 a 2006). Verificaram que a precipitação média associada à SCM foi de 157,6 mm (50,9% do da precipitação média total no Estado em JAS-2006). Todo o Estado teve influencia dos SCM_{RS} na precipitação neste período. O

oeste e a costa norte do RS foram as regiões com menor contribuição de SCM em JAS-2006. Por outro lado, a região sudeste do Estado foi a que teve a maior contribuição de precipitação por SCM_{RS} , coincidindo com a região onde mais ocorreu precipitação. Ocorreram 19 SCM_{RS} em JAS-2006, 33,09% a menos do que a média de SCM_{RS} ocorridos entre 2004 e 2008, entretanto em JAS-2006 foram mais longos (+1,56h) e maiores (+15,12%) quando comparados à média ocorrida entre os anos de 2004 e 2008. A ocorrência do El Niño Modoki em JAS-2006 pode ter influenciado no menor número de SCM_{RS} , uma vez que há anomalia negativa de precipitação no RS na sua ocorrência. Por outro lado, o elevado número de Sistemas Frontais (SF) na área de estudo incentiva a interação entre estes sistemas (SF) e convecção e, assim, há formação de SCM maiores e mais longos neste período do ano (SIQUEIRA; MACHADO, 2004).

Rasera et al. (2011a) analisaram a precipitação associada aos SCM_{RS} em OND de 2006. Foram utilizadas imagens brutas do satélite GOES 12, no canal infravermelho (2004 a 2008), o aplicativo ForTraCC e 12 estações meteorológicas de superfície no RS (1977 a 2006). Observaram que a precipitação associada à SCM_{RS} foi de 202,8 mm (48,5 % da precipitação média total de OND de 2006 no RS). A influência dos SCM_{RS} na precipitação durante esse trimestre foi verificada em todo o RS. A região noroeste do Estado foi a que possuiu a maior precipitação associada à SCM_{RS} no regime de precipitação em OND-2006, enquanto que as regiões do extremo sul e o nordeste do RS tiveram as menores. Com relação à contribuição da precipitação associada à SCM perante ao total trimestral, a região sudeste se destacou. Foram observados 26 SCM_{RS} (-16,1%, comparado à média dos SCM_{RS} ocorridos entre os anos de 2004 a 2008), com duração média de 15,25 horas (+1,95 horas, comparado à média dos SCM_{RS} ocorridos entre os anos de 2004 a 2008) e tamanho médio de 19.320 pixels (+8,6%, comparado à média dos SCM_{RS} ocorridos entre os anos de 2004 a 2008 - 1 pixel = 16km²). A atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) mais ao norte, juntamente com o El Niño pode ter contribuído para um menor número de SCM_{RS} , porém, que tivessem maior duração e tamanho.

Rasera et al. (2011b) analisaram a precipitação associada aos SCM_{RS} em JFM de 2006. Foram utilizadas imagens brutas do satélite GOES 12, no canal infravermelho (2004 a 2008), o aplicativo ForTraCC e 12 estações meteorológicas de superfície no RS (1977 a 2006). Observaram que a precipitação associada à

SCM_{RS} foi de 63,5 mm, correspondendo a 20,4% da precipitação média total das 12 estações em JFM-2006. Neste trimestre, todo o Estado foi afetado por precipitação referente à SCM_{RS}, sendo que a região central foi a mais desprovida. Com relação à contribuição da precipitação relacionada à SCM_{RS} sobre o total médio de precipitação das 12 estações meteorológicas, a região oeste do RS foi a que possuiu maior contribuição. Foram observados 38 SCM_{RS}, com duração média de 12,4 horas e tamanho médio de 9.566 pixels (1 pixel = 16km²). Comparando-se à médias dos SCM_{RS} durante os anos de 2004 a 2008, notaram-se: 24,3% menos SCM_{RS}, duração em torno de meia-hora menos e SCM_{RS} 23,1% menores. A atuação da La Niña somada ao posicionamento mais ao norte da ZCAS pode explicar o menor número de SCM_{RS} com duração e tamanho médios inferiores à média dos anos entre 2004 e 2008.

Vargas Jr. et al. (2011b) analisaram a precipitação associada aos SCM_{RS} em AMJ de 2006. Foram utilizadas imagens brutas do satélite GOES 12, no canal infravermelho (2004 a 2008), o aplicativo ForTraCC e 12 estações meteorológicas de superfície no RS (1977 a 2006). Observaram uma precipitação associada à SCM_{RS} de 104,1 mm, o que representou 36,2% da precipitação total média das estações meteorológicas analisadas. Todo o RS apresentou precipitação associada à SCM_{RS}, sendo a região da fronteira com o Uruguai a que menos teve precipitação associada à SCM_{RS}. Com relação à contribuição da precipitação associada à SCM_{RS} frente à precipitação média total das estações analisadas, a região leste do RS foi a que possuiu a maior contribuição. Foram contabilizados 22 SCM_{RS}, com duração média de 11,7 horas e tamanho médio de 8.670 pixels (1 pixel = 16 km²). Quando comparados à média dos SCM_{RS} ocorridos em AMJ de 2004 a 2008, observaram-se 26,7% menos SCM_{RS} em AMJ-2006, e tiveram duração média 2,6 horas a menos e tamanho médio 57% menor. Uma explicação para os resultados foi encontrada no fato do fenômeno ENOS estar na fase neutra e a ZCAS estar atuando mais ao norte desfavorecendo o volume de chuvas no RS e conseqüentemente sendo desfavorável à organização da convecção, essencial para a formação dos SCM.

2.4 Eventos com Condição de Tempo Severo ou episódios de desastre associados a condições meteorológicas extremas (ES)

Existem diversas definições para desastres, sendo que estas dependem do enfoque (físico, infra-estrutura e social) e da natureza das ocorrências (geológica, climática, antrópica, etc.). Estas definições geralmente referem-se às conseqüências e não as causas dos fenômenos. Aysan e Oliver (1987, p. 66), com base na experiência em danos provocados por terremotos, definem desastres como “a interação entre um fenômeno geofísico extremo e uma condição de vulnerabilidade, que se traduz em perdas econômicas e humanas, em uma escala totalmente fora das capacidades e recursos da administração local”. Outras definições, como as resumidas por Wijkman e Timberlake (1985), incluem o número de mortos e feridos, bem como o valor das perdas materiais. Outros autores consideram o caráter imprevisível dos fenômenos e o despreparo dos governos para lidar com as conseqüências sociais e políticas provocadas (CUNY, 1983).

No Brasil, Castro (1998, p. 82) define desastres como “o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e conseqüentes prejuízos econômicos e sociais”. Os desastres são normalmente súbitos e inesperados, de uma gravidade e magnitude capaz de produzir danos materiais e humanos (inclusive com mortos e feridos) e prejuízos sócio-econômicos (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

A ocorrência de desastres está ligada não somente à susceptibilidade, devido às características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema econômico-social-político-cultural sob impacto (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). Por vulnerabilidade entende-se a incapacidade de uma comunidade de “absorver” os efeitos de determinada alteração em seu meio, ou seja, a incapacidade de adaptar-se às modificações (WILCHES-CHAUX, 1993). A vulnerabilidade determina a intensidade dos danos que produz a ocorrência efetiva de um risco sobre essa comunidade. O risco trata-se da probabilidade da “perda”, enquanto o desastre é a perda concretizada (MASKREY, 1998).

As pesquisas na temática de desastres têm se desenvolvido a partir de vários enfoques, incluindo as ciências naturais, sociais e aplicadas. Segundo Maskrey (1998), o principal aporte das ciências naturais foi o desenvolvimento dos estudos da *ameaça* e o das ciências sociais, por sua vez, foram os estudos de *vulnerabilidade*

da população. A integração desses conceitos, em um modelo matemático, é o aporte das ciências aplicadas, onde o risco é considerado como uma função que relaciona esses conceitos (ameaça e vulnerabilidade).

Os desastres podem ser classificados a partir de três aspectos, conforme Castro (1999):

- a) Intensidade: divididos em quatro níveis (pequeno, médio, grande e muito significativo), a partir dos prejuízos avaliados;
- b) Evolução: refere-se à velocidade do evento, classificada em súbitos (inundações, vendavais e tornados), graduais (inundações lentas e secas) e somação dos efeitos parciais;
- c) Origem: classificados em naturais (fenômenos naturais extremos, que independem da ação humana), antrópicos (causados pela ação ou omissão humana) e mistos (associados às ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar os desastres).

As ocorrências desencadeadas por fenômenos meteorológicos severos e causadoras de desastres são descritas conforme publicação organizada por Kobiyama *et al.* (2006):

- a) Inundação: trata-se do aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre a planície de inundação. A Defesa Civil classifica as inundações em função da magnitude (excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude) e em função do padrão evolutivo (inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas) (CASTRO, 2003).
- b) Enchente: quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio. Os termos “enchente” e “inundação” são freqüentemente empregados como sinônimos, no entanto devem ser usados com diferenciação.
- c) Enxurrada: inundação brusca devido às chuvas intensas e concentradas, principalmente em regiões de relevo acidentado.
- d) Escorregamento ou deslizamento: movimento coletivo de massa e/ou material sólido encosta abaixo, como solos, rochas e vegetação, sob a influência direta da gravidade (SELBY, 1993). Estes movimentos podem ocorrer principalmente com elevados volumes de precipitação e/ou terremotos. Tanto chuvas intensas de curta duração, quanto de longa duração (chuvas contínuas), fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais

agentes deflagradores de movimentos de encostas, especialmente em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI; IWASA, 1976).

e) Granizo: precipitação de gelo, em forma esférica ou irregular, apresentando geralmente diâmetro de 5 mm (GLICKMAN, 2000). As condições que propiciam a formação de granizo acontecem na parte superior de nuvens do tipo *Cumulunimbus*, que possuem temperaturas muito baixas. Em função da união de gotas congeladas, o granizo cresce rapidamente. Além disso, as gotas congeladas movimentam-se com as correntes subsidentes e ascendentes, chocando-se com gotas de água mais frias até alcançarem as dimensões de queda (KULICOV; RUDNEV, 1980; KNIGHT; KNIGHT, 2001).

f) Vendaval: deslocamento intenso de ar na superfície terrestre devido, principalmente, às diferenças no gradiente de pressão atmosférica, aos movimentos descendentes e ascendentes do ar e a rugosidade do terreno (VIANELLO; ALVES, 2000). O relevo também pode contribuir significativamente para a intensificação dos ventos. As variações bruscas na velocidade do vento denominam-se rajadas, as quais, normalmente são acompanhadas por mudanças bruscas na direção. Estas rajadas também podem variar consideravelmente em virtude da rugosidade do terreno, seja ela natural (colinas, morros, vales, etc.) ou construída (casas, prédios, etc.) (BRYANT, 1991).

No RS a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado (CEDEC/RS) classifica os fenômenos meteorológicos adversos e causadores de desastres em: alagamentos, ciclones extratropicais, deslizamentos, enchentes, enxurradas, granizo, granizo/vendaval, inundações, tornados e vendavais. Além disso, a CEDEC/RS faz uma regionalização das ocorrências de ES no RS, dividindo o Estado em 11 coordenadorias Regionais de Defesa Civil (REDECs), que são as seguintes: Caxias do Sul, Imbé, Lajeado, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Santana do Livramento, Santo Ângelo, São Luiz Gonzaga e Uruguaiana (Fig.7).

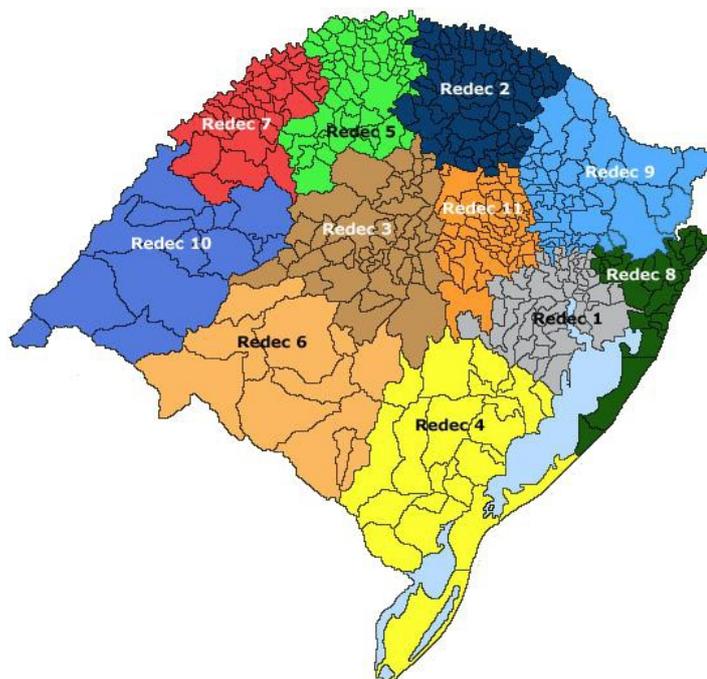


Figura 7 – Coordenadorias Regionais de Defesa Civil do RS.

Fonte: DEFESA CIVIL DO RS (2013)seg4nd6

Segundo comunicação pessoal com o capitão Márcio André Facin, responsável pela REDEC 4, situada em Pelotas, a informação sobre desastres causados por fenômenos meteorológicos adversos chega ao site da CEDEC/RS da seguinte forma: a prefeitura ou a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) de cada município decreta se houve estado de emergência ou não, verifica o tipo e a intensidade do ES ocorrido e envia um laudo para a REDEC da sua região. A REDEC tem até 10 dias para fazer a verificação do local, (re)classificar o ES e fazer possíveis correções para posterior envio para o Governo do Estado que diante dos laudos recebidos decide sobre a homologação do estado de emergência do município. Com a homologação do Governo, a prefeitura recebe recursos do Estado. Essa informação chega à coordenadoria estadual que a disponibiliza no site. As informações são revisadas e podem sofrer alterações caso a prefeitura tenha deixado de decretar situação de emergência por exemplo.

O site da CEDEC/RS, <http://www.defesacivil.rs.gov.br> (Fig. 8), passou por reformulação no segundo semestre de 2011 visando simplificar o acesso aos dados e algumas mudanças visuais também foram feitas. Além da seção “Área dos Municípios”, onde constam os ES que atingiram os municípios (indicada por uma

seta na Fig. 8), existem outras como: boletins, galeria de fotos, campanhas, eventos, acesso restrito e contato, todas na aba superior da página.

Na página “Área dos Municípios” (Fig. 9), podem-se selecionar eventos de 2003 a 2010 e eventos a partir de 2011. Ao selecionar eventos de 2003 a 2010, o processo de seleção de municípios atingidos, tipos de ES e período de ocorrência é feito de maneira manual pelo pesquisador. Por outro lado, ao selecionar eventos a partir de 2011, existe a opção de selecionar todos os municípios atingidos e todos os tipos de ES que ocorreram, bem como o período de interesse. Pode-se optar também, por selecionar um município específico e visualizar todos os ES que o afetaram num determinado período. É possível, ainda, selecionar para um período específico apenas um tipo de ES e verificar todos os municípios atingidos por este. Essa opção de seleção dos dados em função do município, tipo de ES e período, que foi acrescentada ao site, para eventos a partir de 2011, permite de forma muito mais simples a filtragem dos dados e seu uso em pesquisa.

The image shows the homepage of the Defesa Civil RS website. At the top, there are logos for 'DEFESA CIVIL RIO GRANDE DO SUL', 'DEFESACIVIL RS CASA MILITAR', and 'Rio Grande do Sul Governo do Estado'. Below the logos is a navigation menu with the following items: PÁGINA INICIAL, SISTEMAS, NOTÍCIAS, ESTRUTURA, LEGISLAÇÃO, COMUNICAÇÕES, FALE CONOSCO, ÁLBUM DE FOTOS, and **ÁREA DOS MUNICÍPIOS** (highlighted with a blue arrow). To the right of the menu is a large photograph of workers in orange safety vests handling stacks of corrugated metal sheets, with the caption 'Entrega de Telhas em Rio Grande'. Below the menu is a contact box with a phone icon and the number '199 3210.4219'. Further down, there are several sections: 'Últimas notícias' (Atualizado em 3/05/2012), 'RELATÓRIO DE EVENTOS ADVERSOS' (with weather icons), 'CLIMATEMPO' (showing weather for Porto Alegre: 17°C / 26°C), 'RELATÓRIOS (clique aqui)' (Aqui você encontrará relatórios atualizados da situação de municípios atingidos por desastres. Neste relatório temos o...), 'O que fazer em Caso de desastre?' (Nesta área você encontrará video-aulas com orientações quanto ao que fazer em caso...), and 'Índices pluviométricos' (Nesta área você encontrará os índices pluviométricos das regiões do RS, através de...).

Figura 8 – Página principal do site da Defesa Civil do RS com a indicação do local onde se encontram os dados sobre eventos severos (seta em azul).

Fonte: <http://www.defesacivil.rs.gov.br>



Figura 9 – Municípios atingidos por ES de 2003 a 2010 (seta azul) e a partir de 2011 (seta vermelha).

Fonte: <http://www.defesacivil.rs.gov.br>

2.5 Resultados de pesquisas sobre ES

Os ES vêm sendo alvo de estudo nos últimos anos conforme mostra a descrição a seguir.

Viana et al. (2009a) identificaram os CCM que ocorreram no RS no período de outubro a dezembro de 2003 e avaliaram os desastres associados a esses sistemas. Para isso, utilizaram o aplicativo ForTrACC para identificar os CCM. O levantamento das ocorrências de desastres foi realizado a partir do cruzamento dos dias em que ocorreram CCMs com as informações da CEDEC/RS e do Jornal Correio do Povo. Foram verificadas 90 ocorrências de desastres pela CEDEC/RS que estavam relacionadas com CCMs durante o período de estudo, representando 63% do total dos desastres registrados no período. Os eventos severos mais registrados foram: vendavais (47%), enxurradas (23%), enchentes (16%) e granizo/vendaval (6%). Entre os três meses analisados, dezembro (46 eventos) e outubro (36 eventos) se destacaram, enquanto que, novembro teve apenas oito desastres contabilizados. Os autores notaram também que enquanto o mês de outubro apresentou predomínio de episódios de vendavais e granizo, em dezembro foi de enchentes, enxurradas, inundações e alagamentos, mostrando forte relação com precipitação intensa.

Vargas Jr. et al. (2011a), utilizando dados de ES da CEDEC/RS, analisaram os ES ocorridos sobre o RS entre 2004 e 2008. Verificaram a ocorrência de 257 ES, destes 56,18% ocorreram nos períodos quentes (JFM e OND) e 43, 82% nos períodos frios (AMJ e JAS). Segundo Salio et al. (2007), nos períodos quentes existe maior disponibilidade energética provida pelo Sol, que favorece os processos convectivos na atmosfera e consequentemente os SCM, que estão diretamente relacionados aos ES, justificando os resultados. Com relação aos tipos de ES mais freqüentes foi verificado que nos períodos quentes houve predomínio de vendavais e granizo. A maior ocorrência destes tipos de evento pode estar associada à maior atividade convectiva desta época do ano, favorecendo uma maior ocorrência de SCM que estão relacionados a esses ES, como foi observado por Eichholz (2011). Nos períodos frios os ES mais comuns foram granizo, vendaval e enchentes. A ocorrência de enchente pode ser justificada pela grande quantidade de Eventos Extremos de Precipitação no RS nesse período verificados por Eichholz e Campos (2011a). Os autores concluíram que, ES ocorrem em todos os trimestres no RS e são mais frequentes nos períodos quentes do ano. Vendaval e granizo, foram os ES que mais atuaram sobre o RS no período de estudo.

Utilizando dados disponibilizados no site da CEDEC/RS referentes a ES do tipo enchente ocorridos no RS entre 2004 e 2008, Vargas Jr. et al. (2011c), verificaram maior ocorrência de enchentes (70,0% do total de enchentes) nos períodos frios do ano (AMJ e JAS), devido à maior atuação de SF nestes períodos, que contribuem para intensificação da convecção e, portanto, para a ocorrência de ES, dentre eles, enchente. Observaram também que a MN do RS (norte de 30°S) registrou maior número de ocorrência de enchentes, um dos fatores que explica este fato são as grandes altitudes e o relevo acidentado da MN que propicia a ocorrência de maior número de ES nesta região. Verificaram também, que em JFM e AMJ a maioria das enchentes ocorreram sobre as bacias hidrográficas Litorânea e do Uruguai, enquanto que nos demais trimestres houve quase uma totalidade de enchentes ocorrendo sobre a bacia hidrográfica do Guaíba. A região da bacia do Guaíba se encontra numa altitude menos elevada se comparada aos seus arredores e, a tendência é que o excesso de precipitação das regiões mais elevadas, escoe para essa região que tem menor altitude, causando elevação nos rios desta bacia hidrográfica.

Vargas Jr. et al. (2011d) num estudo sobre a ocorrência de granizo sobre o RS no período entre 2004 e 2008, utilizando também dados de ES fornecidos pela CEDEC/RS, observaram um total de 64 eventos, distribuídos nos 4 trimestres do ano. A maior concentração de granizo ocorreu em OND, por este ser um período muito favorável à formação de SCM, que estão relacionados a eventos de granizo. Quando analisaram conjuntamente a ocorrência de granizo nos períodos quentes (JFM e OND) e frios (AMJ e JAS), notaram uma maior frequência de granizo nos períodos frios (54,68%) em relação aos períodos quentes (45,32%). É sabido que as frentes frias (FF) são mais comuns no período frio, e ao longo delas ocorrem a propagação e a intensificação da convecção, logo, as FF deste período contribuem fortemente para intensificação da convecção e, portanto para a ocorrência de ES tais como granizo. Notaram também que nos períodos frios foi maior o número de municípios afetados por ES se comparada aos períodos quentes, aproximadamente 56% e 44%, respectivamente. Segundo Campos et al. (2009), os SCM observados nos períodos frios ocorrem em maior número, logo, afetariam um maior número de municípios. Os autores ainda verificaram nos quatro trimestres uma maior quantidade de granizo na MN do Estado (85,7%). Este resultado pode ser explicado não só pelo fato da MN possuir altitudes mais elevadas e relevo irregular, que favorecem a ocorrência de ES como o granizo, mas principalmente porque 87,1% dos municípios do Estado estão localizados nesta região.

Rasera et al. (2011c) num estudo referente a eventos de vendaval ocorridos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008, utilizando dados disponíveis no site da Defesa Civil do RS, contabilizaram 64 eventos (presentes nos 4 trimestres do ano), sendo que JFM e OND foram os trimestres que se destacaram, com 25 e 18 eventos respectivamente. Isso ocorreu porque nos períodos quentes do ano quando justamente pelo maior aporte de calor os SCM são gerados com maior frequência, além de se manterem por mais tempo (SALIO et al. 2007). Ao dividirem o RS em 2 regiões (metade norte - MN e metade sul - MS), delimitadas pelo paralelo de 30°S observaram maior número de municípios atingidos por vendaval na MN, isso se deve em parte à maior proporção de municípios situados na MN (87,1% do total dos municípios do RS). Porém, em JAS e OND a representatividade de municípios atingidos na MN foi de 88,6% e 96,6%, respectivamente, ou seja, para estes trimestres o efeito do relevo teve maior influência, já que as altitudes na MN são maiores do que na MS.

Alves e Campos (2011), utilizando dados sobre eventos severos fornecidos pela Defesa Civil do RS, fizeram uma análise sazonal dos ES ocorridos em 2009. Observaram que, o trimestre OND foi o que apresentou a maior frequência de ES (60,3%), seguido do trimestre JAS, com 23% do total anual. Associaram esse resultado com o fenômeno El Niño, que esteve forte no segundo semestre e que é responsável por um aumento na quantidade de chuvas no Estado (PUCHALSKI, 2000). Com relação aos tipos de ES mais frequentes, foi visto que o vendaval além de ter sido o mais observado, foi o único a ocorrer em todos os trimestres do ano. Uma possível explicação estaria relacionada ao grande número de SF que passaram pelo Estado, neste ano, provocando grandes diferenças no gradiente da pressão atmosférica.

Alves et al. (2011) analisaram todos os municípios do RS atingidos por algum tipo de ES no ano de 2009 utilizando os dados de eventos severos fornecidos pela CEDEC/RS. Verificaram que OND foi o período com maior quantidade de municípios atingidos por ES (~70%). Além disso, foi verificada uma anomalia positiva da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial (OPE), evidenciando a presença do fenômeno El Niño. Este foi um dos fatores que contribuiu para o número de municípios afetados por ES em JAS (19,5%). Além disso, a maior intensidade dos sistemas frontais, comuns nesse período do ano, favoreceu a formação de ES. Os tipos de ES mais comuns observados foram vendaval (37,9%), enxurrada (29,0%) e enchente (16,2%). Em OND foi observada a ocorrência de todos os tipos de ES, diferentemente dos outros trimestres, o que pode ser explicado pela maior predisposição para ocorrência de ES nesta época do ano. Separando o RS em duas metades, norte (MN) e sul (MS), divididas pela latitude de 30°S, foi verificada uma maior ocorrência de ES sobre a MN, justificada pelo maior número de municípios na MN, já que estes possuem áreas territoriais menores.

Bacelar et al. (2011b) num estudo sobre a ocorrência de ES relacionados à SCM no Rio Grande do Sul em JFM e JAS de 2004 a 2008, observaram que o período de JAS de 2005 foi o que registrou o maior número de municípios atingidos por ES (46,07% do total de municípios atingidos por ES no período de estudo), os quais estavam associados à 9 SCM. Observaram também que 22,9% dos SCM ocorridos em JFM causaram ES, enquanto que em JAS 19,71% dos SCM causaram ES sobre os municípios do RS. Verificaram ainda que em JFM, 85,71% dos alertas

de ES emitidos pelos municípios foram devido à SCM, já em JAS essa proporção foi de 66,46%.

Rasera et al. (2011d) utilizando os dados de SCM que afetaram o RS em 2004, selecionados por Eichholz (2011), e posteriormente confrontando com os dias de ocorrência de Eventos Severos (ES) mencionados nos dados da Defesa Civil do RS, também em 2004, contabilizaram 13 SCM que causaram ES no Rio Grande do Sul (SCM_{RS-ES}). A maior parte dos SCM_{RS-ES} ocorreu nos trimestres que caracterizam o período frio (AMJ e JAS), sendo que 30,8% aconteceram em AMJ e 38,5% em JAS. A maior atuação de SF nessa época do ano justifica o resultado encontrado. Observaram também que 61,5% dos SCM_{RS-ES} ocorreram sobre a MN do RS (norte de 30°S) e as trajetórias médias preferenciais foram para leste e sudeste. Sobre a MS do RS ocorreram apenas 15,4% dos SCM_{RS-ES} , enquanto que as que atingiram as duas metades do Estado representaram 23,1% dos SCM_{RS-ES} . Para estes dois últimos casos citados não foi verificado um padrão na trajetória.

Rasera e Campos (2011) confrontando SCM que afetaram o RS em 2005, selecionados por Eichholz (2011), com dados da Defesa Civil do RS referentes a ES, fizeram uma análise sazonal dos SCM que causaram ES no RS (SCM_{RS-ES}) em 2005. Contabilizaram 14 SCM_{RS-ES} , sendo que em JFM não houve registro de nenhum caso. AMJ e JAS (período frio) somaram 71,4% do total de SCM_{RS-ES} observados. Resultado que vai ao encontro da observação feita por Siqueira (2004) que afirma que a propagação e a intensificação da convecção ocorrem ao longo das FF que atingem a região de estudo principalmente no período frio. Com relação aos SCM_{RS-ES} que afetaram somente a MN do RS ($SCM_{RS-ES-MN}$), verificaram que foram maioria (50% do total de SCM_{RS-ES}), enquanto que SCM_{RS-ES} que afetaram somente a MS representaram 28,6% do total de SCM_{RS-ES} e os SCM_{RS-ES} que afetaram as duas porções do RS representaram 21,4% do total de SCM_{RS-ES} . A maior proporção de $SCM_{RS-ES-MN}$ pode ser justificada pela topografia, uma vez que a MN é mais elevada, com regiões que ultrapassam os 1000 metros. Bryant (1991) menciona que o relevo pode contribuir significativamente na intensificação dos ventos, propiciando, portanto, maiores condições de vendaval. Segundo Viana et al. (2009a), a enxurrada está mais estritamente ligada à relevos acidentados. Com relação à trajetória média preferencial verificaram que foi para sudeste na maioria dos casos, seguido de trajetórias para leste, o que reforça a afirmação de diversos autores de que existe

uma tendência de SCM que se originam à leste da Cordilheira dos Andes a se deslocarem para leste (TORRES, 2003, EICHHOLZ, 2011).

Eichholz e Campos (2011a) utilizaram dados diários de precipitação pluvial do período de 2004 a 2008, de 16 estações meteorológicas de superfície, fornecidos pelo 8º DISME/INMET para fazerem uma avaliação sazonal dos eventos extremos de precipitação (EEP) que ocorreram no RS neste período. Utilizaram a definição de Vila (2004) para eventos chuvosos, considerando somente a precipitação diária igual ou superior a 75 mm. Observaram que os EEPs ocorreram preferencialmente nas estações de transição (AMJ e OND) e nas estações frias (AMJ e JAS). Os EEPs ocorridos no período frio provavelmente estão relacionados à atuação de sistemas frontais, comuns nesta época do ano. Além disso, SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 apresentaram maior tamanho e maior tempo de vida nos períodos frios do ano (EICHHOLZ, 2011), o que justifica a maior frequência de EEPs neste período.

Eichholz e Campos (2011b) utilizando dados diários de precipitação pluvial provenientes de 16 estações meteorológicas de superfície fornecidos pelo 8º DISME/INMET avaliaram os eventos extremos de precipitação ocorridos no RS no período de 2004 a 2008. Observaram uma frequência maior de precipitação gerada por eventos extremos de precipitação (EEP, precipitação > 75 mm diários) na região norte do Estado, que pode estar relacionada com a topografia da região, já que a região norte é significativamente mais elevada que a região sul. Notaram também que ocorreram mais EEPs no período frio (abril à setembro - 34) do que no período quente (outubro à março - 32) e estes foram mais precipitantes no período mais frio do ano nos cinco anos estudados. Verificaram que o El Niño não parece ter influenciado no número de EEPs, sendo que estes estão melhores relacionados à atuação conjunta de Sistemas Frontais e SCM, que ocorrem principalmente no período frio do ano.

Eichholz e Campos (2011c) utilizaram dados diários de precipitação pluvial referentes à 16 estações meteorológicas de superfície fornecidos pelo 8º DISME/INMET e o aplicativo ForTrACC para analisar a ocorrência de um evento extremo de precipitação, registrado na cidade de Pelotas no dia 7 de maio de 2004. O SCM em questão teve um ciclo de vida de aproximadamente 43 horas, sua etapa de iniciação ocorreu às 01:30 UTC do dia 07/05/2004, sobre a fronteira oeste do PR, a máxima extensão às 13:30 UTC do mesmo dia, sobre o litoral norte do RS e

dissipou sobre o Atlântico às 20:30 UTC. A trajetória do seu centro de massa passou apenas pela fronteira do RS com SC, porém no momento de máxima extensão cobriu quase todo o Estado. Observaram que o SCM primeiramente atingiu seu máximo resfriamento para em seguida atingir sua máxima extensão, o que é comum conforme mostrado no trabalho de Machado et al. (1998). Outro ponto relevante foi observar um evento extremo na porção sul do RS, uma vez que eventos extremos são mais freqüentes na região norte tanto em períodos quentes como frios.

Material e métodos

3.1 Seleção dos SCM que atingiram o RS (SCM_{RS})

Neste trabalho foram considerados os SCM selecionados por Eichholz (2011) através da utilização das 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. Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE) e serviram como base de dados para a utilização da técnica ForTrACC.

Para a seleção dos SCM, Eichholz (2011) utilizou o aplicativo ForTrACC (VILA et al., 2008) no modo diagnóstico. Este aplicativo 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- T_b (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as célula convectivas imersas nos SCM). Os limiares de T_b utilizados por Eichholz (2011) para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da AS, permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas imersas nele se mostraram aceitáveis segundo diversos autores (CARVALHO; JONES, 2001; LAURENT et al., 2002; MACHADO; LAURENT, 2004; VILA, 2004).

Dos SCM identificados pelo ForTrACC, no período de 2004 a 2008, Eichholz (2011) considerou 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, 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 (retângulo em azul na Fig. 10).

Durante o período de 01/01/2004 a 31/12/2008 Eichholz (2011) selecionou 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.

Estes 626 SCM_{RS} , utilizados neste estudo foram organizados em uma planilha do software Excel que 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} (tab. 1).

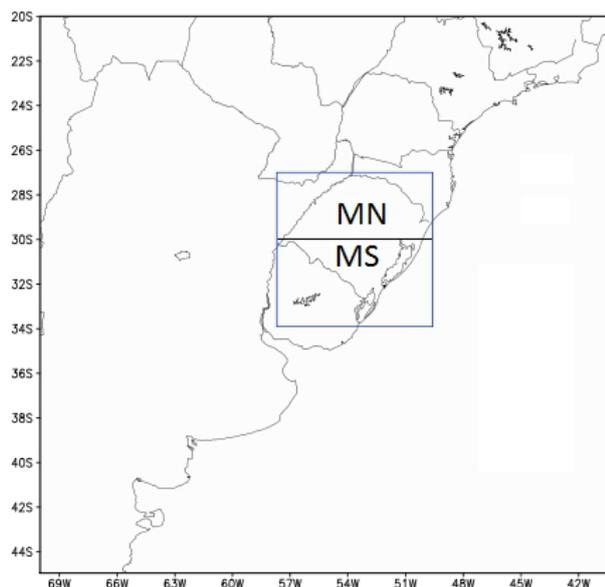


Figura 10 - Região que cobre o Rio Grande do Sul (retângulo entre as latitudes de 27° a 34°S e as longitudes de 58° a 49°W) e que foi afetada por SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram iniciação espontânea e dissipação natural e que geraram Eventos Severos. A linha que passa sobre a latitude de 30°S divide o Estado em Metade Norte (MN) e Metade Sul (MS).

Tabela 1 - Exemplo contendo alguns SCM_{RS} de janeiro/2004. Estão contidas informações a respeito do número da família, dia, mês e ano, e para cada uma das etapas (iniciação, maturação e dissipação) o horário e as latitudes e longitudes dos centros de massa.

SCM _{RS} 2004												
Família	dia	mês	ano	hora (i)	lat (i)	lon (i)	hora (m)	lat (m)	lon (m)	hora (d)	lat (d)	lon (d)
2859	6	1	2004	17.15	-29.37	-54.77	+ 3.99	-28.19	-51.76	+ 7.5	-28.72	-49.99
3766	8	1	2004	8.45	-35.20	-48.85	+ 6.98	-34.19	-50.31	+ 8.5	-33.87	-50.30
4532	9	1	2004	13.15	-32.68	-49.95	+ 3.98	-32.54	-49.86	+ 6	-32.11	-49.96
5638	10	1	2004	23.15	-35.58	-54.59	+ 5.98	-35.11	-53.13	+ 17.5	-31.21	-49.86
7382	13	1	2004	19.15	-29.26	-52.71	+ 1.99	-28.87	-51.62	+ 6	-28.31	-50.57
7713	14	1	2004	14.45	-29.57	-49.77	+ 3.99	-28.15	-49.74	+ 17.5	-29.86	-42.02
7938	14	1	2004	23.45	-35.09	-57.56	+ 3.49	-34.05	-55.74	+ 7.5	-33.47	-53.44
9566	18	1	2004	16.45	-27.42	-56.04	+ 2.99	-28.23	-54.59	+ 6.5	-30.71	-54.04
9897	19	1	2004	11.45	-30.93	-56.34	+ 1.50	-30.87	-55.82	+ 8	-31.11	-53.13
9917	19	1	2004	13.15	-30.52	-50.05	+ 1.99	-30.73	-48.08	+ 6.5	-30.81	-44.82

3.2 Seleção dos ES que atingiram o RS e que foram gerados por SCM_{RS}

Também foram utilizados neste trabalho dados de ocorrência de ES no Estado do RS no período de 01/01/2004 a 31/12/2008, obtidos do banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS (<http://www.defesacivil.rs.gov.br>).

Neste site, conforme mencionado no item 2.4 da revisão de literatura, pode-se selecionar eventos de 2003 a 2010 e eventos a partir de 2011. Dentre todos os registros de ES notificados pela CEDEC/RS no período de estudo, foram selecionados apenas os eventos do tipo: granizo, granizo/vendaval, vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento, deslizamento, os quais podem ser gerados por SCM. Para a seleção dos ES foi criado um arquivo Excel com as seguintes informações: município atingido, data de ocorrência do ES e tipo de ES observado.

Após a organização dos dados dos SCM_{RS} e dos ES, estes foram confrontados para verificar quais dos SCM que afetaram o RS, no período de 2004 a 2008, geraram ES (SCM_{RS-ES}). O confronto foi feito da forma que segue: inicialmente foi verificado se no(s) dia(s) que foi observado cada um dos SCM_{RS}, 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, plotando-se suas latitudes e longitudes no aplicativo "Google Earth". Em seguida se utilizou as latitudes e longitudes de todos os membros do SCM_{RS} em análise, para acompanhar a evolução do seu ciclo de vida e verificar se este sistema estava atuando sobre os municípios atingidos. Para isso construiu-se a trajetória do SCM_{RS} em análise utilizando o mesmo aplicativo citado acima e verificando se o SCM_{RS} atuou nas proximidades dos municípios afetados pelo ES. Visando maior precisão na verificação dos municípios atingidos pelo SCM_{RS}, foram utilizadas, em conjunto com a trajetória do SCM_{RS}, imagens do satélite GOES com as temperaturas de brilho realçadas abaixo de 235K (limiar utilizado para SCM) de todo o ciclo de vida do SCM_{RS} utilizando o aplicativo GrADS. 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 classificado como um SCM que afetou o RS e que gerou ES (SCM_{RS-ES}) (tab. 2).

Tabela 2- Exemplo mostrando os SCM_{RS-ES} nos trimestres JFM, AMJ e parte de JAS de 2004. Constam: o número, família, dia, mês, ano, além do horário, latitude e longitude do centro de massa para as etapas de iniciação, maturação e dissipação, e ainda os municípios atingidos e o tipo de ES registrado.

SCM _{RS-ES} 2004															
n°	família	dia	mês	ano	hora (i)	lat (i)	lon (i)	hora (m)	lat (m)	lon (m)	hora (d)	lat (d)	lon (d)	idades	ES
1	5638	10	1	2004	23.15	-35.58	-54.59	+ 5.98	-35.11	-53.13	+ 17.5	-31.21	-49.86	Palmares do Sul (MS)	Vendaval
2	15152	29	1	2004	16.15	-29.53	-52.04	+ 3.98	-29.67	-50.14	+ 8.5	-29.59	-47.58	Campo Bom (MN)	Vendaval
														Sapiranga (MN)	Vendaval
3	12866	21	4	2004	20.45	-29.56	-53.94	+ 3.00	-30.18	-52.26	+ 8.5	-30.23	-51.06	Estrela Velha (MN)	Granizo
														Salto do Jacuí (MN)	Granizo
4	3017	7	5	2004	1.15	-23.09	-53.67	+ 12.45	-29.92	-49.41	+ 43	-35.11	-40.54	Capão Do Leão (MS)	Alagamento
														Mampituba (MN)	Enchente
														Pelotas (MS)	Enchente
														Três Cachoeiras (MN)	Alagamento
5	5592	11	5	2004	20.45	-23.89	-56.29	+ 26.95	-24.78	-53.64	+ 30	-25.36	-52.89	Terra de Areia (MN)	Enchente
6	6424	13	5	2004	16.45	-28.68	-53.91	+ 9.99	-32.02	-48.68	+ 13.5	-26.60	-39.59	Unistalda (MN)	Granizo
														Cachoeira Do Sul (MS)	Alagamento
														Cachoeirinha (MN)	Granizo
														Canoas (MN)	Granizo
														Gravatá (MN)	Granizo
7	6783	14	7	2004	17.45	-30.76	-50.59	+ 3.00	-29.80	-50.58	+ 6	-29.19	-51.22	Manoel Viana (MN)	Granizo
														Mariana Pimentel (MS)	Granizo
														Porto Alegre (MS)	Granizo
														Santa Maria (MN)	Granizo
														Venâncio Aires (MN)	Granizo
														Cachoeira Do Sul (MS)	Granizo
8	7939	19	9	2004	23.45	-30.10	-54.26	+ 3.99	-29.71	-51.60	+ 6	-29.43	-50.94	Passo Do Sobrado (MN)	Vendaval
														Sapucaia Do Sul (MN)	Granizo
														Teutônia (MN)	Granizo
														Venâncio Aires (MN)	Granizo
9	8301	20	9	2004	21.45	-30.60	-57.12	+ 5.48	-31.60	-53.68	+ 8	-31.91	-52.87	Rio Grande (MS)	Granizo
10	8485	21	9	2004	6.45	-31.92	-52.19	+ 18.94	-38.55	-42.62	+ 23	-40.45	-40.85	Gravatá (MN)	Enchente

3.3 Análise sazonal dos SCM_{RS} que geraram ES (SCM_{RS-ES}), dos ES gerados por estes e dos municípios afetados

Após a seleção dos SCM_{RS-ES} , com as características citadas acima, os mesmos foram separados por trimestres representando cada uma das 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). Não foram usados os trimestres astronômicos, que definem as estações do ano, para facilitar as análises com dados dentro do mesmo ano.

Na sequência foi feita a análise sazonal dos SCM_{RS-ES} no período de 2004 a 2008. Mais especificamente analisou-se:

- i) a distribuição dos SCM_{RS-ES} , que corresponde ao total de SCM_{RS} que apresentou pelo menos um de seus membros com centro de massa localizado dentro da área demarcada pelo retângulo na Fig. 10 e que gerou ES;
- ii) a duração média do ciclo de vida (ou tempo de vida médio, isto é, tempo médio decorrido entre a iniciação e a dissipação dos SCM_{RS-ES}) e o tamanho máximo médio (ou área máxima média coberta pelos SCM_{RS-ES}) dos SCM_{RS-ES} . As durações médias dos SCM_{RS-ES} foram calculadas e separadas 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.

O tamanho máximo de cada SCM_{RS-ES} foi calculado pelo ForTrACC e os tamanhos máximos médios foram calculados através de uma planilha do Excel; e

iii) a trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} . Para isso foram utilizadas as latitudes e longitudes do primeiro e do último membro de cada SCM_{RS-ES} , que trazem as informações e/ou as características apresentadas pelo SCM_{RS-ES} no momento de sua iniciação e dissipação, respectivamente. Além disso, também foram utilizadas a latitude e a longitude do membro correspondente à maturação de cada SCM_{RS-ES} , ou seja, aquele que apresenta a máxima extensão. Com as informações da posição de todos os SCM_{RS-ES} em cada fase do seu ciclo de vida foi então construída a trajetória média dos SCM_{RS-ES} em cada trimestre do período de estudo (Fig. 11).

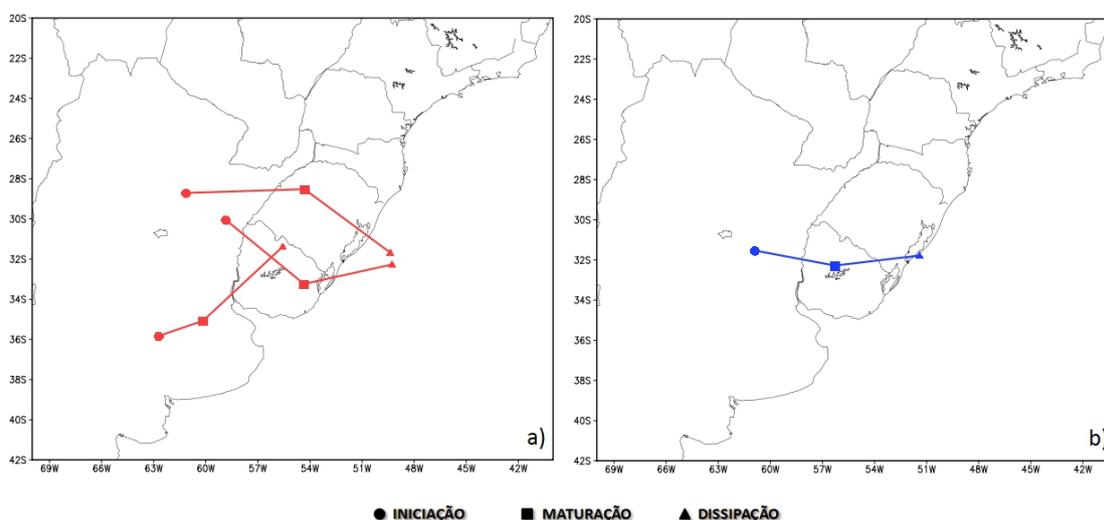


Figura 11 – Exemplo de: (a) trajetórias individuais seguidas pelos SCM_{RS-ES} e (b) composição da trajetória média preferencial dos SCM_{RS-ES} .

Em seguida foi feita a análise sazonal da distribuição dos ES gerados pelos SCM_{RS-ES} ($ES_{SCMRS-ES}$), observados no período de 2004 a 2008.

Logo após, procedeu-se a análise sazonal dos municípios do RS atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$, no período de 2004 a 2008. Para isso, analisou-se a distribuição geográfica dos municípios atingidos por todos $ES_{SCMRS-ES}$ e o número de municípios atingidos por cada tipo de $ES_{SCMRS-ES}$.

Para a contabilização do total dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ cada um deles foi considerado apenas uma vez, mesmo que este tenha sido atingido em mais de um trimestre. Na contabilização dentro de um mesmo trimestre também foi considerado o mesmo critério, ou seja, se um município foi atingido por ES mais de uma vez em um trimestre, este município foi contabilizado apenas uma vez.

Resultados e discussão

4.1 Análise sazonal dos SCM que afetaram o RS e que geraram ES (SCM_{RS-ES}) no período de 2004 a 2008

4.1.1 Distribuição

A Figura 12 mostra a distribuição sazonal dos SCM que afetaram o RS e que geraram ES (SCM_{RS-ES}) no período de 2004 a 2008, bem como as contribuições sazonais desses SCM em relação ao total de SCM_{RS} no mesmo período. Dos 626 SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}), selecionados por Eichholz (2011) (aqueles que se formaram e se mantiveram durante o seu ciclo de vida ao sul de 20°S, apresentaram tempo de vida de no mínimo 6 h, tiveram geração espontânea e dissipação normal e que atingiram a grade que cobre o RS) 67 foram SCM_{RS-ES} , ou seja 10,7% geraram a ES.

Considerando os trimestres JFM e OND como períodos quentes e, AMJ e JAS como períodos frios do ano, pode-se observar na Fig. 12 que houve menor ocorrência de SCM_{RS-ES} nos períodos quentes (~43,3% dos SCM_{RS-ES} : JFM ~14,9% do total de SCM_{RS-ES} observados, ou seja, 10 SCM e OND ~28,4% do total de SCM_{RS-ES} observados, ou seja, 19 SCM) do que nos períodos frios (~56,7% dos SCM_{RS-ES} : AMJ ~20,9% do total de SCM observados, ou seja, 14 SCM e JAS ~35,8% do total de SCM observados, ou seja, 24 SCM). Observou-se também que a contribuição sazonal dos SCM_{RS-ES} em relação aos SCM_{RS} foi maior em JAS (16,9%) e menor em JFM (5,6%). Assim, a análise da Fig.12 mostra que para o período de estudo, os SCM_{RS-ES} são observados em todos os períodos do ano. Porém, os resultados evidenciam maior ocorrência de SCM_{RS-ES} durante o período frio do ano (JAS).

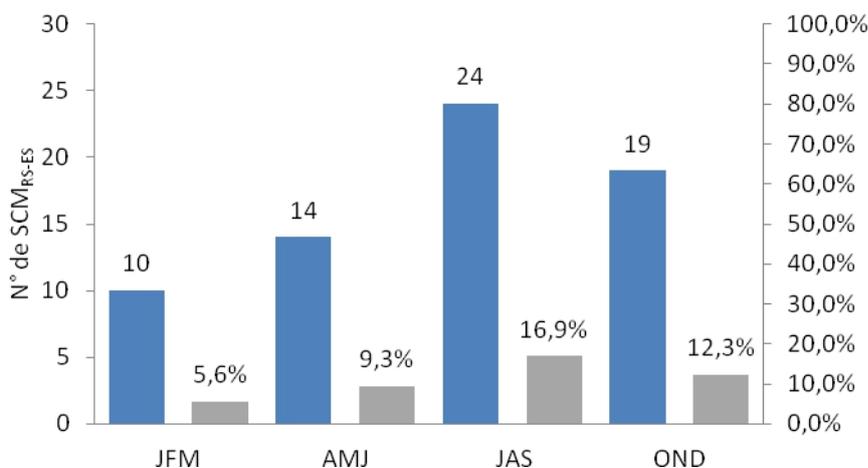


Figura 12 – Distribuição sazonal dos SCM que afetaram o RS e que geraram Eventos Severos (SCM_{RS-ES}) (coluna em azul) e as contribuições sazonais dos SCM_{RS-ES} em relação aos SCM_{RS} (coluna em cinza), no período de 2004 a 2008.

Tal predomínio de SCM_{RS-ES} no período frio (JAS) pode estar relacionado com a ocorrência mais frequente de SF na região costeira do sul do Brasil nesse período do ano (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003), que incentiva a interação destes sistemas (SF) com a convecção, favorecendo a formação de SCM maiores e mais longos neste período do ano (SIQUEIRA; MACHADO, 2004) e, portanto propiciando condições mais favoráveis à ocorrência de ES. Em um estudo sobre as propriedades radiativas dos SCM observados na AS em janeiro e julho de 2004, utilizando o aplicativo ForTrACC, Palmeira (2005) observou que os SCM observados em julho ocorreram em maior número, duraram mais e iniciaram 3 horas mais tarde do que aqueles observados em janeiro.

Além disso, nos trimestres JAS do período de estudo, setembro foi o mês que apresentou a maior ocorrência de SCM_{RS-ES} (~71% do total em JAS), quando comparada aos outros meses, o que contribuiu para o predomínio de SCM_{RS-ES} neste período do ano. Pode-se observar que vários fatores contribuíram para que essa situação ocorresse. A partir dos Boletins Climanalises elaborados pelo CPTEC, referente aos meses de setembro dos anos de 2004 a 2008, observou-se inicialmente através das anomalias de radiação de onda longa que foram frequentes as ocorrências de bloqueios atmosféricos no centro do país. Esse fenômeno atmosférico tende a fazer com que os sistemas meteorológicos (como SF e SCM) permaneçam mais tempo sobre a região Sul do Brasil, favorecendo o seu maior

desenvolvimento e com isso estimulando a geração de maior número de ES. Outro fator observado foi a TSM na costa do RS que apresentou anomalias positivas nos meses de setembro de 2004 e 2005, o que favoreceu a disponibilidade de maior quantidade de umidade sobre o Estado, por meio da evaporação. Também foram observadas anomalias negativas de pressão atmosférica sobre o RS e Paraguai, que intensificaram a Baixa do Chaco (CLIMANALISE, set 2004 a 2008), contribuindo para que houvesse maior convergência e movimento ascendente na região, fator que juntamente com o aporte de umidade desencadeia o processo de convecção e por consequência formação das primeiras células convectivas. Outra configuração observada foi a posição do Jato Subtropical de Altos Níveis (JSAN) sobre o RS, que provocou um aumento da instabilidade gerado pela aceleração do escoamento de ar sobre a região. Também foi observado nos meses de setembro do período de estudo um incremento de calor e umidade trazidos pelo JBN. O acoplamento do JSAN com o JBN, segundo Silva Dias (1996), por continuidade de massa pode gerar um incremento da convecção e formar aglomerados convectivos favorecendo, portanto, a maior ocorrência no trimestre JAS de SCM_{RS-ES} .

4.1.2 Duração média e tamanho máximo médio

Outras características analisadas sobre os SCM_{RS-ES} no período de estudo foram o seu tempo de vida médio e o seu tamanho máximo médio sazonal em função da sua duração (tab. 3). Pode-se notar, ainda, que o tempo de vida médio dos SCM_{RS-ES} no período de 2004 a 2008 foi de 18,84 h com alguma variação entre os períodos quentes (JFM: 12,4 h e OND: 20,53 h) e os frios (AMJ: 25,01 h e JAS: 17,43 h).

Observou-se ainda 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 (cerca de 25 h), e os observados em JAS apresentaram o maior tamanho máximo médio (697.077 km²) (tab. 3).

A maior duração média dos SCM_{RS-ES} ocorridos em AMJ (~ 25h) explica-se pela grande quantidade de SCM_{RS-ES} com tempo de vida superior a 24 horas (7 dos 14 SCM_{RS-ES} deste trimestre) observados neste trimestre, no período de 2004 a 2008. Já nos trimestres JFM, JAS e OND, SCM_{RS-ES} com duração superior a 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 Eichholz (2011) quando analisou os SCM que atingiram o RS, no mesmo período deste estudo, independente de gerarem ou não ES.

Tabela 3 - Tempo de vida médio (h) e Tamanho máximo médio ($T_{máxméd}$ - km^2) 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 iguais a 6 horas, entre 6 e 12 h, entre 12 e 24 h e com duração superior a 24 h, no período de 2004 a 2008. Ao lado se encontram os desvios padrões (σ).

Trim.	Duração média		$T_{máxméd} \geq 6$ h		$T_{máxméd} 6-12$ h		$T_{máxméd} 12-24$ h		$T_{máxméd} > 24$ h	
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
JFM	12,40	3,72	187.262	108.458	171.546	79.252	202.979	139.888	-	-
AMJ	25,01	11,43	669.307	538.050	84.720	3.190	686.035	625.943	824.384	473.112
JAS	17,43	12,81	697.077	643.518	383.983	475.921	726.682	441.034	1.746.405	747.901
OND	20,53	13,28	605.714	550.514	189.269	171.154	663.204	440.544	1.219.512	625.416
Média	18,84	10,31	539.840	460.135	207.379	182.379	569.725	411.852	1.263.434	615.477

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} ($2.510.528 km^2$) detectado no período de estudo (maior desvio padrão entre todos os trimestres), 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 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 e Machado (2004) em JAS (inverno austral) ocorrem dois tipos de frentes frias: as que exibem propagação quase-estacionária (com respeito à direção meridional) com a convecção nos subtropicais 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 essa interação observada entre os SF e a convecção favorece a formação de SCM maiores (JAS) e mais longos (AMJ).

Outros fatores que podem justificar o maior tamanho máximo médio dos SCM_{RS-ES} em JAS foram os seguintes: presença de bloqueios atmosféricos, anomalias positivas de TSM na costa do RS, intensificação da Baixa do Chaco, posicionamento do JAN e intensificação do JBN sobre o RS, que foram observados

nos meses de setembro do período de estudo (CLIMANÁLISE, 2004 a 2008) e que foram explicados anteriormente.

Ainda analisando a tab. 3, 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 foi observado por diversos autores (VELASCO; FRITSCH, 1987; MACHADO et al., 1998; MACHADO et al., 2002; VILA, 2004; EICHHOLZ, 2011).

As diferenças de duração e tamanho (tab.3) entre os SCM_{RS-ES} também foram detectadas por outros autores (TOLLERUD; RODGERS, 1991; ASHLEY et al. 2003; SIQUEIRA, 2004; PALMEIRA, 2005; 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). Portanto não se pode ignorar o efeito da topografia nas circulações atmosféricas contribuindo para o levantamento das parcelas de ar e desestabilização do ambiente, tornando a atmosfera susceptível a convecção profunda (SAKAMOTO, 2009).

4.1.3 Trajetória média preferencial

As trajetórias médias preferenciais sazonais dos SCM_{RS-ES} no período de 2004 e 2008 são mostradas na Fig. 13. Foi observada uma tendência de deslocamento zonal (de oeste para leste) em todos os trimestres. 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; SAKAMOTO et al., 2009; SAKAMOTO, 2009; DURKEE; MOTE, 2009; EICHHOLZ, 2011, por exemplo).

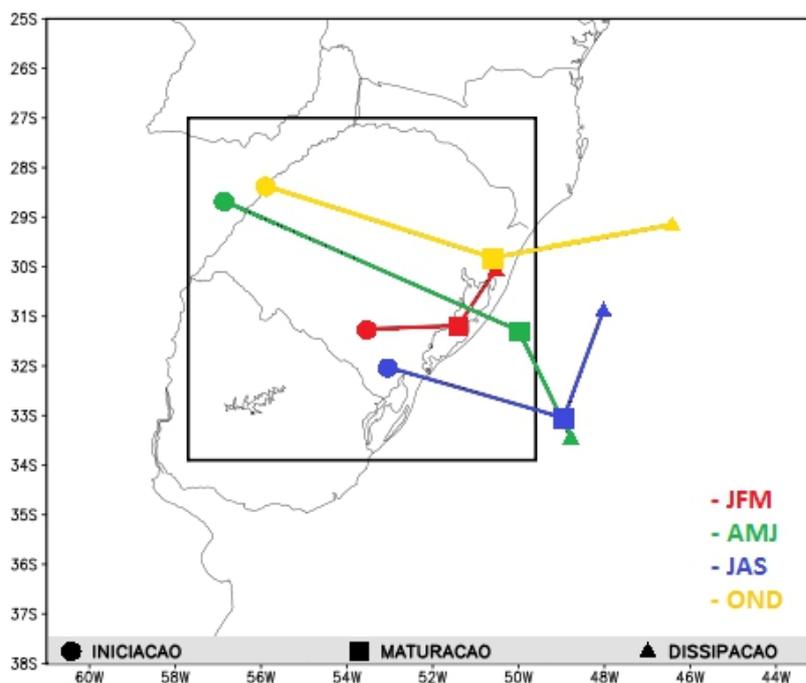


Figura 13 – Trajetórias médias preferenciais sazonais dos SCM que afetaram o RS e que geraram Eventos Severos no período de 2004 e 2008.

Em JFM as três etapas do ciclo de vida dos SCM_{RS-ES} (iniciação, maturação e dissipação), na média, ocorreram dentro da grade que cobre o RS. A iniciação ocorreu sobre a Campanha Gaúcha (sul do estado), a maturação sobre o centro da Lagoa dos Patos e a dissipação no extremo norte desta.

Nos demais trimestres, uma ou duas das etapas ocorreram fora da grade que cobre o RS. Em AMJ e OND as trajetórias tiveram inícios semelhantes, a iniciação em AMJ ocorreu no nordeste da Argentina (próximo à divisa oeste do RS), e em OND essa etapa ocorreu sobre a divisa entre a Argentina e o RS, também no oeste do Estado. A etapa de maturação ocorreu próxima à costa do RS e nordeste do Estado (logo abaixo da Serra Gaúcha), respectivamente em AMJ e OND. As dissipações de ambos os trimestres divergiram uma da outra. Ocorreram fora da grade que cobre o RS, sobre o Oceano Atlântico, porém em AMJ foi mais ao sul e próxima à grade e em OND foi mais ao norte e afastada da grade. Em JAS, a iniciação na média ocorreu sobre o sul do Estado, e as etapas de maturação e dissipação ocorreram fora da grade (Oceano Atlântico), em torno de 33°S e 31°S, respectivamente.

A análise dos SCM observados nas estações quentes (JFM e OND) mostrou que estes em sua maioria não estavam relacionados à SF e que eram modulados pelo aquecimento diurno. Os deslocamentos médios destes SCM apresentaram uma

componente para norte em ambos trimestres, o que pode ser explicado pelo fato de que os SCM tendem a se mover, desde a sua geração, na direção de áreas com temperatura potencial equivalente maior, ou seja, na direção do equador (SAKAMOTO, 2009). Velasco e Fritsch, (1987) analisando CCMs na América do Sul observaram que esses possuíam movimento meridional quando o cisalhamento vertical do vento é fraco, o que é comum no verão e reforça o resultado encontrado. As trajetórias diferiram apenas pela sua extensão, que foi menor em JFM. Isso ocorreu provavelmente devido a desintensificação do JAN, neste trimestre, quando ele fica mais fraco (PEZZI et al., 2006).

A análise dos SCM observados em AMJ e JAS mostrou que estes estavam em sua maioria relacionados à SF e que apresentaram um ciclo noturno. Em JAS a trajetória média apresentou uma componente para norte entre as etapas de maturação e dissipação. Esse comportamento era esperado, uma vez que, quando há relação dos SCM com SF, em 300 hPa é observado ventos predominantes de oeste e de sudoeste, na região sudeste do Brasil. (SIQUEIRA; MARQUES, 2008). Em AMJ o deslocamento médio dos SCM analisados apresentou uma componente para sul, indo contra o esperado. Uma das razões para esse fato pode ser a ocorrência de sistemas frontais mais estacionários neste trimestre. Essa configuração não é algo incomum. Sakamoto (2009) analisando SCM na América do Sul observou que dos SCM com deslocamento para leste, 35% apresentaram uma componente para sul, assim como o observado em AMJ neste estudo.

Uma observação interessante é que nas estações de transição (AMJ e OND) as trajetórias foram mais longas do que em JFM e JAS. Em AMJ o tempo de vida médio dos SCM_{RS-ES} foi o maior em comparação com os demais trimestres do ano (tab. 3). Por consequência da maior duração, era esperado que a trajetória média dos SCM_{RS-ES} ocorrida em AMJ fosse a 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).

4.2 Análise sazonal dos ES gerados por SCM_{RS-ES} no período de 2004 a 2008

4.2.1 Distribuição

A distribuição sazonal dos ES gerados por SCM_{RS-ES} ($ES_{SCMRS-ES}$) no período de 2004 a 2008 é mostrada na tab. 4 e Figs. 14 e 15. Na Fig. 14 têm-se, ainda, as

contribuições sazonais dos ES_{SCMRS-ES} em relação a todos os ES registrados no RS pela Coordenadoria Estadual de CEDEC/RS (CEDEC/RS), que ocorreram no período de estudo, independente de terem sido ou não gerados por SCM.

Pode-se notar na tab. 4 que no período de estudo ocorreram 111 ES_{SCMRS-ES}, que corresponderam a 45,1% de todos os ES registrados no RS pela CEDEC/RS (246 ES) entre 2004 e 2008. Isso mostra a importância dos SCM_{RS} (ou seja, que se formaram e se mantiveram durante o seu ciclo de vida ao sul de 20°S, apresentaram tempo de vida de no mínimo 6 h, tiveram geração espontânea e dissipação normal e que atingiram a grade que cobre o RS) na geração de ES.

Analisando todos os tipos de ES_{SCMRS-ES} observados entre 2004 e 2008 (tab. 4) nota-se que o maior número de ocorrências foi de: vendaval (27,93%), seguido de granizo (26,13%), enxurrada (11,71%), granizo/vendaval (10,81%), inundação (9,91%), enchente (9,01%), alagamento (2,7%) e deslizamento (1,8%).

Tabela 4 - Distribuição sazonal dos Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS entre 2004 e 2008.

Evento Severo	JFM	AMJ	JAS	OND	Total	Contribuição (%)
Vendaval	5	6	9	11	31	27,93
Granizo	0	6	13	10	29	26,13
Enxurrada	4	2	4	3	13	11,71
Granizo/Vendaval ^(*)	1	2	3	6	12	10,81
Inundação	4	0	2	5	11	9,91
Enchente	0	4	4	2	10	9,01
Alagamento	0	1	2	0	3	2,7
Deslizamento	0	0	1	1	2	1,8
Total trimestral	14	21	38	38	111	-
Contribuição (%)	12,62	18,92	34,23	34,23	-	-

Fonte: CEDEC/RS (2011). ^(*)Ocorrência simultânea dos dois eventos.

A maior frequência de ES do tipo vendaval no RS também foi observada por Viana et al. (2009b) ao avaliar os ES no RS gerados por CCMs entre outubro e dezembro de 2003 e por Alves et al. (2011), num estudo sobre ocorrência de ES no RS no ano de 2009. O predomínio de ES do tipo vendaval pode estar relacionado com a frequente passagem de SF sobre o RS que amplificam as diferenças no

gradiente de pressão atmosférica e que, portanto influenciam no deslocamento intenso de ar (VIANELLO; ALVES, 2000).

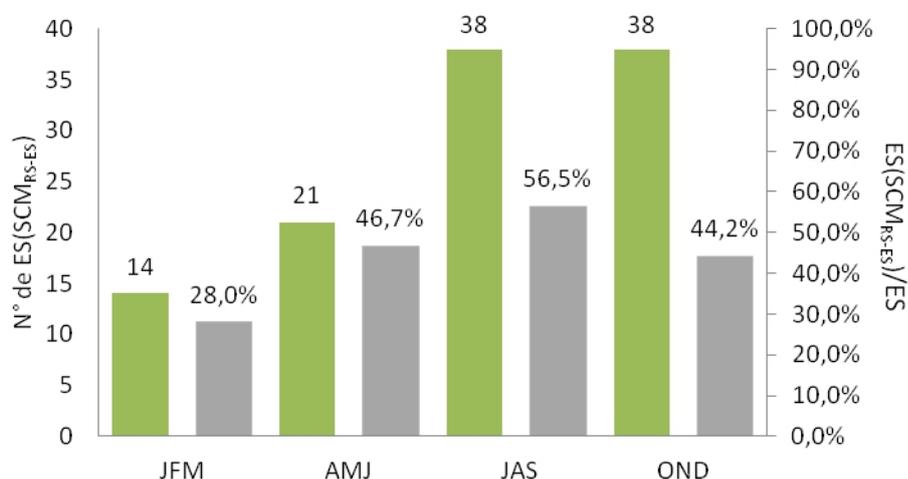


Figura 14 – Distribuição sazonal dos Eventos Severos gerados pelos SCM que afetaram o RS ($ES_{SCMRS-ES}$) (coluna em verde) e as contribuições sazonais desses em relação ao total de ES registrados pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS (coluna em cinza), no período de 2004 a 2008.

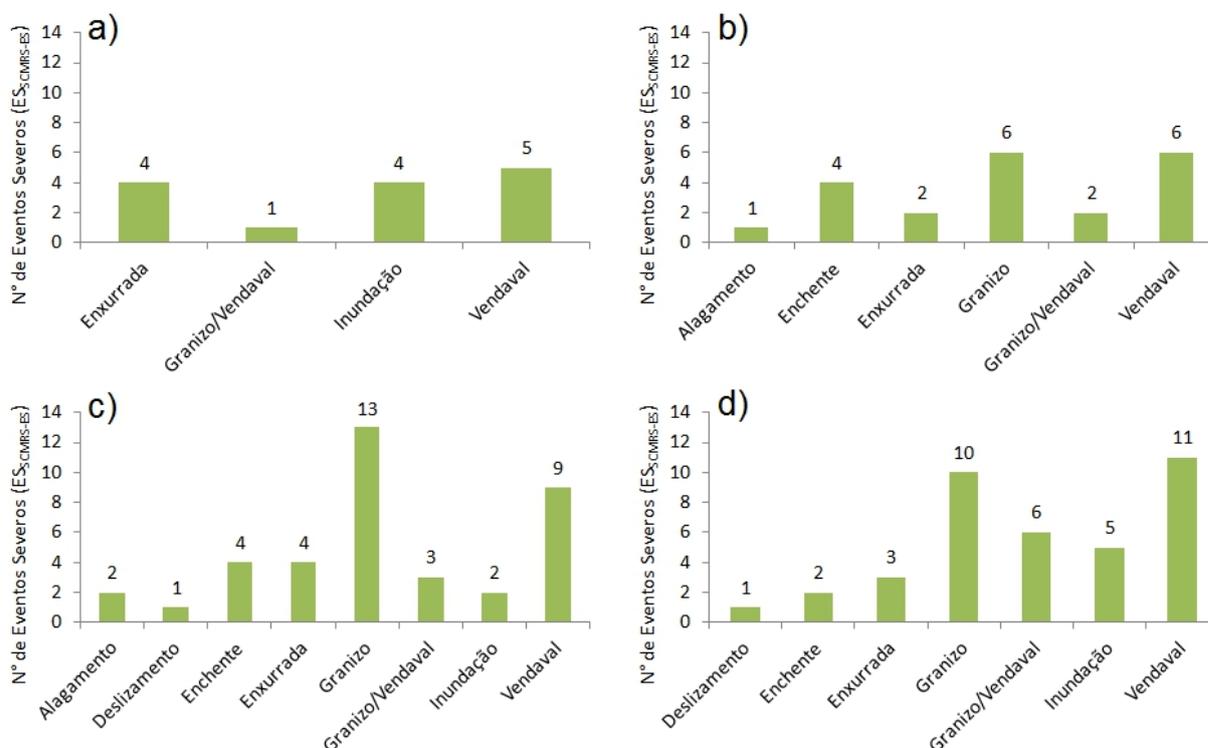


Figura 15 – Distribuição sazonal dos tipos de Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).

Pode-se observar ainda (tab. 4 e Fig. 14) que para o período de estudo foram registrados $ES_{SCMRS-ES}$ em todos os períodos do ano. Com relação as contribuições sazonais dos $ES_{SCMRS-ES}$ em relação aos ES registrados pela CEDEC/RS do RS (Fig. 14), notou-se que esta foi maior em JAS (56,5%) e menor em JFM (28,0%), seguindo o mesmo comportamento das contribuições dos SCM_{RS-ES} em relação aos SCM_{RS} (Fig. 12).

Em JFM (tab. 4 e Fig. 15a) observou-se o menor número de ocorrência de $ES_{SCMRS-ES}$ (14 ES, correspondendo a 12,62% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ no período de estudo). Os $ES_{SCMRS-ES}$ mais freqüentes neste trimestre foram vendaval (5 casos, 35,7% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre), seguido por enxurrada e inundação (4 casos cada, 28,6% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre, cada).

AMJ registrou 21 ocorrências de $ES_{SCMRS-ES}$ (correspondendo a 18,92% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ no período de estudo). Neste trimestre os $ES_{SCMRS-ES}$ mais frequentes (tab. 4, Fig. 15b) foram os do tipo vendaval e granizo (6 casos cada, 28,6% cada do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre).

Os trimestres JAS e OND foram os trimestres que apresentaram maior ocorrência de $ES_{SCMRS-ES}$ (34,23% do total de $ES_{SCMRS-ES}$, cada, no período de estudo). Os $ES_{SCMRS-ES}$ mais frequentes em JAS (tab. 4, Fig. 15c) foram granizo (13 casos, 34,2% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre) e vendaval (9 casos, 23,7% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre). Em OND (tab. 4, Fig. 15d) os $ES_{SCMRS-ES}$ mais frequentes foram vendaval (11 casos, 28,9% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre) e granizo (10 casos, 26,3% do total de $ES_{SCMRS-ES}$ deste trimestre).

Um fator que pode explicar o predomínio de $ES_{SCMRS-ES}$ do tipo granizo em JAS é o tamanho máximo médio dos SCM_{RS-ES} (tab. 3) neste trimestre, que foi maior nas três categorias de duração, ou seja, de 6 a 12 horas, de 12 a 24 horas e acima de 24 horas. Por serem maiores, estes SCM podem ter um número maior de núcleos frios e/ou núcleos frios maiores imersos neles. Como a formação do granizo está relacionada à existência de topos altos de nuvens, ou seja, com temperaturas extremamente baixas, isso favorece sua ocorrência. Segundo Glickman (2000) o granizo é definido como uma precipitação de gelo, em forma esférica ou irregular, apresentando geralmente diâmetro de 5 mm. Considerando que as gotículas de água no interior da nuvem devem estar a uma temperatura inferior à -40°C para congelarem (GRIMM, 1999), percebe-se uma relação bastante direta entre ocorrência de granizo e topos altos e frios das nuvens.

Analisando-se sazonalmente os tipos de $ES_{SCMRS-ES}$ (Fig. 15), ficou bem visível que JFM foi o trimestre com a menor diversidade de tipos de $ES_{SCMRS-ES}$, enquanto que JAS, OND e AMJ tiveram as maiores diversidades, nesta ordem. Percebe-se também que os $ES_{SCMRS-ES}$ do tipo enxurrada, granizo/vendaval e vendaval foram os únicos a ocorrerem em todos os trimestres.

4.3 Análise sazonal dos municípios atingidos por ES gerados por SCM_{RS-ES} no período de 2004 a 2008

4.3.1 Distribuição

A análise da distribuição sazonal dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008, bem como a contribuição desses frente ao total de municípios atingidos por ES registrados pela CEDEC/RS do RS no período de estudo (Fig. 16). Conforme mencionado no item 4.2, ocorreram 111 $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008. A análise dos dados mostrou que esses 111 $ES_{SCMRS-ES}$ atingiram 160 municípios. É importante ressaltar que, no período de estudo, 22 municípios foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ em dois trimestres distintos, sendo contabilizados 2 vezes cada, e gerando um falso número de 22 municípios a mais, numa contagem considerando os 4 trimestres. Além disso, 2 municípios foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ em 3 trimestres diferentes, sendo contabilizados 3 vezes cada, gerando um falso número de 4 municípios a mais numa contagem considerando os 4 trimestres. Por isso, o número real de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008 é 160 e não 186 conforme mostra a Fig. 16.

Cabe lembrar que o RS possui 496 municípios, de acordo com a Fundação de Economia e Estatística (FEE, 2011). Portanto, no período de 2004 e 2008, 32,3% dos municípios do RS (160 municípios) foram atingidos pelos 111 ES gerados por SCM_{RS-ES} . Destaca-se também que no período de 2004 a 2008, 276 municípios reportaram à CEDEC/RS do RS a ocorrência de um ou mais dos tipos de ES considerados neste estudo (alagamento, deslizamento, enchente, enxurrada, granizo, granizo/vendaval, inundação e vendaval), Logo, dos municípios do RS que registraram a ocorrência de ES (276 municípios), entre 2004 e 2008, ~58% (160 municípios) foram afetados pelos 111 $ES_{SCMRS-ES}$. Isso mostra que os SCM_{RS}

contribuem de forma marcante para a geração dos ES que atingem municípios do RS.



Figura 16 – Distribuição sazonal dos municípios atingidos por Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 (coluna em vermelho) e contribuições sazonais desses em relação ao total de municípios atingidos pelos ES registrados pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS no período de estudo (coluna em cinza).

Analisando-se a Fig. 16 observa-se que, em todos os trimestres do ano do período de estudo houveram municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}. Em JFM 20 municípios do RS foram atingidos por ES_{SCMRS-ES}, o que corresponde a 12,5 % dos 160 municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}, 7,2 % dos 276 municípios atingidos por ES e 4 % dos 496 municípios do RS, entre 2004 e 2008. Nesse trimestre também ocorreu a menor contribuição de municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES} em relação ao total de municípios afetados por ES registrados pela CEDEC/RS do RS no período de estudo (31,7%).

Já em AMJ, o número de municípios do RS atingidos por ES_{SCMRS-ES}, subiu para 32, correspondendo a 20 % dos 160 municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}, 11,6 % das 276 municípios atingidos por ES e 6,5 % dos 496 municípios do RS, entre 2004 e 2008. Neste trimestre a contribuição dos municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES} em relação ao total de municípios afetados por ES registrados pela CEDEC/RS do RS no período de estudo foi de 46,4%.

No trimestre JAS ocorreu o maior número de municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008, totalizando 77 municípios atingidos. Estes representam 48,1% dos 160 municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}, 27,9 % dos 276

municípios atingidos por ES e 15,5 % dos 496 municípios do RS, entre 2004 e 2008. Nesse trimestre ocorreu a maior contribuição de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ em relação ao total de municípios afetados por ES registrados pela CEDEC/RS do RS no período de estudo, 56,6%.

Em OND houve um decréscimo no número de municípios do RS atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, em relação à JAS. Foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, entre 2004 e 2008, 57 municípios do RS, que representam 35,6% dos 160 municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, 20,7 % dos 276 municípios atingidos por ES e 11,5 % dos 496 municípios do RS. A contribuição de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ em relação ao total de municípios afetados por ES registrados pela CEDEC/RS do RS no período de estudo, neste trimestre foi de 34,8%.

Ressalta-se que a soma das porcentagens dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ em cada trimestre em relação ao total de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008, excede 100% porque se referem aos 160 municípios atingidos e não ao total de 186 municípios que incluem municípios contabilizados mais de uma vez, conforme mencionado anteriormente.

Na tab. 5 apresenta-se a 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} ($ES_{SCMRS-ES}$), dos municípios atingidos por ES (MA_{ES}), dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ ($MA_{ES-SCMRS-ES}$) e as respectivas contribuições sazonais. Analisando-se conjuntamente a tab. 5 e as Figs. 12, 14 e 16 nota-se uma relação direta entre o número de SCM_{RS-ES} , o número de $ES_{SCMRS-ES}$ e o número de $MA_{ES-SCMRS-ES}$, ou seja, quanto maior o número de SCM_{RS-ES} , maior o número de $ES_{SCMRS-ES}$ e maior o número de $MA_{ES-SCMRS-ES}$. Observa-se também aumento de SCM_{RS-ES} , $ES_{SCMRS-ES}$ e $MA_{ES-SCMRS-ES}$ de JFM até JAS, decrescendo posteriormente em OND. Exceção foi observada no número de $ES_{SCMRS-ES}$ que se manteve o mesmo nos trimestres JAS e OND. Pode-se notar ainda na tab. 5 que apesar de JFM, OND e OND terem sido, respectivamente, os trimestres com as maiores ocorrências de SCM_{RS} , ES e MA_{ES} , a maior porcentagem de SCM_{RS-ES} , $ES_{SCMRS-ES}$ e $MA_{ES-SCMRS-ES}$, em relação aos SCM_{RS} , ES e MA_{ES} , ocorreu em JAS, mostrando que este trimestre apresentou condições mais propícias para a formação de SCM_{RS-ES} .

Uma explicação para JAS ser o trimestre com o maior número de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ pode estar relacionada ao fato de que nesse trimestre foi

observado o maior tamanho máximo médio dentre todos os trimestres, logo, cobriram também um número mais elevado de municípios. Também nesse período devido ao maior número de SF, comuns nessa época do ano na região (CAVALCANTI; KOUSKY. 2003), a interação entre estes sistemas (SF) e a convecção possa ter ocasionado a formação de SCM maiores e mais longos (SIQUEIRA; MACHADO, 2004) e, portanto ter favorecido a ocorrência de um maior número de ES e atingido um maior número de municípios. Além disso, conforme mencionado anteriormente foi observada, nos meses de setembro do período de estudo (CLIMANÁLISE, 2004 a 2008), a presença de bloqueios atmosféricos, anomalias positivas de TSM na costa do RS, intensificação da Baixa do Chaco, posicionamento do JAN e intensificação do JBN sobre o RS que contribuíram para a ocorrência de SCM maiores que cobriram maiores regiões e portanto, afetaram maior número de municípios.

Tabela 5 – 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} ($ES_{SCMRS-ES}$), dos municípios atingidos por ES (MA_{ES}), dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ ($MA_{ES-SCMRS-ES}$) e as respectivas contribuições sazonais.

	SCM_{RS}	SCM_{RS-ES}	% ¹	ES	$ES_{SCMRS-ES}$	% ²	MA_{ES}	$MA_{ES-SCMRS-ES}$	% ³
JFM	179	10	5,6%	50	14	28,0%	63	20	31,7%
AMJ	150	14	9,3%	45	21	46,7%	69	32	46,4%
JAS	142	24	16,9%	65	38	58,5%	136	77	56,6%
OND	155	19	12,3%	86	38	44,2%	164	57	34,8%
TOTAL	626	67	10,7%	246	111	45,1%	432	160	37,0%

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

² porcentagem de $ES_{SCMRS-ES}$ em relação aos ES.

³ porcentagem de $MA_{ES-SCMRS-ES}$ em relação aos MA_{ES} .

Analisou-se também a distribuição geográfica sazonal dos municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$ no período de estudo (tab. 6, Fig.17), dividindo-se o RS em MN (norte de 30°S) e MS (sul de 30°S), 432 e 64, respectivamente (FEE, 2011).

Pode-se notar na tab. 6 que dos 160 municípios do RS que foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, entre 2004 e 2008, 135 estavam localizadas na MN (84,4 % das 160 municípios afetados pelos 111 $ES_{SCMRS-ES}$) e 25 na MS (15,6 % dos 160 municípios afetados pelos 111 $ES_{SCMRS-ES}$).

Tabela 6 – Número de municípios da Metade Norte (MN) e Sul (MS) do RS atingidos por Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008.

Trimestres	Municípios MN	Municípios MS	Municípios RS
JFM	14	6	20
AMJ	25	7	32
JAS	64	13	77
OND	53	4	57
TOTAL*	135	25	160

* Como no período de estudo, 22 municípios foram atingidos por ES_{SCMRS-ES} em dois trimestres distintos sendo contabilizadas 2 vezes, e 2 municípios foram atingidos por ES_{SCMRS-ES} em 3 trimestres diferentes, sendo contabilizadas 3 vezes, a soma dos municípios atingidos na MN é 135, na MS é 25 e o total é 160 e não 156, 30 e 186, respectivamente.

Vale lembrar que dos 276 municípios do RS que registraram a ocorrência de ES, entre 2004 e 2008, 235 (85,2% das 276 municípios) estavam situadas na MN e 41 (14,8 % das 276 municípios) na MS. Logo, municípios da MN que foram atingidos por ES_{SCMRS-ES} (135 municípios) representaram 57,5% das 235 municípios do RS que registraram a ocorrência de ES, entre 2004 e 2008. Por outro lado, a participação dos municípios da MS que foram atingidos por ES_{SCMRS-ES} (25 municípios) representaram 61% dos 41 municípios do RS que registraram a ocorrência de ES, entre 2004 e 2008.

A análise sazonal mostra que em JFM (tab. 6), os ES_{SCMRS-ES} atingiram o menor número de municípios, 14 na MN (que representam 10,4 % dos 135 municípios da MN atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008) e 6 na MS (que representam 24 % das 25 municípios da MS atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008). Neste trimestre, os municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES} estiveram mais concentrados no nordeste do Estado (Fig. 17a).

Em AMJ (tab.6), 25 municípios do RS foram atingidos por ES_{SCMRS-ES} na MN (~18,5 % das 135 municípios da MN atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008) e 7 na MS (~28 % das 25 municípios da MS atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008). A região mais atingida neste trimestre se reposicionou para o Planalto Meridional (Figs. 1b e 17b).

Em JAS, ocorreu o maior número de municípios atingidos por ES_{SCMRS-ES}, em ambas as regiões do Estado (tab. 6). Na MN do RS 64 municípios foram atingidos (~ 57% das 135 municípios da MN atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004 e 2008) e na MS foram 13 (~ 52 % das 25 municípios da MS atingidos por ES_{SCMRS-ES}, entre 2004

e 2008). Neste trimestre a região mais atingida localizou-se principalmente a noroeste da Lagoa dos Patos (Figs. 1b e 17c) e extremo norte do Estado.

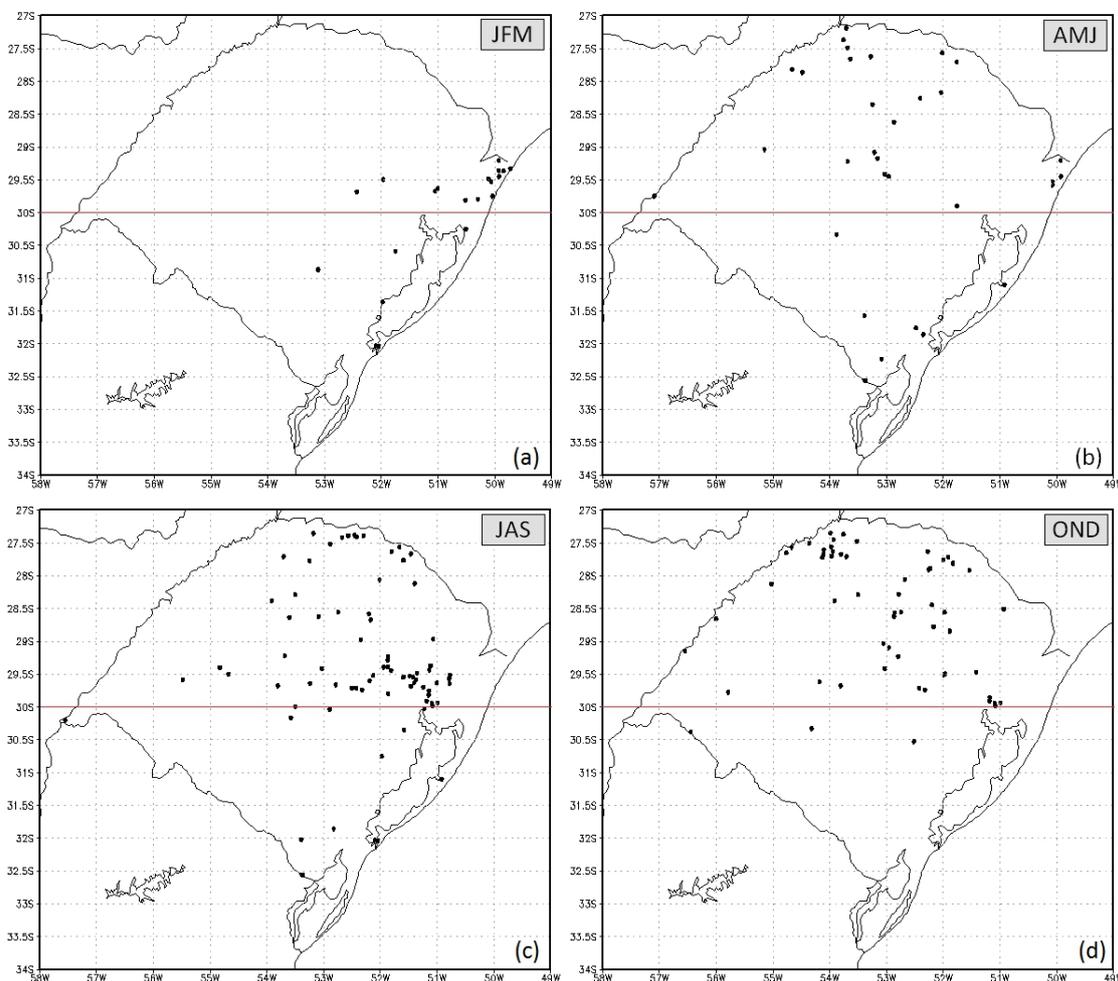


Figura 17 – Distribuição geográfica sazonal dos municípios atingidos por Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).

Em OND, foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ 53 municípios na MN do RS (~ 39,3 % das 135 municípios da MN atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, entre 2004 e 2008) e 4 municípios na MS (~ 28 % das 25 municípios da MS atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, entre 2004 e 2008). Observou-se que OND apresentou duas regiões de maior ocorrência de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, ambas sobre o planalto do Estado, porém, um mais à leste próximo à serra gaúcha e outra no extremo norte do Estado (Fig. 17d).

Pode-se explicar o menor número de municípios afetados por $ES_{SCMRS-ES}$ em JFM devido ao fato de que neste trimestre os SCM_{RS-ES} na média foram menores e duraram menos (tab. 3), ou seja, atingiram menos municípios e não atuaram por tanto tempo a ponto de causarem condições meteorológicas extremas. Em AMJ, apesar da grande duração dos SCM_{RS-ES} , estes cobriram área menor do que os ocorridos em JAS (tab. 3), razão pela qual houve maior número municípios afetados por $ES_{SCMRS-ES}$ em JAS do que em AMJ.

Outra observação interessante é que em todos os trimestres foi verificado maior número de municípios afetados por $ES_{SCMRS-ES}$ na MN do RS. Isto é, municípios da MN atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ corresponderam a 70% em JFM, 78,1% em AMJ, 83,3% em JAS e 93 % em OND. A maior concentração de municípios na MN do Estado (432 ~ 87,1% do total de municípios do RS) faz com que seja esperado que a maioria dos municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ se localize também nessa região. Outro fator que pode influenciar a ocorrência de maior número de municípios atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$ nessa porção do Estado é a sua elevada altitude média quando comparada à MS (Fig. 1). Bryant (1991) menciona que o relevo pode contribuir significativamente na intensificação dos ventos, propiciando, portanto, maiores condições de vendaval. Segundo Viana et al. (2009b), a enxurrada está mais estritamente ligada à relevos acidentados.

4.3.2 Número de municípios atingidos por cada um dos tipo de ES gerado por SCM_{RS-ES}

Na sequência foi analisada a distribuição sazonal dos municípios atingidos pelos diferentes tipos de $ES_{SCMRS-ES}$ entre 2004 e 2008 (Fig. 18). Analisando-se sazonalmente a relação entre os tipos de $ES_{SCMRS-ES}$ e o número de municípios afetados por estes (Fig. 18), nota-se que os $ES_{SCMRS-ES}$ que atingiram o maior número de municípios no período de estudo foram granizo e vendaval.

Em JFM (Fig. 18a) o $ES_{SCMRS-ES}$ que atingiu o maior número de municípios do RS foi do tipo vendaval. Este ES atingiu 8 municípios o que corresponde a 40 % das 20 municípios do RS atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre.

Em AMJ (Fig. 18b) os $ES_{SCMRS-ES}$ que atingiram o maior número de municípios do RS foram do tipo granizo (atingiu 11 municípios que correspondem a 34,4 % dos 32 municípios do RS foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre) e

vendaval (atingiu 9 municípios que correspondem a 28,1 % dos 32 municípios do RS foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre).

Em JAS (Fig. 18c), os $ES_{SCMRS-ES}$ que atingiram o maior número de municípios do RS foram do tipo granizo (atingiu 30 municípios que correspondem a 39 % dos 77 municípios do RS foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre) e vendaval (atingiu 24 municípios que correspondem a 31,2 % dos 77 municípios do RS foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre).

Em OND (Fig. 18d), vendaval foi o tipo de $ES_{SCMRS-ES}$ que atingiu o maior número de municípios do RS, 25 municípios que representam a 43,9 % dos 57 municípios do RS foram atingidos por $ES_{SCMRS-ES}$, neste trimestre.

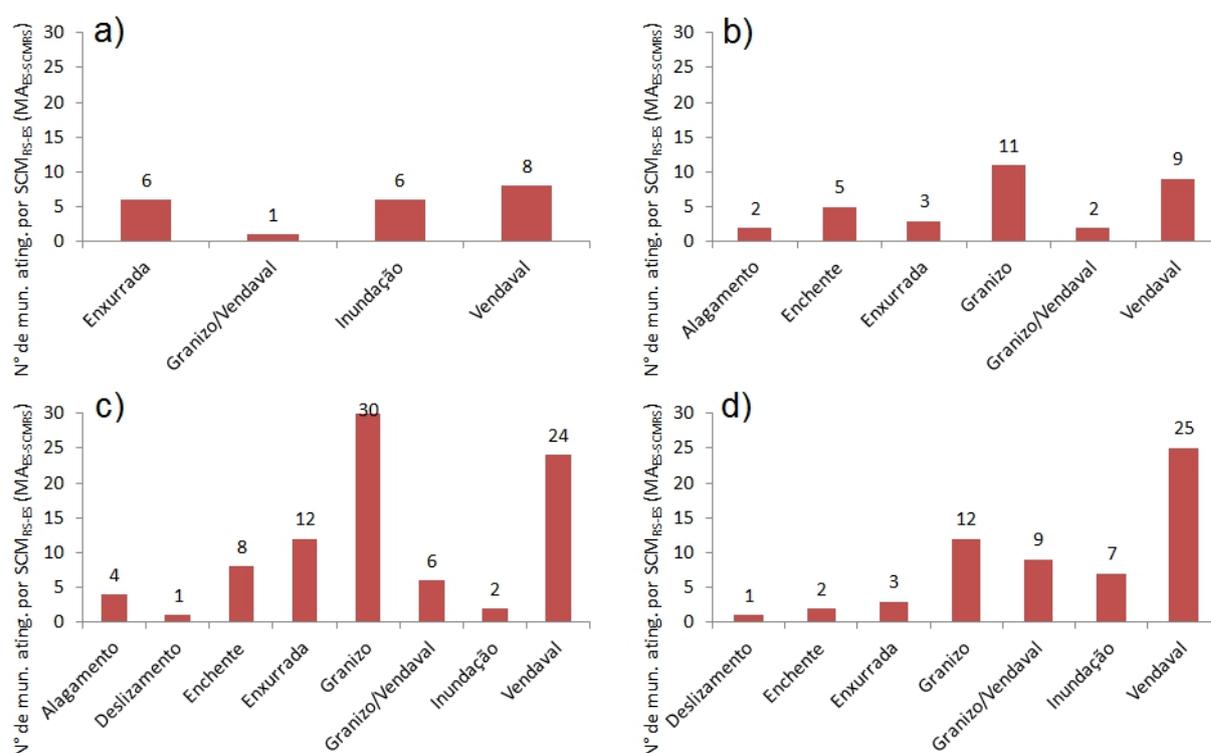


Figura 18 – Distribuição sazonal dos municípios atingidos pelos diferentes tipos de Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS, 2004 e 2008. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).

Justifica-se o maior número de municípios atingidos por granizo e vendaval, pelo fato de esses $ES_{SCMRS-ES}$ terem sido os mais freqüentes no período de estudo, conforme mostra a tab. 4. Como foi discutido anteriormente, no item 4.3.1, existe uma relação direta entre número de $ES_{SCMRS-ES}$ e número de municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$, por essa razão era esperado que granizo e vendaval, por serem

os $ES_{SCMRS-ES}$ mais frequentes, fossem os que atingissem o maior número de municípios.

Cabe ressaltar que uma mesma cidade pode ter sido atingida por mais de um tipo de $ES_{SCMRS-ES}$ no mesmo trimestre, por isso os totais trimestrais na Fig. 16 podem não equivaler a soma dos diferentes tipos de $ES_{SCMRS-ES}$ em cada trimestre na Fig. 18.

Conclusão

A distribuição sazonal dos SCM (cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal) que atingiram o RS e que causaram ES (SCM_{RS-ES}), dos ES gerados por estes sistemas ($ES_{SCMRS-ES}$), e dos municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$ no período de 2004 a 2008, foi determinada e analisada.

Pode-se concluir para o período de estudo que:

- i) a maioria dos SCM_{RS-ES} ocorreu nos períodos frios do ano (abril a setembro), sendo estes mais frequentes em JAS;
- ii) maiores SCM_{RS-ES} tiveram maior duração em todos os trimestres;
- iii) as trajetórias médias preferenciais dos SCM_{RS-ES} tiveram predomínio de deslocamento zonal (de oeste para leste);
- iv) vendaval e granizo foram os tipos de $ES_{SCMRS-ES}$ mais frequentes;
- v) JAS foi o trimestre com a maior diversidade de $ES_{SCMRS-ES}$;
- vi) houve relação direta entre número de SCM_{RS-ES} , número de $ES_{SCMRS-ES}$ e número de municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$;
- vii) o tamanho dos SCM_{RS-ES} teve forte influência no número de municípios atingidos;
- viii) a maioria das cidades afetadas por $ES_{SCMRS-ES}$ estava localizada na MN do Estado;
- ix) 10,7% dos SCM_{RS} geraram ES;
- x) 45,3% dos ES registrados pela Defesa Civil do RS foram gerados pelos SCM_{RS} ;
- xi) 32,3% dos municípios do RS foram atingidas por $ES_{SCMRS-ES}$.

As diferenças sazonais das características dos SCM_{RS-ES} , dos tipos e distribuição dos $ES_{SCMRS-ES}$, bem como a distribuição e localização geográfica dos municípios atingidos pelos $ES_{SCMRS-ES}$ foram discutidas neste trabalho com o intuito de se buscar um melhor entendimento sobre a relação dos SCM_{RS-ES} com condições

ambientais que são favoráveis ao seu desenvolvimento, tais como, condições sinóticas de grande escala, influência da topografia, processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem em suas proximidades.

As informações geradas por este estudo acrescentam um maior conhecimento acerca dos SCM atuantes no RS, reforçando sua relação com os ES. Isso sinaliza para a grande importância de se realizar estudos mais aprofundados sobre este tema para o Estado, uma vez que este é frequentemente afetado por ES que causam quebras de safra e transtornos no meio urbano. Portanto, sugere-se estender o período de estudo a fim de se ter informações ainda mais representativas para essa região de estudo.

O RS tem sua economia em grande parte voltada para a agricultura, campo que é diretamente afetado pelo tempo e por consequência pelos ES. Por esta razão estudos visando analisar os SCM com duração inferior a 6 horas podem ser tema de estudos futuros. Apesar de ser de curtíssima duração, esse tipo de SCM também pode gerar ES, tais como granizo e enxurrada (precipitação intensa e concentrada).

Outro estudo que pode ser realizado é com relação à análise específica de cada tipo de ES, podendo-se fazer uma comparação entre eles, observando se existe um comportamento padrão ou único para cada um deles. Pode-se também analisar outras características físicas, tais como excentricidade, temperatura de brilho no topo das nuvens, taxa de expansão dos SCM que geram os ES.

Referências

- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v.47, p.107 – 124, 2002.
- ALVES, M.A.; CAMPOS, C.R.J. Análise da ocorrência diária de eventos severos no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2009. In: XX Congresso de Iniciação Científica e III Mostra Científica UFPel. 8 a 11 de novembro de 2011.
- ALVES, M.A.; CAMPOS, C.R.J.; SANTOS, A.P.M.; HÄRTER, F.P.; CARVALHO, J.C. Cidades do Rio Grande do Sul – Brasil atingidas por eventos severos em 2009. In: VI Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 29 de noviembre al 2 de diciembre del 2011.
- ANDRADE, G. O. **Os climas**. In: Azevedo, A. (org.) Brasil, a terra e o homem. 2º ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972. v.1, p. 397-462.
- ANTUNES, Celso. **Geografia e participação: regiões do Brasil** (em português). São Paulo: Scipione, 1996. p. 90. vol. 2.
- ARAUJO, S.M.B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul**. 2005. 54f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ASHLEY, W.S.; MOTE, T.L.; DIXON, P.G.; TROTTER, S.L.; POWELL, E.J.; DURKEE, J.D.; GRUNDSTEIN, A.J. Distribution of Mesoscale Convective Complex Rainfall in the United States. **Monthly Weather Review**, v.131, p. 3003-3017, 2003.
- 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: 9 mai. 2012.
- ÁVILA, A. M. H.; BERLATO, M.; SILVA, J. B.; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 149-154, 1996.

AYSAN, Y.; OLIVER, P. **Housing and Culture after Earthquakes**. Oxford Polytechnic, Oxford, 1987. Earthquakes. Oxford Polytechnic, Oxford, 1987. BACELAR, L.C.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Rainfall associated with Mesoscale Convective Systems which affected Rio Grande do Sul State in July, August and September of 2006. In: 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011) , 3 - 7 October 2011a, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain. Disponível em: <<http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/abstracts/15.pdf>> Acesso em: 25 mai. 2012.

BACELAR, L.C; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Mesoscale convective systems related to the occurrence of severe weather events in Rio Grande do Sul-Brazil, in JFM and JAS from 2004 to 2008 In: 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011) , 3 - 7 October 2011b, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain. Disponível em: <<http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/abstracts/178.pdf> > Acesso em: 23 mai. 2012.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; PUCHALSKI, L. Precipitação pluvial normal e riscos de ocorrência de deficiência pluviométrica e deficiência hídrica no Rio Grande do Sul: ênfase para a metade sul do Estado. In: SEMINÁRIO SOBRE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRUTÍFERAS 68, 2000, Pelotas: **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000, p.67-81.

BONNER, W.D. Case Study of Thunderstorm Activity in Relation to the Low Level Jet. **Monthly Weather Review**, v.94, n.3, p. 167–178, 1966.

BRYANT, E. A. **Natural hazards**. Cambridge University Press, Cambridge. 288 p., 1991.

CAMPOS, C.R.J.; CHONG, M. Sistema convectivo de mesoescala observado no dia 12 de dezembro de 1992 durante TOGA-COARE: estrutura cinemática e transporte de quantidade de movimento. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.17, n.2-3, p.175-185, 1999.

CAMPOS, C.R.J; LIMA, E.S.; PINTO, L.B. Complexo Convectivo de mesoescala Observado em 27/11/2002 no Nordeste da Argentina. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v.31, n.2, p.23-32, 2008.

CAMPOS, C. R. J. ; EICHHOLZ, C.W.; SILVA, M.V. Distribuição sazonal dos SCM que atingiram o sudeste da América do Sul em 2006. In: V Congresso Cubano de Meteorología, 2009, Habana. V Congresso Cubano de Meteorología. Habana v. 1. p. 34-40, 2009.

CAMPOS, C. R. J. ; Silva, M.V. . **Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Rio Grande do Sul** em 2006. Revista Brasileira de Geofísica (Impresso), v. 28, p. 121-136, 2010.

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

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

CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em Defesa Civil**. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Departamento de Defesa Civil, 133 p., 1999.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 174 p., 2003.

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...** Welington, New Zealand: American Meterological Society, 2003. CD-ROM.

CEDEC/RS. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>> Acesso em: 9 mai. 2012.

CHONG, M.; AMAYENC, P.; SCIALOM, G.; TESTUD, J. A tropical squall line during the COPT81 experiment in West Africa. Part 1: kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data. **Monthly Weather Review**, v.115, p.670-694, 1987.

CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática- INPE/CPTEC, 2007. São José dos Campos - SP, Brasil. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 23 abr. 2012.

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

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

COTTON, R. W.; ANTHES, B.R. **Storm and cloud dynamics**. Academic Press, Inc. International Geophysics Series, v. 44, 1989.

CPC/NOAA - Climate Prediction Center. 2011. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 20 mar. 2012.

CUNY C.F. **Disasters and Development**. Oxford University Press. New York, Oxford, 1983.

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

EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C. R. J. ; RASERA, G. Características físicas dos SCM que afetaram o RS em 2006. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém do Pará. Amazônia e o Clima Global. Rio de Janeiro : SBMet, 2010a. v. 1. p. 83-90.

EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G. Precipitação associada aos SCM que afetaram o RS em novembro de 2006. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém do Pará. Amazônia e o Clima Global. Rio de Janeiro: SBMet, 2010b. v. 1. p. 53-65.

EICHHOLZ, C. W. **Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o RS no período de 2004 a 2008**. 2011, 102p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C.R.J. Distribuição de eventos extremos de precipitação no estado do Rio Grande do Sul. In: VI Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 29 de noviembre al 2 de diciembre del 2011a.

EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C. R. J. Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul. In: VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia. 2011b. Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wpcontent/uploads/M%C3%93DULO_ANALIS.pdf> Acesso em: 19 abr. 2012.

EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J. Eventos extremos de precipitação: caso do dia 07/05/2004. In: XIII ENPOS-Encontro de Pós-graduação da UFPel. Editora e Gráfica da UFPel, 23 a 24 novembro de 2011c. CDROM.

FEE - Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_estado.php>. Acesso em: 25 ago. 2011.

FERREIRA, J. H. D.; NERY, J. T. Análise estatística da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis – SC. **Anais do...** Florianópolis – SC, 1999.

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

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

FONTANA, D.C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.135-145, 2002.

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

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

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

GLICKMAN, T. S. **Glossary of meteorology**. Boston: American Meteorological Society, 855 p., 2000.

GRIMM, A. **Meteorologia Básica - Cap. 6: Condensação, nuvens e precipitação**, set. de 1999. Notas de Aula. Disponível em: <
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-3-1.html>>. Acesso em: 6fev2012.

GRIMM, A. M. ; PSCHIEDT, I. . **Padrões atmosféricos associados a eventos severos de precipitação no Sul do Brasil durante El Niño, La Niña e anos neutros**. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

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

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

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

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

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 48 p. (Relatório n. 1080), 1976.

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

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

IPAGRO – Instituto de Pesquisas Agronômicas. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, p.102, 1989.

JACOBSEN, L. O. ; BRAUN, S. . Monitoramento de tempestades no sul do Brasil: caso de um sistema convectivo de mesoescala na zona sul do Rio Grande do Sul. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

JIRAK, I. L.; COTTON, W. R.. Environmental precursors to mesoscale convective system development. CONFERENCE ON AVIATION 11, RANGE, AND AEROSPACE AND THE 22ND CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS OPENING REMARKS, 2004, Hyannis, MA, USA. Trabalhos online.... Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf> >. Acesso em: 20 julho 2008.

KNIGHT, C. A.; KNIGHT, N. C. Hailstorms. In: DOSWELL III, C. A. **Severe convective storms**. Boston: American Meteorological Society, 2001. Meteorological Monographs, v. 28, n. 50, p.223 – 249, 2001.

KOBIYAMA, M.; et al. **Prevenção de desastres: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

KULICOV, V. A.; RUDNEV, G. V. **Agrometeorologia tropical**. Havana: Científico Técnica, 1980.

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

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

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

LIMA, E.C.S. **Análise de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) observado na região norte da Argentina no dia 27 de novembro de 2002: Um**

estudo de caso utilizando o modelo RAMS. 2004. 73p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MARQUES, J. R. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos.** 2005. 209f. Tese (Doutorado-Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MASKREY, A. El Riesgo. Capitulo 1 en: **Navegando entre Brumas. La aplicación de los Sistemas de Información geográfica al análisis de riesgos em América Latina.** Andrew Maskrey (Editor) ITDG/LA RED. Colombia, 1998. Disponível em <<http://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/index.html>>. Acesso em: 25 mai. 2012.

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

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

MATZENAUER R.; VIANA D. R.; BUENO A. C.; MALUF J. R. T.; CARPENEDO C. B. Regime Anual e Estacional De Chuvas No Rio Grande Do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju-SE, 2007. **Anais do...**, Aracaju-SE, 2007.

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

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M. I. C.; GARCEZ, J. R. B. Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: **Normais agroclimáticas**. Pelotas: 1971. 80p. (Circular nº50).

MOTA, G. V. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the Tropical Rainfall Measuring Mission over South America**. 2003, 215 p. Ph.D. dissertation, University of Utah, Salt Lake City.

NETA, L.C. (IC); SILVA, M.V. (M); CAMPOS, C.R.J. Análise do SCM que atingiu o Rio Grande do Sul em 12/12/2010. In: IV Encontro Sulbrasileiro de Meteorologia, 2011, Pelotas. IV Encontro Sulbrasileiro de Meteorologia, 2011. v. 1. p. 103-112.

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

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

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2.ed,1989. 421p.

ORLANSKI, I. **A rational subdivision of scales for atmospheric processes**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 56(5): 527-534,1975.

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

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.

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

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

PUCHALSKI, L. A. **Efeito associado ao El niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Rio Grande do Sul**. 2000. 100f. Dissertação (Mestrado Agrometeorologia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RASERA, G.; EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C.R.J. Formação e deslocamento dos SCM que afetaram o RS em 2006. In: XIX CIC, XII ENPOS e II Mostra científica, 2010, Pelotas. XIX CIC, XII ENPOS e II Mostra científica. Pelotas : Editora e Gráfica da UFPel, 2010. v. 1. p. 34-39.

RASERA, G.; CAMPOS, C. R. J. SCM que causaram eventos severos no RS em 2005. In: XIII ENPOS-Encontro de Pós-graduação da UFPel. Editora e Gráfica da UFPel, 23 a 24 novembro de 2011. CDROM

RASERA, G.; EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C. R. J. ; VARGAS JR., V.R.. Precipitação associada à SCM que afetaram o Rio Grande do Sul em OND de 2006. In: VIII Convención Internacional sobre Medio ambiente y desarrollo, 2011a, Habana. II Congreso sobre cambio climatico. Habana-Cuba: Agencia de Medio Ambiente, 4 a 8 de Julio de 2011. CC-036. Disponível em: <<http://www.cubambiente.com/memorias/2011/IICONGRESOSOBRECAMBIOCLIMATICO.pdf>> Acesso em: 27 nov. 2011.

RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J.; SILVA, M.V.. Precipitação associada à SCM que afetaram o RS em JFM de 2006. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR, 2011b, Curitiba-PR. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. CDROM.

RASERA, G.; CAMPOS, C. R. J.; VARGAS Jr., V.R.; EICHHOLZ, C.W.. Eventos de vendaval que afetaram o RS entre 2004 e 2008. In: VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia. 2011c.

RASERA, G.; CAMPOS, C.R.J.; EICHHOLZ, C. W.. Análise sazonal dos SCM que afetaram o RS em 2004 e que causaram eventos severos. In: VI Congresso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 29 de noviembre al 2 de diciembre Del 2011d.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul**/Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Porto Alegre, 1994, 2 v.

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

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

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

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

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

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

SCAGLIONI, T. P.; SARAIVA, J. M. B. Climatologia dos sistemas precipitantes freqüentes no inverno, atuantes no RS. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA,14. 2005, Campinas-SP. **Anais do...** Campinas-SP,2005.

SELBY, M.J. **Hillslope materials and processes**. 2ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 451p., 1993.

SILVA, M.V. **Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006: Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Estado em 2006** . 2010, 120p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - PPGMet-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SILVA, M.V. ; CAMPOS, C. R. J. . **Anomalias decadais do regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006.** Ciência e Natura, 2011.

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

SILVA DIAS, M. A. F. **Complexos convectivos de mesoescala.** 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.** 2004, 186p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), INPE- São José dos Campos.

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

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

STENSRUD, D. J.; FRITSCH, J.M. Mesoscale convective systems in weakly forced large-scale environments. Part I: Observations. **Mon. Wea. Rev.**, 121, 3326-3344, 1993.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTON, C. W.; MATTER, J. R. **The water balance.** Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Tecnology, p. 104, 1955.

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

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

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva. Fundamentos e Aplicações Brasileiras.** 1° ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1983. 374p.

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

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: VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia. 2011a. Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wp-content/uploads/M%C3%93DULO_ANAIS.pdf> Acesso em: 20 jan. 2012.

VARGAS Jr., V.R.; CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C.W.; RASERA, G. Precipitação associada à SCM que afetaram o RS em AMJ de 2006. In: IV Encontro Sulbrasileiro de Meteorologia, 2011, Pelotas. IV Encontro Sulbrasileiro de Meteorologia, 2011b. v. 1. p. 85-95.

VARGAS Jr., V.R.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Análise da ocorrência de enchente no RS entre 2004 e 2008. In: VI Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 29 de noviembre al 2 de diciembre del 2011c.

VARGAS Jr., V.R.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C.R.J. Análise da ocorrência de granizo no RS de 2004 a 2008. In: XX Congresso de Iniciação Científica e III Mostra Científica UFPel. 8 a 11 de novembro de 2011d.

VELASCO, I.; FRITSCH, J.M. 1987. 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, 91-105, 2009a.

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

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora da UFV. 2000. p. 448.

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

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

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

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

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

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

WIJKMAN, A.; TIMBERLAKE, L. **Desastres Naturales ¿Fuerza Mayor u Obra del Hombre?** Earthscan, 1985.

WILCHES-CHAUX, G. La Vulnerabilidad Global. Capitulo 2 en: **Los Desastres no son Naturales**. Andrew Maskrey (Compilador). Colombia, 1993. Disponível em <<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/>>. Acesso em 7 mai. 2012.

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

ZIPSER, E. J.; LIU, C.; DCECIL, D.J.; NESBITT, S.W.; YORTY, D.P. Where are the Most Intense Thunderstorms on Earth? **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 87, p. 1057–1071., 2006.