



Deslocamento dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que atingiram o Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008 e geraram granizo

Bruno Maon Fernandes 1
Cláudia Rejane Jacondino de Campos 1

¹ Universidade Federal de Pelotas
Av. Eng. Ildefonso Simões Lopes, 2751
96001-970 - Pelotas - RS, Brasil
bruno.maon@gmail.com
cjc campos@ufpel.edu.br

Resumo. O Rio Grande do Sul (RS), dada a sua localização numa área subtropical, está sujeito à atuação de diversos fenômenos meteorológicos capazes de gerar eventos severos (ES). Dentre estes fenômenos destacam-se os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), definidos como aglomerados de nuvens convectivas. Os SCM são responsáveis pela maior parte dos ES ocorridos no RS, dos quais o granizo é o mais destrutivo, uma vez que a economia do estado é voltada à agroindústria e este tipo de evento severo causa impactos diretos no setor agrícola. Por isso este trabalho teve como objetivo analisar os deslocamentos dos 34 SCM que atingiram o RS e geraram granizo (SCM_{GRA}) entre 2004 e 2008, a partir da distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} , discriminados de acordo com sua origem: continental ou oceânico, diurno ou noturno, frontal e não-frontal. Para a seleção dos SCM_{GRA} foi utilizado o aplicativo ForTraCC (Forecasting and Tracking Active Cloud Clusters), imagens brutas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 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 30 minutos, e os registros de ES e municípios atingidos notificados no bando de dados da Defesa Civil do RS (DCRS) do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. Os resultados mostraram que os SCM_{GRA} tiveram deslocamento preferencial de oeste para leste e apresentaram pouca variabilidade sazonal. Com relação aos diferentes tipos de SCM_{GRA} também não houve variabilidade significativa no deslocamento preferencial.

Palavras-chave: Sistemas Convectivos de Mesoescala, ForTraCC, eventos severos, granizo.

Abstract. The state of Rio Grande do Sul (RS), due to its subtropical location, is under the influence of various meteorological phenomena capable of generating severe weather condition (SWC). Among these phenomena, highlight the Meso-scale Convective Systems (MCS), defined as convective cloud clusters. The MCS are responsible for the most SWC in RS, which hail the most destructive, since the state's economy is focused on agribusiness and this type of SW directly impacts the agricultural sector. Therefore, this study aimed to analyze the displacement of the 34 MCS that affected RS and caused hail (MCS_{HAIL}) between 2004 and 2008, from total and seasonal distribution of MCS_{HAIL} , differentiated according to their origin: continental or oceanic, diurnal or nocturnal and frontal or non-frontal. For the selection of MCS_{HAIL} was utilized the ForTraCC (Forecasting and Tracking Active Cloud Clusters) application, 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 30 minutes, and records of SW and municipalities affected obtained from the database of the State Civil Defense Coordination of RS (DCRS) of the period of 1/1/2004 to 12/31/2008. The results showed that the MCS_{HAIL} had preferential displacement toward east and exhibited little seasonal variability. Relative to different types of MCS_{HAIL} also there was no significant variability in the preferential displacement.

Key-words: Meso-scale Convective Systems, ForTraCC, severe weather, hail.

1. Introdução

A região Sul do Brasil, em especial o Rio Grande do Sul (RS), é influenciada por diversos fenômenos meteorológicos que atuam para a formação da precipitação, dentre os quais se destacam os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Os SCM são constituídos por aglomerados de nuvens convectivas de formas variadas, com uma área contínua de precipitação na região de atuação, podendo ser parcialmente convectiva e parcialmente estratiforme (Houze, 1993).

Os SCM ocorrem com maior frequência no período quente do ano (Dias et al., 2009) e são de particular interesse para a meteorologia devido aos impactos que causam nas regiões onde atuam, pois são geralmente acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo. São, portanto, um dos tipos de sistemas meteorológicos associados à ocorrência de desastres desencadeados por fenômenos meteorológicos severos, também conhecidos como Eventos Severos (ES).

Assim como o RS, a região do Pantanal também está na rota dos SCM. E embora ocorram anualmente com menos frequência comparado ao Sul do Brasil, o Pantanal é a região da América do Sul mais atingida por SCM durante o verão (Salio et al., 2007).

O RS, por possuir uma economia voltada à agroindústria (SPMDR, 2016), é um dos estados que mais sofre com quebra de safras causadas por ES (DCRS, 2016), e por isso é de fundamental importância o estudo de SCM que geram ES. Dentre os diferentes tipos de ES, o granizo merece destaque, pois frequentemente acompanha os SCM e é responsável por causar grandes impactos econômicos e sociais nas regiões onde atua. Além disso, este tipo de ES é um dos mais frequentes notificados pela Defesa Civil do RS (DCRS), bem como um dos mais frequentes gerados por SCM que atuam no estado (Campos; Rasera, 2014).

O granizo consiste em pedras de gelo arredondadas com diâmetro que normalmente oscila de 0,5 a 5 centímetros e podem pesar de 5 a 500 gramas. Seu desenvolvimento ocorre na parte superior de nuvens convectivas do tipo Cumulonimbus, onde as temperaturas mais baixas são encontradas, o que agregada a outros fatores, gera as condições propícias para a formação deste hidrometeoro (Marcelino et al., 2004). Tempestades de granizo podem devastar plantações inteiras, tornando as colheitas irrecuperáveis (Eden; Twist, 1997). Portanto, percebe-se a grande importância do estudo dos SCM que afetam o RS e geram granizo (SCM_{GRA}), uma vez que este tipo de ES no RS, além de ser um dos mais frequentes, ocorre em todos os períodos do ano

(Vargas Jr. et al., 2011; Campos; Rasera, 2014).

2. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os deslocamentos dos SCM_{GRA} no período de 2004 a 2008.

3. Material e Métodos

Foram utilizados dados dos SCM_{GRA} que foram selecionados por Campos e Rasera (2014) para o período de 2004 a 2008. Para selecionar os SCM_{GRA} estes autores utilizaram dados dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}), definidos como sendo aqueles SCM que atingiram em algum momento de seu ciclo de vida a grade do RS, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49° W, obtidos por Campos e Eichholz (2011); e registros de ES e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS.

Para a seleção dos SCM_{RS} entre 2004 e 2008, Campos e Eichholz (2011) utilizaram o aplicativo ForTraCC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters, Vila et al., 2008) no modo diagnóstico e como base de dados as imagens brutas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 10 e 12, no canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de 30 minutos, fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O ForTraCC é uma importante ferramenta de geotecnologia para a identificação e acompanhamento dos SCM, que fornece informações sobre as características físicas e morfológicas dos SCM identificados, durante o seu ciclo de vida utilizando imagens brutas de satélite. De todos os SCM identificados pelo ForTraCC no período de 2004 a 2008, Campos e Eichholz (2011) consideraram em seu estudo somente aqueles SCM que: i) mantiveram seu centro de massa durante todo o seu ciclo de vida abaixo de 20°S; ii) apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 horas; iii) apresentaram iniciação espontânea e dissipação normal, ou seja, tanto no momento de iniciação quanto no de dissipação não houve interação (fusão) com outros SCM, nem a separação do SCM identificado e, iv) afetaram o RS.

Para selecionar os SCM_{GRA} Campos e Rasera (2014) utilizaram os registros de granizo e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS, e observaram que dos 626 SCM_{RS} , 34 geraram granizo. Os 34 SCM_{GRA} selecionados foram classificados por Fernandes e Campos (2015) em função de sua origem: i) Continental (SCM_{GRA-C}) aqueles cuja gênese, definida por sua posição (latitude e longitude), ocorreu sobre o continente e Oceânica aqueles cuja gênese ocorreu sobre o oceano (SCM_{GRA-O}); ii) Diurno (SCM_{GRA-D}) aqueles cuja gênese ocorreu entre as 09UTC e 21UTC e Noturno (SCM_{GRA-N}) entre 21UTC e 9UTC. Para esta classificação foram utilizados os horários de nascimento (iniciação) de cada SCM_{GRA} e, iii) Frontais (SCM_{GRA-F}) e Não-Frontais (SCM_{GRA-NF}) aqueles associados ou não à incursão de sistemas frontais. Para esta classificação foram utilizadas as imagens de satélite relativas ao ciclo de vida de cada SCM_{GRA} . Após essa classificação os SCM_{GRA} foram contabilizados e separados em trimestres representando as estações do ano: período quente (JFM – Janeiro, Fevereiro, Março), período temperado frio (AMJ – Abril, Maio, Junho), período frio (JAS – Julho, Agosto, Setembro) e período temperado quente (OND – Outubro, Novembro, Dezembro).

Na sequência analisou-se o deslocamento dos SCM_{GRA} utilizando-se a posição (latitude e longitude) nos instantes de iniciação, maturação e dissipação. Os resultados foram plotados em mapas, contendo os deslocamentos individuais e também o deslocamento médio dos SCM_{GRA} por trimestre e por tipo. Além disso, os resultados foram mostrados em uma tabela separando os

deslocamentos preferenciais de cada tipo de SCM_{GRA} por quadrante (sudeste, sudoeste, nordeste e noroeste).

A mesma técnica utilizada neste estudo pode ser também aplicada ao Pantanal, modificando-se apenas as latitudes e longitudes da grade nas configurações iniciais do FORTRACC.

4. Resultados e Discussão

A análise dos resultados mostrou que 85% dos SCM_{GRA} se deslocaram para leste (**Tabela 1**), sendo para nordeste o quadrante preferencial (55%). Em relação aos seis diferentes tipos de SCM_{GRA} considerados neste estudo, cinco (SCM_{GRA-C} , SCM_{GRA-D} , SCM_{GRA-N} , SCM_{GRA-F} e SCM_{GRA-NF}) apresentaram deslocamento preferencial para leste e apenas um (SCM_{GRA-O}) para oeste. O deslocamento médio total e sazonal e os deslocamentos individuais totais e sazonais dos 34 SCM_{GRA} são apresentados na **Figura 1**, corroborando os resultados apresentados na **Tabela 1**. De maneira geral (**Figura 1a**) nota-se que o deslocamento preferencial é de oeste para leste, similar à circulação de grande escala em latitudes médias. Vários autores (Velasco, Fritsch, 1987; Guedes et al., 1994; Nicolini et al., 2002; Campos, Eichholz, 2011; Siqueira, Marques; 2008) mostram que esse deslocamento preferencial é explicado em grande parte pela incursão de SF, pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e também pelo gradiente zonal de temperatura, que geram uma circulação neste sentido. Sazonalmente, apenas JFM (**Figura 1b**) apresentou deslocamento no sentido oposto, de leste para oeste. Porém, o trimestre JFM registrou a ocorrência de apenas um SCM_{GRA} durante os cinco anos compreendidos no estudo, o que não é suficiente para se determinar um deslocamento médio. Por este motivo, na análise detalhada de deslocamento sazonal, não serão avaliados os resultados do trimestre JFM. Os demais trimestres (**Figuras 1c, 1d e 1e**) apresentaram deslocamentos preferenciais para leste, sendo que no trimestre AMJ (**Figura 1c**) o deslocamento preferencial é para sudeste, enquanto nos trimestres JAS (**Figura 1d**) e OND (**Figura 1e**) os deslocamentos preferenciais são para nordeste. O deslocamento para sudeste no trimestre AMJ pode ser explicado pela atuação de SF estacionários, conforme observado por Sakamoto (2009) num estudo sobre SCM na região subtropical da América do Sul, em que a autora observou que 42% dos sistemas que se deslocaram para leste, tinham uma componente para sul. Camargo et al. (2014) observaram que os SCM_{ES} ocorridos no trimestre

Tabela 1. Direção e quadrante médio preferencial de deslocamento total e para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008.

SCM_{GRA}	Direção de deslocamento			
	Leste - 85%		Oeste - 15%	
Total (34 casos)	NE - 55%	SE - 45%	NO - 80%	SO - 20%
Continental (31 casos)	Leste - 90%		Oeste - 10%	
	NE - 56%	SE - 44%	NO - 100%	SO - 0%
Oceânico (3 casos)	Leste - 33%		Oeste - 67%	
	NE - 0%	SE - 100%	NO - 50%	SO - 50%
Diurno (19 casos)	Leste - 84%		Oeste - 16%	
	NE - 56%	SE - 44%	NO - 100%	SO - 0%
Noturno (15 casos)	Leste - 88%		Oeste - 12%	
	NE - 47%	SE - 53%	NO - 50%	SO - 50%
Frontal (24 casos)	Leste - 87%		Oeste - 13%	
	NE - 48%	SE - 52%	NO - 67%	SO - 33%
Não-frontal (10 casos)	Leste - 80%		Oeste - 20%	
	NE - 75%	SE - 25%	NO - 100%	SO - 0%

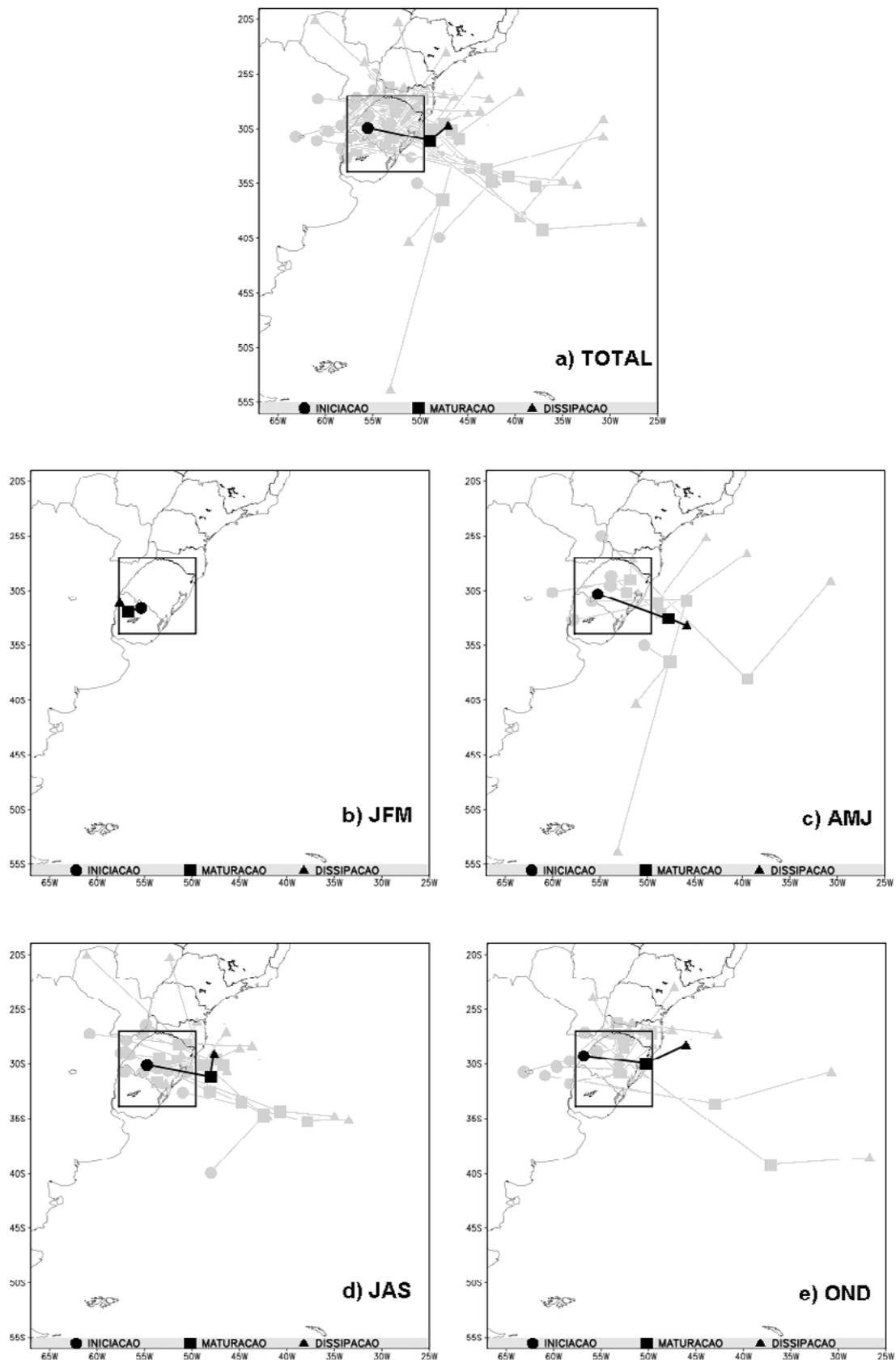


Figura 1. Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos SCM_{GRA} no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada SCM_{GRA} (linhas cinzas). a) Total, b) JFM, c) AMJ, d) JAS e e) OND.

AMJ também apresentaram deslocamento médio para sudeste, o que segundo os autores ocorreu devido a incursão de SF estacionários. Nos trimestres JAS e OND, segundo Rasera (2013), os SCM podem ser modulados pela incursão de SF não estacionários (JAS) ou pelo aquecimento diurno (OND), o que explicaria o deslocamento preferencial para nordeste nestes períodos. tipo de SCM se deslocar para nordeste em função da interação com os SF, que apresentam deslocamento preferencial neste mesmo sentido na AS. Uma possível explicação para o movimento em sentido contrário ao relatado por outros autores é a presença do JBN. Este fenômeno, comum em casos de SCM_{GRA} , transporta ar quente e úmido do norte do Brasil em direção ao sudeste da AS na direção noroeste-sudeste (Marengo et al., 2004; Salio et al., 2007; Santos et al., 2008).

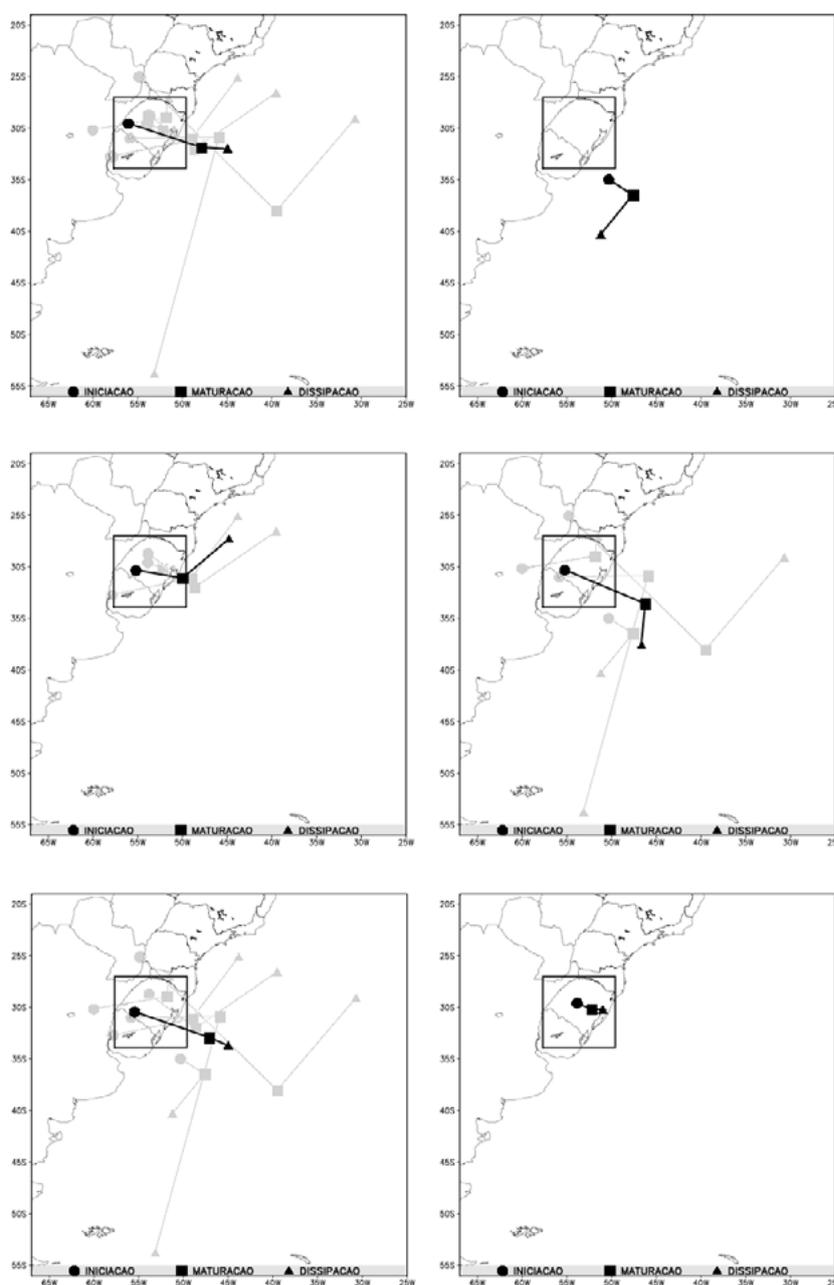


Figura 2. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre AMJ. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e) SCM_{GRA-F} e f) SCM_{GRA-NF} .

A **Figura 3** mostra os deslocamentos preferenciais dos diferentes tipos de SCM_{GRA} durante o trimestre JAS. Nota-se muita semelhança entre todos os tipos exceto o SCM_{GRA-O} (**Figura 3b**), que apresentou um comportamento diferente dos demais. Os SCM_{GRA-C} (**Figura 3a**), SCM_{GRA-D} (**Figura 3c**), SCM_{GRA-N} (**Figura 3d**) e SCM_{GRA-F} (**Figura 3e**) apresentaram deslocamento preferencial para leste, com predomínio da componente zonal nos deslocamentos médios. Os SCM_{GRA-O} , embora também tenham apresentado deslocamento preferencial para leste, mostraram-se com predomínio da componente meridional no deslocamento médio. Sakamoto (2009) num estudo sobre SCM de origem continental e oceânica na AS, observou que embora o JBN fosse de suma importância para a formação e deslocamento dos SCM de origem continental, ao mesmo tempo era pouco relevante para os SCM de origem oceânica, o que explica o resultado apresentado neste estudo. Não houve a ocorrência de SCM_{GRA-NF} neste trimestre.

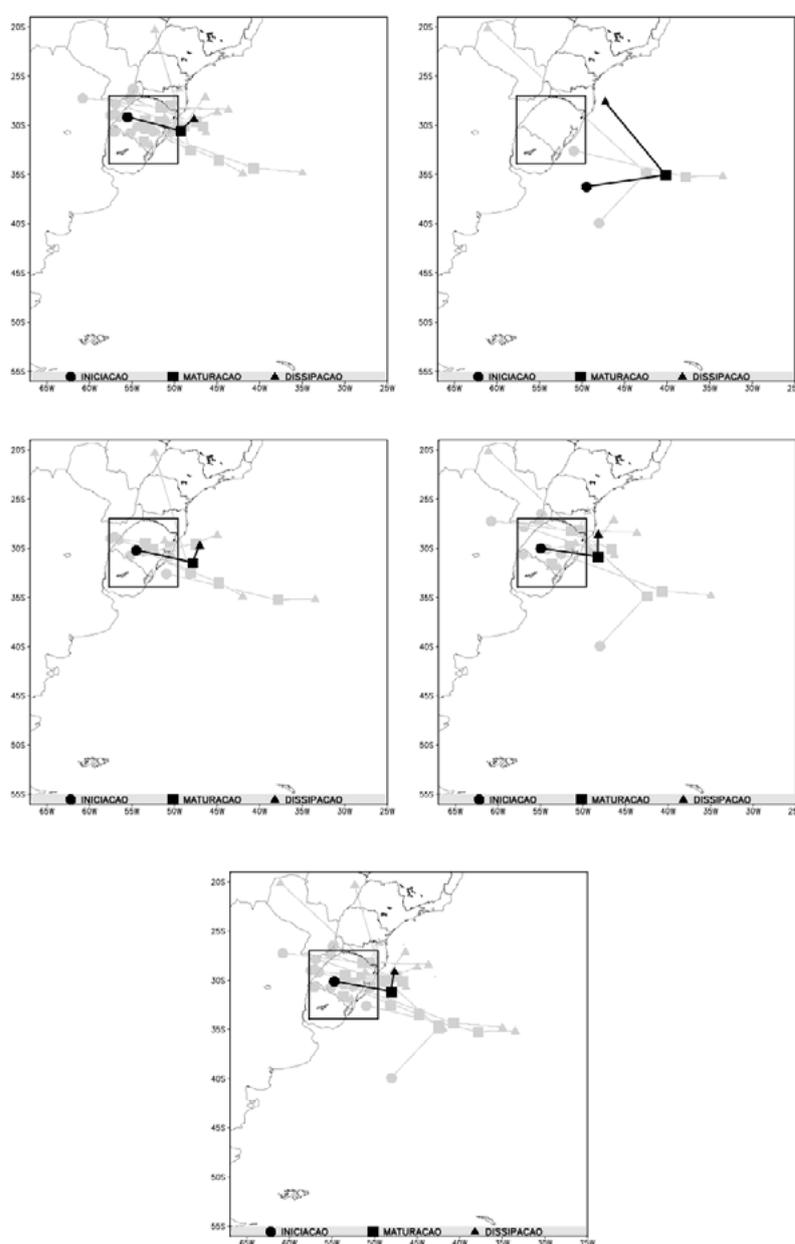


Figura 3. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre JAS. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e e) SCM_{GRA-F} .

Para o trimestre OND os resultados dos deslocamentos médios e individuais para cada tipo de SCM_{GRA} são apresentados na **Figura 4**. Novamente os deslocamentos são semelhantes para todos os tipos, sendo preferencialmente para o quadrante nordeste em todos os casos exceto para os SCM_{GRA-F} (**Figura 4d**), que apresentaram deslocamento médio para o quadrante sudeste. O gradiente térmico zonal é mais intenso nesta época do ano, quando o continente apresenta aquecimento enquanto o oceano e áreas adjacentes permanecem com temperaturas mais baixas, fator que segundo diversos autores (Guedes et al., 1994; Nicolini et al., 2002; Siqueira, Marques; 2008) favorece o deslocamento dos SCM para leste. Não houve ocorrência de SCM_{GRA-O} neste trimestre.

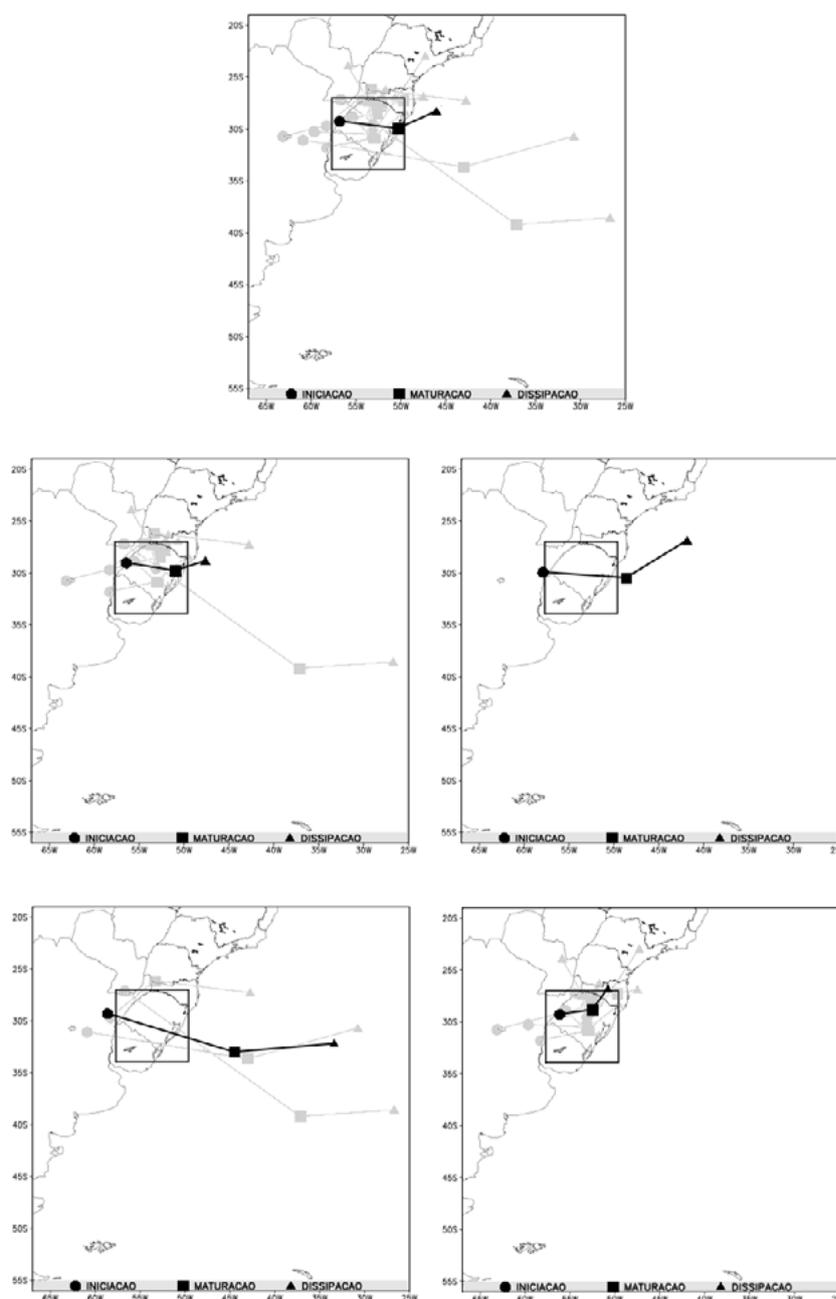


Figura 4. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre OND. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-D} , c) SCM_{GRA-N} , d) SCM_{GRA-F} e e) SCM_{GRA-NF}

5. Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram que a maioria dos SCM_{GRA} se deslocou para leste. Dos seis diferentes tipos de SCM_{GRA} considerados neste estudo (continental, oceânico, diurno, noturno, frontal e não-frontal), apenas os oceânicos apresentaram deslocamento preferencial para oeste. Com relação à distribuição sazonal dos deslocamentos médios preferenciais, apenas o trimestre JFM apresentou deslocamento para oeste, porém trata-se de um trimestre em que houve a ocorrência de apenas um SCM_{GRA} durante os cinco anos abordados no estudo. Nos demais trimestres o deslocamento preferencial foi para leste.

6. Referências

- Camargo, P. F. J.; Alves, M. A. A.; Campos, C. R. J. Trajetória e forma dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o RS e dos que geraram eventos severos entre 2004 e 2008. In: Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, 23.2014. **Anais...** Pelotas/RS, 2014.
- Campos, C. R. J.; Eichholz, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, p. 331-345, 2011.
- Campos, C. R. J.; Maria, D. M. Ocorrência de granizo associada a um SCM que afetou o Rio Grande do Sul em agosto de 2006. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 46-60, 2014.
- Campos, C. R. J.; Rasesa, G. Análise sazonal dos SCM que geraram eventos severos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 481-491, 2014.
- DCRS – Defesa Civil do RS. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- Dias, M. A. F. S.; Rozante, J. R.; Machado, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. J.; Dias, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 464 p.
- Eden, P.; Twist, C. **Gran Enciclopedia de Bolsillo: Tiempo y Clima**. Barcelona: Editora Molino. 1997. p. 104-105.
- Fernandes, B. M.; Campos, C. R. J. Origem dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram granizo no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. In: Encontro de Pós-Graduação UFPel, 17.2015. **Anais...** Pelotas/RS, 2015.
- 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. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8.1994. **Anais...** Belo Horizonte/MG, 1994. v. 2, p. 77-80.
- Houze, R. A. Mesoscale convective systems. In: Houze, R. A. **Cloud dynamics**. Academic Press, Inc, 1993, v. 53, p. 334-404.
- Marcelino, I. P. V. O.; Mendonça, M.; Rudorff, F. M. Ocorrências de granizo no estado de Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1.2004, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis, 2004. CDROM.
- 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.
- Nicolini, M.; Saulo, A. C.; Torres, J. C.; Salio, P. Enhanced precipitation over Southeastern South America related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorological Special Issue for the South American Monsoon System**, v. 27, p. 59-69, 2002.
- Rasesa, G. **Eventos Severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado. 2013.
- Sakamoto, M. S. **Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX**. 2009, 243p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – USP, São Paulo. 2009.
- 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.

Siqueira, J. R.; Marques, V. S. Occurrence frequencies and trajectories of Mesoscale Convective Systems over southeast Brazil related to cold frontal and non-frontal incursions. **Australian Meteorological Magazine**, v. 57, n. 4, p. 345-357, 2008.

SPMDR - Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional. Disponível em: <<http://planejamento.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

Vargas Jr., V. R.; Rasesa, G.; Eichholz, C. W.; Campos, C. R. J. Análise da ocorrência de granizo no RS de 2004 a 2008. In: Congresso de Iniciação Científica, 20 e Mostra Científica UFPEL,3.2011, Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas: CIC UFPEL, 2011.

Velasco, I.; Fritsch, J. M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal Geophysical Research**. v. 92, p. 9591-9613, 1987.

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.