

**DESASTRES NO RIO GRANDE DO SUL ASSOCIADOS A COMPLEXOS
CONVECTIVOS DE MESOESCALA: ESTUDO DE CASO DO EVENTO QUE
OCORREU ENTRE 22 E 23 DE ABRIL DE 2011**

DOI: 10.19177/rgsa.v7e02018111-134

Flávia Dias de Souza Moraes¹
Francisco Eliseu Aquino²



2º Seminário
Internacional de
**PROTEÇÃO E
DEFESA CIVIL**

RESUMO

A América do Sul é uma das regiões preferenciais de atuação de eventos atmosféricos extremos, com formato circular, desenvolvimento rápido, entre 10 e 20 horas, e por isso de difícil previsibilidade, classificados como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Este trabalho analisa a precipitação e os desastres associados ao evento de CCM que atingiu o Rio Grande do Sul (RS), nos dias 22 e 23 de abril de 2011. Para a precipitação acumulada foram usados os dados de oito estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizadas em Bagé, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Cruz Alta, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga, área de atuação do evento. Esses dados foram comparados com a climatologia do mês de abril (1975-2004). Registros da Defesa Civil do RS e as matérias veiculadas no jornal Zero Hora foram usados para dimensionar os impactos registrados como consequência do CCM na sociedade. Os resultados indicam que esse evento meteorológico afetou 25 municípios, resultando em 12 mortes, 200 mil casas sem energia elétrica, entre a Região Metropolitana e o Vale do Taquari, árvores e postes derrubados, além de desastres do tipo enxurrada, enchente, vendaval e granizo. A média de precipitação acumulada durante o CCM foi de 61,8 mm na área de estudo, representando 43% do total esperado para abril (144,7 mm), pela climatologia 1975-2004. O período de duração, de 19h30min, suas dimensões e rápido crescimento vertical, entre 6 e 12 horas, confirmam as características básicas de CCM do evento analisado.

Palavras-chave: Eventos Extremos. Jato de Baixos Níveis. Desastres. Precipitação.

¹ Geógrafa e Mestre em Geografia - UFRGS; Doutoranda em Climatologia Departamento de Geografia, Universidade da Geórgia/EUA. E-mail: flavia.moraes@uga.edu

² Geógrafo, Professor do Departamento de Geografia, coordenador do NOTOS – Laboratório de Climatologia e pesquisador do Centro Polar e Climático, professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRGS. E-mail: francisco.aquino@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil é o local de intensa ocorrência de um fenômeno meteorológico conhecido como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Esses eventos são responsáveis por boa parte da quantidade de precipitação no Rio Grande do Sul (RS), já que 30% dos CCM que ocorrem na América do Sul atuam sobre o RS (MORAES, 2016) e estão relacionados a tempestades severas. Trata-se de um fenômeno meteorológico investigado recentemente, a partir do avanço da tecnologia, como o surgimento de satélite.

Os CCM fazem parte da história recente da Climatologia e foram definidos como o conjunto de nuvens *cumulonimbus* (Cb) cobertos por uma espessa camada de *cirrus* (Ci). Os CCM podem ser identificados por observação de imagens de satélite, devido ao seu formato aproximadamente circular e um rápido crescimento vertical, entre 6 e 12 horas (MADDOX, 1980).

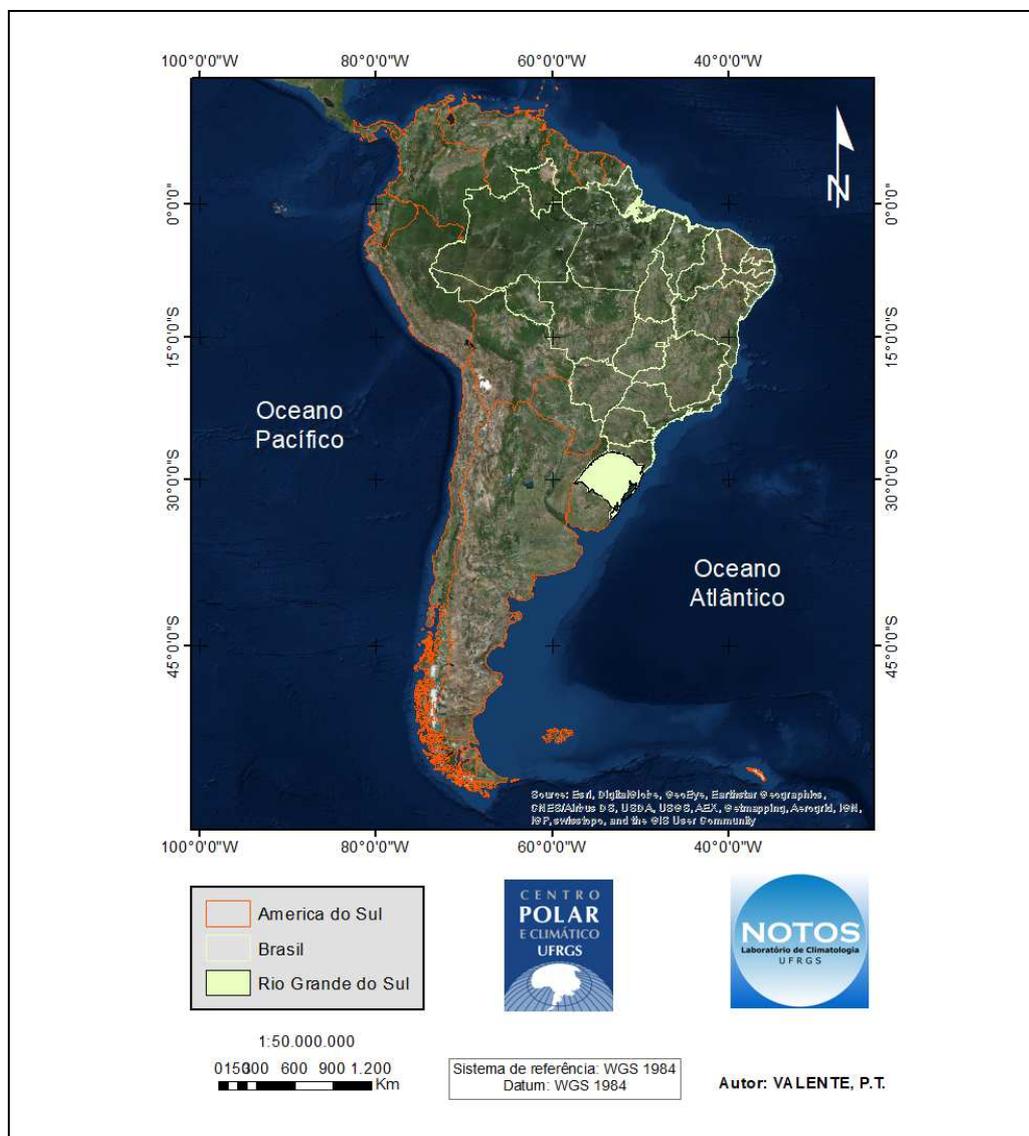
Um marco importante para o estudo de CCM foi o trabalho de Velasco e Fritsch (1987), o qual adaptou a técnica objetiva de classificação, feita por Maddox (1980), e elaborou um mapeamento dos locais de ocorrência e das características associadas a esses eventos. A partir disso, os autores perceberam que esse fenômeno é mais frequente nos meses mais quentes do ano (outubro a maio) e costuma atuar na América do Sul, principalmente nos setores norte da Argentina, Bolívia, Paraguai e sul do Brasil (VELASCO e FRITSCH, 1987). Entre as consequências da formação de CCM está a intensa precipitação, que pode levar a inundações, e outros fenômenos severos como tornados, granizo, ventos e intensas tempestades elétricas (MADDOX, 1980).

Em vista da ocorrência de CCM no RS, nos dias 22 e 23 de abril de 2011, o presente artigo utiliza a classificação do evento meteorológico elaborada por Moraes (2014) e tem por objetivo quantificar a precipitação e os desastres associados a esse fenômeno através de um levantamento de seus impactos e municípios atingidos. Entende-se por desastre eventos como alagamentos, deslizamentos, enchentes, enxurradas, granizo, inundações, tornados e vendavais.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O CCM aqui analisado atuou sobre todo o RS, causando precipitação intensa em diversas regiões. O território localiza-se entre os paralelos 33°45'03"S e 27°04'49"S e entre os meridianos 49°42'41"W e 57°40'57"W, sendo o Estado mais meridional do Brasil (Figura 1). Tem como fronteiras leste o Oceano Atlântico, norte e nordeste o Estado de Santa Catarina, e as repúblicas do Uruguai a sudoeste e da Argentina a noroeste. Possui uma área de 281.748,5 km² (BRASIL, 2002).

Figura 1 - Localização do Rio Grande do Sul no Brasil e no contexto da América do Sul.



Nos tópicos a seguir, serão detalhados os conceitos de CCM e de desastres, que

embasaram esta pesquisa; os métodos e técnicas utilizados para quantificar a precipitação e os desastres, bem como a discussão dos resultados obtidos e as considerações finais.

3 OS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NA AMÉRICA DO SUL

Nos Estados Unidos da América (EUA), Maddox (1980) identificou sistemas em formato circular e desenvolvimento rápido, entre 6 e 12h, através de imagens do satélite GOES, os quais classificou como CCM. Na América do Sul (AS), em especial, os CCM costumam ser um pouco mais duradouros, entre 10 e 20h, se desenvolvem um pouco mais tarde e são maiores e mais frequentes do que nos EUA (VELASCO e FRITSCH, 1987; CAMPOS *et. al*, 2008, DURKEE e MOTE, 2009).

Dessa maneira, entre as principais características dos CCM formados nas regiões subtropicais do Hemisfério Sul, está a sua região de ocorrência preferencial, o norte da Argentina, o Paraguai e o Sul do Brasil, durante a primavera e o verão. Sua trajetória inicia a leste dos Andes (cerca de 25° S) e sobre os vales dos rios Paraná e Paraguai, partindo para atingir o Sul do Brasil, Uruguai e Argentina. Sua formação ocorre durante a noite, com um ciclo de vida entre 10 e 20h, sendo que as primeiras células que antecedem a classificação do evento como CCM podem aparecer já no início da tarde. Sua máxima extensão acontece durante a madrugada e a dissipação por volta das 12h (meio-dia) do dia seguinte (VELASCO e FRITSCH, 1987; SILVA DIAS, 1987; CAMPOS *et. al*, 2008).

A AS tem a combinação de fatores geográficos, os quais fazem com que surjam fluxos meridionais (sentido norte-sul) em baixos níveis da atmosfera, conhecidos como Jatos de Baixos Níveis (JBN). A consequência desse deslocamento de ar é o transporte da umidade da região da Amazônia para as áreas subtropicais do continente (MORAES, 2016; VIANA, 2011; BORQUE *et. al*, 2006).

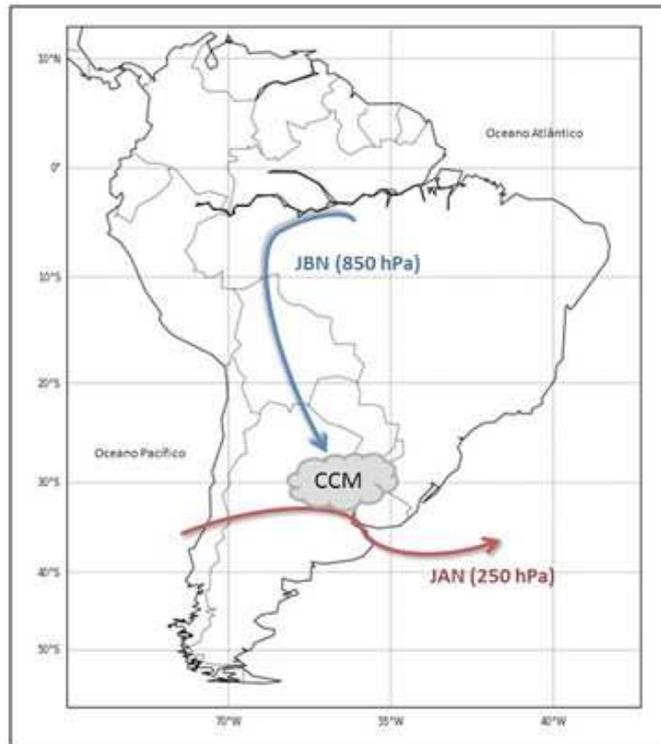
Nas estações mais quentes do ano, esses JBN são intensificados e transportam mais umidade das regiões tropicais para as subtropicais do Planeta, o que facilita o desenvolvimento de sistemas convectivos. Em particular, Viana (2011) e Moraes (2016) destacam a ocorrência dos CCM, como uma consequência direta da existência desses jatos.

Assim, torna-se necessário entender a formação dos JBN para conseguir compreender a origem dos CCM. Gandú e Geisler (1991) e Figueiroa *et. al* (1995) afirmam que a cordilheira dos Andes, pela sua topografia, bloqueia a passagem da umidade do Atlântico e da Amazônia para o Pacífico Equatorial, resultando no desenvolvimento de um jato fixo de norte. Esse fluxo é alimentado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul e, ao defletir para o sul, forma os JBN, que atuam a cerca de 850 hPa.

Somado a isso, está a presença dos Jatos de Altos Níveis (JAN), aproximadamente entre as latitudes 30° S e 40° S e a 250 hPa, os quais facilitam a convecção do ar. Isso porque, ao passar em altos níveis, forma áreas de divergência na atmosfera, propiciando que o ar em superfície ascenda para ocupar o seu lugar. Dessa maneira, boa parte da umidade que vem com os JBN, ao ascender, servem como combustível para a formação de nuvens do tipo Cb na região subtropical da AS (Figura 2).

O conjunto dessas células convectivas individuais, nuvens Cb, aliado a uma camada de nuvens Ci, que vêm do topo das Cb maduras, formam os CCM. Conforme Viana (2011, p. 09), “as primeiras tempestades desenvolvem-se tipicamente durante o entardecer e a transição para um sistema de larga escala, altamente organizado, ocorrem após o início da noite”.

Figura 2 - Jatos de Baixos Níveis (JBN) e Jatos de Altos Níveis (JAN) que atuam para formação de Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul.



Fonte: Adaptado de Custódio e Herdies (1994)

Embora de difícil prevenção meteorológica, o estudo realizado por Borque *et. al* (2006) e Moraes (2016) reafirmam alguns fatores atmosféricos que seriam responsáveis pela criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento de CCM na AS. Entre eles, a presença do JBN, que traga ar quente e umidade do norte. Suas características geram condição instável através de advecção de calor e umidade, que foi observada como persistente durante os dias de estudo. Essa advecção úmida é responsável pelo aumento do vapor de água na atmosfera e, conseqüentemente, pelo aumento da umidade atmosférica. A barreira física também é importante para o acúmulo dessa umidade, papel desempenhado pelos Andes.

3.1 CCM no Rio Grande do Sul

Nos últimos anos, tem-se divulgado de forma recorrente na imprensa gaúcha situações de desastres no RS. Muitas delas, no entanto, podem estar ligadas aos CCM, já que as características de vendavais e precipitação intensa, bem como a

rápida formação e dissipação dos eventos, condizem com a evolução desses sistemas convectivos.

Diversos autores, ao estudarem os principais períodos de ocorrência dessas condições meteorológicas extremas, identificaram a maioria dos CCMs ocorrendo nas estações de transição (primavera e outono) e também no verão, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Época de ocorrência dos Complexos Convectivos de Mesoescala subtropicais estudados por diversos autores.

Autores	Época do CCM
Abdoulaev et al (1994)	Verão
Duquia e Silva Dias (1994)	Primavera
Durkee e Mote (2009)	Primavera e Verão
Cavalcanti (1982)	Primavera
Figueiredo e Sclar (1996)	Primavera e Verão
Guedes (1985)	Primavera
Rocha (1992)	Verão
Sclar e Figueiredo (1990)	Inverno
Velasco e Fritsch (1987)	Primavera Verão e Outono
Custódio e Herdies (1994)	Primavera

Fonte: Modificado de CPTEC/INPE.

O papel dos CCM noRS, conforme Abdoulaev (1996), é influenciar na precipitação e no desencadeamento de desastres. No que se refere à precipitação, Viana *et. al* (2009, p. 93) afirmam que “a distribuição da precipitação observada no verão e nas estações de transição sugere que os CCM sejam um dos mecanismos responsáveis pelos acumulados registrados em toda a Região Sul”.

Quando se fala em desastre, refere-se aos municípios que declararam tal situação para a Defesa Civil do RS, seja pela ocorrência de alagamentos, deslizamentos, enchentes, enxurradas, granizo, inundações, tornados ou vendavais, conceitos que serão detalhados a seguir.

4 CONCEITO DE DESASTRES

Eventos meteorológicos extremos assustam a sociedade, por sua capacidade destrutiva, tanto de bens materiais como de vidas humanas. Os impactos de um vendaval, de uma enchente ou tempestade severa trazem consequências para a economia e o bem-estar social. No RS, episódios de desastres relacionados a eventos extremos são bastante frequentes, no verão e nas estações de transição (primavera e outono), período que também coincide com a ocorrência de CCM no Estado (VIANA *et. al*, 2009).

Dentre as diversas definições de desastres, as variações estão ligadas às consequências e à natureza dos eventos. Neste trabalho são usados os conceitos de Castro (1999), Kobiyama *et al.* (2006) e Tominaga (2009). Para Tominaga (2009, p.13)

“quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais. Ou seja, o desastre é o consequente prejuízo econômico e social causado pelos eventos extremos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável. O desastre não é o evento adverso em si, mas sim as suas consequências, quando relacionadas aos danos e aos prejuízos causados à população residente” (CASTRO, 1999; KOBİYAMA *et al.*, 2006; TOMINAGA, 2009).

Além disso, cabe ainda conceituar os tipos de eventos que atingiram os municípios do RS durante o CCM, segundo publicação organizada por Kobiyana *et al.* (2006):

- Enxurrada: é uma inundação brusca, relacionada à precipitação intensa e concentrada, que provoca o extravasamento da água do rio para as áreas ao seu entorno. A elevação do nível da água é brusca e repentina e o escoamento violento, podendo causar mortes (CASTRO, 2003);

- Enchente: é o aumento do nível de água no leito do rio, além da sua vazão normal, mas sem ocorrer o transbordamento sobre as áreas próximas a ele;

- Vendaval: diferença no gradiente de pressão atmosférica, movimentos ascendentes e descendentes do ar e a rugosidade do terreno provocam um deslocamento intenso de ar na superfície do planeta que é chamado de vendaval. Eles causam danos diretos na área pela qual transitam (VIANELLO e ALVES, 1991);

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

5 MÉTODOS E TÉCNICAS

Com o intuito de quantificar a precipitação e a situação de desastre no Rio Grande do Sul, após a atuação do evento de CCM, em 22 e 23 de abril de 2011, este trabalho faz uso de alguns métodos e técnicas. Primeiramente, foi utilizada a classificação do evento meteorológico feita por Moraes (2014), que detalhou as características do CCM ocorrido. Para a análise dos dados de precipitação foram coletados dados de oito estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e comparados com a climatologia de precipitação do mês de abril (1975-2004). Além disso, os dados da Defesa Civil do RS foram usados para localizar os municípios que declararam estado de desastre (ex: informaram à Defesa Civil estado de emergência, desastre ou calamidade pública), e os eventos relacionados. Foram consultadas matérias do jornal Zero Hora, de 21 de abril a 1 de maio de 2011, para mais informações do evento, de pessoas e de cidades atingidas.

5.1 Definição do CCM

A definição e análise das características físicas do CCM foram coletadas do trabalho de Moraes (2014), o qual analisou os parâmetros do evento meteorológico. Conforme a autora, através das imagens do satélite GOES-12 e de dados gerados pelo aplicativo FORTRACC (*Forecast and Tracking of Active Convective Cells*), foi possível definir as características básicas de CCM na América do Sul, mais especificamente no sul do Brasil, propostas por Maddox (1980) e complementadas

por Velasco e Fritsch (1987).

5.2 Dados das estações meteorológicas do INMET

Para a análise dos dados de precipitação foram coletados dados diários, do período de atuação do CCM, de oito estações meteorológicas do INMET que fazem parte da área de atuação do CCM: Bagé, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Cruz Alta, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga. Também foram utilizados os dados da climatologia de precipitação do mês de abril (1975-2004), elaborada por Viana *et al.* (2006) com dados disponibilizados pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro) e INMET, e calculados a partir dos acumulados mensais de precipitação das estações meteorológicas. Assim, foi possível comparar os valores de precipitação registrados durante a tempestade e o esperado para o período.

5.3 Dados de desastres

A fim de identificar quais municípios do RS foram atingidos com o CCM, nos dias 22 e 23 de abril de 2011, foram coletados dados na página web da Defesa Civil do Estado (<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>). Em seu banco de informações aparecem todos os municípios que tenham decretado estado de emergência e/ou desastre, ou seja, que tenham sido atingidos por eventos extremos, e qual o evento foi relacionado.

Por fim, a coleta de dados foi complementada pela seleção de matérias divulgadas no jornal Zero Hora, de circulação estadual pelo RS. A fim de saber quais situações de desastre chegaram à imprensa, foram selecionadas as edições dos dias 21 de abril a 1º de maio de 2011. A partir da análise dessas reportagens jornalísticas, é possível saber com mais detalhes os danos que ocorreram no Estado e comparar com os registrados no site da Defesa Civil do RS.

6 RESULTADOS

a. Características do CCM

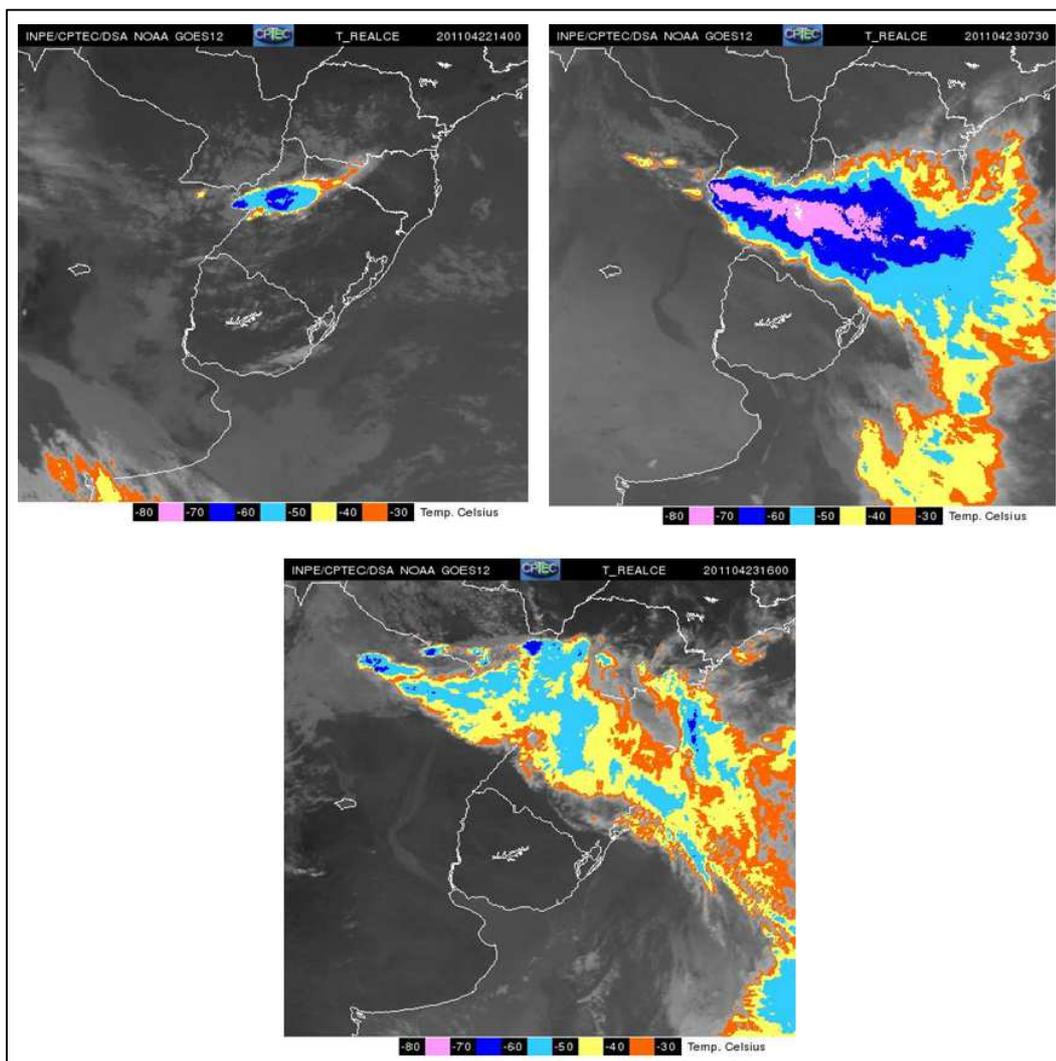
Conforme Moraes (2014) o evento de CCM que atuou sobre o RS foi R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

classificado com base nos critérios propostos por Maddox (1980), bem como pela análise das imagens do satélite GOES-12 (realçadas e em horário UTC) e do aplicativo FORTRACC. A partir desta análise foi possível afirmar que além da dimensão do evento, que cobre todo o RS no momento de sua máxima extensão (Figura 3), o número de horas que o CCM atuou sobre o RS também condiz com os critérios estabelecidos por Maddox (1980) para classificar um CCM.

Foram cerca de 19h30min de atuação, desde o surgimento das primeiras nuvens, no noroeste do RS, até o seu crescimento, intensificação e início da sua dissipação sobre o Oceano Atlântico. Mesmo com parte das horas finais do evento já sobre o oceano, é possível afirmar que ele cumpre o seu período médio de duração de 20h, previstos para a atuação de CCM na AS (VELASCO e FRITSCH, 1987; CAMPOS et al., 2008, DURKEE e MOTE, 2009).

Além disso, Maddox (1980) estimou o crescimento vertical, num intervalo de 6 a 12 horas, associadas a eventos de fortes rajadas de vento e intensa precipitação, o que também descreve o CCM aqui estudado. Isso porque, além de ele ter crescido intensamente nesse período, os desastres registrados pelas cidades, na Defesa Civil do RS, são relacionados ao excesso de precipitação e a vendaval.

Figura 3 - Estágios: inicial (a), de máxima extensão (b) e de dissipação do CCM (c) em 22 e 23 de abril de 2011.



Fonte: Imagem GOES 12, realçada, de 22 e 23/04/2011, INPE/ DSA/CPTEC.

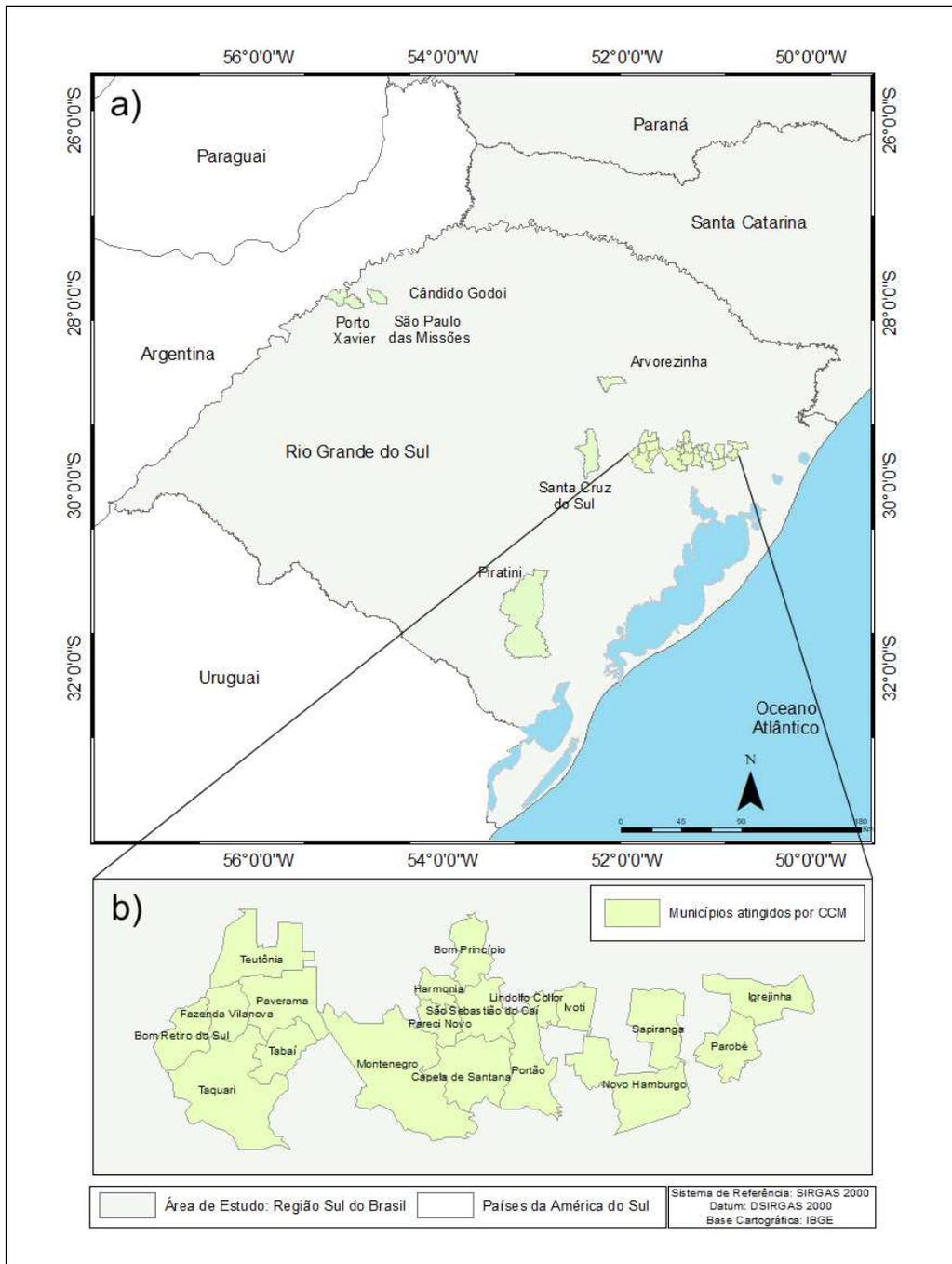
Sendo assim, é possível afirmar que o CCM que atuou sobre o RS, no período aqui estudado, teve como suas principais características: duração total de 19h30min, crescimento vertical entre 6 e 12 horas, trajetória de noroeste para leste, sobre o RS, e cobertura quase total da área do Estado em seu estágio de máxima extensão, na madrugada do dia 23 de abril de 2011 (MORAES, 2014).

6.2 Desastres no RS

Em relação aos desastres, a partir dos dados armazenados pela Defesa Civil do RS, soube-se que 25 municípios foram impactados pelo CCM, sendo eles: Bom Princípio, Bom Retiro do Sul, Cândido Godói, Harmonia, Igrejinha, Ivoti, Lindolfo Collor, Pareci Novo, Parobé, Paverama, Portão, Porto Xavier, São Paulo das Missões, São R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

Sebastião do Caí, Tabai, Taquari, Arvorezinha, Capela de Santana, Fazenda Vila Nova, Montenegro, Novo Hamburgo, Santa Cruz do Sul, Sapiranga, Teutônia e Piratini (Figura 4).

Figura 4 - Municípios do Rio Grande do Sul atingidos pelo Complexo Convectivo de Mesoescala (a) e (b) destaque dos municípios da Região Metropolitana.



Após identificar e localizar os municípios mais atingidos pelo evento meteorológico classificado como CCM foi importante identificar também o tipo de R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

desastre que cada um deles registrou na Defesa Civil do RS (Quadro 2). Assim, o estudo investiga o que ocorreu nesses municípios, para construir um quadro geral de desastres do CCM.

Quadro 2 - Tipo de evento registrado nos municípios atingidos pelo Complexo Convectivo de Mesoescala no Rio Grande do Sul.

Data do evento	Município	Tipo de evento
22/04/2011	Arvorezinha	Enxurrada
22/04/2011	Capela de Santana	Enxurrada
22/04/2011	Fazenda Vila Nova	Vendaval
22/04/2011	Montenegro	Enxurrada
22/04/2011	Novo Hamburgo	Enxurrada
22/04/2011	Piratini	Granizo
22/04/2011	Santa Cruz do Sul	Enxurrada
22/04/2011	Sapiranga	Enxurrada
22/04/2011	Teutônia	Vendaval
23/04/2011	Taquari	Enxurrada
23/04/2011	Tabaí	Vendaval
23/04/2011	São Sebastião do Caí	Enxurrada
23/04/2011	São Paulo das Missões	Vendaval
23/04/2011	Porto Xavier	Enxurrada
23/04/2011	Portão	Enxurrada
23/04/2011	Paverama	Enxurrada
23/04/2011	Parobé	Enxurrada
23/04/2011	Pareci Novo	Enxurrada
23/04/2011	Lindolfo Collor	Enxurrada
23/04/2011	Ivoti	Enxurrada
23/04/2011	Igrejinha	Enxurrada
23/04/2011	Harmonia	Enxurrada
23/04/2011	Cândido Godói	Enxurrada
23/04/2011	Bom Retiro do Sul	Enxurrada
23/04/2011	Bom Princípio	Enchente

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul.

Como a Defesa Civil não disponibiliza detalhes de cada tipo de evento, foi utilizada a imprensa regional para analisar a informação passada para a população e conseguir dimensionar e detalhar um pouco melhor os estragos que o evento de CCM

deixou pelo RS. Pela sua ampla circulação no RS, foram consultadas notícias do jornal Zero Hora (ZH).

É possível identificar, no jornal do dia 23 de abril de 2011, que já aparecem os relatos do desastre. Com o título “Temporal provoca duas mortes”, o texto comenta os danos materiais causados, as pessoas mortas, a falta de luz e o alagamento no RS, principalmente na Região Metropolitana e Vale do Taquari, locais onde ficam muitas das cidades que decretaram emergência para a Defesa Civil do RS (Quadro 1). O início da notícia já revela uma situação típica da passagem de um CCM, com precipitação bastante concentrada em poucas horas e atingindo todo o RS: “Em 30 minutos no final da tarde de ontem, um temporal alagou ruas, derrubou árvores e postes e transtornou a vida de milhares de pessoas no Estado” (ZERO HORA, 2011). Além disso, o texto comenta que as nuvens tinham até 10 km de altura e o temporal veio acompanhado de vento e granizo.

No caso da Região Metropolitana, região bastante afetada, o relato da mesma notícia deixa detalhes sobre a precipitação, com base nas informações da Somar Meteorologia. “Em Porto Alegre, tudo começou por volta das 17h30min. Em uma hora, choveu 27,2 milímetros na cidade, o equivalente a 30% da média do mês”, diz ZH. A matéria afirma que, na manhã do dia 23, ainda pode haver precipitação, o que condiz com a nebulosidade ainda vista durante este dia, enquanto o CCM se dissipava, nas imagens do satélite GOES-12.

Ainda no dia 24, seguem informações sobre os desastres no RS. A cidade de Novo Hamburgo, que está na lista da Defesa Civil apresentada anteriormente, tem destaque como um cenário de “tragédia do temporal, onde três crianças da mesma família morreram após desmoronamento na noite de sexta-feira (22)”. O texto segue explicando, simplificada, o evento meteorológico sem ainda atribuir-lhe, entretanto, o nome de CCM.

De acordo com a meteorologista, Estael Sias, entrevistada pelo jornal, a tempestade estava relacionada ao encontro de uma área de instabilidade, que veio do Noroeste do RS, com as altas temperaturas que estavam, principalmente, no Vale do Taquari e Região Metropolitana. Assim, as nuvens aumentaram rapidamente e causaram os temporais e estragos.

Alguns dias após a passagem do CCM (1 de maio de 2011), no entanto, o jornal fez uma matéria bastante explicativa sobre o ocorrido e, então, definiu o evento como CCM. O repórter Marcelo Gonzatto fala sobre as evidências de o clima do RS estar se R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

tornando mais severo, com aumento da quantidade de precipitação, temperatura média e instabilidade. Em seguida, conceitua, brevemente, o que são os CCM e faz uma comparação entre tamanho e duração desses sistemas na Bacia do Prata e nos Estados Unidos.

Por fim, a consulta às matérias do jornal ZH ajudam a quantificar os estragos registrados com a passagem do CCM, detalhes não fornecidos pelos dados da Defesa Civil do RS. Entre eles estão: 200 mil casas sem energia elétrica, entre a Região Metropolitana e o Vale do Taquari; ruas alagadas, árvores e postes derrubados; 12 pessoas mortas no RS; dois aviários destruídos e um chiqueiro em Teutônia; deslizamento de terras com casas soterradas em Novo Hamburgo, Igrejinha, Fazenda Vilanova; alagamento na estrada ERS-122; transbordamento do arroio Lajeado e alta do Rio Pardinho, em Santa Cruz do Sul; interdição de pista em alguns trechos da BR-116, e, em Piratini, o granizo danificou carros e casas, feriu moradores e destelhou parcialmente um posto de saúde e uma escola.

6.3 Precipitação acumulada durante o evento de CCM

Em relação aos dados analisados de precipitação, é possível perceber que a quantidade de precipitação acumulada no dia da passagem do CCM, em algumas cidades do RS, foi próxima à quantidade de precipitação esperada para todo o mês de abril.

Em Porto Alegre, dos 121 mm esperados para o mês de abril, 77,2 mm foram acumulados em 24h, entre os dias 22 e 23 de abril (das 9h às 9h horário local), dos quais, 76,4 mm foram contabilizados num período de 13h (das 18h às 7h, dos dias 22 para 23). Ou seja, apesar da cidade não ter decretado estado de emergência para a Defesa Civil, essa quantidade de precipitação pode ser considerada como acima da média para as cidades atingidas na Região Metropolitana. São elas: Portão, Taboão, Sapiranga, Novo Hamburgo, Montenegro, Capela de Santana, Harmonia, São Sebastião do Caí, Ivoti, Lindolfo Collor, Pareci Novo, Parobé, Paverama e Fazenda Vilanova.

No caso de Harmonia, e das outras cidades citadas posteriormente a ela, que são municípios localizados entre a capital e a região da Serra Gaúcha, estações como a de Bento Gonçalves e Caxias do Sul também podem ser consideradas para estimar a quantidade de precipitação. Em Caxias do Sul, o acumulado nas 24h, entre R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

os dias 22 e 23 de abril (das 9h às 9h horário local), alcançou cerca de 45% da precipitação esperada para todo o mês de abril (139 mm). Esse total de 63,2 mm em apenas um dia é muito próximo ao total acumulado em 24h, que de acordo com a climatologia 1961-1990 foi de 80,5 mm no ano de 1988. Em Bento Gonçalves, choveu 48,4 mm em 10h de evento, enquanto o esperado para o mês inteiro era de 92,7 mm, ou seja, mais da metade da precipitação de abril precipitou em algumas horas na cidade. Todos esses valores, portanto, deixam evidências de que essa região recebeu uma quantidade bastante significativa de precipitação durante a passagem do CCM.

As estações de São Luiz Gonzaga e Santa Rosa foram coletadas para analisar a quantidade de precipitação nas cidades de Cândido Godói, Porto Xavier e São Paulo das Missões, afetadas por enxurrada ou vendaval durante o CCM. Ambas registraram precipitação acima do esperado para um dia. Segundo a climatologia 1975-2004, no mês de abril a precipitação esperada para São Luiz Gonzaga seria de 210 mm e nas 24h, entre os dias 22 e 23, foram acumulados 111,7 mm de precipitação na estação. Isso indica que mais de 50% do total esperado para o mês choveu em apenas 24h, o que explica o impacto do CCM nessas pequenas cidades do noroeste do RS. Em Santa Rosa, dos 159 mm estimados, acumulou 68,8 mm em apenas 6h, o que representa mais de 40% do esperado para todo o mês.

Em Cruz Alta, o valor de 68,8 mm de precipitação, que atingiu a cidade durante o CCM, representa cerca de 50% da precipitação esperada para abril (149 mm). Esta estação foi usada para pode representar a quantidade de precipitação que afetou cidades próximas, como Arvorezinha, que registrou na Defesa Civil o evento de enxurrada. Arvorezinha também pode ter a sua precipitação relacionada com os valores da estação de Caxias do Sul, mencionada anteriormente.

Para o caso do município de Piratini, único ao sul do RS que decretou estado de emergência, é possível avaliar a precipitação através dos dados das estações de Bagé e Rio Grande. Nesta última, dos 112 mm esperados para o mês de abril, acumulou 20 mm nas 24h, entre os dias 22 e 23 de abril (das 9h às 9h horário local). Em Bagé, a precipitação total durante as mesmas 24h (36 mm) representa cerca de 20% do total estimado pela climatologia (175 mm). Embora esses dois valores de precipitação não tenham sido tão significativos quanto os de outras estações, citadas acima, foram o suficiente para a precipitação de granizo causar estragos na cidade de Piratini.

A precipitação acumulada durante o evento de CCM, em comparação com a climatologia 1975-2004, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Precipitação acumulada durante o Complexo Convectivo de Mesoescala no Rio Grande do Sul (entre 22 e 23 de abril de 2011) e a climatologia 1975-2004.

Estação meteorológica	Cidades afetadas correspondentes	Série 1975-2004 (mm)	CCM (mm)
Bagé	Piratini	175	36
Bento Gonçalves	Harmonia, São Sebastião do Caí, Ivoti, Lindolfo Color, Pareci Novo, Parobé, Paverama e Fazenda Vilanova	92,7	48,4
Caxias do Sul	Harmonia, São Sebastião do Caí, Ivoti, Lindolfo Color, Pareci Novo, Parobé, Paverama, Arvorezinha e Fazenda Vilanova	139	63,2
Cruz Alta	Arvorezinha	149	68,8
Porto Alegre	Portão, Tabaí, Sapiranga, Novo Hamburgo, Montenegro, Capela de Santana, Harmonia, São Sebastião do Caí, Ivoti, Lindolfo Collor, Pareci Novo, Parobé, Paverama e Fazenda Vilanova	121	77,2
Rio Grande	Piratini	112	20
Santa Rosa	Cândido Godói, Porto Xavier e São Paulo das Missões	159	68,8
São Luiz Gonzaga	Cândido Godói, Porto Xavier e São Paulo das Missões	210	111,7

Todos esses valores de precipitação acumulada durante o evento de CCM condizem com as consequências de tempestades severas que são esperadas com a passagem desse tipo de evento. Mesmo não tendo atingido a sua máxima extensão e excentricidade sobre o RS, o CCM que passou entre 22 e 23 de abril de 2011 conseguiu gerar valores próximos aos acumulados de precipitação mensal de acordo com a climatologia (1975-2004).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A AS, além dos EUA, é uma das regiões que registra a atuação de eventos atmosféricos extremos, os quais possuem formato circular, desenvolvimento rápido, entre 10 e 20h, e que são de difícil previsão, classificados por Maddox (1980) como CCM. Entre as principais características dos CCM, formados nas regiões subtropicais do Hemisfério Sul, é possível destacar a sua região de ocorrência preferencial, as quais

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

são: o norte da Argentina, Paraguai e Sul do Brasil, durante a primavera e o verão.

Neste trabalho, o interesse em estudar os CCMs está ligado à necessidade de analisar a precipitação e os desastres associados ao evento meteorológico que afetou o RS nos dias 22 e 23 de abril de 2011. Entre as principais características físicas do evento meteorológico que atuou sobre o RS estão: duração total de 19h30min, crescimento vertical entre 6 e 12 horas, trajetória de noroeste para leste, sobre o RS, e cobertura quase total da área estadual em seu estágio de máxima extensão, na madrugada do dia 23 de abril de 2011. Todos esses requisitos confirmam a classificação do evento como CCM (MORAES, 2014).

Os valores de médios de precipitação acumulada, observados em 19h30min de evento, atingiram quase ou mais da metade do total esperado para o mês de abril, caracterizando a intensidade deste evento extremo e os desastres associados. Considerando as oito estações meteorológicas aqui utilizadas (Bagé, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Cruz Alta, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga), a média de precipitação esperada para abril seria de 144,7 mm (de acordo com climatologia 1975-2004). Calculando os acumulados para estas mesmas oito estações, no dia do evento, registrou-se o valor médio de 61,8 mm de precipitação. Isso quer dizer que, a atuação do CCM provocou uma precipitação média, nas cidades mais atingidas, que representa 43% do esperado para o mês, o que caracteriza um volume de precipitação acima do esperado para 24h. Em destaque, está o caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, uma das mais atingidas durante o CCM. Com registros de deslizamentos de terra e três mortes, essa região registrou mais de 60% da precipitação (76,4 mm) esperada para abril, na estação Porto Alegre (121 mm), em apenas 13h.

Os registros de desastres da Defesa Civil do RS, por consequência, marcam os efeitos da passagem do CCM pelo RS, onde um total de 25 municípios foram severamente atingidos. Com detalhes sobre deslizamentos de terra, números de vítimas fatais (12) e principais prejuízos nos municípios, o jornal Zero Hora complementa a informação da Defesa Civil do RS e evidencia a intensidade e as consequências atreladas à passagem do CCM. Em destaque, novamente, está a Região Metropolitana de Porto Alegre, com registros de deslizamentos de terra e três mortes.

A partir deste estudo de caso, sugere-se que outros estudos sejam feitos, a fim de contribuírem para o campo de pesquisa do CCM no RS e no Sul do Brasil. É possível, por exemplo, aplicar a classificação feita aqui para mais eventos que ocorreram sobre o RS, em um período de tempo maior, a fim de determinar a quantidade e magnitude dos CCM que atuam no Estado, elaborando uma climatologia de ocorrência.

Além da climatologia de CCM, seria importante fazer uma climatologia de desastres, investigando as principais consequências causadas pelos CCM no RS, ao longo dos últimos 30 anos. Isso ajudaria a entender onde estão as principais vulnerabilidades das regiões atingidas pelos eventos, auxiliando na elaboração de planos de prevenção de desastres pela Defesa Civil do RS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS (processo 17/2551-0000518-0) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT da Criosfera) pelo apoio financeiro e na infraestrutura, e ao NOTOS – Laboratório de Climatologia.

NATURAL HAZARDS ASSOCIATED WITH MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEXES IN RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL: A CASE STUDY OF THE METEOROLOGICAL EVENT FROM APRIL 22ND-23RD, 2011

ABSTRACT

South America is one of the preferred regions of occurrence of extreme weather events classified as Mesoscale Convective Complexes (MCCs), which have circular format, rapid development (within 10 and 20 hours), and are difficult to forecast. This study analyses the precipitation and the natural hazards associated with the extreme weather event that occurred in the State of Rio Grande do Sul (RS), Brazil, between April 22nd and 23rd, 2011. The total precipitation data was from INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), more specifically from eight meteorological stations located in the cities more affected by this MCC: Bagé, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Cruz Alta, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga. The total precipitation was compared to climatological precipitation expected for April (1975-2004). This research also used data from the Defesa Civil do Rio Grande do Sul and from the local newspaper, Zero Hora, to understand and quantify the natural hazards caused by the MCC. The results show that this extreme weather event impacted 25 cities, and it was associated with 12 deaths, 200 thousand homes without electric power at the area of Região Metropolitana and Vale do Taquari, downed trees and power lines, and natural hazards as floods, strong gales and hail storms. The average total precipitation during this MCC event was 61.8 mm in the study area, which represents 43% of the total expected precipitation for April (144.7 mm), considering the climatology 1975-2004. The MCCs life cycle (19h30min), extension and vertical growth, between 6h and 12 h, also confirmed that this event has the main physical characteristics to be classified as MCC.

Keywords: Extreme Events. Low-Level Jet. Natural Hazards. Precipitation.

REFERÊNCIAS

ABDOULAEV S.; STAROSTIN, A.; CASARIN, D.P. Sistemas de mesoescala de precipitações no Rio Grande do Sul. Parte 1: Descrição Geral. *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*, SBMET. Campos de Jordão. Anais...2, p. 936-940, 1996.

BORQUE, P.; VIDAL, R.; SALIO, P.; SKABAR, Y.G. e NICOLINI, M. Previous Conditions Associated With A Development Of A Mesoscale Convective System Under A South American Low-Level Jet Event: A Case Study. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)*, 8., Foz do Iguaçu, Brasil, April 24-28, INPE, p. 1677-1682, 2006. Disponível em: <http://mtcm15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.31.19.56/doc/1677-1682.pdf>. Acesso em: 29 janeiro 2014.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Brasil em Números*. Rio de Janeiro: IBGE. v.10. 2002. 376p.

CAMPOS, C.R.J.; LIMA, E.C.S.; PINTO, L.B. Complexo Convectivo de Mesoescala observado em 27/11/2002 no Nordeste da Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. 2008. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2008_2/2008_2_23_32.pdf>. Acesso em: 22 janeiro 2014.

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

CUSTÓDIO, M.A.M.; HERDIES, D.L. O jato de baixos níveis a leste da cordilheira dos Andes - um estudo de caso. *VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, SBMET, Anais...2, 1994, p.617-619.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL (DCRS). Área dos municípios – municípios atingidos – ativos e arquivados. Disponível em:<<http://www.defesacivil.rs.gov.br>>. Acesso em: 07 março 2014.

DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. *International Journal of Climatology*. Vol. 30. 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1893/pdf>>. Acesso em: 26 março 2014.

FIGUEROA, S.N.; 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*, vol. 52, n. 10, p.1573-1584. 1995.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

GANDU, A.W.; GEISLER, J.E. A Primitive Equations Model Study of the Effect of Topography on the Summer Circulation over Tropical South America. *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 48, n.º 16, p.1822-1836. 1991.

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

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

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVEZ, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F. e RUDORFF, F.M. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Ed. Organic Trading. 2006.

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

MACEDO, S.R.; VILA, D.; MACHADO, L.A. FORTRACC - Previsão a curto prazo e evolução dos sistemas convectivos: FORTRACC V1.1 - Guia de Usuário. São Paulo: INPE/CPTEC. 2004. Disponível em: <<http://moara.cptec.inpe.br/pdf/FORTRACC.pdf>>. Acesso em: 31 março 2014.

MADDOX, R.A. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 61, nº 11, p. 1374-1387, 1980.

MORAES, F.D. de S. Precipitação e desastres associados ao Complexo Convectivo de Mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul em 22 e 23 de abril de 2011. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014, 85p.

_____. Ambiente atmosférico favorável ao desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, no Programa de pos-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016, 119p.

SILVA DIAS, M.A.F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo à Curto Prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, V.2, p.133-150, 1987.

TOMINAGA, K.L. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosângela do Amaral (orgs.). São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 111-134, jun. 2018.

<<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 06 janeiro 2016.

VELASCO, I.; FRITSH, J. M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, v. 92 (D8), p. 9591-9613, 1987.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VIANA, D. R. Avaliação da precipitação e desastres naturais associados a complexos convectivos de mesoescala no Rio Grande do Sul entre outubro e dezembro de 2003. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006. 135p.

VIANA, D. R., AQUINO, F. E., MATZENAUER, R. Comportamento espaço-temporal da precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975- 2004. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Florianópolis. 2006.

ZERO HORA. Jornal Zero Hora. Porto Alegre (RS). Notícias. Acesso aos pdfs das matérias em 02 de agosto de 2011.