



**Características Meteorológicas do Ambiente Sinótico e de Mesoescala
Associadas ao Evento de Tornado na Cidade de Xanxerê – SC, em Abril de 2015**

Meteorological Characteristics of the Synoptic and Mesoscale Environment Associated with the
Tornado Event in the City of Xanxerê – SC, April, 2015

Vitor Vaz Hassan; José Ricardo de Almeida França;
Wallace Figueiredo Menezes & Leonardo de Faria Peres

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 CCMN, 21910-200 Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mails: vitorhassan@outlook.com; jricardo@igeo.ufrj.br; wallace.menezes@gmail.com; leonardo.peres@igeo.ufrj.br*

Recebido em: 14/09/2017 Aprovado em: 13/10/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_131_138

Resumo

Durante a tarde do dia 20 de abril de 2015, por volta das 15h (horário local), ocorreu um evento de tornado sobre a cidade de Xanxerê – SC, que foi classificado como F2 segundo a escala Fujita. Além de quatro mortes e 97 feridos em Xanxerê, ainda se contabilizaram prejuízos econômicos da ordem de R\$100 milhões. Segundo a literatura nesta região existem condições atmosféricas que são necessárias e favoráveis à ocorrência de tempestades severas com potencial para formação de tornados. Somente no estado de Santa Catarina foi confirmado o registro de 10 tornados entre os anos de 1976 e 2000, o que ressalta a importância de estudos e a verificação de tempestades severas nesta região. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar e entender o ambiente sinótico e de mesoescala associado à formação da tempestade que originou o tornado de Xanxerê, e a verificação da adequação dessas características sinóticas, com as encontradas nos modelos conceituais para tempestades severas. Para tal, foram utilizados dados de umidade relativa, movimento vertical (ω) e vento da reanálise do ERA INTERIM, com resolução espacial de 50 km. E ainda, um experimento teste de modelagem numérica em alta resolução, utilizando o modelo de mesoescala BRAMS, foi realizado visando encontrar alguns aspectos preliminares do ambiente em mesoescala associado ao tornado de Xanxerê. Por fim, os resultados mostraram que os ambientes sinóticos e de mesoescala foram favoráveis à formação e desenvolvimento de tempestades severas com potencial para formação de tornados sobre grande parte do oeste de Santa Catarina, principalmente próximo ao município de Xanxerê. É importante destacar que os fatores dinâmicos, termodinâmicos e os mecanismos forçantes se mostraram presentes e atuando em conjunto em um cenário predecessor (hora antes) ao evento.

Palavras-chave: Mesoescala; Tornado; Xanxerê

Abstract

During the afternoon hours (around 03:00 p.m. local time) of 20 April 2015, an tornado event occurred in the city of Xanxerê - SC, which was rated as “F2” according to the Fujita scale. The above-mentioned tornado accounted for 4 deaths and 97 injuries and the total damages were estimated at R\$100 million. According to the literature in this region there are atmospheric conditions that are necessary and favorable to the occurrence of severe storms with potential for tornado formation. Only in the state of Santa Catarina, 10 tornadoes were confirmed between 1976 and 2000, which highlights the importance of studies and the verification of severe storms in this region. In this context, the main objective of this work is to characterize and understand the synoptic and mesoscale environment associated with the storm formation that originated the Xanxerê tornado, and verify the adequacy of these synoptic features with those described in the conceptual models for severe storms. Accordingly, we have used data of relative humidity, vertical motion (ω) and wind of the ERA INTERIM reanalysis data with spatial resolution of 50 km. In addition, a high-resolution numerical modeling experiment using the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) mesoscale model was carried out to find some preliminary mesoscale environment aspects associated with the Xanxerê tornado. Finally, the results showed that the synoptic and mesoscale environments were favorable to the formation and development of severe storms with potential for the formation of tornadoes in a large part of the west of Santa Catarina, mainly near the municipality of Xanxerê. It is important to emphasize that the dynamics, thermodynamic factors and forcing mechanisms were present and acting together in a predecessor scenario (hour before) to the event.

Keywords: Mesoscale; Tornado; Xanxerê

1 Introdução

De acordo com Dyer (1994), a formação de tempestades severas e maior frequência de tornados no Brasil ocorre no sul e sudeste do país, principalmente devido ao choque de massas de ar de origem polar e de origem tropical, originando vastas áreas de instabilidade, estudos como Nascimento (2005) apontam que os fatores atmosféricos que contribuem para a formação de convecção profunda nessa região é o estabelecimento, a leste do Andes, de uma circulação atmosférica do tipo Jato de baixo nível (JBN) proveniente de norte, especialmente entre a primavera e outono no hemisfério austral. Dessa forma, tal circulação efetua o deslocamento de umidade proveniente da Amazônia para as latitudes mais altas, Berri & Inzunza (1993), aumentando o potencial de umidade em baixos níveis o que favorece a perturbação da atmosfera, ingredientes necessários para tempestades severas, por exemplo, Johnson & Mapes (2001).

Em adição, é importante destacar que a gênese de sistemas convectivos intensos está atrelada a uma série de condições atmosféricas essenciais. Normalmente existem três aspectos de grande importância para formação de tempestades severas. Dentre eles, tem-se o aspecto termodinâmico, representado por mecanismos como, oferta de umidade, instabilidade termodinâmica e energia potencial convectiva. Em seguida, o aspecto dinâmico que diz respeito a processos como, cisalhamento vertical do vento e sua interação com o movimento vertical do ar (correntes ascendentes e descendentes). E por fim, mecanismos forçantes como, convergência do ar em superfície devido a barreiras orográficas, por exemplo Menezes & Silva Dias (1998).

O trabalho de Zipser *et al.* (2006) indica que a região sul do Brasil está próxima do máximo de ocorrência e intensidade de tempestades de caráter severo na América do Sul, comprovado pelo aumento de notificações de tornados, conforme mostrado em Silva Dias (2011). Sendo assim, ao analisar a região sul, destaca-se o estado de Santa Catarina como uma região muito favorável à formação de células convectivas profundas, na qual, além de sofrer a influência de sistemas baroclínicos migratórios possui alta umidade durante todo o ano, apresentando uma climatologia de 18 tornados e 5 trombas d'água entre 1976 e 2000, sendo o setor

norte e oeste do estado com maior número de ocorrência (Marcelino *et al.*, 2009).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo, caracterizar e compreender o ambiente sinótico e de mesoescala associado à formação da tempestade responsável pela formação de um tornado, classificado como F2 na escala Fujita, no dia 20 de abril de 2015 no município de Xanxerê, localizado na porção oeste do estado de Santa Catarina. Este fenômeno meteorológico foi responsável por diversos danos urbanos e ainda, por causar quatro fatalidades.

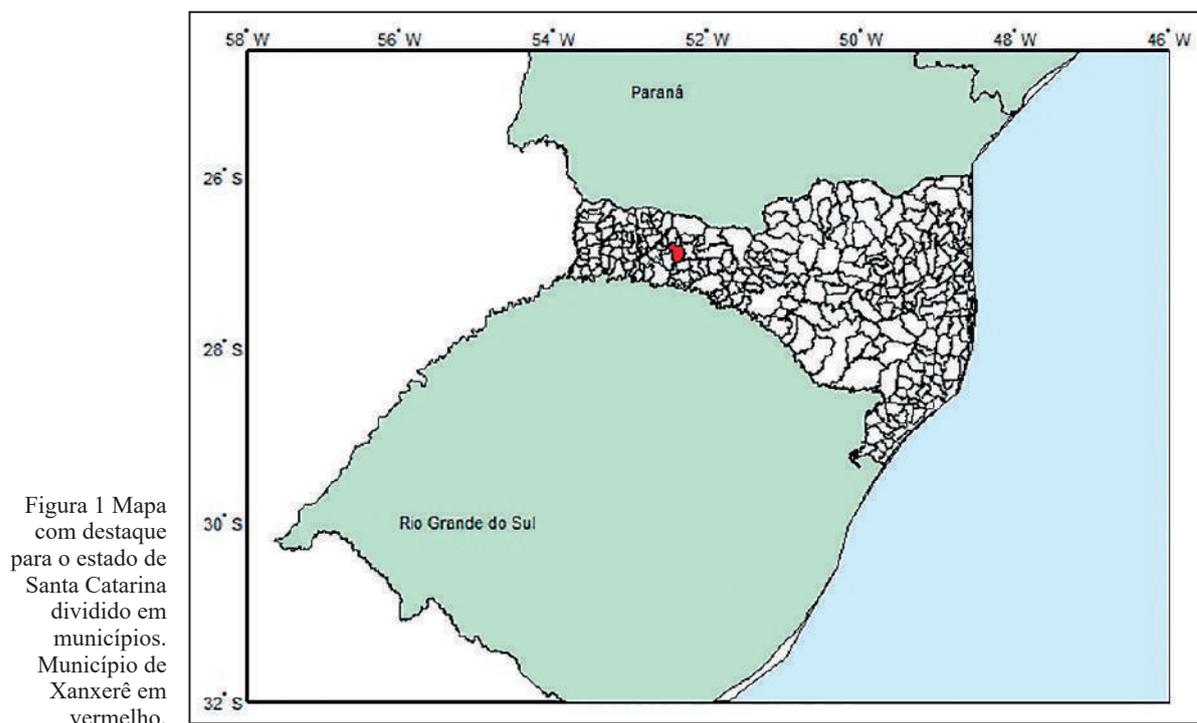
2 Materiais e Método

2.1 Região de Estudo

O estado de Santa Catarina, localizado na região sul do Brasil é composto por 293 municípios, sendo a maior parte deles urbanizados, contendo ao todo uma população de 6.249.682 habitantes, IBGE (2010). Já o município de Xanxerê, que é o foco deste estudo, pertence ao bioma Mata Atlântica, com seu território estendendo-se desde o rio Iguazu até o rio Uruguai, com uma população de 47.679 habitantes, IBGE (2014). O município está localizado na região oeste de Santa Catarina, conforme ilustrado pela Figura 1. De acordo com Marcelino *et al.* (2009), os setores norte e oeste do estado possuem climatologicamente maior ocorrência de tornados, com dois tornados já registrados somente em Xanxerê nos anos de 1987 e 2015, e uma provável ocorrência de um terceiro em novembro de 1989. Além disso, já foram registrados tornados em outros municípios localizados na porção oeste do estado de Santa Catarina, como em Abdon Batista no ano de 1998, São Carlos em novembro de 1989 e Maravilha em outubro de 1984. Ainda assim, existe registro de tempestades severas dando origem a sistemas responsáveis por fortes ventanias na porção leste do estado, porém a maioria desses sistemas não foi classificada como tornados (Marcelino *et al.*, 2009)

2.2 Dados

Inicialmente para caracterizar e entender algum tipo de fenômeno meteorológico é extremamente importante analisar as condições atmosféricas que antecederam o evento. Para tal, foram analisadas



imagens do satélite GOES 13, referente à temperatura realçada, disponíveis no acervo de imagens do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) para as horas anteriores a ocorrência do tornado. Posteriormente, foram utilizados dados da reanálise Era Interim e do modelo BRAMS (Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System), conforme serão descritos no decorrer desta seção.

Assim, visando encontrar aspectos dinâmicos e termodinâmicos em grande escala favoráveis à formação de tempestades severas, foram utilizados os dados de vento e de movimento vertical (ω), no nível de 850 hPa, e dados de umidade relativa, formando um perfil vertical de 1000 até 100 hPa, centrado na latitude de Xanxerê – SC (Latitude: $26^{\circ} 52' 34''$ S, Longitude: $052^{\circ} 24' 15''$ W) e variando longitudinalmente de 54° W até 50° W. Todas as variáveis utilizadas foram extraídas com uma resolução espacial de 50 km. Nesse contexto, é importante ressaltar que a reanálise Era-Interim foi escolhida para este estudo, somente por fornecer em seu banco de dados todas as variáveis necessárias para o dia e horas analisadas neste evento de tornado. Outras reanálises não forneciam alguns dados referentes a alguns níveis de pressão e dia do evento. Portanto foi escolhido trabalhar apenas com a reanálise Era-Interim.

Em paralelo, foi utilizado neste trabalho o modelo de mesoescala BRAMS, com o objetivo de representar alguns aspectos preliminares em mesoescala associados ao tornado em Xanxerê. Para tal, foram utilizados 2 grades, a primeira grade com resolução espacial de 40×40 km, e a segunda grade com resolução espacial de 10×10 km, aninhada na grade 1. A grade mais adequada para a análise feita neste estudo foi a grade 2, devido a sua resolução espacial representar melhor as variáveis em análise. É importante ressaltar que a grade 2 foi utilizada para caracterizar o ambiente atmosférico em mesoescala que precedeu a formação do tornado, a representação do tornado em si não é abordada neste estudo.

A simulação do caso foi realizada utilizando as análises do modelo GFS (Global Forecast System) do NCAR (Nacional Center for Atmospheric Research) como condições iniciais e de contorno. O experimento numérico foi iniciado com os dados relativos às 00z do dia 19/04/2015, e o seu término foi às 12z do dia 21/04/2015, de forma que as bordas da grade do BRAMS foram alimentadas com os dados do GFS a cada 6 horas. O centro da grade do BRAMS recebeu apenas as condições iniciais da rodada, e não foi alimentado com novos dados, de modo a deixar que a física do modelo de mesoescala pudesse trabalhar o mais livre possível da interferência dos dados

do modelo global, que possui parametrizações físicas menos sofisticadas do que o BRAMS.

O modelo gerou diversos produtos sendo o campo de vento, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho os utilizados neste trabalho. Através do software GRADS foram gerados imagens do índice BRNSH (Bulk Richardson Number Shear), com o objetivo de relacionar o cisalhamento vertical do vento com a ocorrência do tornado, e por fim, foram plotados diagramas Skew T – Log P, com o intuito de caracterizar e entender o perfil termodinâmico associado ao evento.

Grade	$\Delta x = \Delta y$ (km)	Δt (s)	Número de Níveis na Vertical
Grade 1	40	60	32
Grade 2	10	15	32

Tabela 1. Especificações das grades utilizadas.

Por fim, é importante destacar que o cisalhamento vertical do vento é imprescindível para a ocorrência de tornados. O forte cisalhamento de vento gera um tubo de vórtice com intensa vorticidade horizontal, que ao interagir com a corrente ascendente das células convectivas, é inclinado e a vorticidade horizontal é convertida em vorticidade vertical. Tal processo cria um ambiente favorável à intensificação de tempestades com a formação de um mesociclone em níveis médios, no qual irá intensificar as correntes ascendentes da tempestade (Rotunno & Klemp, 1982), e criar uma vorticidade favorável e necessária para a formação de tornados, como descrito em Weismann e Klemp (1986), Nascimento, (2005), Menezes (1998), entre outros. Sendo assim, para quantificar a intensidade do cisalhamento vertical do vento foi utilizado um parâmetro de cisalhamento a ser empregado na caracterização de situações conducentes a tempo severo. O índice BRNSH (Bulk Richardson Number Shear) que é encontrado também na literatura especializada como, DNRV (Denominador do Número de Richardson Volumétrico) é dado de acordo com Weisman e Klemp (1982), Stensrud *et al.* (1997) e outros da seguinte forma:

$$BRNSH = 1/2(u^2 + v^2) \quad (1)$$

onde u e v são, respectivamente, as componentes zonal e meridional do vetor diferença entre o vento médio nos primeiros 6000 m (ponderado pela densidade do ar) e vento médio nos primeiros 500 m

acima do solo. De acordo com Stensrud *et al.* (1997), que utilizaram o índice BRNSH para discriminar tempestades tornádicas e não tornádicas, valores abaixo de $20 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e acima de $140 \text{ m}^2/\text{s}^2$ não são adequadas para a formação de tornados, enquanto que, valores entre 40 e $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ indicam maior chance de ocorrência de tornados.

3 Resultados

3.1 Análise da Dinâmica Atmosférica Associada à Formação do Tornado

De acordo com a Figura 2, destaca-se a partir das 05 Z do dia 20 de abril a formação de um pequeno e ainda isolado núcleo convectivo próximo a fronteira entre Argentina e oeste do Rio Grande Sul. Com o passar das horas este sistema convectivo evolui e se dividiu em três núcleos convectivos principais, com atuação ainda sobre o mesmo local de formação, às 09 Z. Durante as próximas horas o SCM se desenvolveu e os três núcleos se uniram em um, formando uma grande massa de nebulosidade associado à tempestade severa, cobrindo todo o Rio Grande do Sul, e as porções sul e oeste do estado de Santa Catarina. A partir das 14 Z o sistema começou a perder intensidade sobre o Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, porém, por motivos que serão explicados mais à frente, a partir das 15 Z, o sistema começou a ganhar força novamente formando um núcleo intenso de precipitação sobre o oeste de Santa Catarina, região onde está localizado Xanxerê. As 18 Z, hora de ocorrência do tornado, havia dois núcleos principais do SCM atuando sobre a porção oeste e central de Santa Catarina, na qual, foram responsáveis pela ocorrência do evento.

Ao analisar a figura 3, nota-se às 12Z do dia 20, uma corrente de ar de baixos níveis (850 hPa), configurada de forma inclinada com uma posição predominantemente (NW-SE), sugerindo uma advecção de calor e umidade da Amazônia para toda a região compreendida entre o norte da Argentina e sul do Brasil. Em adição, destaca-se sobre grande parte da Bolívia um vento com intensidade forte, com valores entre 14 e 15 m/s, que estariam associadas com um cavado sobre o norte da Argentina e parte do Paraguai, responsáveis pelo suporte e abastecimento do SCM que já atuava naquela região.

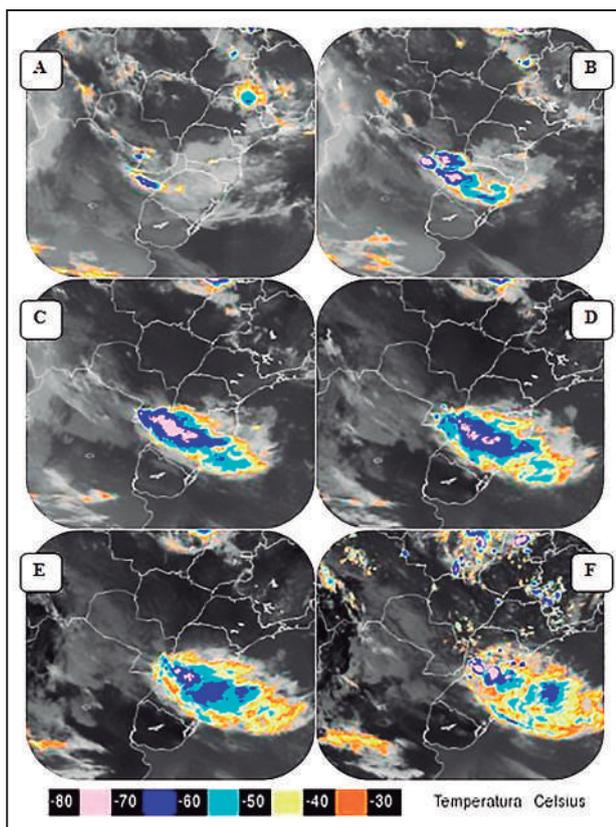


Figura 2 Atuação do SCM às 05 Z (A), 09 Z (B), 12 Z (C), 14 Z (D), 15 Z (E) e 18 Z (F) no dia 20/04/2015, dia do evento. Fonte: DSA – CPTEC.

Nesse contexto, foi analisado o campo de movimento vertical (ω) no nível de 850 hPa, ilustrados pela figura 4. A partir das 12 Z, um grande núcleo de movimento vertical ascendente (ω negativo) se deslocou da Argentina em direção ao município de Xanxerê, indicando que realmente havia convergência em baixos níveis na porção oeste do estado de Santa Catarina nas horas anteriores ao evento, responsável por manter o sistema convectivo abastecido de umidade e em constante desenvolvimento. A existência de cisalhamento vertical do vento e consequente formação de um vórtice, ao interagir com movimentos ascendentes poderia levar o aumento do alongamento vertical do vórtice, acarretando possivelmente na formação de tornados, Markowski & Richardson (2014).

De acordo com Doswell et al. (1993), o cisalhamento vertical do vento é imprescindível para a formação de tornados. Sendo assim, foi utilizado o modelo de mesoescala BRAMS, fornecendo como saída o índice BRNSH (Figura 5). Ao analisar a figura 5, observa-se que às 18 Z, hora de ocorrência do tornado, o índice BRNSH variou numa faixa entre 40 e 80 m^2/s^2 de forma a assegurar a ocorrência

de cisalhamento vertical, e ainda, o que de acordo com Stensrud et al. (1997) está dentro da faixa de maior probabilidade de tempestades com ocorrência de tornados.

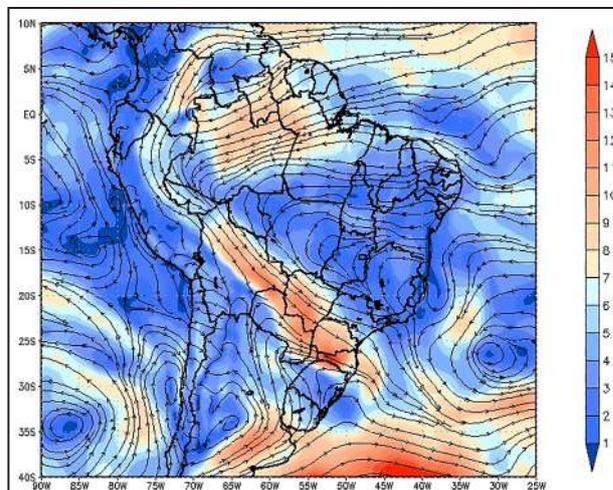


Figura 3 Linha de corrente e magnitude do vento (m/s) em 850 hPa às 12 Z, para o dia 20/04/2015. Fonte de dados: Era Interim.

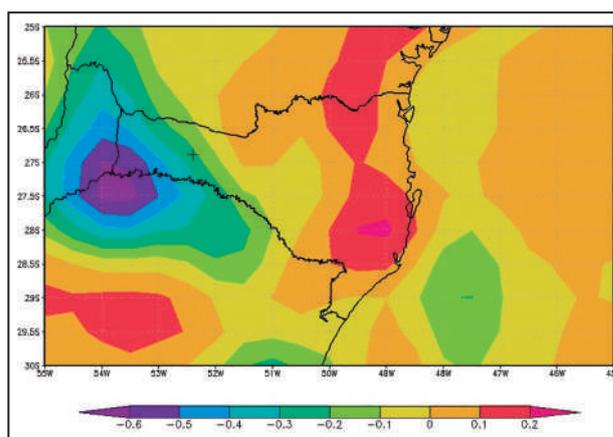


Figura 4 Movimento vertical (ω) (Pa/s) em 850 hPa às 12 Z, para o dia 20/04/2015. A cruz no mapa representa o município de Xanxerê. Fonte de dados: Era Interim.

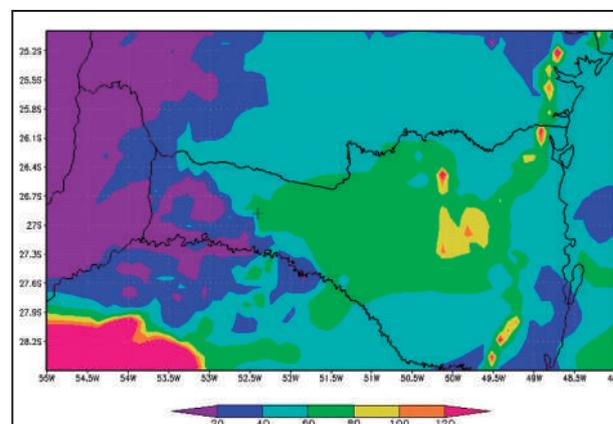


Figura 5 Índice BRNSH (m^2/s^2) às 18 Z, para o dia 20/04/2015. A cruz no mapa representa o município de Xanxerê. Fonte: BRAMS.

3.2 Análise das Condições Termodinâmicas Associadas à Formação do Tornado

Para analisar as condições termodinâmicas associadas à formação do tornado, foram gerados campos de umidade relativa (%), variando no eixo da abscissa em longitudes entre 54 e 50 W, e no eixo da ordenada em níveis de pressão entre 1000 e 100 hPa, centrado na latitude do município de Xanxerê (Figura 6). Nota-se que por volta da hora de ocorrência do evento (18 Z), houve uma acentuada secagem sobre a região de interesse, por volta do nível de 500 hPa, chegando a valores menores que 20 % de umidade relativa.

Este mecanismo típico de tempestades supercelulares, ou até mesmo de células individuais, foi explicado por Weisman & Klemp (1986), na qual, puderam destacar que uma secagem na atmosfera é responsável pela evaporação das gotículas de água ou sublimação do gelo e consequentemente o resfriamento do ar adjacente, gerando correntes de ar frio descentes. Normalmente estes movimentos em escala convectiva estão associados a fortes ventanias em superfície. Sendo assim, acredita-se que a secagem mostrada em níveis médios seja responsável pela forte ventania em superfície minutos antes da formação e atuação do tornado sobre o município.

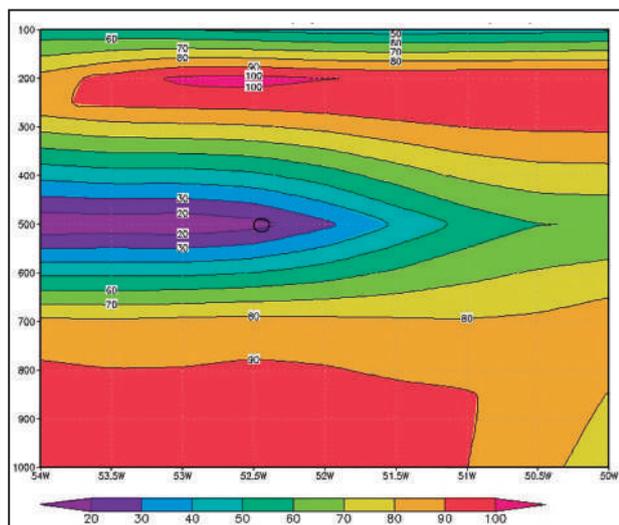


Figura 6 Corte vertical de umidade relativa (%) fixado na latitude de Xanxerê-SC, às 18 Z para o dia 20/04/2015. Círculo preto: região de interesse. Fonte: Era Interim.

Por outro lado, a Figura 7 mostra o perfil termodinâmico em dois horários diferentes que antecederam ao evento, às 12 e 18 Z. Analisando esta

figura, nota-se que a energia potencial convectiva disponível (CAPE), responsável por elevar a parcela de ar, quando a mesma ultrapassa o nível de convecção espontânea, aumenta de forma intensa ao longo das horas, passando de 622 J/ Kg às 12Z até atingir 1028 J/Kg às 18 Z. Este fato pode ser considerado suficiente para a manutenção e desenvolvimento convectivo do sistema em estudo.

Para uma análise mais detalhada de determinados índices termodinâmicos é interessante destacar que, de acordo com Silva Dias (2000), o índice de levantamento (Lift Index – LI) denota apenas a instabilidade da camada e será negativo (menor que $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) quando há umidade e calor nos níveis baixos e ar frio em 500 hPa. Já o índice Total Totals (TT) exige calor e umidade em 850 hPa e ar frio em 500 hPa, porém não restringe a umidade em 700 hPa, como acontece na formulação do índice K, em que para ser significativo é necessário calor em baixos níveis e umidade em abundância desde a superfície até o nível de 700 hPa, sendo que uma secagem em 700 hPa reduziria o valor de K.

Dessa forma, ao analisar a Figura 7, destaca-se o índice de levantamento (LI) que permanece negativo (menor que $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) para todas as horas em estudo, denotando uma camada instável durante as horas que antecederam o evento. Como visto anteriormente na Figura 6 e ainda observando o comportamento do perfil de T e Td na sondagem (Figura 7), fica evidente que o índice K se manteve alto (maior que $24\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante as horas de atuação do SCM devido a camada seca se apresentar próxima ao nível de 500 hPa e não no nível de 700 hPa.

Sendo assim, como o índice Total Totals (TT) se manteve alto (maior que $45\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante as horas que antecederam ao evento e o índice LI se manteve negativo para os mesmos horários, conclui-se que o índice K não foi relevante nesse estudo para classificar a tempestade como severa, sendo que a secagem em médios níveis (500 hPa) foi um fator importante que junto aos valores de TT alto e LI negativos forneceram as condições termodinâmicas necessárias para uma atuação e classificação de uma tempestade com ventanias fortes.

4 Conclusão

A partir da análise feita, fica evidente que os ambientes sinótico e de mesoescala foram fa-

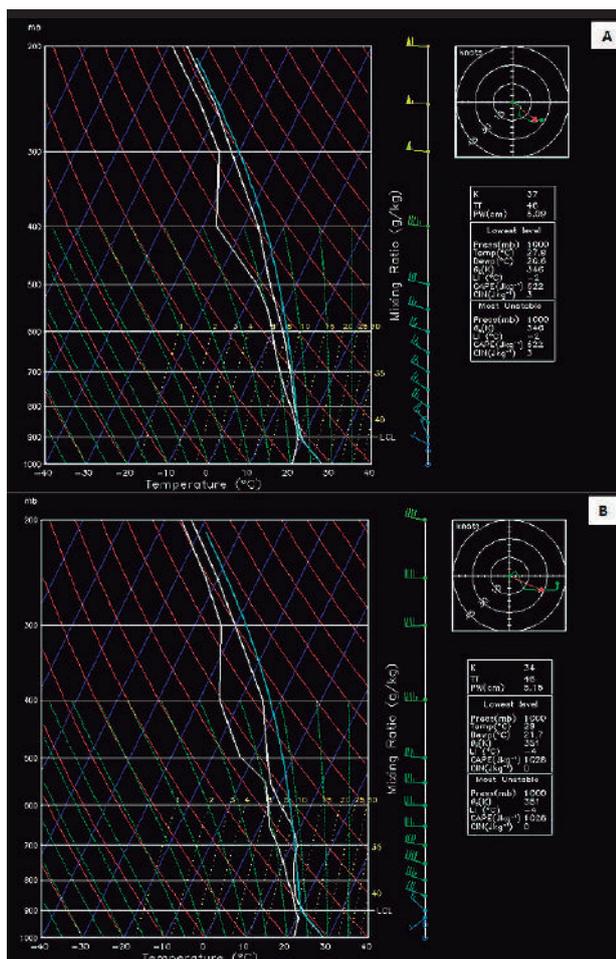


Figura 7 A - Sondagem do dia 20/04/2015, 12 Z, centrado nas coordenadas de Xanxerê - SC. B - Sondagem do dia 20/04/2015, 18 Z, centrado nas coordenadas de Xanxerê - SC. Produto do BRAMS.

voráveis à formação e desenvolvimento de tempestades severas sobre todo o estado de Santa Catarina e regiões adjacentes. É importante destacar que os fatores dinâmicos, termodinâmicos e os mecanismos forçantes se mostraram presentes e atuando em conjunto em um cenário predecessor (horas antes) ao evento.

Sendo assim, devido a um escoamento de baixo nível bem configurado, de noroeste, associado com um cavado sobre o nordeste da Argentina, sugere-se uma advecção de umidade do Paraguai para o estado de Santa Catarina. Com uma plataforma de nuvem formada em médios e altos níveis, todo esse calor e umidade ficaram aprisionados na região e levaram a altos valores de umidade relativa na camada limite e conseqüentemente o NCL (nível de condensação por levantamento) se deu em níveis baixos da atmosfera.

Através do índice BRNSH, ficou evidente a existência de um cisalhamento vertical do vento suficiente para favorecer a formação de tornados, de acordo com os valores propostos por Stensrud et al. (1997). Os valores variaram entre 40 e 80 m^2/s^2 às 18 Z, hora de ocorrência do tornado, destacando um bom desempenho do modelo BRAMS para esta variável, próximo à hora do evento.

Por outro lado, ao se comparar as sondagens geradas pelo modelo (Figura 7) com o perfil vertical de umidade relativa, obtido através da reanálise Era Interim (figura 6), nota-se que a secagem no nível de 500 hPa foi registrada por ambos, principalmente às 18 Z, hora da ocorrência do tornado. Isso indica que nesse momento havia correntes descendentes fortes atuando nas nuvens sobre Xanxerê, de forma a auxiliar o deslocamento do tubo de vórtice até atingir a superfície, formando o tornado. Porém, a camada de ar seco registrada por ambos é avaliada através de informações diferentes o que compromete a avaliação do desempenho do modelo neste caso.

Assim, com base nessas informações, fica evidente como o sul do Brasil, principalmente o estado de Santa Catarina, sofre com o sistema intenso de tempo severo típico desta região. Obviamente, novos estudos são necessários para incrementar e sedimentar o processo de formação de tempestades severas com ocorrências de tornados neste estado. Espera-se que os resultados aqui expostos motivem e contribuam para a extensão das pesquisas neste âmbito.

5 Referências

- Berri, G.J. & Inzunza, J.B. 1993. The effect of the low-level jet on the poleward water vapour transport in the central region of South America. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(3): 335-341.
- Doswell, C.A.; Weiss, S.J. & Johns, R.H. 1993. *Tornado Forecasting: A Review. The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards*, American Geophysical Union, Washington, D. C. 637 p.
- DSA - Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. 2017. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/home/>> Acesso em: 06/02/2017.
- Dyer, R. A. 1994. A review of tornado activity in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, São Jose dos Campos, 1994. *Trabalho completo*, São Jose dos Campos, INPE, p. 203–213.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 06/02/2017
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 06/02/2017.

- Johnson, R.H. & Mapes, B.E. 2001. Mesoscale processes and severe convective weather. *In: Severe Convective Storms*, p. 71-122. (American Meteorological Society).
- Marcelino, I.P.V.O.; Herrmann, M.L.P. & Ferreira, N.J. 2009. The Occurrence of Tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 33(1): 27-38.
- Markowski, P.M. & Richardson, Y.P. 2014. The influence of environmental low-level shear and cold pools on tornadogenesis: Insights from idealized simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(1): 243-275.
- Menezes, F.W. 1998. *Tempestades Severas: Um modelo para latitudes subtropicais*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 181p.
- Menezes, W.F. & Silva Dias, M.A.F. 1998. Simulação Numérica das Tempestades Ocorridas no Estado de São Paulo em 14 de Maio de 1994: O Caso Ribeirão Preto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 10, Brasília, 1998. *Resumos expandidos*, p. 26-30.
- Nascimento, E.L. 2005. Previsão de Tempestades Severas Utilizando-se Parâmetros Convectivos e Modelos de Mesoescala: Uma Estratégia Operacional Adotável no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(1): 121-140.
- Rotunno, R. & Klemp, J.B. 1982. The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. *Monthly Weather Review*, 110(2): 136-151.
- Silva Dias, M.A.F. 2000. Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/ensino/indices.pdf>> Acesso em: 06/02/2017.
- Silva Dias, M.A. 2011. An increase in the number of tornado reports in Brazil. *Weather, Climate, and Society*, 3(3): 209-217.
- Stensrud, D.J.; Cortinas Jr, J. V. & Brooks, H. E. 1997. Discriminating between tornadic and nontornadic thunderstorms using mesoscale model output. *Weather and forecasting*, 12(3): 613-632.
- Weisman, M.L. & Klemp, J.B. 1982. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Monthly Weather Review*, 110(6): 504-520.
- Weisman, M.L. & Klemp, J.B. 1986. Characteristics Of Isolated Convective Storms. *In: MESOSCALE METEOROLOGY AND FORECASTING*, p. 331-358. (American Meteorological Society).
- Zipser, E.J.; Liu, C.; Cecil, D.J.; Nesbitt, S.W. & Yorty, D.P. 2006. Where are the most intense thunderstorms on Earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(8): 1057-1071.