

ANÁLISE DO EPISÓDIO DE TORNADO OCORRIDO NO DIA 07/02/98 NO MUNICÍPIO DE ABDON BATISTA – SC

ISABELA PENA VIANA DE OLIVEIRA MARCELINO¹
NELSON JESUS FERREIRA¹
JORGE CONRADO CONFORTE¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{isabela, nelson, conforte}@ltid.inpe.br

Abstract. The objective of this study was to analyze the meteorological conditions associated with a tornado event which took place on 07/02/ 98 in Abdon Batista, Santa Catarina State, Brazil. The analysis was done using GOES-8 infrared images, TRMM rainfall data, and NCEP/NCAR reanalysis. The results indicate that the tornado occurred at early morning hours when the storm reached its maximum intensity. The event was associated with a Mesoscale Convective Complex characterized by strong convective activity, heavy rainfall, rapid evolution and low-level moisture convergence.

Keywords: tornado, remote sensing, synoptic analysis.

1. Introdução

A presença de fenômenos atmosféricos extremos no Brasil é um fato que abrange toda extensão do território nacional. Os registros de episódios extremos no país são tão variados, que vão de estiagens às enchentes, tempestades que geram fortes vendavais, precipitação de granizo e tornados, causando sérios danos às populações atingidas (Herrmann, 2001).

Dentre esses fenômenos extremos, os tornados são ainda pouco estudados devido a grande dificuldade de registro do fenômeno. Essa dificuldade é decorrente da rápida atuação do mesmo e da falta de equipamentos necessários para identificação correta do fenômeno.

Todavia, apesar da dificuldade de registrar tornados no Brasil, alguns autores têm estudado episódios de ocorrências desses eventos no país (Dyer, 1988, 1994; Silva Dias e Grammelsbacher, 1991; Massambani et al., 1992; Antônio, 1997; Nechet, 2002; Marcelino et al., 2002).

O tornado é definido como uma nuvem funil que liga a base de um cumulonimbus à superfície terrestre, sendo que o ar em movimento que o constitui tem força suficiente para causar danos em superfície (Doswell, 1997). Os tornados estão associados às tempestades severas que se desenvolvem em ambientes instáveis e formam-se na base de sistemas convectivos, também denominados de mesociclones ou supercélulas

Marcelino et al. (2002) citam que, o Estado de Santa Catarina, localizado na Região Sul, oferece as condições propícias para a ocorrência de tornado, pois além de estar sob a influência de sistemas baroclínicos transientes, apresenta elevados índices de umidade ao longo do ano que favorece a formação de sistemas convectivos isolados. Além disso, a forte influência de outros sistemas atmosféricos, como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), também contribui significativamente para a ocorrência do mesmo. Segundo os autores, de 1976 a 2000 foram identificados 23 episódios desse fenômeno em Santa Catarina, sendo 18 casos de tornados e 5 de trombas d'água. Estes fenômenos causaram muitos danos, principalmente em habitações, estabelecimentos comerciais e plantações, deixando muitos desabrigados e várias vítimas fatais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise das condições atmosféricas em escala sinótica da tempestade que desencadeou a ocorrência de um tornado

em 07 de fevereiro de 1998 no município de Abdon Batista – SC. Este episódio foi registrado nos Relatórios de Danos Adversos da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina (DEDC-SC).

O município de Abdon Batista está localizado na Mesorregião Serrana de Santa Catarina e faz divisa com o município de Campos Novos ao norte (N); Anita Garibaldi ao sul (S); Vargem, São José do Cerrito e Cerro Negro a leste (E); e Campos Novos a oeste (W). Esta região é formada por um relevo ondulado a forte ondulado, com altitude em torno de 800 a 1100 m.

2. Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as imagens do satélite GOES-8, canal 4 (10,2 – 11,2 μm); imagens do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) do radar de precipitação (PR); e reanálises do modelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). O processamento e análise dos dados foram realizados nos softwares GRADS, ENVI e IDL.

As análises do satélite GOES-8 foram utilizadas primeiramente para observar a formação e dissipação da tempestade ao longo dos dias 06/02/98 (dia anterior) e 07/02/98 (dia da ocorrência), com uma resolução temporal de 3 em 3 horas, aproximadamente. Em seguida, foi realizada a transformação dos níveis de cinza (NC), para a temperatura de brilho (TB), utilizando a seguinte equação:

$$TB = 320 - (0.625 \times NC) \quad (1)$$

As imagens transformadas para TB foram classificadas a fim de encontrar áreas que possuíam os menores valores de TB, indicando assim, convecção mais intensa. A classificação adotada foi a não supervisionada, ou seja, o usuário não determina *a priori* as classes que deverão ser encontradas pelos classificadores. Basicamente, os algoritmos de classificações não supervisionados são métodos de agrupamento baseados em medidas de similaridade, ou seja, pixels ou regiões são agrupadas se a medida de similaridade entre eles for satisfatória (Crosta, 1992). Foram testados os classificadores Isodata e K-means, implementados no Envi 3.5, para verificar qual forneceria uma resposta mais satisfatória na classificação da TB.

O classificador Isodata é um algoritmo de classificação que identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. Os padrões são geralmente referidos como "clusters" (agrupamentos ou nuvens) em decorrência da técnica adotada. Dessa forma, as classes são determinadas pelas análises de agrupamentos ("cluster analysis") (Schowengerdt, 1997; Gonzáles e Woods, 2000).

Já o algoritmo de classificação K-means calcula inicialmente as classes distribuindo-as uniformemente no espaço. Em seguida as classes são aglomeradas por processos iterativos usando a técnica de distância mínima, que resultará numa boa classificação quanto melhor for o agrupamento da nuvem de pixels (Schowengerdt, 1997; Gonzáles e Woods, 2000).

Ambas as classificações foram testadas na imagem GOES-8 do dia 07/02/98 das 09 UTC (**Figura 1**). Os resultados indicam que a classificação pelo método Isodata apresentou uma melhor discriminação de classes da TB em relação ao método K-means. Desta forma, adotou-se o método Isodata para classificar as demais imagens que abrangeram o fenômeno (03, 06, 09, 12 e 15 UTC).

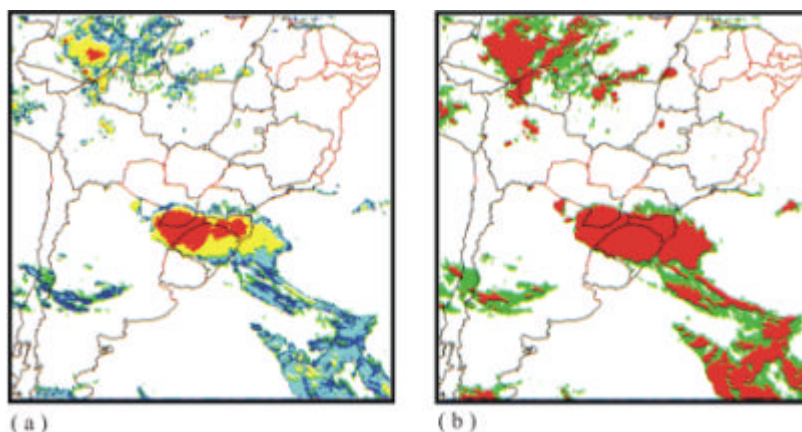


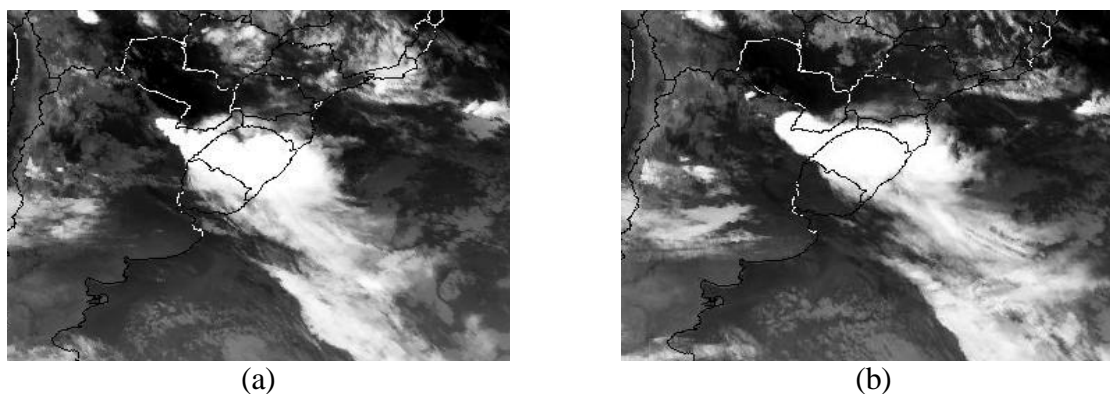
Fig. 1 – Imagens classificadas por: (a) Isodata e (b) K-means.

Quanto ao TRMM foi utilizado um dos produtos do satélite disponibilizado pela NASA: 2A25 (Kummerow, 1998). Esse é um produto do Radar de Precipitação (PR) que tem como objetivo estimar a distribuição tridimensional da precipitação. Para processar os dados 2A25, foi utilizado um programa em linguagem IDL para gerar os dados em mm/h e fornecer dois transsectos da região. Este procedimento foi adotado com o propósito de visualizar a distribuição vertical da precipitação.

Foram também utilizadas as reanálises do modelo NCEP, com resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, para diagnosticar os sistemas atmosféricos atuantes em escala sinótica. Diferentes campos foram analisados para esse fim: linhas de corrente, divergência (ambos utilizando o vento zonal e meridional), velocidade vertical e umidade específica. Foram analisados os campos dos níveis isobáricos de 300 a 925 hPa para os horários das 00, 06, 12 e 18 UTC dos dias 06 e 07/02/98.

3. Resultados e discussões

Através da seqüência das imagens GOES-8 pôde-se verificar que o sistema atmosférico que desencadeou o tornado em Abdon Batista desenvolveu-se na madrugada do dia 07/02, atingindo todo o Estado de Santa Catarina na manhã do mesmo dia (**Figura 2**). A partir do meio dia, esse sistema começou a dissipar-se, não sendo mais observado nos horários da tarde e da noite do dia 07/02.



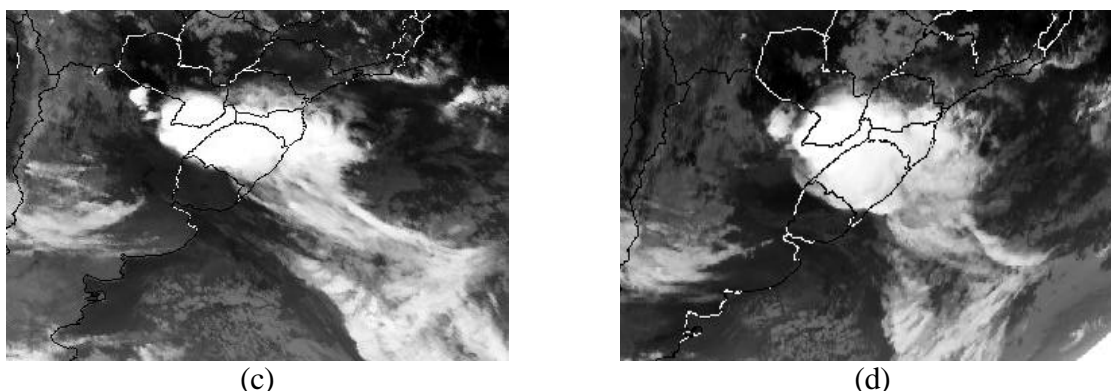


Fig. 2 – Sequência de imagens GOES-8 do dia 07/02/98: (a) 03 UTC, (b) 06 UTC, (c) 09 UTC e (d) 12 UTC.

As imagens TB classificadas apresentaram sobre Santa Catarina temperaturas relativamente baixas para o horário das 09 e 12 UTC. Foram registrados valores de 169 a 170 K para a classe *vermelha* e valores que variaram de 174 a 183 K para a classe *amarela* (Figuras 3 e 4). Essas duas classes foram as que apresentaram os valores mais baixos de TB e a forma arredondada que caracteriza as nuvens do tipo cumulonimbus.

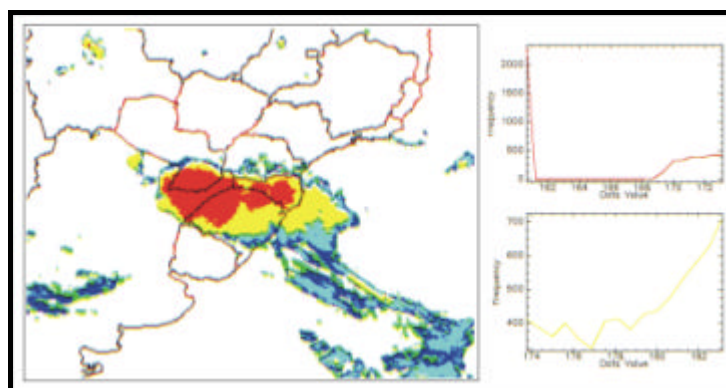


Fig. 3 – Imagem das 09 UTC do dia 07/02/98 com os histogramas da classe vermelha e amarela.

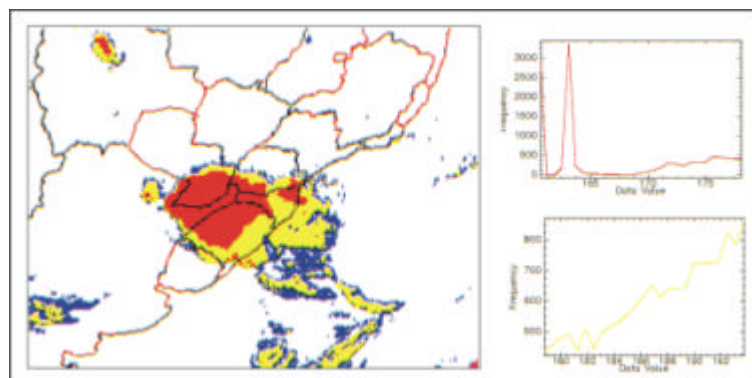


Fig. 4 – Imagem das 12 UTC do dia 07/02/98 com os histogramas da classe vermelha e amarela.

Para a área de estudo, somente duas órbitas do satélite TRMM foram consideradas, ambas no período da manhã. A órbita 1128 passou pelo Equador às 9:34 h (hora local) cobrindo o setor sudeste da tempestade, enquanto que a órbita 1129 passou pelo Equador às 11:06 h (hora local), detectando o setor noroeste da tempestade.

O radar de precipitação conseguiu registrar somente as extremidades da tempestade, devido ao pequeno campo de visada (220 km). Na órbita 1128, o radar detectou a extremidade sudeste, localizada no Oceano Atlântico, próximo a costa sul catarinense e norte do Rio Grande do Sul (**Figura 5**).

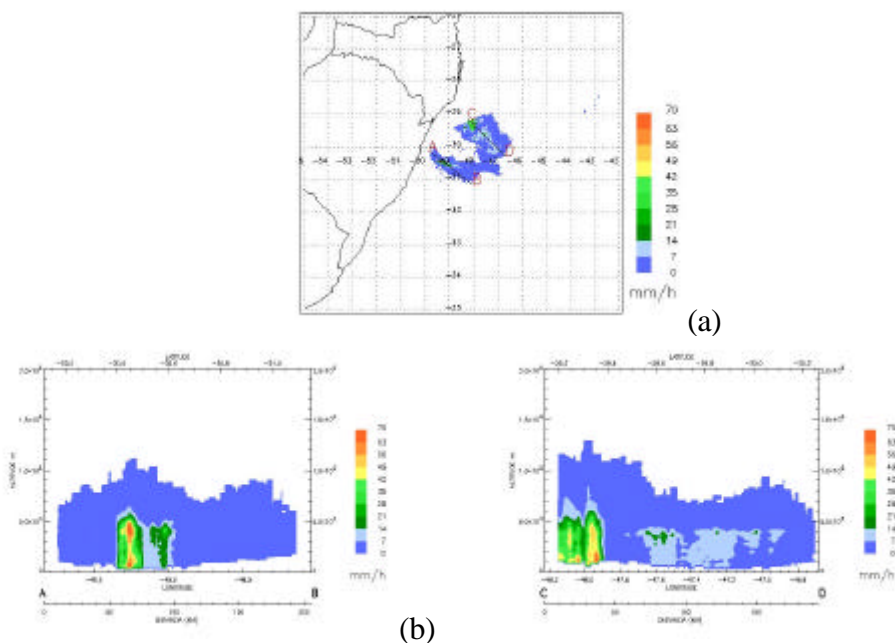


Fig. 5 – Taxa de precipitação em mm/h da órbita 1128 do PR: (a) distribuição espacial; (b) transecto AB; (c) transecto CD.

Conforme **Figura 5**, através dos transectos AB e CD, foi possível observar elevada taxa de precipitação, em torno de 70 mm/h, nos pontos $49,26^\circ$ W / $34,45^\circ$ S e $47,94^\circ$ W / $29,35^\circ$ S, respectivamente. A órbita 1129 detectou a extremidade noroeste da tempestade localizada no sul do Paraguai e norte da Argentina (**Figura 6**).

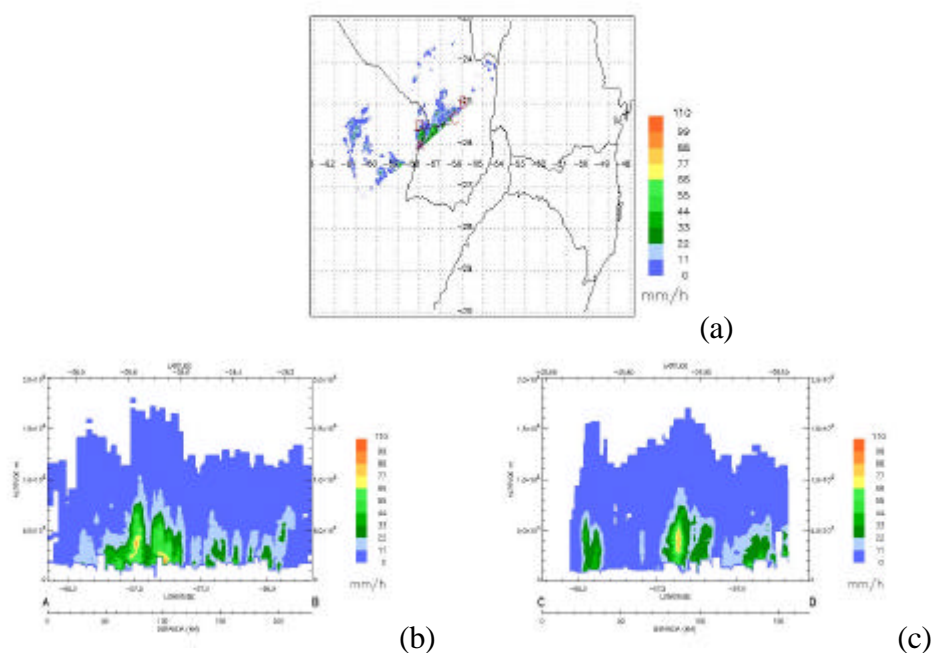


Fig. 6 – Taxa de precipitação em mm/h da órbita 1129 do PR: (a) distribuição espacial; (b) transecto AB; (c) transecto CD.

De acordo com a **Figura 6**, o transecto AB mostrou elevada taxa de precipitação registrando em torno de 110 mm/h no ponto 57,27° W / 25,66° S. O corte CD, apesar de apresentar valores de precipitação menores que o corte AB, também indicou elevada taxa de precipitação, com valores em torno de 88 mm/h próximo da superfície no ponto de 57,37° W / 25,56° S. A altitude média para ambos os cortes verticais foi de 15 km, ou seja, o topo das nuvens atingiu a tropopausa.

Verificou-se que a instabilidade que gerou o tornado no município de Abdon Batista – SC foi relativamente intensa em função dos baixos valores de TB indicando formação de gelo no topo das nuvens e conseqüentemente elevado desenvolvimento vertical. Mesmo não possuindo os registros pluviométricos sobre a região exata de ocorrência, foi possível identificar, a partir da similaridade das TB, elevadas taxas de precipitação sobre a região de interesse.

Quanto aos sistemas atmosféricos que estavam atuando ao longo do ciclo de vida da tempestade, verificou-se na baixa troposfera (925 e 850 hPa) um cavado sobre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, uma baixa na Argentina ao lado do cavado e circulação de alta pressão na região central do Brasil influenciando no fluxo dos ventos da região Amazônica para o Sul do Brasil. Também foi verificada a alta pressão do Oceano Atlântico Sul dividida em dois centros e outra circulação anticiclônica no Pacífico, próxima a costa do Chile (**Figura 7a**).

Para os médios e altos níveis (500 e 300 hPa) verificou-se padrões de sistemas atmosféricos semelhantes (**Figura 7b**). Nesses níveis isobáricos observou-se a presença da Alta da Bolívia dividida em dois centros, uma circulação ciclônica sobre o nordeste do Brasil e um cavado no Atlântico, muito próximo à costa sul da Argentina, com inclinação para noroeste. Sobre Santa Catarina observou-se ventos do quadrante oeste e sudoeste.

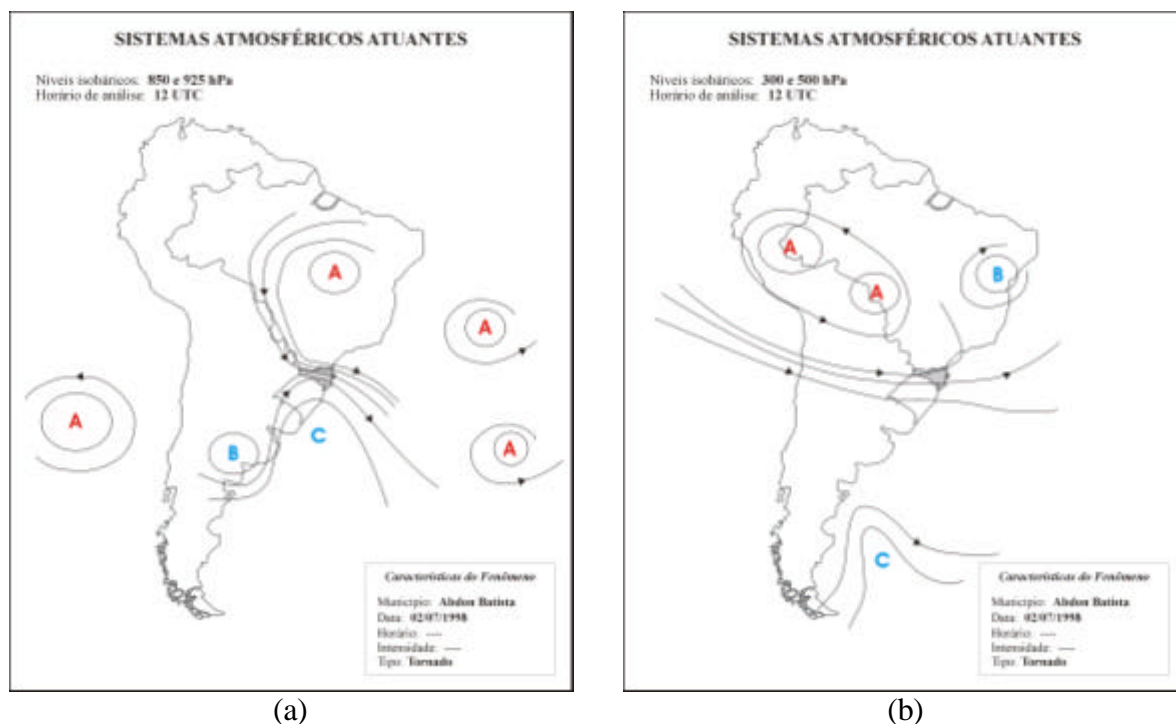


Fig. 7 – Esquemas dos sistemas atmosféricos atuantes às 12 UTC do dia 07/02/98: (a) 850 e 925 hPa; (b) 300 e 500 hPa.

Em relação aos sistemas que estavam atuando em baixos níveis pode-se notar a convergência dos ventos sobre Santa Catarina causada pela circulação do cavado e por ventos de noroeste (**Figura 8**). Esse escoamento de noroeste, por ser proveniente de uma região de fonte de umidade (Região Amazônica), elevou os valores de umidade para Santa Catarina (**Figura 9**), alimentando a intensidade da instabilidade sobre o estado. Outro fator que contribuiu para aumentar a instabilidade em superfície foi o cisalhamento do vento, pois foram verificadas direções diferentes dos escoamentos entre a baixa, média e alta troposfera.

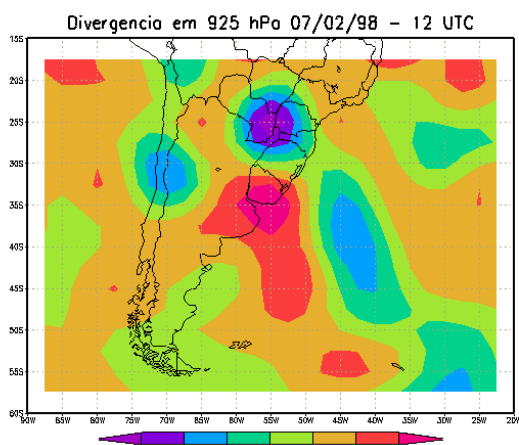


Fig. 8 – Campo de divergência em 925 hPa em 07/02/98 às 12 UTC

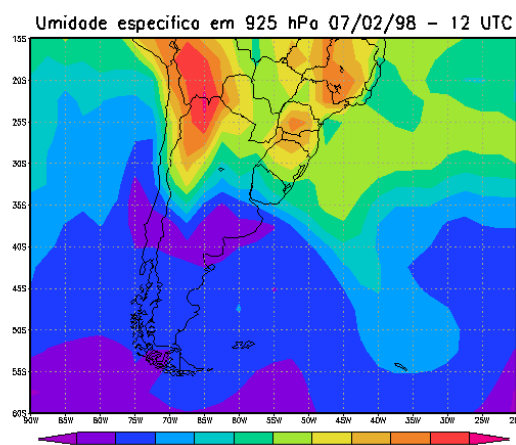


Fig. 9 – Campo de umidade específica em 925 hPa em 07/02/98 às 12 UTC.

Com base em todas as características analisadas da tempestade que gerou o tornado em Abdon Batista, verificou-se que se tratava de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), que segundo Silva Dias (1996), geralmente estão associados a precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e tornados.

De acordo com Maddox (1980), o CCM em uma imagem do canal infravermelho apresenta uma espessa cobertura de nuvens de topos frios constituída basicamente de nuvens do tipo cumulonimbus, de forma aproximadamente circular e tempo de vida de no mínimo 6 horas. Pôde-se verificar que o CCM analisado nesse episódio teve características semelhantes a essa definição e um tempo de duração muito maior do que 6 horas. Observou-se também que a maior atividade convectiva ocorreu no período da madrugada do dia 07/02, confirmando o hábito noturno como uma das características marcantes dos CCM, conforme Velasco e Fritsch (1987). Ressalta-se também que as condições de grande escala associadas a esse episódio, tanto na baixa como na alta troposfera, estavam condizentes com as características que geralmente estão associadas aos CCMs. Segundo Guedes (1985); Velasco e Fritsch (1987), a principal característica desse fenômeno é a presença de um jato em baixos níveis, proveniente da região Amazônica, transportando ar quente e úmido para o Sul, como também a presença de jato subtropical de oeste em altos níveis. Ambas circulações foram verificadas no presente episódio.

4. Considerações finais

O estudo das condições atmosféricas em escala sinótica do episódio de tornado de Abdon Batista pôde fornecer informações relevantes sobre o evento.

A área de instabilidade que gerou o fenômeno foi muito intensa e suas características indicaram a presença de um CCM. Foi possível também identificar o provável horário do fenômeno, ou seja, entre a madrugada e manhã do dia 07/02/98. Dentre as características sinóticas que contribuíram para a formação desse evento destacam-se o cavado em baixos

níveis, causando convergência com os fluxos de noroeste sobre Santa Catarina; o aumento de umidade devido ao fluxo de noroeste proveniente da Região Amazônica; escoamento de oeste em altos níveis; e o cisalhamento entre os escoamentos de altos e baixos níveis. Neste contexto, a análise em escala sinótica mostrou-se apropriada para análise das condições atmosféricas que condicionaram a ocorrência do tornado.

5. Agradecimentos

A primeira autora agradece a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (processo 00/14256-7). O segundo autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Processo Número 300486/96-0 pelo suporte.

6. Referências bibliográficas

- Antônio, M.A. Ocorrência de tornado na região tropical do Brasil. *Boletim Climatológico*, n. 3, p. 136-141, 1997.
- Crosta, A.P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- Doswell, C.A. *What is a tornado?* Norman (USA): NOAA/ERL/National Severe Storms Laboratory [on line] <www.taiga.geog.niu.edu/chaser.html> 1997
- Dyer, R.C. Remote sensing identification of tornado tracks in Argentina, Brazil and Paraguay. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 54, n. 10, p. 1429-1435, 1988.
- Dyer, R.C. A review of tornado activity in Brazil. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro, 1994. *Proceedings*. São José dos Campos: INPE, 1994. v. 30, Part 7a, p. 203-213.
- Gonzales, R.C.; Woods, R.E. *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.
- Guedes, R.L. *Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul*. Mestrado (Dissertação) – Universidade de São Paulo, 1985. 89 p.
- Herrmann, M.L.P. *Levantamento dos desastres naturais causados pelas adversidades climáticas no estado de Santa Catarina – período de 1980 a 2000*. Florianópolis: IOESC, 2001. 89 p.
- Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 15, p. 809-816, 1998.
- Maddox, R.A. Mesoscale convective complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 61, p. 1374-1387, 1980.
- Marcelino, I.P.V.O.; Herrmann, M.L.P.; Ferreira, N.J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. *Australian Meteorological Magazine*. (Submetido), 2002.
- Massambani, O.; Carvalho, L.M.V.; Vazquez, M.A. Tornado ou microexplosão ? um diagnóstico via Radar do evento de Itú-São Paulo. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 1992. *Anais*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992, v. 2, p.763-768.
- Nechet, D. Ocorrência de tornados no Brasil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 2, p. 29-39, 2002.
- Schowengerdt, R.A. *Remote Sensing: models and methods for image processing*. San Diego: Academic Press, 2^o ed., 1997. 522 p.
- Silva Dias, M.A.F. e Grammelsbacher, E. A. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 6, n. 2, p. 513-522, 1991.
- Silva Dias, M. A. F. Complexos convectivos de mesoescala. *Climanálise Especial*: edição comemorativa de 10 anos. Cachoeira Paulista: INPE/CPTEC, 1996, p.173-182.
- Velasco, I.; Fritsch, J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.*, v. 92, n. 8, p. 9591-9613, 1987.