

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**Faculdade de Meteorologia**

**Graduação em Meteorologia**



**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Caracterização sinótica e estudo de parâmetro de tempestade severa para um tornado ocorrido no estado de São Paulo**

**Juliana George Suleiman**

Pelotas, 2015

Dados de catalogação na fonte:  
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901  
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

S949c Suleiman, Juliana George  
Caracterização sinótica e estudo de parâmetro de tempestade severa para um tornado ocorrido no Estado de São Paulo / Juliana George Suleiman. – 52f.: il. – Trabalho de conclusão de curso (Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2015. – Orientador Mateus da Silva Teixeira.

1.Meteorologia. 2.Tornados. 3.Análise sinótica.  
4.Tempestade. I.Teixeira, Mateus da Silva. II.Título.

CDD: 551.645

**Juliana George Suleiman**

**Caracterização sinótica e estudo de parâmetro de tempestade severa para  
um tornado ocorrido no estado de São Paulo**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado na disciplina de TCC III, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Mateus da Silva Teixeira

Pelotas, 2015

**Banca examinadora:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mateus da Silva Teixeira

Prof<sup>a</sup>. Dr. Paulo Roberto Pelufo Foster

Prof<sup>a</sup>. Dr. André Becker Nunes

## **Dedicatória**

À minha família e meus amigos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

## **Agradecimentos**

Agradeço à minha família pelo apoio moral e financeiro. Sem vocês, eu não seria nada. Pai e Mãe vocês são um exemplo de força e coragem, muito obrigado. Ao George e Rizia, Marina e Rafael, Georgiane, Pedro, as minhas princesas Nivea e Laura e ao futuro príncipe à caminho.

À minha prima e amiga Paulinha que sempre me incentivou e apoiou de todas as formas, eu sempre serei grata.

Aos amigos de inestimável valor que fiz durante a graduação e que sempre levarei comigo, especialmente Gisele, Jéssica, Simone, Sandro e Bruno. Aos bons momentos compartilhados e por tornarem mais prazerosa esta árdua caminhada.

Ao Ayman pela a ajuda constante na reta final. Obrigada pelo carinho e paciência.

Ao Professor Dr. Mateus da Silva Teixeira pela orientação neste trabalho.

Aos professores e amigos Vianna e Yamasaki, vocês são de grande valor, levarei para sempre as nossas conversas.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Graduação, e aos professores da Faculdade Meteorologia pelos ensinamentos de grande valia.

## Resumo

SULEIMAN, Juliana George. **Caracterização sinótica e estudo de parâmetro de tempestade severa para um tornado ocorrido no estado de São Paulo** 2013. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Tornados têm sido considerados um dos fenômenos atmosférico mais severo. Esse fenômeno é caracterizado por uma coluna de ar girando violentamente que se estende da base de uma nuvem cumulonimbus até a superfície. No Brasil, as regiões Sudeste e Sul são as mais atingidas. Por isso o objetivo desse trabalho é melhorar a compreensão de tal fenômeno em relação ao seu quadro sinótico, visando estudar ambientes propícios a desenvolvimento de tempestades geradoras de tornados. Para isso o presente estudo analisou o tornado que ocorreu na cidade de Indaiatuba-SP no dia 24 de maio de 2005 às 20:30UTC, tendo sido o tornado mais intenso já registrado no Brasil, classificado, segundo a escala Fujita, como F3. Os campos diagnósticos mostraram um ambiente propenso ao desenvolvimento de tempestades, porém não para um evento extremo. Na análise temporal do parâmetro de tempo severo indica um aumento nos valores próximo ao horário da ocorrência do tornado, entretanto, os valores são abaixo do limiar definido na literatura. Em conclusão, a análise sinótica e dos parâmetros indicam um ambiente propício à ocorrência de atividade convectiva, porém não indicam um ambiente com grande potencial para gerar um caso de evento extremo, por exemplo, um tornado.

Palavras-chave: tornados; análise sinótica; tempestades.

## **Abstract**

SULEIMAN, Juliana George. **Synoptic characterization and study of parameter for a severe storm event a tornado occurred in the state of São Paulo**. Final Project (Undergraduate) –School of Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The tornadoes have been considered one of the most severe atmospheric phenomenon. A violent rotating column of air extending from the base of a cloud cumulonimbus to the surface characterizes this phenomenon. In Brazil, the Southeast and South regions are the areas the most affected. So, the aim is to improve understanding of this phenomenon in relation to its synoptic framework, aiming to study environments conducive to development-generating storms tornadoes. For this, the present study examined the case of tornado that occurred in Indaiatuba-SP on May 24, 2005 at 20:30 UTC and it was the most intense tornado ever recorded in Brazil, classified, according to the Fujita scale, as F3. The diagnostic fields showed an environment prone to the development of storms, however not to an extreme event. In the temporal analysis of severe weather, parameter indicates an increase in values near the time of occurrence of the tornado; however, the values are below the threshold defined in the literature. In conclusion, analysis and synoptic parameters indicate an environment conducive to the occurrence of convective activity, but do not indicate an environment with great potential to generate an event extreme case, for example, a tornado

Keywords: tornadoes; synoptic analysis; thunderstorm

## Lista de Figuras

- Figura 1 – Representação gráfica de uma célula convectiva com a presença de um cisalhamento do vento.  
Fonte: Adaptado de KLEMP (1987).....19
- Figura 2 – Relação entre o cisalhamento vertical do vento 0-6km e CAPE.  
Fonte: Adaptado de BOOKS et al. (2003).....20
- Figura 3 – Espectro de tipos de células em função do cisalhamento do vento.  
Fonte: Adaptado de MARKOWSKI e RICHARDSON (2010).....21
- Figura 4 – Esquematização da Tornadogênese.  
Fonte: MARKOWSKI e RICHARDSON (2010).....24
- Figura 5 – Distribuição espacial de dias por ano com condições favoráveis a (a) tempestades severas e (b) tornados, baseados em dados de 1997 até 1999 obtidos pelo NCAR:NCEP.  
Fonte: BROOKS; ANDERSOM (2004).....25
- Figura 6 – Representação dos jatos observados na América do Sul (a) e na América do Norte (b) nos períodos de maior atividade convectiva.  
Fonte: NASCIMENTO (2005).....26

Figura 7 – Distribuição geográfica e intensidade segundo a escala Fujita dos casos de tornados no estado de Santa Catarina.

Fonte: MARCELINO (2004).....27

Figura 8 – Típica assinatura de eco ganho e velocidade radial.

Fonte: NOAA .....30

Figura 9 - Campo de pressão ao nível médio do mar e geopotencial em 500hPa às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.....35

Figura 10 - Campo de escoamento no nível de 850 hPa e umidade específica para o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.....36

Figura 11 - Campo de convergência de umidade em 700hPa para o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.....37

Figura 12 - Campo de CAPE para o dia 24 de maio de 2005 para a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC, contornos a cada 200J/Kg.....38

Figura 13 - Campo de LI o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC, contornos a cada 2K.....40

Figura 14 - Evolução temporal da média da área dos índices IEH, SRH e CAPE para o caso de tornado na cidade Indaiatuba-SP.....41

Figura 15 -. Campo do Índice de Energia e Helicidade para o dia 24 de maio de 2005 18UTC. O ponto em destaque mostra a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP .....42

Figura 16 - Imagens campo de refletividade (dBz) para o dia 24 de maio de 2004 às a) 20:01UTC, b) 20:16UTC, c) 20:31UTC e d) 20:46UTC. O ponto indica a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP e o círculo indica a tempestade que gerou o tornado.....44

Figura 17 - Imagens campo Doppler (velocidade radial, m/s) para o dia 24 de maio de 2004 às a) 20:01UTC, b) 20:16UTC, c) 20:31UTC e d) 20:46UTC. O ponto indica a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP e o círculo indica a tempestade que gerou o tornado.....45

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Tabela de intensidade segundo a escala Fujita.

Fonte: Adaptado de FUJITA e PEARSON (1973).....23

## **Abreviaturas e siglas**

CAPE	Convective Available Potential Energy
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
Cb	Cumulonimbus
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CVV	Cisalhamento Vertical do Vento
IPMET	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
IEH	Índice de Energia Helicidade
JAN	Jato de Alto Nível
JBN	Jato Baixo Nível
K	Kelvin
kg	Kilogramas
LI	Linha de Instabilidade
LI	Lifded Index
SCM	Sistemas Convectivo de Mesoescala
SRH	Storm Relative Helicity
UTC	Universal Time Coordinated
UNESP	Universidade Estadual Paulista

## Sumário

1. Introdução.....	16
2. Revisão Bibliográfica .....	18
2.1. Sistemas de Mesoescala .....	19
2.1.1. Formação de tempestades.....	19
2.1.2. Classificação dos Sistemas Convectivos de Mesoescala... ..	22
2.2. Tornados .....	22
2.2.1. Características básicas.....	22
2.2.2. Tornadogênese.....	23
2.2.3. Ocorrência de tornados no mundo.....	25
2.2.4. Ocorrências no Brasil.....	26
2.3. Previsão .....	29
2.3.1. Parâmetros de tempo severo.....	29
2.3.2. Radar Doppler.....	29
3. Metodologia .....	31
3.1. Dados.....	31
3.1.1. Radar.....	31
3.1.2. Reanálise.....	31
3.2. Métodos.....	31
3.2.1. Análise Sinótica.....	32
3.2.2. Cálculo dos Índices.....	32
3.2.3. Análise Estatística.....	33
4. Resultados.....	34
4.1 Análise Sinótica.....	34
4.2 Análise Temporal dos Parâmetros de Tempo Severo.....	39
4.3 Análise Imagens Radar.....	42

5.Conclusão.....	46
Referências Bibliográficas .....	48

## Introdução

Os fenômenos atmosféricos severos são os que mais trazem prejuízos a sociedade, causando perdas econômicas e sociais. Segundo a definição americana, para uma tempestade ser considerada severa ela deve: produzir granizo com 2cm de diâmetro ou mais, rajadas de vento superior a 26m/s ou produzir um tornado (MOLLER,2011). Porém, o tornado é o evento considerado mais extremo devido a sua grande capacidade de destruição. A velocidade do vento em um tornado pode superar 450 km/h, sendo capaz de arrancar árvores, danificar casas e até lançar carros, tornando assim quaisquer objetos em perigosos projéteis.

Segundo o glossário de Meteorologia, disponível pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC -<<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>>), o tornado é uma coluna de ar girando violentamente que se estende da base de uma nuvem cumulonimbus até o solo.

O presente estudo visa analisar o tornado que ocorreu na cidade de Indaiatuba-SP no dia 24 de maio de 2005 às 20:30UTC, tendo sido o tornado mais intenso já registrado no Brasil, classificado, segundo a escala Fujita, como F3.

O objetivo do presente estudo é melhorar a compreensão de tal fenômeno em relação ao seu quadro sinótico para uma maior aplicabilidade para o meteorologista previsor em situações de ambientes propícios a desenvolvimento de tempestades geradoras de tornados.

Os objetivos específicos são:

- Analisar a evolução estrutural e a velocidade radial da célula que gerou com base nas informações do radar

- Avaliar ambientes sinóticos propícios à ocorrência de tempestades geradoras de tornados.
- Identificar a eficácia dos parâmetros de tempestade severa em relação à indicação da ocorrência de tornados.

## **Revisão Bibliográfica**

A importância do estudo dos fenômenos de tempo severo vem se consolidando a cada episódio de desastre natural que atinge o Brasil. Entre janeiro e dezembro de 2012 a sociedade brasileira foi atingida por 376 desastres naturais, os quais causaram a morte de 93 pessoas com impacto direto em outras 16.977.614. Deste total, 7.748.854 foram afetadas por eventos atmosféricos extremos. Além dos danos sociais, esses fenômenos também causam grande prejuízo financeiro (CENAD, 2012).

No Brasil não há uma definição própria usada pra classificar os eventos como severos ou não, sendo, portanto, utilizada a definição americana, citada anteriormente. Entretanto, existe outra definição utilizada pelos centros australianos que, adicionalmente aos itens citados na definição americana, incluem intensa precipitação e enchentes (MILLS; COLQUHOUN, 1998).

O presente estudo está focado em compreender os mecanismos de formação e dinâmica dos tornados, assim os demais fenômenos não serão discutidos. Orlanski (1975) afirma que os tornados estão enquadrados na microescala, variando de algumas dezenas de metros até 2 km, com menos de uma hora de duração. Contudo, a maioria dos estudos realizados analisam os tornados na mesoescala (DAVIES et al., 1994; BLUESTEIN e PAZMANY, 2000; STENSRUD, 2001).

Na primeira parte deste capítulo será apresentada uma breve revisão sobre os sistemas de mesoescala formadores de tornados. A segunda parte compreende a descrição do mecanismo de formação bem como sua ocorrência. Por último, serão discutidos alguns fatores importantes na previsão deste fenômeno.

## 2.1. Sistemas de Mesoescala

### 2.1.1. Formação de tempestades

Para a formação de células convectivas são necessários alguns fatores principais, sendo eles: umidade disponível, presença de instabilidade condicional e algum mecanismo de disparo convectivo (DOSWELL et al., 1996; BROOKS, 2007). Entretanto, para a formação de células mais severas um quarto fator torna-se indispensável. A presença de moderado a forte cisalhamento vertical do vento (CVV) induz a formação de um mesociclone/antimesociclone dentro da célula convectiva, causando uma queda na pressão dentro desses vórtices (Fig. 1) (BLUESTEIN, 2007).

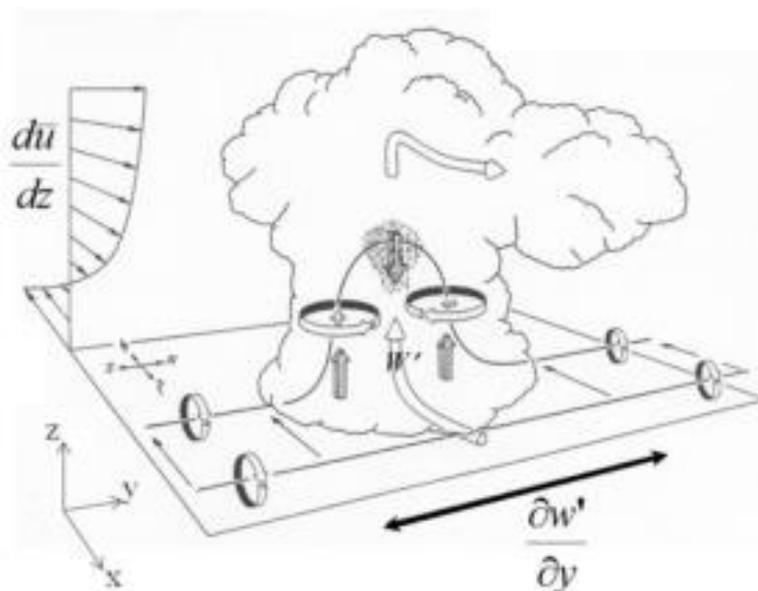


Figura 1. Representação gráfica de uma célula convectiva com a presença de cisalhamento vertical do vento.

Fonte: Adaptado de KLEMP (1987).

A combinação da forçante dinâmica, citada anteriormente, com a forçante termodinâmica, pode causar acelerações verticais mais intensas do que poderia ocorrer apenas com a forçante termodinâmica. Uma boa ideia de importância da combinação entre a forçante termodinâmica e CVV na formação de tempestades

severas e tornádicas pode ser observado na figura 2, onde apenas foi realizada a relação entre o CAPE (forçante termodinâmica) e o CVV (BOOKS et al. ,2003). Nota-se que grande parte das tempestades severas e tornados estão associados a altos valores de CAPE e CVV.

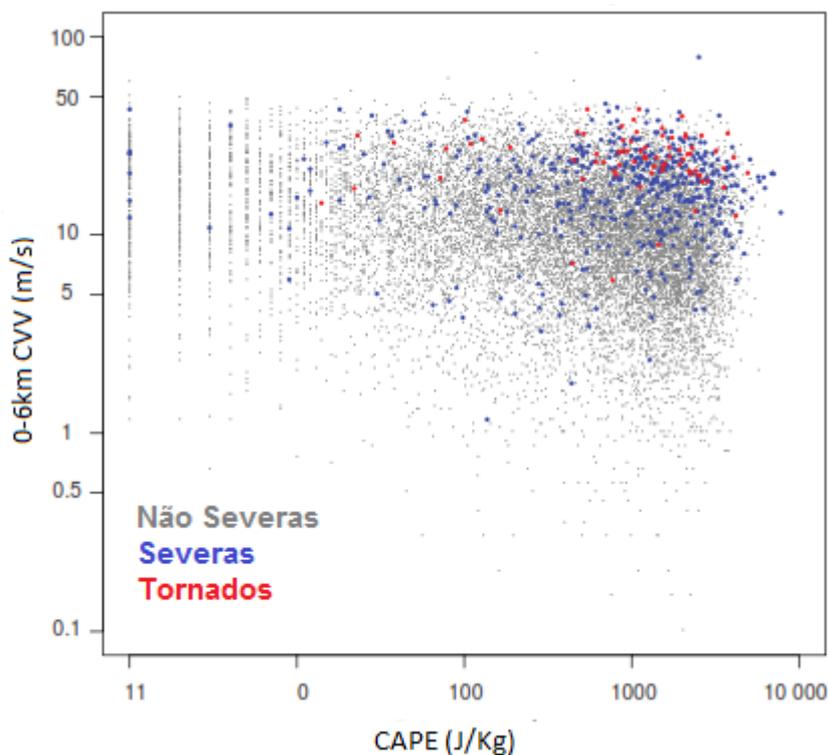


Figura 2. Relação entre o cisalhamento vertical do vento 0-6km e CAPE, pontos cinzas representam tempestades não severas, pontos em azul tempestades severas e pontos vermelhos tornados.

Fonte: Adaptado de BOOKS et al. (2003).

Existem três tipos diferentes de células convectivas: Unicelular, Multicelular e Supercelular. Na figura 3 é apresentado o espectro dos tipos de células em função do CVV. Embora o CVV seja o fator que mais influencia no tipo de célula, há outros fatores que também influenciam no tipo de convecção, como, por exemplo: a umidade, a distribuição vertical da flutuabilidade e o meio no qual é iniciada a convecção.

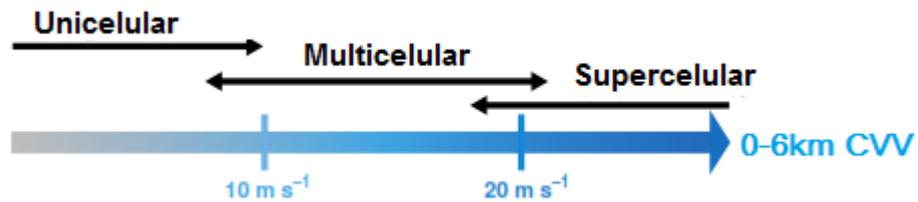


Figura 3: Espectro de tipos de células em função do cisalhamento do vento.

Fonte: Adaptado de MARKOWSKI e RICHARDSON (2010).

A definição para cada tipo de célula é dada por Markowski e Richardson (2010):

- **Unicelular:** Célula isolada (Cb) que possui apenas uma corrente ascendente. Sua frente de rajada é incapaz de iniciar uma nova convecção. Possui três fases: formação, maturação e dissipação. Seu tempo de vida é de aproximadamente 1 hora.
- **Multicelular:** Caracterizada pelo desenvolvimento de várias células de convecção (Cbs), em diferentes fases, ao longo da frente de rajada. A iniciação regular de novas células permite a sobrevivência de um sistema de convecção em maior escala. Sua duração pode chegar a algumas horas e pode atingir grandes áreas.
- **Supercelular:** Tipo menos comum, entretanto a mais severa. Existem alguns critérios mais aceitos para a classificação de uma tempestade como supercélula. São eles: a presença de um mesociclone persistente (ao menos 20 minutos) dentro da corrente ascendente, o não desencadeamento de novas células ao longo da frente de rajada e a presença de um forte CVV. Como já discutido anteriormente, a interação da corrente ascendente com o CVV, bem como os efeitos dinâmicos associados ao mesociclone, podem aumentar a corrente ascendente de maneira significativa, diferenciando-a assim das outras células que são dirigidas quase que exclusivamente pela flutuabilidade. Seu tempo de

vida varia de 1 a 4 horas, porém já foram observadas supercélulas com até 8 horas de duração.

### **2.1.2. Classificação dos Sistemas Convectivos de Mesoescala**

Os SCM podem apresentar diferentes formatos, ciclos de vida e tamanhos diferentes. São formados por aglomerados de células convectivas em diferentes estágios, com tempo de vida de 12 horas ou mais. O critério mais utilizado (e mais simples) para a classificação dos SCM é o seu formato. Maddox (1980) foi o primeiro a classificar SCM de acordo com sua condição morfológica. Analisando imagens de satélite, no canal infravermelho, nomeou-se Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) os sistemas que apresentavam forma arredondada com grandes dimensões e tempo de vida superior a 6 horas. Outra classificação baseada no formato são as linhas de instabilidade (LI). As LI's ocorrem quando as tempestades se organizam de forma linear, sendo o seu comprimento maior que a sua largura e se deslocam de maneira uniforme mantendo certa identidade durante todo o seu ciclo de vida (SILVA DIAS, 1987), que varia de poucas horas até um dia. Finalmente, a denominação Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) é o termo mais geral, que engloba sistemas que não possuem forma arredondada ou linear.

## **2.2. Tornados**

### **2.2.1. Características básicas**

A maioria dos tornados registrados nos Estados Unidos é considerada de fraca a moderada intensidade (F0 – F3), segundo a escala Fujita. Apenas 1% da ocorrência de tornados é classificada como intensa (F4-F5). Mesmo sendo a minoria, os tornados intensos são responsáveis por 70% das mortes (MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010).

Algumas características típicas dos tornados são: diâmetro de aproximadamente 200m, vorticidade vertical na ordem de  $1 \text{ s}^{-1}$  e tempo de vida de 10 minutos, porém os tornados mais intensos podem não obedecer a esses valores. A

grande parte dos tornados observados possui giro ciclônico. O maior número de ocorrências de tornados significativos (F2 e mais forte) e praticamente todos os tornados violentos (F4 e F5) estão associados à tempestade de supercélulas. Contudo, supercélulas também podem gerar tornados de fraca intensidade (FUJITA, 1981). Segundo Davies-Jones et al. (2001), os tornados podem ser classificados de acordo com sua circulação pré-existente. Tornados associados a um mesociclone são chamados de tornados do tipo 1, normalmente mais significativos e perigosos. Tornados do tipo 2 não estão associados a um mesociclone e usualmente são menos intensos.

Outra classificação aceita (mais utilizada) é a proposta por Fujita e Pearson (1973), onde a intensidade dos tornados é baseada nos danos causados em superfície (tab. 1). Em sequência será feita uma sucinta revisão sobre o princípio de formação de tornados do tipo 1.

Escala	Categoria	Força (km/h)	Comprimento da trilha (km)	Largura da trilha (m)	Danos esperados
F0	Fraco	65-116	0-1,6	0-16	Leves
F1	Fraco	119-177	1,6-5	16-50	Moderados
F2	Forte	180-249	5,1-15,9	51-160	Consideráveis
F3	Forte	252-332	16-50	161-508	Severos
F4	Violento	335-418	51-159	540-1400	Devastadores
F5	Violento	421-512	161-507	1600-5000	Incríveis

Tabela 1. Tabela de intensidade segundo a escala Fujita.

Fonte: Adaptado de FUJITA e PEARSON (1973).

### 2.2.2. Tornadogênese

Por definição, um tornadogênese exige que a vorticidade vertical tenha origem na superfície. Se a vorticidade vertical pré-existente próximo à superfície for insignificante, então a vorticidade vertical deve surgir da inclinação da vorticidade horizontal (MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). Pode-se dividir o tornadogênese em

três fases. A primeira consiste no desenvolvimento de um mesociclone na altura da nuvem de tempestade. A presença de uma forte corrente ascendente causa à inclinação da vorticidade horizontal, e esse mecanismo produz o mesociclone (Fig. 4 - (I-III)) (BROWNING; LANDRY, 1963). A segunda etapa corresponde ao desenvolvimento da rotação próxima a superfície. A vorticidade vertical é gerada enquanto o ar está subindo (DAVIES-JONES, 1982). Entretanto, se há uma corrente descendente envolvida no processo de inclinação, a vorticidade vertical pode ser advectada em direção à superfície. Portanto, uma corrente descendente é necessária quando a vorticidade vertical está afastada da superfície (Fig. 4 - IV). A terceira e última etapa é a formação de um tornado. O surgimento de um tornado é simplesmente o resultado da amplificação da vorticidade vertical das parcelas de ar que estão sendo esticadas verticalmente por uma corrente ascendente (Fig. 4 - V) (WALKO, 1993).

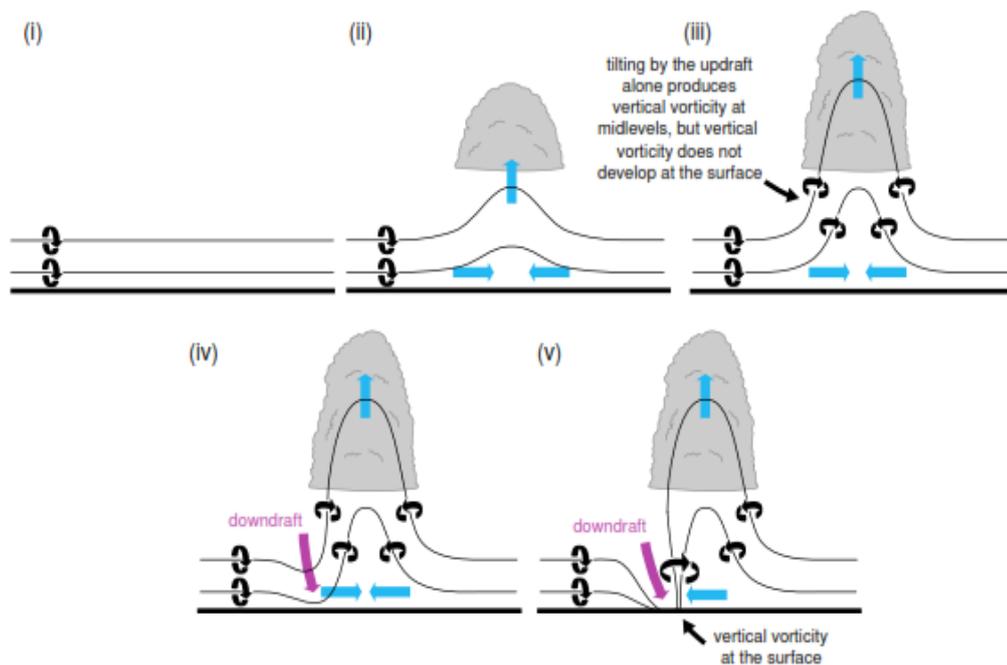


Figura 4. Esquematização do Tornadogênese.

Fonte:(MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010).

### 2.2.3. Ocorrência de tornados no mundo

Os tornados podem ocorrer em qualquer lugar do mundo e em qualquer período do ano, entretanto existem lugares e períodos em que esses fenômenos são mais frequentes. Brooks e Andersom (2004) realizaram um estudo climatológico com base no perfil vertical da atmosfera obtidos com os dados de reanálise do modelo global NCEP/NCAR entre 1997 e 1999, para detectar regiões onde há dias mais propícios a ocorrência de tempo severo e tornados.

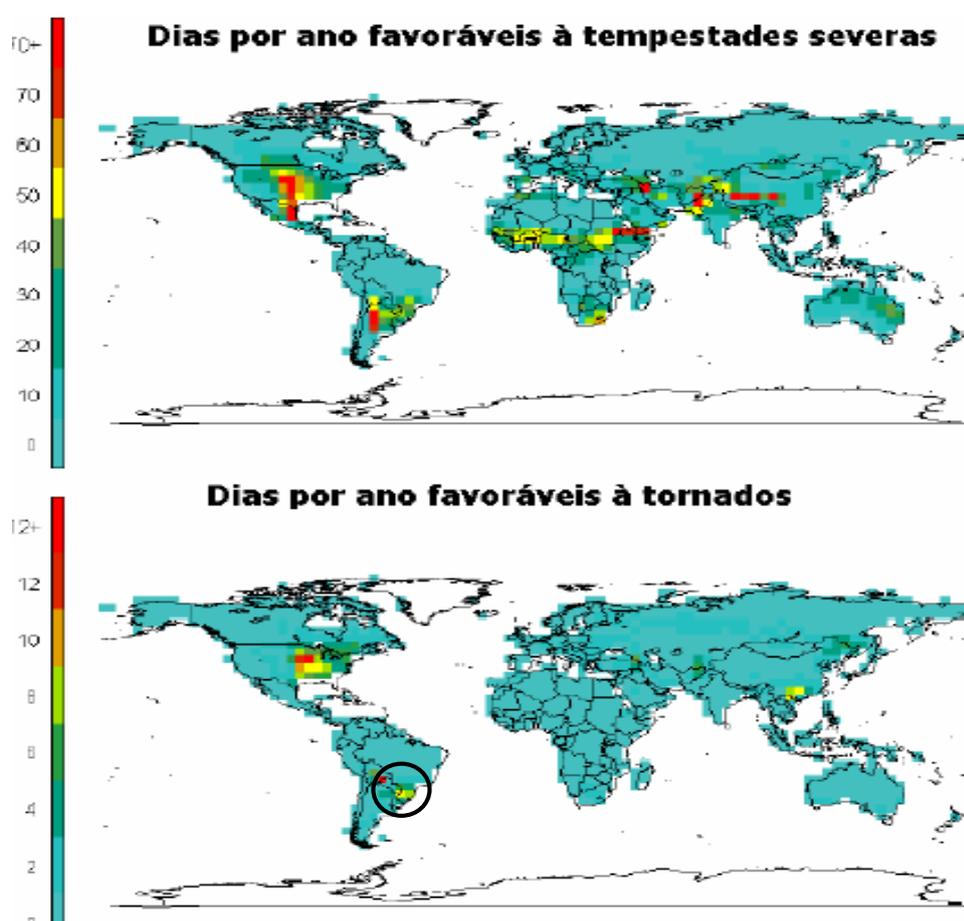


Figura 5. Distribuição espacial de dias por ano com condições favoráveis a (a) tempestades severas e (b) tornados, baseados em dados de 1997 até 1999 obtidos pelo NCEP/NCAR.

Fonte: Brooks e Andersom (2004).

A Fig. 5b mostra um forte sinal de dias propícios à ocorrência de tornados nas regiões compreendidas a leste das Montanhas Rochosas na América do Norte e ao leste dos Andes na América do Sul. Uma das explicações está na similaridade do escoamento em ambas as regiões. O estabelecimento do JBN aumenta a oferta de umidade disponível nos baixos níveis, promovendo a desestabilização da atmosfera (JOHNSON e MAPES, 2001). Além disso, a presença do JBN permite ocasionalmente o acoplamento com o JAN (Fig. 6). Essa configuração representa um mecanismo dinâmico relevante para o desenvolvimento de tempestades severas (UCCELLINI e JOHNSON, 1979).

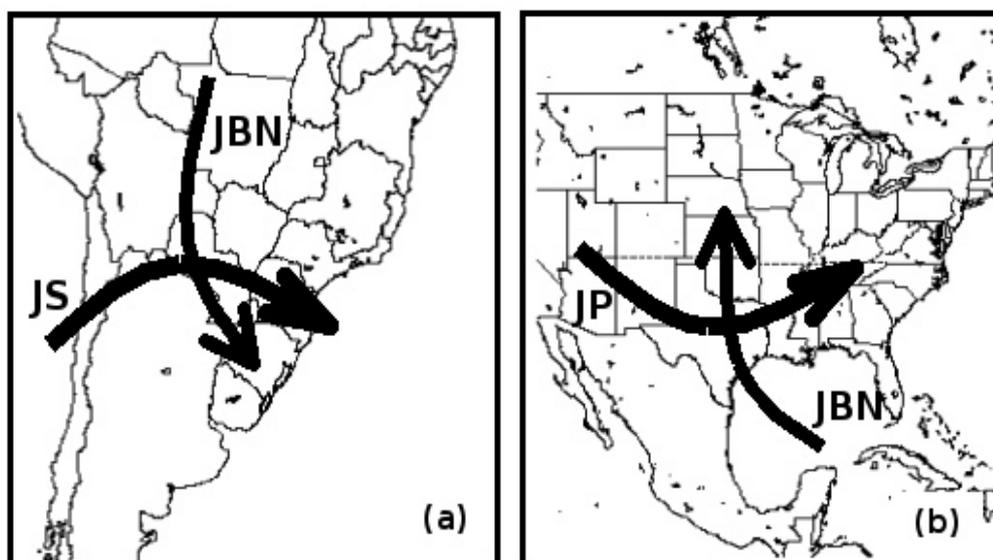


Figura 6. Representação dos jatos observados na América do Sul (a) e na América do Norte (b) nos períodos de maior atividade convectiva. Observa-se um escoamento semelhante nas duas regiões.

Fonte: NASCIMENTO (2005).

#### 2.2.4. Ocorrências no Brasil

No Brasil, as regiões Sudeste e Sul são as mais atingidas. Marcelino (2004) analisou a ocorrência de tornados e trombas d'água no estado de Santa Catarina em

relação a sua distribuição espacial e sazonal. Foram analisados 25 anos de dados nos quais foram observados 23 episódios de tornados, sendo 15 casos confirmados e 8 considerados possíveis (sem registro visual). A distribuição espacial mostrou que a ocorrência de tornados é comum em todas as regiões de Santa Catarina, com exceção da região do norte e meio oeste. Quanto à distribuição sazonal, o autor verificou que o período da primavera é mais favorável à ocorrência de tornados, com 40% dos casos registrados, seguidos dos meses de verão, com 35% dos casos. Os eventos observados por Marcelino totalizaram um prejuízo de cerca de US\$1.800.000,00, além de deixar 294 feridos e 11 vítimas fatais.

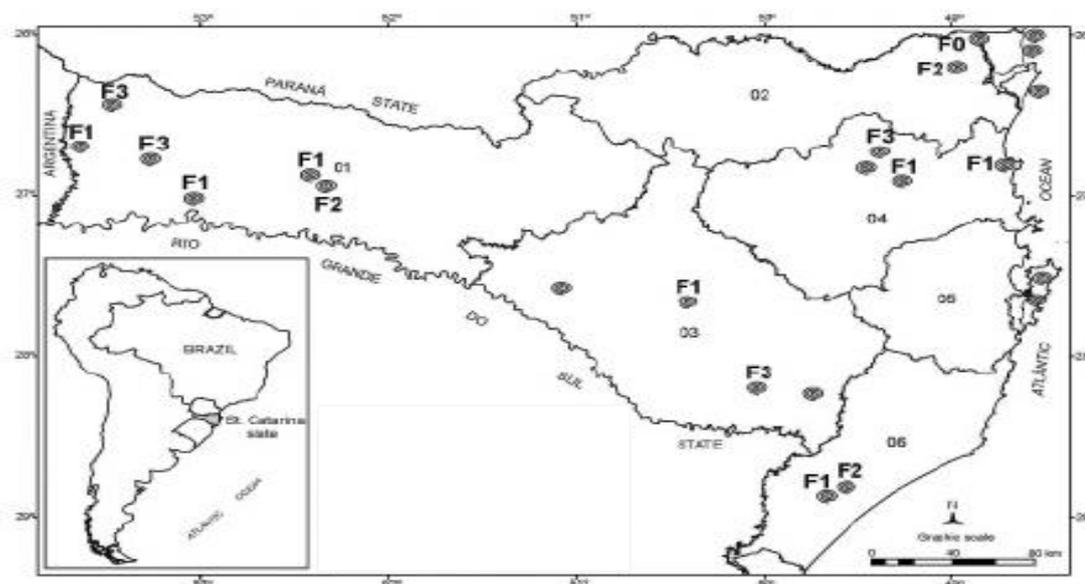


Figura 7. Distribuição geográfica e intensidade segundo a escala Fujita dos casos de tornados no estado de Santa Catarina.

Fonte: MARCELINO (2004).

No estado de São Paulo Massambaniet et al. (1992) analisaram um possível evento de tornado no dia 30 de setembro de 1991 na cidade de Itu-SP através das imagens do Radar Meteorológico de São Paulo. Esse evento, chamado de "Fúria do céu", foi considerado um dos episódios meteorológicos mais violentos registrados até então. Os prejuízos totalizaram 15 mortes e 176 feridos, além de danos materiais. Segundo os autores, a tempestade ocorreu associada a intensas bandas de

precipitação imersas a um sistema frontal que se deslocava para o Oceano Atlântico. A análise dos dados de radar mostrou que, na região de ecos mais intensos, havia a presença de assinatura em formato de gancho, característico de eventos violentos. Não foi possível verificar a persistência dessa assinatura, porém os ecos de alta refletividade apresentaram uma estrutura de torção indicando a atuação de intensas forças dinâmicas.

Antônio et al.(2005) estudaram dois eventos de tornados ocorridos em 25 de maio de 2004 nas cidades de Palmital e Lençóis Paulista, no interior do estado de São Paulo. Foram utilizados para o estudo dados dos radares meteorológico Doppler de Bauru e Presidente Prudente do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET), aliada à análise das condições atmosféricas em escala sinótica. De acordo com os radares, no momento em que os tornados tocaram o solo, os núcleos de chuva de maior intensidade estavam nas vizinhanças da região onde ocorreram os fenômenos e imersas nas bandas de precipitação que atingiam todo o estado de São Paulo. Os autores concluíram que em ambas as ocorrências, as intensidades máximas de refletividade nos ecos das células geradoras dos tornados estiveram ao redor de 50 dBZ, sendo que os tornados ocorreram em áreas com refletividades entre 35 e 40 dBZ, em média. A velocidade radial dos radares indicava rotação nas células precipitantes durante um período de tempo bastante superior ao da verificação dos tornados no solo. Na análise sinótica, concluíram que os valores do parâmetro de divergência de umidade são mais importantes para a indicação de tempo severo.

Held et al. (2009) selecionaram os sete eventos mais severos que ocorreram no estado de São Paulo entre os anos de 2004 e 2008. Os autores utilizaram rodadas do modelo Meso-ETA, colaboração do CPTEC, com resolução de 10x10Km na horizontal e 30 níveis na vertical, com parametrização de convecção, para verificar a previsibilidade da ocorrência dos eventos selecionados com 48 horas de antecedência. O Software TITAN do NCAR foi utilizado, com base nas observações dos radares de banda S do IPMET localizados em Bauru-SP e Presidente Prudente SP ambos no interior de São Paulo, para se prever a probabilidade de ocorrência de granizo e ventos muito fortes na escala temporal de 60-40 minutos (*nowcasting*). Concluíram que o modelo Meso-ETA prevê com destreza os eventos severos na

região onde ocorreram com 48 a 24 horas de antecedência, enquanto o TITAN se comporta melhor para a previsão de curto prazo.

## **2.3. Previsão**

### **2.3.1. Parâmetros de tempo severo**

Como citado anteriormente, a maior parte dos tornados significantes (F2-F3) e praticamente todos os intensos (F4-F5), estão associados com tempestades de supercélulas. Sendo assim, a necessidade de reconhecer ambientes propícios à ocorrência de tempo severo se torna vital. O grande desafio para o meteorologista é prever se as tempestades irão ou não produzir um tornado.

Nascimento (2005) realizou uma boa revisão sobre parâmetros de tempo severos aplicáveis ao Brasil. Entre os parâmetros apresentados, foi selecionado um parâmetro que se mostrou útil para a previsão de tempestade severa com potencial de gerar tornados.

O parâmetro Índice de Energia Helicidade (IEH) (eq. 3), onde é realizada uma associação entre dois parâmetros: CAPE (energia potencial convectiva disponível) e HR (helicidade relativa). Estudos mostram que o uso do IRH tem demonstrado boa destreza na identificação entre eventos tornádicos e não tornádicos. Valores abaixo de -2 indicam alta probabilidade de ocorrência de tempo severo e valores abaixo de -4 apontam situações evidentes de formação de supercélulas tornádicas (RASMUSSEN, 2003; NASCIMENTO, 2005).

### **2.3.2. Radar Doppler**

Com o advento do Radar Doppler, a identificação de características associadas à assinatura das tempestades severas tem demonstrado um avanço significativo. Fundamentalmente, o Radar Doppler mede a refletividade equivalente, a velocidade radial dos alvos e a largura espectral. Segundo Gomes et al.(1996), o uso do Radar Doppler na detecção de tempestades severas está intimamente ligada à

habilidade de identificar fortes gradientes de velocidade em distância e azimute. Tempestades que possuem mesociclone/antimesociclones apresentam uma assinatura distinta. A presença de velocidades radiais com sinais opostos localizados a uma distância entre 5-10Km em azimute indicam a possível existência de rotação ciclônica/anticiclônica no sistema observado (NIELSEN-GAMMON et al., 1995), que são indicadores de células severas.

Outra característica observada em tempestades severas é a presença de uma assinatura em formato de gancho. Estudos mostram que a presença dessa assinatura caracteriza tempestades cuja corrente ascendente apresenta intensa rotação associada a um mesociclone (BROWNIG; LUDLAM, 1962; ROTUNNO, 1986). Outros estudos observaram que, por muitas vezes, a presença da assinatura em formato de gancho estava associada a tempestades que geraram tornados (STOUT; HUFF, 1953; MARKOWSKI, 2002).

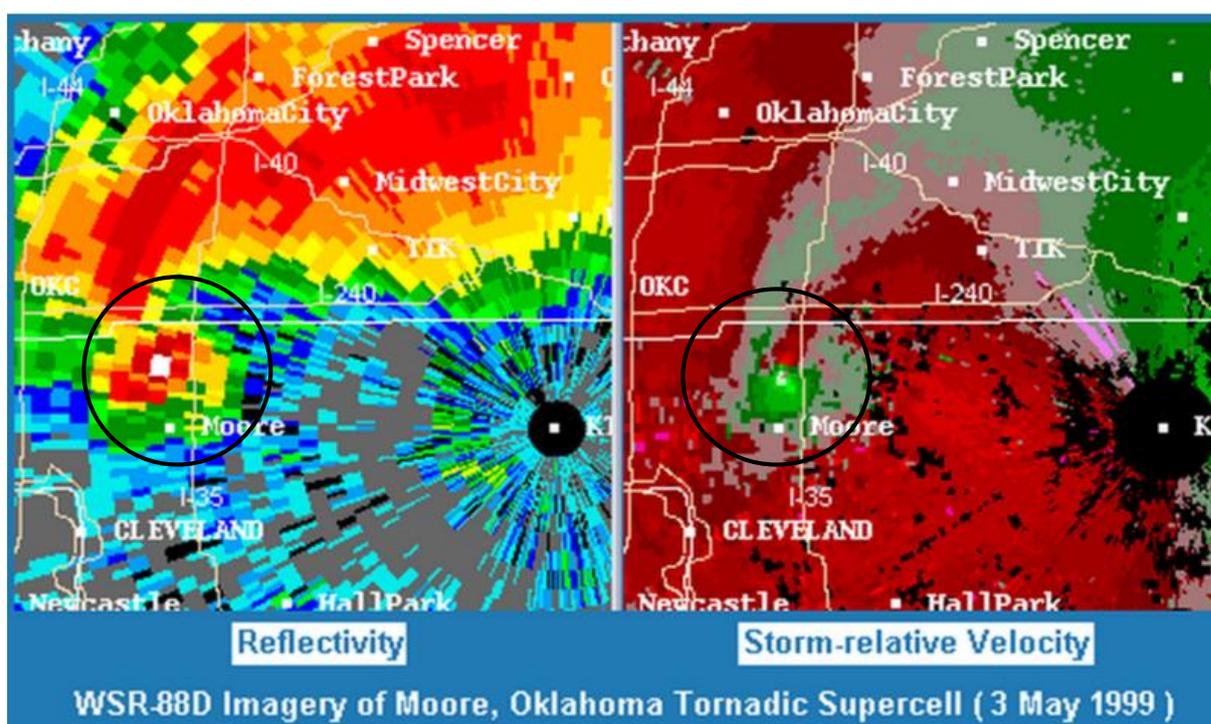


Figura 8. Típica assinatura de eco gancho e velocidade radial.

Fonte: NOAA.

## **Metodologia**

### **3.1. Dados**

#### **3.1.1. Radar**

O radar meteorológico do Instituto de Pesquisas Meteorológicas–IPMETt/Unesp está localizado na cidade de Bauru, na região central do estado de São Paulo, com abertura do feixe de 2° e um alcance qualitativo de 450 km (PPI de 0° ou 0,3°, a cada 30 ou 15 min) e quantitativo de 240 km, com varredura volumétrica gerando informação a cada 15 ou 7,5 minutos, com resolução de 1 km na radial (250m desde março de 2006) e 1° em azimute, registrando dados de refletividade e velocidade radial (GOMES, 1994).

#### **3.1.2.Reanálise**

Dos dados de reanálise do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) fornecido pelo NCEP/NCAR, com resolução espacial de 0,5° x 0,5°, utilizou-se informações de temperatura, umidade, pressão ao nível médio do mar, altura geopotencial, componente u e v do vento nos níveis de 850 e 700 hPa, CAPE, e SRH. Além disso, alguns campos diagnósticos (ver seção seguinte) também foram calculados.

### **3.2.Métodos**

### 3.2.1. Análise Sinótica

Foram analisados os campos gerados com dados de reanálise CFSR com 24 horas de antecedência da ocorrência do fenômeno para identificar ambientes tornádicos. Os campos gerados foram de pressão ao nível do mar, altura geopotencial em 500 hPa, convergência de umidade ( $-\nabla \cdot \vec{V}q$ ) em 700 hPa, escoamento em 850 hPa com umidade específica, CAPE e LI.

### 3.2.2. Cálculo dos Índices

O parâmetro de tempo severo foi calculado para uma área de  $1^\circ \times 1^\circ$  centrada na cidade onde ocorreu o tornado. O parâmetro, baseado no estudo de Nascimento (2005) é:

1) Índice de energia-helicidade (IEH,  $m^4 \cdot m^{-4}$ ): produto entre a Helicidade Relativa (cisalhamento do vento e deslocamento relativo da tempestade) e do CAPE (energia potencial disponível) dividido por uma constante;

Sendo

$$CAPE = g \int_{NCE}^{NEL} \frac{\theta_v(z) - \bar{\theta}_v(z)}{\bar{\theta}_v(z)} dz \quad \text{Equação 1}$$

NCE = Nível de convecção espontânea;

NEL = Nível de equilíbrio da parcela;

$\theta_v$  = Temperatura potencial virtual da parcela;

$\bar{\theta}_v$  = Temperatura potencial virtual do ambiente;

$$SRH = - \int_{zs}^h \hat{k} \cdot (\vec{V} - \vec{c}) \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} dz \quad \text{Equação 2}$$

zs= Nível da superfície;

$h$  = Nível do topo da camada de influxo (geralmente 1 ou 3 Km );

$\hat{k}$  = Vetor unitário na direção vertical;

$\vec{V}$  = Vetor vento;

$\vec{c}$  = vetor deslocamento do sistema convectivo

$$IEH = \frac{SRH \times CAPE}{1.6 \times 10^5} \text{Equação 3}$$

Valores de IEH abaixo de -2 são considerados indicativos de tempestades severas e menores de -4 apontam situações evidentes de formações de supercélulas tornádicas.

### 3.2.3. Análise Estatística

Com base nos dados de radar disponibilizados pelo IPMET/UNESP, foi realizada uma análise dos campos de refletividade e velocidade radial analisar a evolução da tempestade que gerou o tornado.

## Resultado

### 4.1 Análise Sinótica

Foram analisados os dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM), altura geopotencial em 500hPa, escoamento do vento com umidade específica em 850hPa, convergência de umidade em 700 hPa, LI e CAPE com 24 horas de antecedência da ocorrência do evento em estudo.

A Fig. 9 apresenta os campos de PNMM e altura geopotencial em 500hPa, onde o contorno são as linhas isobáricas e o preenchido é a espessura da camada. O campo de geopotencial mostra a aproximação de um cavado na região Sul e Sudeste do Brasil. Segundo a teoria quase geostrófica, a leste do cavado é esperado advecção de vortacidade ciclônica, o que favorece movimento ascendente, sendo este uma forçante dinâmica para a convecção. Entretanto, o cavado no nível médio tem uma configuração suave o que acarreta uma fraca advecção de vortacidade. Além disso, o campo de PNMM mostra o cavado em superfície sobre o estado de São Paulo. Como já citado, esse sistema advecta vortacidade ciclônica sobre a região favorecendo a atividade convectiva.

Uma outra variável extremamente necessária para a formação de nuvens e/ou tempestades é a umidade, pois é necessário que haja umidade disponível no ambiente para a ocorrência da conversão do vapor d'água para água líquida e/ou sólida durante o processo de formação das nuvens. A Fig. 10 mostra o escoamento em 850hPa com a umidade específica, evidenciando uma grande quantidade de umidade sendo transportada da região Amazônica para a região para a região Sudeste. Esta configuração é bem conhecida e muito verificada nas latitudes médias

da América do Sul em situações de convecção profunda, que é o transporte de umidade em baixos níveis realizados pelo JBN (SALIO et al., 2006; NASCIMENTO, 2005), sendo este um processo importante para a desestabilização da atmosfera.

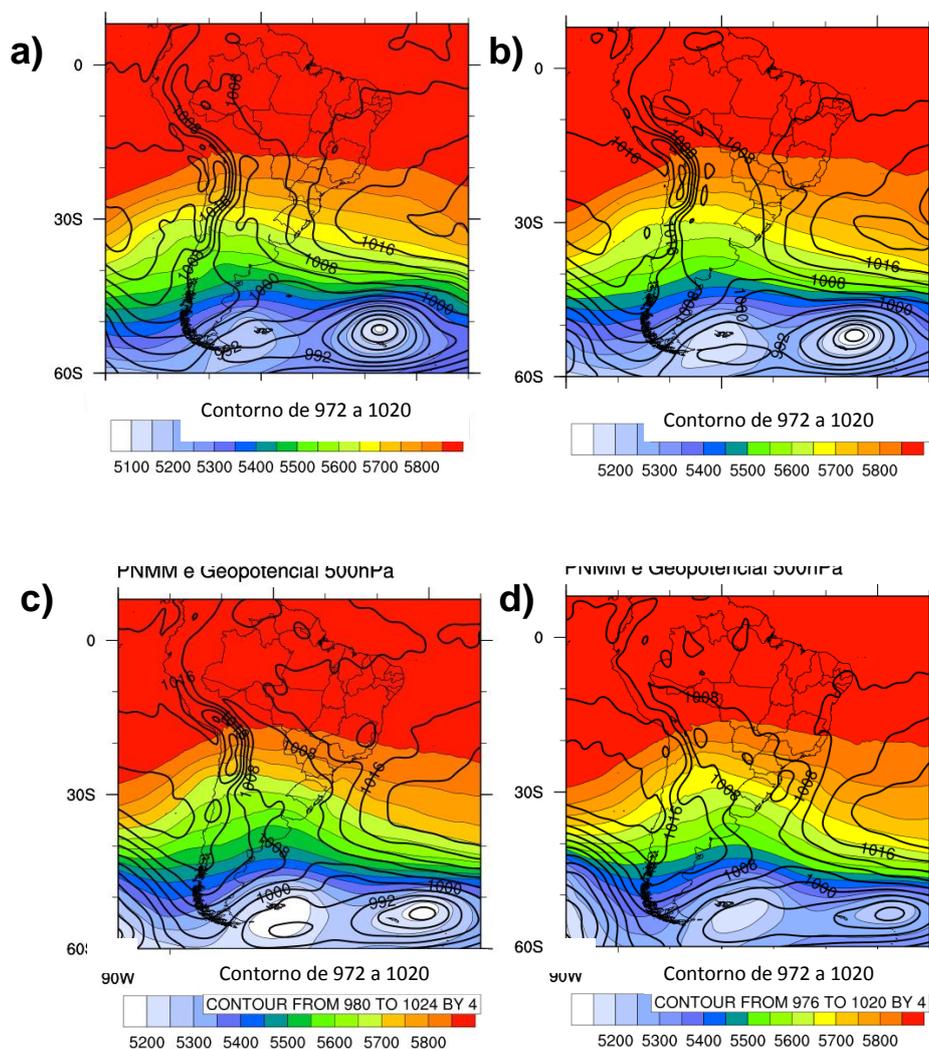


Figura 9. Campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e geopotencial (mgp) em 500hPa para o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.

A convergência de umidade foi analisada na Fig. 11, mostrando uma área de análise mais reduzida para melhor visualização. Observa-se um forte sinal de convergência sobre o centro e leste do estado de São Paulo às 06 UTC. No horário seguinte a convergência de umidade se concentra no leste, situada exatamente sobre

a região da cidade de Indaiatuba-SP. As 18UTC há um fraco sinal de convergência sobre o sudeste de SP, predominando convergência nula sobre grande parte do estado.

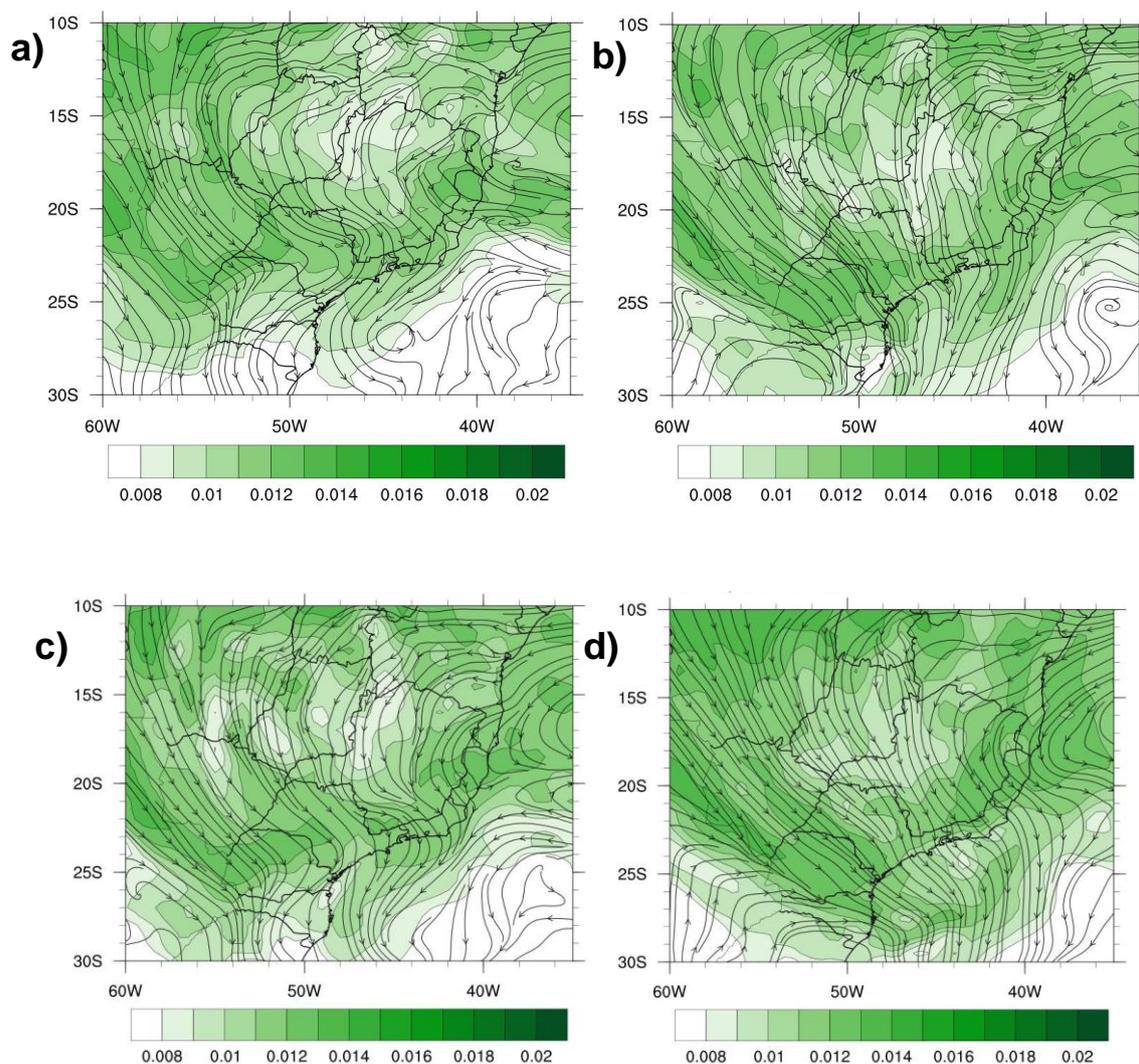


Figura 10. Campo de escoamento no nível de 850 hPa e umidade específica ( $kg \cdot kg^{-1}$ ) para o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.

Foram analisados alguns índices termodinâmicos para analisar o grau de instabilidade da atmosfera. O CAPE é conhecido como a energia de flutuabilidade.

Por definição, CAPE é a área entre a curva da temperatura do ambiente e a curva da adiabática entre os níveis de convecção espontânea e o nível de equilíbrio. Quanto maior o CAPE, maior a variação vertical da temperatura do ambiente e da parcela, o que implica em um movimento de ascensão da parcela devido à flutuabilidade.

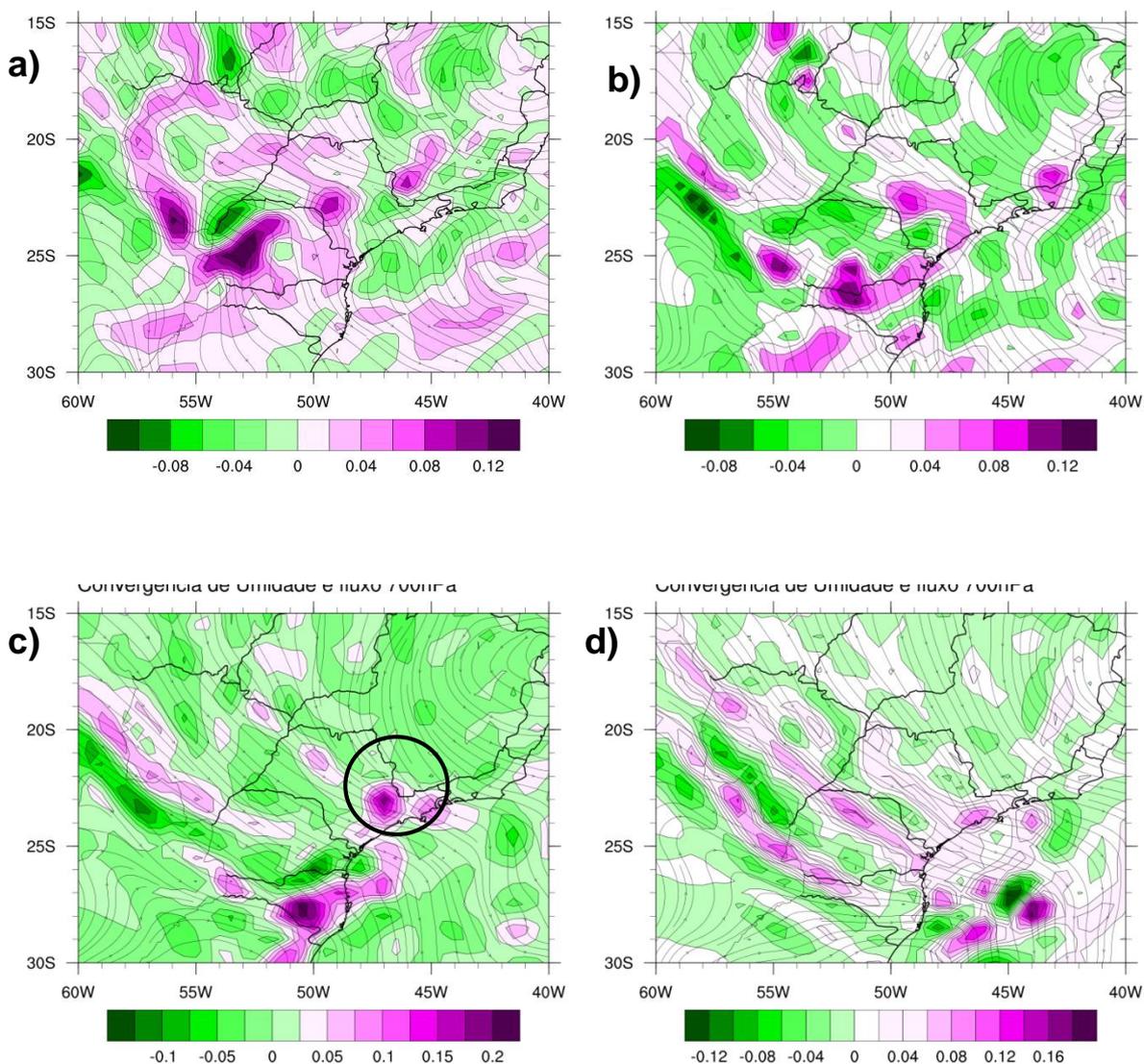


Figura 11. Campo de convergência de umidade ( $kg.kg^{-1}$ ) para o dia 24 de maio de 2005 para a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC.

Na Fig. 12 foi analisada o CAPE a partir da superfície, mostrando baixos valores para todo o estado de São Paulo, com exceção do horário das 18UTC, quando há

regiões com valores entre 1000-1600J/Kg, indicando ambiente moderadamente instável. Entretanto, sobre a região sudeste do estado, onde ocorreu o tornado, os valores de CAPE estão entre 0-200J/Kg, considerado estável ou pouco instável. Portanto, fica claro, com base nesses campos, que o CAPE não parece ser importante ao caso.

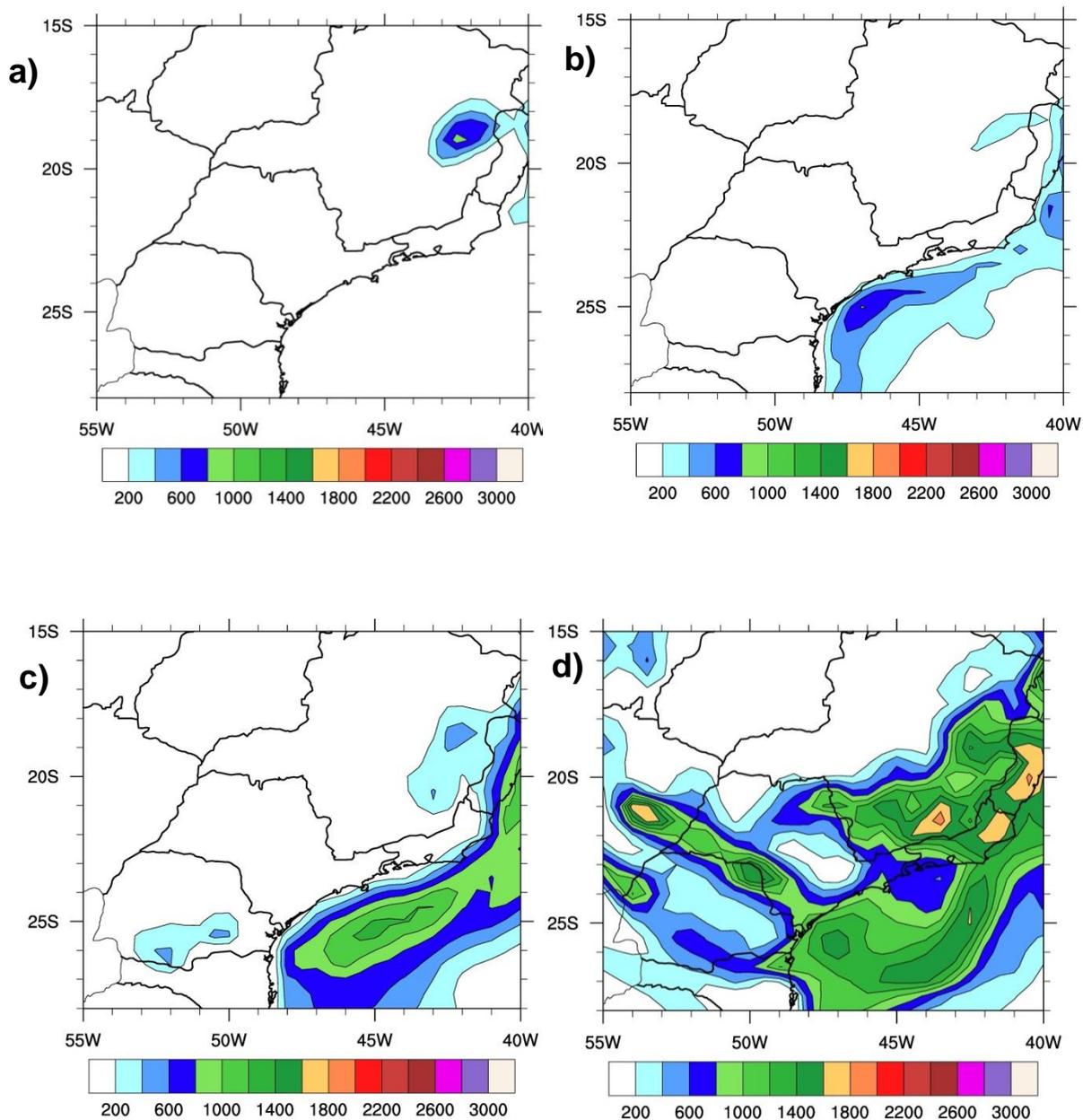


Figura 12. CAPE(J/Kg) para o dia 23 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC, contornos de 200 J/Kg.

O Lifted Index (LI) é segundo índice de instabilidade analisado. O cálculo para o obtenção desse índice é bem simples, consiste da diferença entre a temperatura do ar em 500 hPa e da parcela ascendida da superfície até o mesmo nível. Se o resultado for negativo, então a temperatura da parcela é maior do que do ambiente, ou seja, o ambiente está instável. Para o caso em estudo observam-se valores negativos para todo estado de São Paulo (Fig. 12) a partir das 12UTC. Os valores de LI ficam entre -2K e -6K já indicando um ambiente com bastante instabilidade, para o próximo horário (18 UTC) os valores se intensificam e já mostram valores de -8K, na literatura valores entre -6K e -9K são considerados muito instáveis e precursores de tempestades severas.

#### 4.2 Análise Parâmetro de Tempo Severo

Os parâmetros analisados foram o CAPE ( $J kg^{-1}$ ), o SRH ( $m^2 s^{-2}$ ) e o IEH ( $m^4 m^{-4}$ ). Realizou-se um cálculo da média dos valores para a área de  $1^\circ \times 1^\circ$  centrada na cidade onde ocorreu o tornado, ou seja, foram utilizados nove pontos de grade para realizar a média do valor de cada um dos índices, sendo o ponto central o mais próximo da cidade de Indaiatuba-SP.

Na figura 14, observa-se a evolução temporal com início no dia 23 de maio de 2005 às 00UTC e término no dia 25 de maio de 2005 às 00UTC para os três índices.

Analisando o primeiro índice, o CAPE atinge valores próximos de  $800 J Kg^{-1}$  no dia 24 de maio de 2005 às 18UTC, ou seja, no horário com dado mais próximo da ocorrência do tornado. Sabe-se que o CAPE é a energia disponível do sistema, forçante termodinâmica, na literatura valores entre  $1000-1600 J Kg^{-1}$  indicam um ambiente moderadamente instável. Apesar da discrepância entre os valores, o CAPE mostrou um sinal de aumento de instabilidade próximo ao horário da ocorrência do tornado indicando aumento da instabilidade no ambiente.

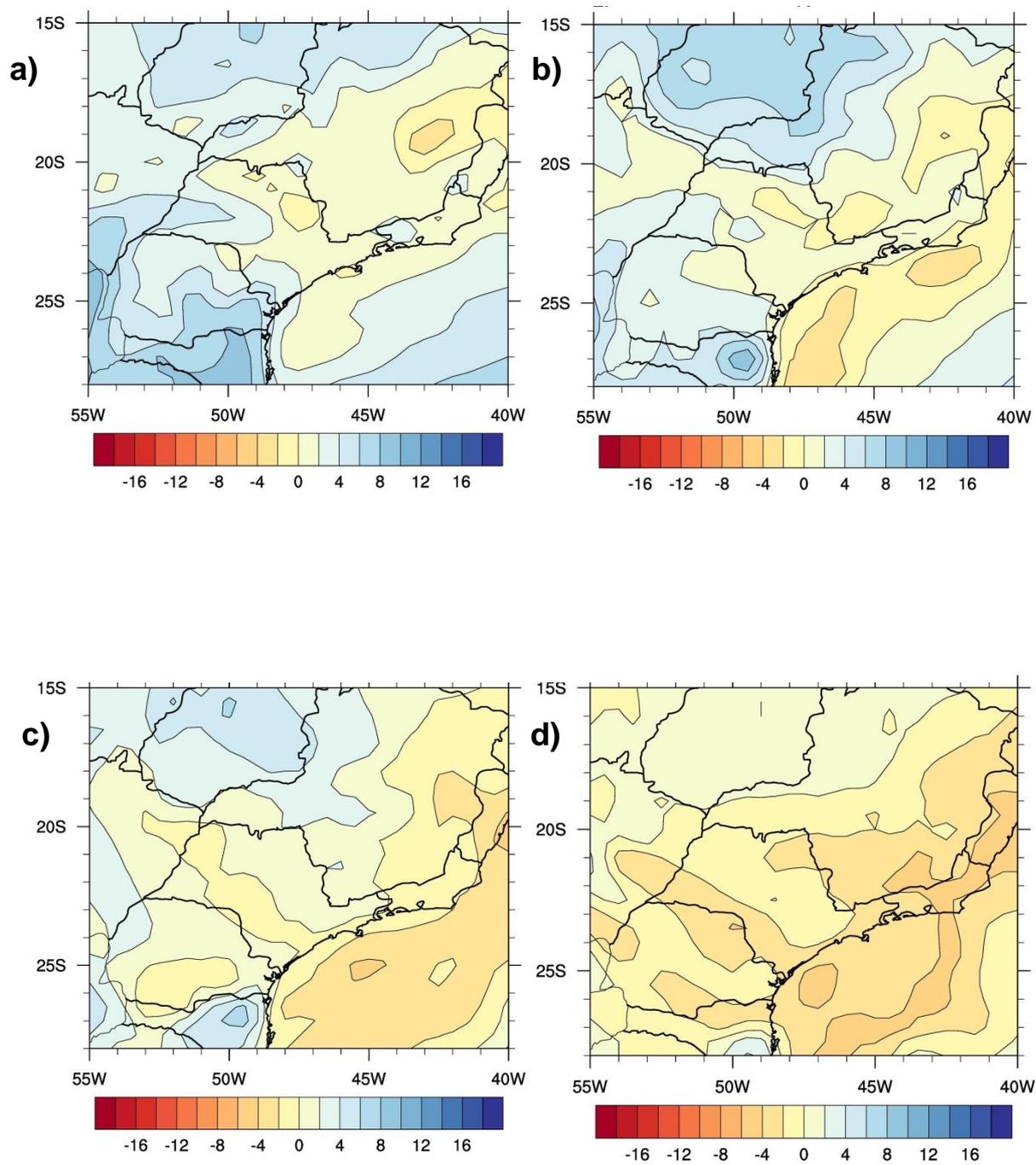


Figura 13. LI (K) para o dia 24 de maio de 2005 às a) 00UTC, b) 06UTC, c) 12UTC e d) 18UTC, contornos de 2K.

O SRH, segundo índice, é o cálculo do descolamento relativo da tempestade e a helicidade do escoamento do ambiente, forçante dinâmica, indica uma acentuada queda com valores próximos de  $-50 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ , também às 18UTC do dia 24 de maio de 2005, indicando um ambiente com um escoamento helicoidal.

O último parâmetro IEH ( $\text{m}^4\text{m}^{-4}$ ) é o produto entre SRH e do CAPE dividido por uma constante (NASCIMENTO, 2005). Na figura 2, nota-se valores mais negativos, aproximadamente -0.24, no horário mais próximo da ocorrência do tornado.

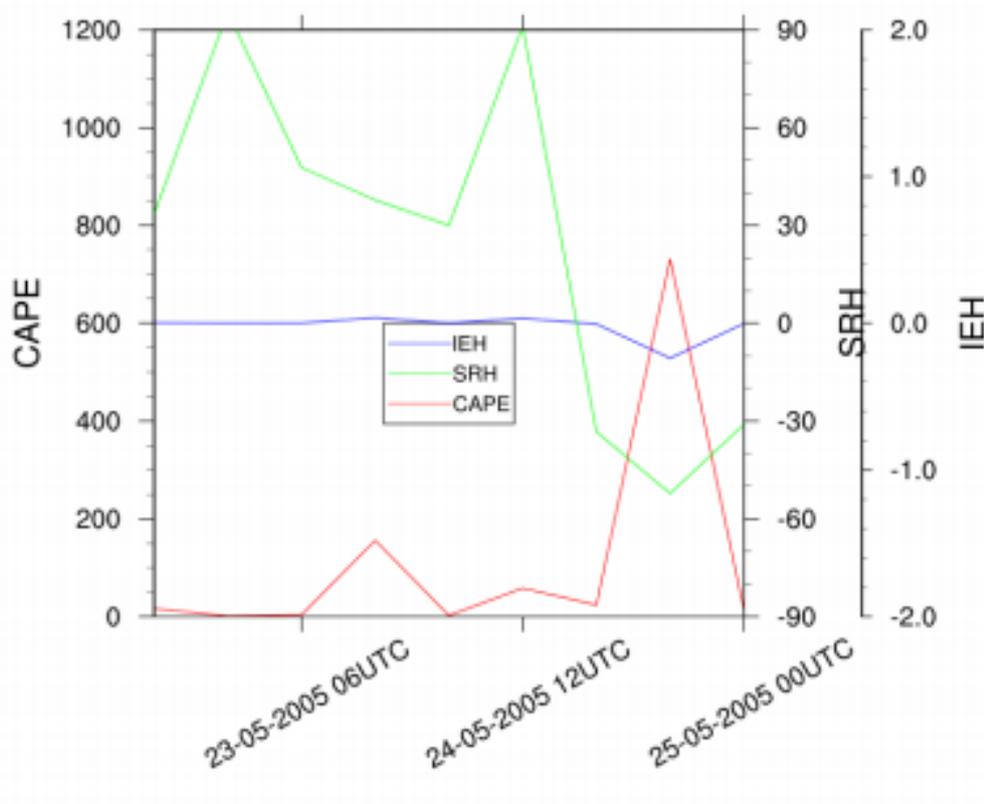


Figura 14. Evolução temporal da média da área dos índices IEH, SRH e CAPE para o caso de tornado na cidade Indaiatuba-SP.

Na figura 15, observa-se o campo de IEH para o dia 24 de maio de 2005 para o horário das 18UTC, horário mais próximo da ocorrência do tornado, o ponto em destaque mostra a exata localização da cidade de Indaiatuba. Os valores encontrados na região estão entre 0 e -0.40 de IEH, enquanto a literatura indica valores abaixo de

-2 são considerados indicativos de tempestades severas e menores de -4 apontam situações evidentes de formações de supercélulas tornádicas.

Novamente os valores encontrados no caso analisado são menores que os valores limiares na literatura. Essa diferença pode ser explicada por dois motivos:

1. Defasagem de duas horas e trinta minutos do horário da ocorrência do tornado, 24 de maio de 2005 às 20:30UTC, para o horário mais próximo com dados, 24 de maio de 2005 às 18UTC.
2. Os dados utilizados são derivados da reanálise, ou seja, os valores podem estar sendo subestimados pelo o modelo.
3. O cálculo foi realizado para a média da área.

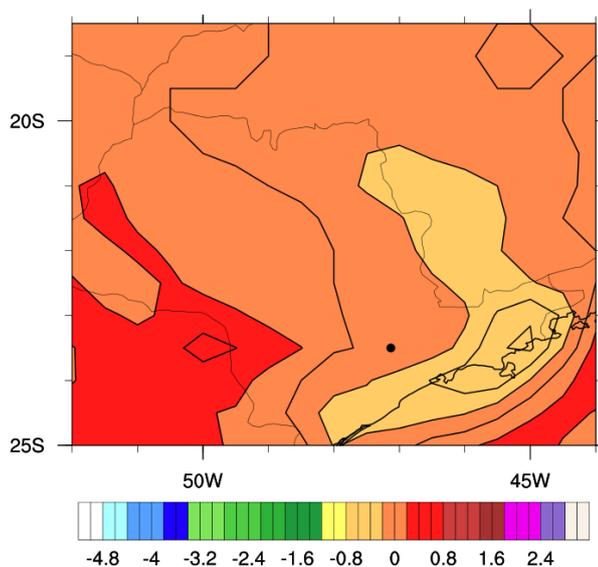


Figura 15. Campo do Índice de Energia e Helicidade para o dia 24 de maio de 2005 às 18UTC. O ponto em destaque mostra a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP.

### 4.3 Análise Imagens Radar

Com os dados do radar cedidos pelo IPMET/UNESP foram geradas as imagens do produto PPI (Plan Position Indicator) para o dia 24 de maio de 2004 a cada 7,5 minutos. O produto PPI é gerado a partir de uma única varredura de 360 graus, elevação da antena em 0,3 e com um raio de alcance de 240Km. O ponto em destaque indica a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP e o círculo mostra a tempestade que gerou o tornado.

Na análise da figura 16, nota-se aproximação de uma célula convectiva se aproximando da cidade de Indaiatuba (Fig.16a), sua velocidade de deslocamento é de aproximadamente 50km/h. Os valores de refletividade estão entre 44-50 dBz com alguns subnúcleos entre 50-55dBz indicando forte atividade convectiva. Essa configuração se mantém para os próximos horários, imagens a cada 7 minutos, porém está incluso no texto a cada 15 minutos. No horário das 20:31 UTC (Fig. 16d), momento que é reportado o tornado, nota-se que os núcleos mais fortes da tempestade está sobre a cidade.

No próximo horário, não mostrado, a célula se move para o sudoeste deixando a região afetada. Salienta-se que a cidade de Indaiatuba está situada a 200km do radar de Bauru-SP, ou seja, o radar está identificando a parte superior da tempestade devido ao ângulo de elevação e a distância da tempestade.

No campo Doppler, onde se analisa a velocidade radial (Fig.17), os valores positivos indicam alvos se afastando do radar e negativos se aproximando. Observam-se valores positivos e negativos, muitos próximos na região de Indaiatuba-SP, nos horários próximos a ocorrência com destaque às 20:16 UTC, onde está assinatura está bem clara. Essa característica está associada com a presença de rotação na tempestade, entretanto devido à distância não é possível observar essa circulação nos níveis mais baixos da atmosfera.

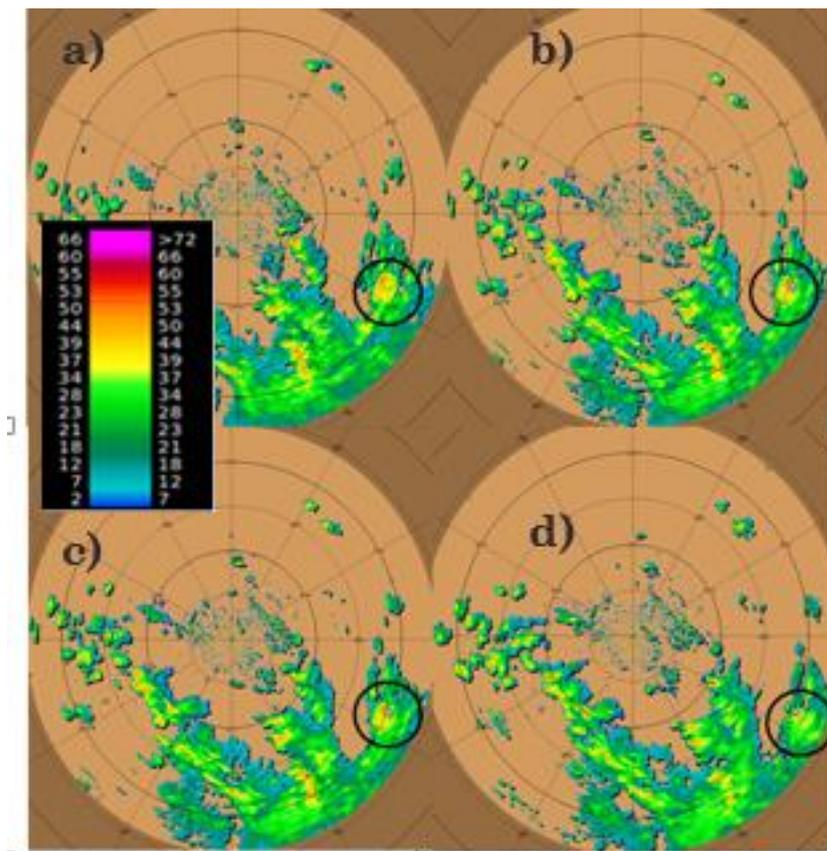


Figura 16. Imagens campo de refletividade (dBz) para o dia 24 de maio de 2004 às a) 20:01UTC, b) 20:16UTC, c) 20:31UTC e d) 20:46UTC. O ponto indica a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP e o círculo indica a tempestade que gerou o tornado

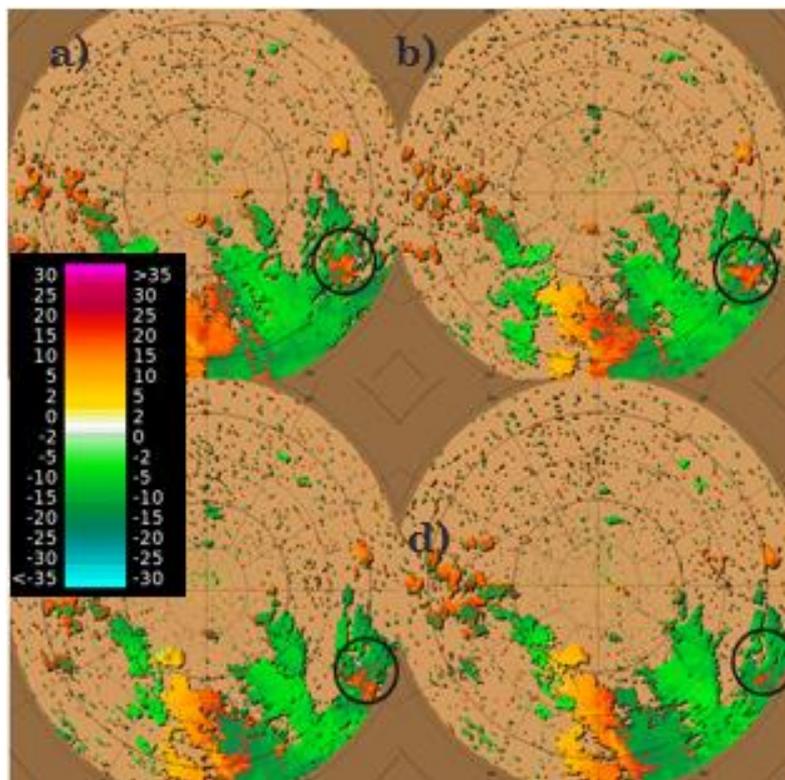


Figura 17. Imagens campo Doppler (velocidade radial, m/s) para o dia 24 de maio de 2004 às a) 20:01UTC, b) 20:16UTC, c) 20:31UTC e d) 20:46UTC. O ponto indica a exata localização da cidade de Indaiatuba-SP e o círculo indica a tempestade que gerou o tornado.

## **Conclusão**

Com o presente estudo analisou-se os campos diagnósticos para a caracterização do ambiente sinótico e os parâmetros de tempo severo para o evento de tornado ocorrido na cidade de Indaiatuba-SP.

Na análise sinótica, o campo de PNMM e altura geopotencial observou-se a aproximação de um cavado em nível médio e na superfície. O cavado em superfície médio é responsável pela maior advecção de vorticidade negativa. Além disso, foi observado um transporte e convergência de umidade sobre a região. Essa configuração é responsável pela instabilização da atmosfera.

Com relação ao aspecto termodinâmico, o CAPE não indicou grande potencial convectivo, por outro lado o LI indicou um ambiente bastante instável, principalmente próximo ao horário da ocorrência.

Assim, concluiu-se, sinoticamente, que os campos analisados mostraram um ambiente propício para a convecção sobre o estado, porém não para um caso de evento extremo.

Na análise dos parâmetros de tempo, foi analisada a evolução temporal do valor médio de cada parâmetro para a área com o ponto central sendo a cidade de Indaiatuba-SP.

Os parâmetros CAPE, SRH e o IEH mostraram um pico no horário mais próximo da ocorrência do tornado, às 18UTC do dia 24 de maio de 2005. Apesar de todos os índices sinalizarem um ambiente mais tendencioso para a ocorrência de tempo severo os valores estão abaixo dos limiares para tempo severo definido na literatura.

Essa discrepância pode ser explicada por dois motivos: primeiramente pela defasagem de 2 horas e meia do horário da ocorrência do tornado, 20:30UTC, para o horário com dado mais próximo, 18UTC, e por utilizar dados de reanálise para calcular

Com a análise dos campos de refletividade e velocidade radial, nota-se a tempestade, que gerou o tornado, se aproximando da cidade de Indaiatuba com refletividade em torno de 45-50 dBZ, indicando forte atividade convectiva. No campo de velocidade radial há valores se aproximando e se afastando do radar, indicando movimentos com sentidos opostos, ou seja, uma circulação. Porém uma análise mais precisa foi impossível de ser realizada devido a distância entre o radar e a tempestade

Em conclusão, a análise sinótica, dos parâmetros e das imagens de radar indicam um ambiente propício à ocorrência de atividade convectiva, entretanto, não indica um ambiente com grande potencial para gerar um caso de evento extremo, por exemplo, um tornado. Portanto, os dados de reanálise não foram capazes de reproduzir as condições atmosféricas para o caso em estudo.

## Referências Bibliográficas

ANTONIO, M. A.; ANTONIO, C. A. A.; FIGUEIREDO, J. C. Tornados do Outono de 2004 no Interior Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13.2005, Goiânia-GO. **Anais do...**São José dos Campos: INPE, 2005, p. 2819-2822.

BLUESTEIN, H. B.; PARZMANY, A. L. Observations of tornadoes and other convective phenomena with a mobile, 3-mm wavelength, doppler radar: the spring 1999 field experiment. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 12, p. 2939-2951, 2000.

BLUESTEIN, H. B. Advances in applications of the physics of fluids to severe weather systems. **Reports on Progress Physics**, v. 70, p. 1259–1323, 2007.

BROOKS, H. E.; LEE, J. W.; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. **Atmosphere Research**, v. 67-68, p. 73-94, 2003.

BROOKS, H. E.; ANDERSON, A. R. Climatological aspects of convective Parameters from the NCAR/NCEP Reanalysis. In: CONFERENCE OF SEVERE LOCAL STORMS, 22.2004, Hyannis, EUA. **Anais do....**Preprints, 2004.

BROOKS, H. E. Ingredients-Based Forecasting. In: GIAIOTTI, D. B; STEINACKER, R. (org.) **Atmospheric Convection: Research and Operational Forecasting Aspects**. Springer Wein, 2007. p. 134-140.

BROWNING, K. A.; LANDRY, C. R. Airflow within a tornadic thunderstorm. In: WEATHER RADAR CONFERENCE, 10.1963, Washington-DC. **Anais do....**American Meteorological Society, p. 116-122, 1963.

BROWNING, K.A.; LUDLAM, F. H. Airflow in convective storms. **American Meteorological Society**, v. 88, n. 2, p. 117-135, 1962.

CENAD. **Ministério da Integração Nacional**. Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012. Brasília, 2013. 84p.

DAVIES-JONES, R. Observational and theoretical aspects of tornadogenesis. In: BENGTTSSON, L.; LIGHTHILL, J. (org.) **Intense Atmospheric Vortices**, 2 ed. Berlin-Heidelberg- New York: Springer Verlag, 1982. p.175-189.

DAVIES-JONES, R. P.; TRAPP, R. J.; BLUESTEIN, H. B. In: DOSWELL. C. (org.) **Tornadoes Severe Convective Storms**. 1 ed. Boston-MA: American Meteorological Society, 2001. v. 28, p. 167–221.

DAVIES, J. M.; DOSWELL III, C. A.; BURGESS, D. W.; WEAVER, J. F. Some noteworthy aspects of the Hesston, Kansas, tornado family of 13 march 1990. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 75, n. 6, p. 1007-1017, 1994.

DOSWELL, C. A., BROOKS H. E., MADDOX R. A., Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. **Weather and Forecasting**, v. 11, p. 560-581, 1996.

FUJITA, T. T.; PEARSON, A. D. Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. In: CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS, 8.1973, Denver. **Anais do....** Washington-DC, American Meteorological Society, 1973, p. 142–145.

FUJITA, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. **Journal Atmospheric Sciences**, v. 38, p.1511-1534, 1981.

GOMES, A. M., Radar Doppler de Bauru: Características e Aplicações Operacionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8 e CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 2.1994, Belo Horizonte-MG. **Anais do....** Rio de Janeiro-RJ, SBMET, v. 1, p. 228-222, 1994.

GOMES, A. M.; LIMA, M. A.; ANTONIO, M. A. Características Doppler Associadas à Tempestades Severas no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9.1994, Campos do Jordão-SP. **Anais do....** Rio de Janeiro-RJ, SBMET, v. 1, p. 55-59, 1996.

GLOSSÁRIO DO CPTEC. Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#18>>. Acesso em: 12 jul. 2013.

HELD, G.; GOMES, A. M.; TEIXEIRA, M.; BASSAN, J. M.; PELLEGRINA, G. Predictability of Extreme Storm Events in the state of São Paulo, Brazil. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SEVERE STORMS, 5.2009, Landshut- Alemanha. **Anais do....**

KLEMP, J. B. Dynamics of tornadic thundstorms. **Annual Review Fluid Mechanics**, v. 19, p. 369-402, 1987.

JOHNSON, R. H.; MAPES, B. E. Mesoscale processes and severe convective weather. In: DOSWELL, C. A. (org.) **Severe Convective Storms**. 1 ed. American Meteorological Society, 2001. v. 28, p. 71-122.

MADDOX, R.A., Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 61, p. 1374-1387, 1980.

MARCELINO, I.P.V.O. **Análise de episódios de tornado em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados.**2004,223 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos.

MARKOWSKI, P. M. Hook echoes and rear-flank downdrafts: A review. **Monthly Weather Review**, v. 130, p. 852-876, 2002.

MARKOWSKI, P. M.; RICHARDSON, Y. P. **Mesoscale Meteorology in Midlatitudes.** John Wiley& Sons. Chichester-UK. 2010. 414p.

MASSAMBANI, O.; CARVALHO, L. M. V.; VAZUQUEZ, M. A. Tornado ou micro explosão? Um diagnóstico via Radar do evento de Itú-São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7.1992, São Paulo. **Anais do....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992, p. 763-768.

MILLS, G.A.; COLQUHOUN, J. R. Objective prediction of severe thunderstorm environments: Preliminary results linking a decision tree with an operational regional NWP model. **Weather and Forecasting**, v. 13, p.1078-1092, 1998.

MOLLER, A. R. Severe local storms forecasting. In: DOSWELL III, C. A. (ed.) **Severe Convective Storms.** American Meteorological Society Monograph, 2001. v. 28, n. 50, p. 433-480.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de Tempestade Severas Utilizando-se Parâmetros Convectivos de Modelos de Mesoescala: Uma Estratégia Operacional Adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 121-140, 2005.

NIELSEN-GAMMON, J. W.; READ, W. L. Detection and interpretation of left-moving severe thunderstorms using the WSR-88D: A case study. **Weather and Forecasting**, p. 127-140, 1995.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scale for atmospheric processes. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 56, n. 5, p. 527-530, 1975.

RASMUSSEN, E. Refined supercell and tornado forecast parameters. **Weather and Forecasting**, v. 18, p. 530-535, 2003.

ROTUNNO, R. Tornados and tornadogenesis. In: RAY, P. S. (org.) **Mesoscale Meteorology and Forecasting**. American Meteorological Society, 1986. p. 414-436.

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. 1229-1309, 2006.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 133-150, 1987.

STENSRUD, D. J. Using short-range ensemble forecasts for predicting severe weather events. **Atmospheric Research**, v. 56, n. 1-4, p. 3-17, 2001.

STENSRUD, D. J.; CORTINAS, J. V.; BROOKS, H. E. Discriminating between tornadic and non-tornadic thunderstorms using mesoscale model output. **Weather and Forecasting**, v. 12, p. 613-632, 1997.

STOUT, G. E.; HUFF, F. A. Radar records Illinois tornadogenesis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 34, p. 281-284, 1953.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective systems. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 682-703, 1979.

WALKO, R. L. Tornado spin-up beneath a convective cell: Required basic structure of the near-field boundary layer winds. In: CHURCH, C.; BURGESS, D.; DOSWELL, C.;

DAVIES-JONES, R. (org.). **The Tornado: It is Structure, Dynamics, Prediction and Hazards** 1 ed. Geophysical Monographic, 1993. p. 89-95.