

EVIDÊNCIAS DE UM TORNADO EM CAMPINAS EM JUNHO DE 2016: CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Lucí Hidalgo Nunes^(a), Ana Maria Gomes^(b), Gerhard Held^(b), Kleber Naccarato^(c), Laura De Bona^(d), Raul Reis Amorim^(a), Jeferson Prietsch Machado^(e)

^(a) Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, UNICAMP, Email: luci@ige.unicamp.br; raul_reis@ige.unicamp.br

^(b) Instituto de Pesquisas Meteorológicas, UNESP (aposentado), Email: ana@gheld.net.br; gerhard@gheld.net.br

^(c) Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) – INPE – Email: kleber.naccarato@inpe.br

^(d) Mestranda em Urbanismo – POSURB - PUC Campinas, Email: lauradebona@gmail.com

^(e) Departamento de Física, Faculdade de Ciências, UNESP/Centro de Meteorologia de Bauru - IPMet, Email: jeferson@fc.unesp.br

Eixo: 3 Climatologia em diferentes níveis escalares: mudanças e variabilidades

Resumo

Nos primeiros minutos do dia 5 de junho de 2016 o município de Campinas registrou intensa precipitação, inclusive com granizo, considerável número de descargas atmosféricas e ventos fortíssimos, que causaram grandes destruições; ocorrências similares foram verificadas em cidades vizinhas. Não houve registro de órbitas, provavelmente em virtude do horário (00:20h) e dia (domingo). As áreas afetadas foram bairros de classe média a média alta, com residências sólidas, o que atesta a energia do fenômeno pela destruição causada. Mesmo distante do local, as imagens do radar de Bauru sugerem ter havido movimento rotacional, característico de células tornádicas, ainda que não tenha havido registro fotográfico ou vídeo do fenômeno. O padrão de destruição atesta que se tratou de uma perturbação muito forte, tendo chamado a atenção o retorcimento de estruturas e galhos de árvores, objetos lançados por distâncias superiores a 50 m. e árvores frondosas arrancadas pela raiz, o que sugere que tenha sido um tornado. As ações pós-evento foram rápidas, mas não houve alerta de que um distúrbio tão forte atingiria esse município de mais de 1 milhão de habitantes, demonstrando que Campinas (e provavelmente outros municípios brasileiros) não está preparada para o advento desse tipo de fenômeno, relativamente comum na região.

Palavras chave: Campinas, tornado, radar Doppler, velocidades radiais, descargas atmosféricas.

1. Introdução

Tornados são os mais intensos vórtices registrados na atmosfera, formando-se em ambientes com intensa cortante de vento (ou cisalhamento vertical), estando associados a condições de grande instabilidade termodinâmica reforçada por parâmetros específicos de superfície, como configuração do relevo e presença de corpos hídricos. Ainda que a seção transversal horizontal de um tornado possa cobrir uma área de mais de 100 km², a maioria dos eventos tem um alcance espacial mais limitado. Apesar de sua efemeridade (duram em média poucos minutos) e mobilidade relativamente restrita quando comparados a furacões, em alguns episódios os ventos podem ultrapassar 400 km/h, o que faz com que o poder de



destruição seja devastador. Existem várias escalas de medição, como F (Fujita), EF (Enhanced Fujita), Torro, e EBRAV - essa última, surgida no Brasil (CANDIDO, 2012). Essas escalas foram criadas a partir do grau de destruição proporcionada pelos tornados, o que torna a comparação entre nações até certo ponto um desafio, pois as características dos imóveis e os materiais de construção são distintos entre os países (por exemplo, nas planícies da América do Norte prevalecem construções de madeira, menos comuns em boa parte do Brasil).

Esses distúrbios se desenvolvem em ambientes atmosféricos que produzem condições severas de tempo, como sistemas frontais transientes, complexos convectivos de mesoescala, ciclones tropicais, sistemas convectivos locais e tempestades tipo supercélulas. Como seus registros não se associam a uma única situação de tempo, eles acontecem em diferentes regimes climáticos e épocas do ano. Todavia, os tornados mais fortes estão associados às supercélulas, que apresentam uma corrente de ar ascendente rotativa e extremamente intensa, podendo atingir velocidades de 50 m/s ou mais (HOUZE, 1993).

Por seu movimento giratório, a ‘assinatura’ de um tornado é o retorcimento das estruturas afetadas e a projeção de objetos. E por suas dimensões e características, essas células são identificáveis por radar.

Diferente de outros eventos hidrometeorológicos, os tornados são aleatórios e, assim, não apresentam padrão socioespacial, podendo afetar indistintamente qualquer grupo social, o que os diferencia de fenômenos como movimentos de massa e inundações, que tendem a atingir mais comumente parcelas menos favorecidas da população.

Discorrendo sobre perturbações atmosféricas que envolvem grande energia Webster *et al.* (2005) e Smith (2006) argumentam que haveria, em tese, possibilidade de aumento de ocorrências associadas ao aquecimento global, tendo em vista que a elevação da temperatura traria por consequência uma atmosfera mais instável. Contudo, a relação específica entre aquecimento global e número de tornados e ocorrências de granizo foi inconclusiva nos relatórios do IPCC de 2007 e sequer aparece no relatório de 2014.

O crescente registro de tornados poderia estar associado ao aumento e espraiamento da população mundial e maior conscientização das pessoas em relação a essa perturbação (DOSWELL *et al.*, 1999), já que o testemunho e a disseminação desse e outros fenômenos é cada vez mais facilitada, fato que traz um aspecto muito positivo: há menos incertezas quanto à natureza do fenômeno em um grande número de casos. É possível que tais fatos possam estar conjugados, ou seja: aumento das ocorrências de tornados em associação a maior percepção e registro desses distúrbios atmosféricos.

No Brasil as condições atmosféricas que propiciam suas formações são pouco estudadas e requerem maior aprofundamento, mas registros de tornados e de trombas d’água (quando ocorrentes nos oceanos ou



grandes corpos hídricos, como lagos) têm sido frequentes no presente e provavelmente ocorreram também no passado, como atestam os relatos coletados por Candido (2012).

Por outro lado, Rosenfeld *et al.* (2008), alegam que a maior concentração de poluentes atmosféricos (aerossóis) tende a intensificar a convecção na atmosfera, gerando nuvens mais profundas e, com isso, mais propensas a causar eventos severos, como tornados. Esse processo está relacionado à redução do tamanho médio das gotículas de água dentro da nuvem, as quais, mas leves, tendem a alcançar as partes mais altas da nuvem, congelando e liberando maior quantidade de calor latente, impulsionando a convecção em níveis médios e altos. Devido à alta concentração de poluentes os grandes centros urbanos seriam ambientes propícios a esse tipo de intensificação sendo, portanto, responsáveis diretos pela formação de tempestades mais severas justamente onde vivem grandes aglomerados de pessoas.

Em levantamento e análise de tornados no Brasil entre março de 1877 e abril de 2011, Candido (2012) encontrou 205 episódios. Depois disso houve inúmeros novos eventos, alguns com consequências bastante dramáticas, como em Gramado e Canela (RS) em 2010, em Taquarituba (SP) em 2013 (HELD *et al.*, 2014a, b) em Xanxerê (SC) e Marechal Cândido Rondon (PR), ambos em 2015.

Candido (2012) observou que no Brasil essas perturbações atmosféricas são mais comuns nas estações de equinócio (maior contraste), mesma tendência que em outros locais, como nos Estados Unidos. Outras contribuições reportam o registro de tornados e trombas d'água no Brasil, alguns percorrendo também sobre os impactos associados (SILVA DIAS e GRAMMELSBACHER, 1991; MASSAMBANI *et al.*, 1992; ANTONIO, 1996; MENEZES e SILVA DIAS, 1998a e 1998b; GOMES *et al.*, 2000; OLIVEIRA, 2000; NECHET, 2002; NASCIMENTO, 2004; NASCIMENTO e MARCELINO, 2005 e 2006; MARCELINO, 2003; MARCELINO *et al.*, 2003, 2004a, b, 2006, 2007; HELD *et al.*, 2004, 2005a, b, 2006a, b, c, 2010a, b, c, 2011, 2014a, b, NUNES *et al.* 2008, CANDIDO *et al.* 2009; NUNES *et al.* 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2014; IENSSE *et al.*, 2016).

O presente estudo analisou um fenômeno ocorrido nos primeiros minutos do dia 5 de junho de 2016, que atingiu fortemente alguns setores do município de Campinas (SP), município que abriga mais de 1 milhão de habitantes. O horário (por volta das 00:20h) e o dia do registro (domingo) provavelmente contribuíram para que não houvesse fatalidades. Municípios próximos registraram no período fortes chuvas e ventos, como Atibaia, Morungaba, Itupeva e Jarinu - esse último por volta das 21:40h do dia anterior (4 de junho).

2. Materiais e métodos

A avaliação do episódio se baseou em trabalhos de campo realizados nas áreas atingidas nos dias subsequentes à ocorrência do fenômeno, de modo a observar *in loco* o padrão dos estragos, na interpretação dos dados obtidos do radar Doppler banda-S de Bauru do Centro de Meteorologia de Bauru pertencente à Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru, e nas informações de descargas atmosféricas obtidas pela Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas Totais (BrasilDAT) operada desde 2012 pelo Laboratório de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (NACCARATO *et al.* 2012 e NACCARATO e PINTO, 2012).

No caso dos dados do radar os dados volumétricos foram gerados no formato MDV, tendo sido processados pelo *software* TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting), desenvolvido pelo NCAR (National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, Estados Unidos). O TITAN é um sistema que permite manipular, analisar e apresentar informações de tempestades severas e mudanças que se consubstanciem, por exemplo, em evolução para células tornádicas. Por meio do TITAN é possível gerar os campos de refletividade (dBZ) associados às intensidades de precipitação, bem como os campos de velocidades radiais (m/s), possibilitando análise quanto à presença ou não de rotação em uma determinada célula de tempestade, evidenciando sua natureza tornádica.

3. O evento de 05 de junho de 2016 em Campinas

3.1 Observações gerais

O fenômeno afetou diversos bairros de Campinas, como: Vila Nova, Alto Taquaral, Vila Nogueira, São Quirino, Vila Madalena, São Conrado, Rio das Pedras, Braga e Santa Maria. Pelo exame da Figura 1, que apresenta as áreas onde houve destruição, nota-se trajetória no sentido oeste-leste, com trajeto do distúrbio por cerca de 40 km.

Segundo dados da Defesa Civil de Campinas foram registrados 74 mm de chuva em apenas 45 minutos, sendo que a média do mês de junho é de 35,4 mm (<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>). Houve granizo em vários bairros, como Cambuí e Centro e foram registrados ventos de 88 km/h na estação meteorológica de Barão Geraldo (distrito de Campinas que não foi atingido pelo tornado). De acordo com levantamento efetuado pela Defesa Civil no fim de junho de 2016, 1571 pessoas foram afetadas pelo distúrbio, sendo que 4 ficaram desabrigadas; 500 unidades habitacionais tiveram algum tipo de dano; houve queda de mais de 1800 árvores; 31 instalações públicas/ uso comunitário foram



atingidas e quatro pessoas ficaram feridas. Das construções afetadas, 11 eram estabelecimentos de ensino. Não houve mortos, mas houve dois feridos sem gravidade.

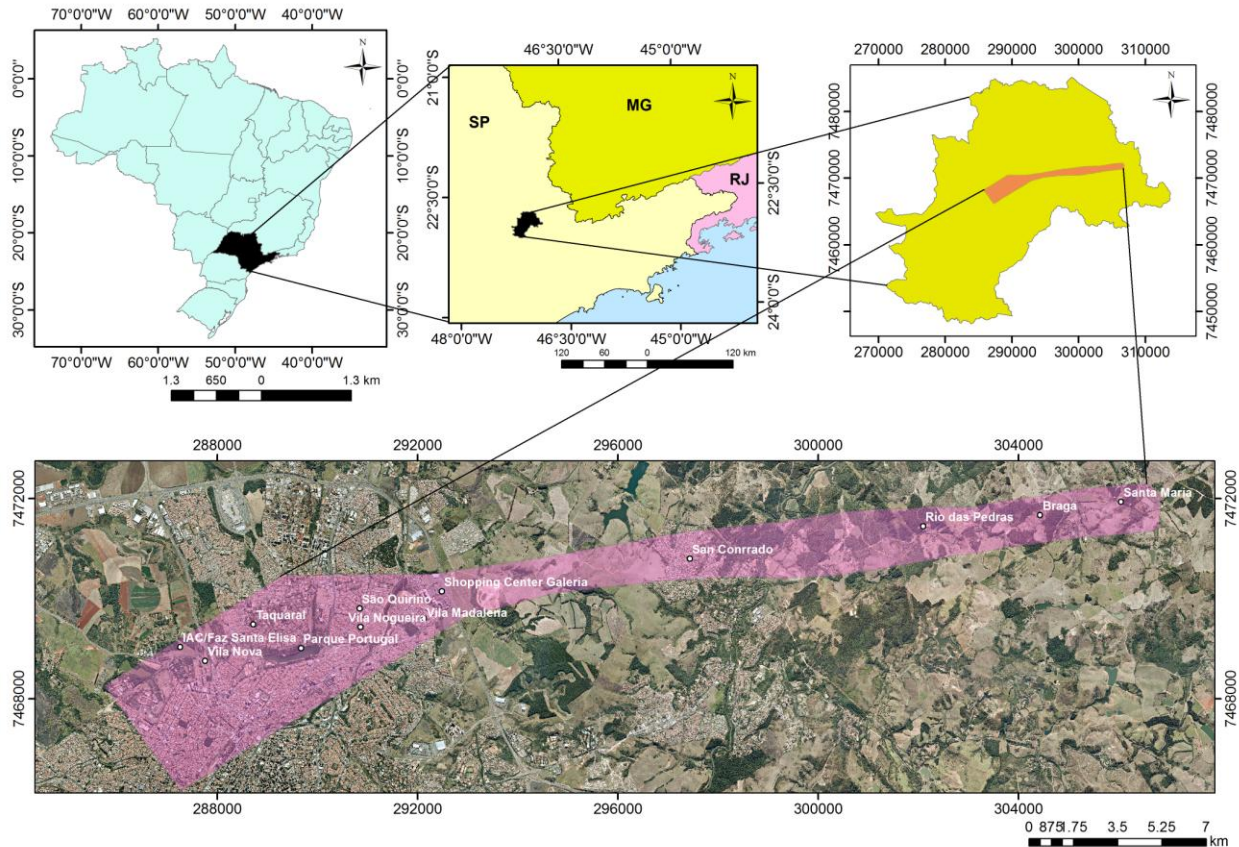


Figura 1 – Localização do município de Campinas e trilha aproximada do fenômeno (em rosa). Fonte: autores com base em trabalho de campo e levantamento efetuado pela Defesa Civil de Campinas.

3.2 Observações do radar

A Figura 2 mostra as áreas onde a atividade convectiva intensa ocorreu desde as 20:21 HL (hora local) até próximo das 00:21 HL, quando a célula de tempestade atingiu a região de Campinas, provocando danos severos em superfície. O tempo de vida dessas células de tempestade foi de 4 horas (o que não deve ser confundido com o tempo de ocorrência do tornado, que foi de poucos minutos), sendo que elas atravessaram a região com velocidade de deslocamento acima de 50 km/h, duas características observadas por HELD *et al.* (2010a, b) em tempestades associadas a supercélulas atingindo a área central do estado de São Paulo.

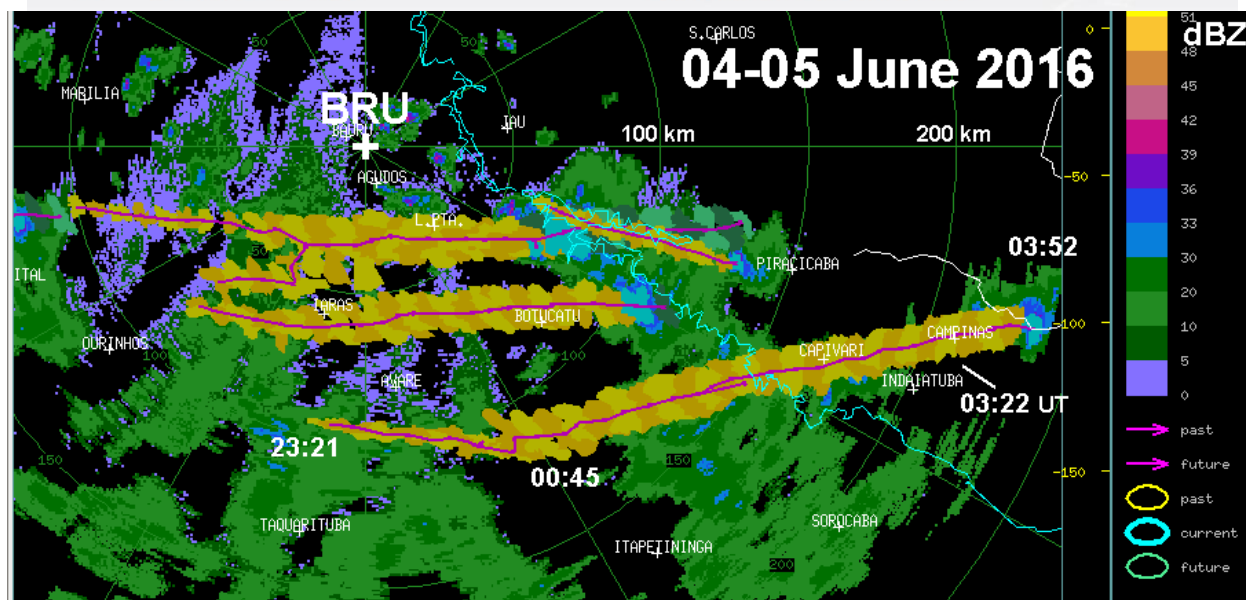


Figura 2 – Polígonos mostrando as áreas de refletividade ≥ 35 dBZ identificadas e rastreadas usando o software TITAN, com informações temporais (Universal Time, HL=UT-3h).

A Figura 3 mostra o rastro da célula de tempestade sobre a região de Campinas. A área do polígono em azul mostra a célula no horário de 00:21 HL, os polígonos em verde, a projeção futura do deslocamento da tempestade e os em amarelo, a origem dessas células.

É importante salientar que o sistema TITAN possibilita tanto a identificação de células potencialmente severas a partir da definição de um limiar de refletividade e volume, como o acompanhamento delas no tempo, obtendo previsão para 30 a 60 minutos sobre o seu deslocamento; ou seja: tem-se uma projeção das áreas que serão atingidas pela tempestade que se desloca sobre uma região. A Figura 3 mostra, também, a estrutura vertical da célula atingindo a região de Campinas, exibindo máximos de 46 dBZ para a refletividade se estendendo acima dos 6 km de altitude. Esse corte vertical foi realizado colocando uma linha de base A-B perpendicular ao deslocamento da célula. Notar a extensão vertical dos topos de 20 dBZ, acima de 16 km de altitude, indicativo de forte atividade convectiva. Coincidente com a área de máxima refletividade tem-se a presença de uma área de máximas velocidades radiais para fora do radar (velocidades positivas, cores quentes) justapostas em azimute às velocidades radiais em direção ao radar (velocidades negativas, cores frias). Esse par de velocidades radiais opostas (“couplet”) identifica a presença do mesociclone, sugestivo da existência de rotação em uma tempestade, fato que é consistente com a ocorrência de um evento tornádico.

Considerando que a definição de velocidade rotacional pode ser obtida tomando-se o modulo das velocidades radiais dividido por 2, ou seja, $(|V_{in}| + |V_{out}|) / 2$, pode-se estimar a velocidade rotacional



relativa à célula que atingiu Campinas durante este evento. Tomando-se os pares de velocidades radiais Doppler observadas pelo radar de Bauru, obtém-se o valor de $12,5 \text{ m.s}^{-1}$ para a velocidade rotacional, cujos centros de máxima velocidade radial estão separados por uma distância de 5 km, e que ocorre a uma distância além dos 200 km do radar de Bauru. Levando-se em conta o valor obtido para a velocidade rotacional, pode-se calcular o cisalhamento rotacional, que é a razão entre a velocidade e a distância observada entre os pares de velocidades opostas, o que no caso da célula sobre Campinas resultou em um valor de $2,5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Comparando os valores obtidos do radar com os limiares definidos para tempestades tornádicas observadas nos Estados Unidos, de $V_r \geq 12,5 \text{ m.s}^{-1}$ dentro de um raio de 150km, e $\geq 8,5 \text{ m.s}^{-1}$ para distancias maiores que 150km, tem-se que os valores associados à célula de Campinas excederam esses limiares, caracterizando um evento tornádico intenso (NSSL, 1985).

Durante o período de análise foram encontrados valores de velocidades radiais de até -25 m.s^{-1} , sugerindo velocidades em direção ao radar, e $+15 \text{ m.s}^{-1}$, indicando velocidades se afastando do radar de Bauru.

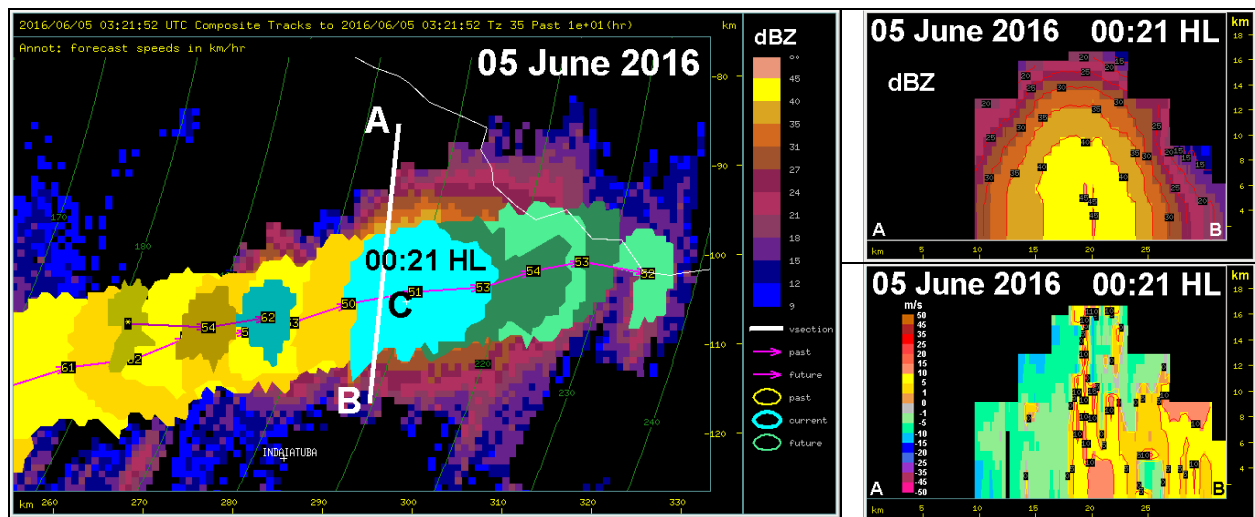


Figura 3 - Polígonos mostrando as áreas de refletividade ≥ 35 dBZ identificadas e rastreadas usando o software TITAN (esq.). Cortes verticais ao longo da linha A-B, mostrando a extensão vertical da célula tornádica (dir. topo) e as velocidades radiais associadas à célula tornádica sobre Campinas (dir. abaixo).

Para a comprovação de tornado, a primeira assinatura a ser buscada é se existem, ao longo dos azimutes, regiões onde as velocidades radiais em direção ao radar e para fora dele estão justapostas. Mesmo considerando que o radar Doppler não “mede” o vento e sim sua componente radial, é possível identificar a circulação de rotação associada à presença do mesociclone. O tornado surgirá se a nuvem funil tocar o solo sobre a região em sua trajetória, fato convalidado com o exame do padrão dos danos, que também indicam a magnitude do fenômeno.

3.3 Danos

As informações do radar indicam assinaturas típicas da ocorrência de tornado, fenômeno registrado em Campinas (1995, 2001 e 2005) e em municípios vizinhos diversas outras vezes, com destaque para as ocorrências em Itu (em 1992, MASSAMBANI *et al.* 1992; CANDIDO 2012) e em Indaiatuba (2005; HELD *et al.*, 2006a, b). Pelo tipo de destruição provocado infere-se que teria sido pelo menos um tornado do tipo EF3, cujos ventos podem atingir entre 178 e 217 km/h. e que causam, segundo a literatura, destelhamentos generalizados, destruição de mobiliário dentro das habitações e árvores arrancadas da raiz. Tudo isso foi observado, sendo interessante ressaltar que os bairros atingidos são de classe média a média alta e, portanto, com habitações sólidas e bem construídas.

O padrão dos danos pode ser observado nas Figuras 4a a 4f. As imagens demonstram a grande energia do fenômeno e sugerem o caráter rotacional dos ventos, em especial as Figuras 4b e 4c:

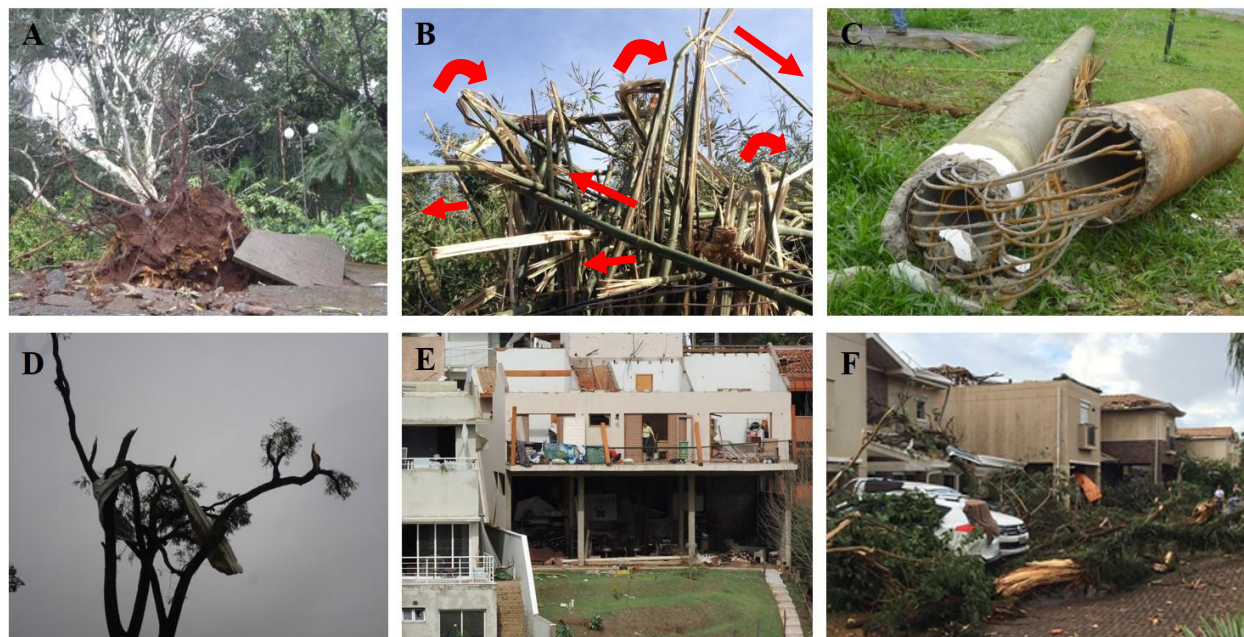


Figura 4 – Danos associados à passagem do tornado em Campinas: (A) árvore arrancada pela raiz (Colégio São José, Vila Nova); (B) galhos retorcidos em diferentes direções, Joaquim Egídio; (C) poste arrancado e retorcido, Vila Madalena/ Shop. Galleria; (D) estrutura arremessada em grande distância, Taquaral; (E) casa destelhada e outros danos estruturais, São Conrado; (F) danos generalizados em residências, Vila Madalena. Créditos: (A), (B), (C), (D) Lucí H. Nunes; (E): Sonia Tikian (moradora de São Conrado), (F): Defesa Civil de Campinas

Não houve (ou a equipe não obteve) registros fotográficos ou vídeos do típico funil, mas deve-se ter em conta que pelo horário e pela própria tempestade estava muito escuro, houve corte de energia elétrica o que impossibilitou que câmeras de monitoramento fizessem qualquer tipo de registro (no bairro de Santa



Maria, perímetro rural do Distrito de Joaquim Egídio, foi restituída apenas cinco dias depois) e algumas pessoas disseram ter se afastado de portas e janelas, o que é prudente nesses casos. Foi bastante aludido um forte barulho, que várias testemunhas compararam a uma explosão e outras, a turbina de avião.

3.4 Descargas elétricas

Em avaliação preliminar, os dados de descargas atmosféricas foram acumulados em intervalos de 15 minutos dentro da área marcada na Figura 5a, sendo que a grande maioria ocorreu dentro dos elipsóides vermelhos, conforme o rastreamento do radar de Bauru (Figura 2). Observa-se, na Figura 5b, que em menos de 15 minutos ocorreu um salto na quantidade de descargas totais (soma das descargas nuvem-solo e descargas intranuvem) de 2.336 (00:00 – 00:15 HL) para 4.554 (00:15 – 0030 HL), equivalente a 156 descargas/min para 304 descargas/min. A grande maioria dessas descargas foram eventos intranuvem (IN). Considerando apenas as descargas nuvem-solo (NS) registrou-se pequena intensificação de 26 descargas/min para 46 descargas/min, respectivamente, o que é esperado, pois a intensificação na atividade elétrica ocorre predominantemente para as descargas IN. O número de descargas NS positivas foi extremamente pequeno durante o evento inteiro.

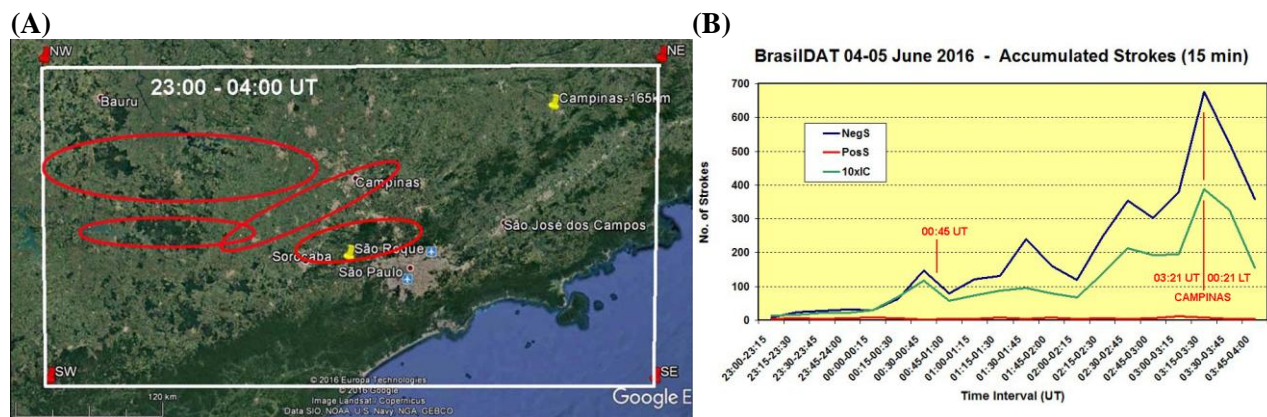


Figura 5 – (A) Área com dados de descargas elétricas disponibilizadas (20:00 – 01:00 HL) (retângulo branco), sendo que maior atividade ficou dentro dos elipsóides vermelhos. (B) Quantidade de *strokes* (descargas) dos raios em intervalos de 15 minutos, separado por descargas NS, positivo e negativo e IN (a escala para IN precisa ser multiplicada por 10).

O grande número de descargas (*strokes*) totais produzidas pelo evento foi um fato bastante marcante (Figura 5), com destaque para o efeito do *lightning jump*, ou seja: a rápida intensificação da atividade elétrica no interior das tempestades (GOODMAN *et al.*, 1988, 2005; WILLIAMS *et al.*, 1989; GATLIN; GOODMAN, 2010; SCHULTZ *et al.*, 2011), conforme já discutido. Esses autores apresentaram estudos de casos de tempestades nas quais ocorreu um súbito aumento do número de raios totais antecedendo a ocorrência de eventos severos (como granizo, tornados, rajadas de vento e microexplosões). Essa relação



entre atividade elétrica e tempo severo pode ser explicada através da relação entre as fortes correntes ascendentes de ar que ocorrem dentro da nuvem e que, juntamente com as forças gravitacionais, distribuem os hidrometeoros no interior da nuvem em função de seu tamanho, e a consequente eletrificação desses hidrometeoros por processos colisionais não-indutivos, que produzem centros de cargas positivos e negativos com intensificação do campo elétrico ambiente e produção de descargas elétricas (DEIERLING *et al.*, 2008). De modo geral, a velocidade de intensificação do “lightning-jump” (inclinação da curva) está diretamente relacionada à maior intensidade da corrente ascendente (ou intensa convecção), aumentando a quantidade de gelo no interior da nuvem, porém com tamanho menor e menor densidade, levando assim a um número maior de colisões e, conseqüentemente, maior transferência de carga, intensificando os centros de carga.

A Figura 6 mostra a célula tornádica atingindo Campinas às 00:22 HL e 00:31 HL, horários com a maior frequência de raios e que coincide com o horário que vários moradores apontaram como sendo o momento crítico do episódio. A refletividade composta (dBZ) é gerada através de um “volume scan” com duração de 7,5 min. As descargas atmosféricas estão representadas por eventos individuais NS (+) com suas posições superpostas na imagem da refletividade.

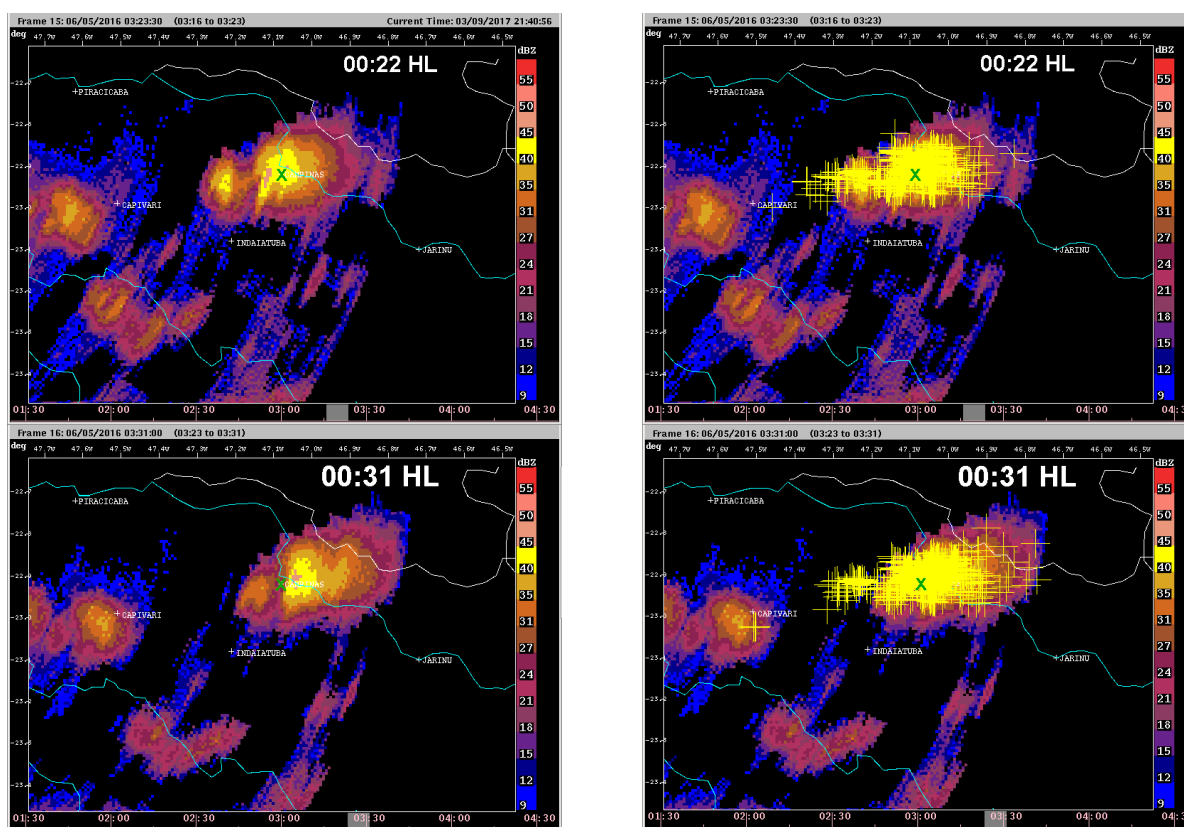


Figura 6 – Célula da tempestade acima de Campinas, 05 de junho de 2016, 00:22 e 00:30 HL, mostrando refletividade composta (esquerda) e descargas elétricas (direita). “X” marca o centro de Campinas.



É importante assinalar que nenhuma descarga positiva foi registrada na cidade de Campinas durante as duas varreduras volumétricas mostradas na Figura 6. Entretanto, ocorreram três eventos positivos anteriormente: às 23:41:14; às 00:09:52 e às 00:14:14 HL, com pico de corrente de 26, 87 e 49 kA, respectivamente.

4. Conclusões

Tornados são eventos comuns no Brasil, especialmente em sua porção mais meridional, incluindo o estado de São Paulo. Nesse estado há relatos e evidências de várias ocorrências na mesma época (outono, estação de transição). Ainda que a previsibilidade de uma tempestade com potencial tornádico seja possível com equipamentos adequados, há enorme carência de radares, em especial, Doppler. Esse fenômeno não foi previsto, e perante o enorme potencial energético, é possível que não tenha havido perda de vidas humanas pelo dia e horário.

O estudo indicou que nos primeiros minutos do dia 5 de junho de 2016 o município de Campinas experimentou condições de forte instabilidade, com intensa precipitação (inclusive, granizo), número notável de descargas atmosféricas e ventos extremamente fortes. As informações do radar de Bauru demonstraram velocidades radiais justapostas em azimute do radar e sinais contrários, indicativo de movimento rotacional, também observado pelo padrão de destruição.

O fenômeno mostrou claramente que o poder público municipal e os cidadãos estão despreparados para enfrentar esse tipo de fenômeno que, todavia, pode voltar a acontecer (pergunta recorrente nas conversas com pessoas que testemunharam o fenômeno nos trabalhos de campo). E como não há como prevenir nem mesmo eliminar todos os danos de um tornado, em áreas sujeitas a esse tipo de distúrbio devem ser implementadas medidas voltadas a minimizar os danos e, em especial, diminuir o número de feridos e evitar óbitos.

Chamou a atenção positivamente que as medidas pós-evento foram céleres (remoção de entulhos, de árvores, desobstrução de vias, retorno de energia, ainda que bairros do Distrito de Joaquim Egídio tenham ficado sem luz por vários dias) o que provavelmente se atrela ao fato de que Campinas rotineiramente registra alagamentos e inundações, de maneira que há um preparo para ações emergenciais pós-calamidades. O grande desafio é o alerta pré-desastres e as informações que as pessoas devem saber para evitar danos maiores.

Sendo tornados e trombas d'água são recorrentes na região e em muitos outros setores do país, sugere-se ao poder público: 1) aquisição de radares de alcance mais local (banda X) ou com maior alcance e capazes

de detectar células com potencial de gerar tornados/ microexplosões (radares Doppler); 2) estabelecimento de convênio que permita acesso ao software Titan (NCAR, EUA), que é grátis; 3) construções que incorporem técnicas e materiais mais resistentes aos ventos; 4) telhados /janelas /portas devem estar permanentemente em ordem; 5) elaboração e divulgação de plano de emergência, descrevendo o que deve ser feito no caso de distúrbios atmosféricos, com exercícios como outros que são praticados para outros tipos de eventos que podem afetar o município (como incêndios).

Por fim, destaca-se que o advento do aquecimento global teria, em tese, potencial para gerar maior incidência desses eventos nas áreas geográficas que apresentam condições físicas/ atmosféricas propícias para tais ocorrências. Desse modo, o Brasil deve estar preparado para um possível aumento tanto na frequência quanto na magnitude de tornados e fenômenos correlatos, como microexplosões e vendavais.

5. Bibliografia

- ANTONIO, M. de A. Ocorrência de tornado na região tropical do Brasil. **Boletim Climatológico**, n. 2/3, 1996, p. 136-141.
- CANDIDO, D.H. Tornados e Trombas d'água no Brasil: desenvolvimento de um modelo e proposta de escala de avaliação de danos. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas. 2012.
- CANDIDO, D.H.; NUNES, L.H.; HELD, G. Impact of two severe storm systems over São Paulo state, Brazil. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SEVERE STORMS, 5, Landshut, Germany, 2009, 2p.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (CEPAGRI) <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>> (consultado em março de 2017).
- DEIERLING, W.; PETERSEN, W.A.; LATHAM, J.; ELLIS, S; CHRISTIAN, H.J. The relationship between lightning activity and ice fluxes in thunderstorms. **Journal of Geophysical Research**, v.113, D15210, doi: 10.1029/2007JD009700, 2008, 20p.
- DOSWELL, C.; MOLLER, A.R. e BROOKS, H.E. Storm Spotting and Public Awareness since the First Tornado Forecasts of 1948. **Weather Forecasting**, v. 14, 1999, p.544-577.
- GATLIN, P.N.; GOODMAN, S.J. A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 27, n.1, 2010. p.3–22.
- GOMES, A.M.; HELD, G.; LIMA, M.A.; CALHEIROS, R.V. Estudo da evolução de tempestades severas na área central do estado de São Paulo por radar Doppler. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p.1921-1929.
- GOODMAN, S.J.; BUECHLER, D.E.; WRIGHT, P.D.; RUST, W.D. Lightning and precipitation history of a microburst-producing storm". **Geophysical Research Letters**, v. 15, n. 11, 1988. p.1185–1188.
- GOODMAN, S.J.; BLAKESLEE, R.; CHRISTAIN, H.; KOSHAK, W.; BAILEY, J.; HALL. J.; MCCAUL, E.; BUECHLER, D.; DARDEN, C.; BURKS, J.; BRADSHAW, T.; GATLIN, P. The North Alabama Lightning Mapping Array: Recent severe storm observations and future prospects. **Atmospheric Research**, v.76, 2005, p.423–437.
- HELD, G.; GOMES, J.L.; PINTO Jr., O.; ANTONIO, C.A.A.; da SILVA, A.B.P. The Palmital tornado: lightning and radar observations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING (GROUND'2004) and EARTHING and INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS (1st. LPE), Belo Horizonte, **Proceedings...** Belo Horizonte, 2004, p. 23-28



HELD, G.; GOMES, A.M.; NASCIMENTO, E.; PINTO, Jr, O.; NACCARATO, K.P., ANTONIO C.A.; PORTO DA SILVA, A.B. Tornado Signatures for Nowcasting Using Radar and Lightning Observations in Brazil. **Geophysical Research Abstracts**, v.7, 2005(a), 6p.

HELD, G.; GOMES, A.M.; NACCARATO, K.P.; PINTO Jr., O.; NASCIMENTO, E. de L.; CORREIA, A.A.; MARCELINO, I.P.V.O. Analysis of tornado characteristics in the State of São Paulo for the improvement of an automatic alert system. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 32. 2005, Albuquerque, USA: **Preprints...**, Albuquerque: Amer. Meteor. Soc. 2005(b), (Paper P3R.9) 10p. (CD ROM).

HELD G, GOMES A.M, NACCARATO K.P., PINTO Jr. O, NASCIMENTO, E. The Structure of Three Tornado-Generating Storms Based on Doppler Radar and Lightning Observations in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8, 2006a, Foz do Iguaçu. **Proceedings...**, Foz do Iguaçu, 2006 (a), p.1787-1797.

HELD, G.; GOMES, J.L.; NASCIMENTO, E.L. Forecasting a severe weather occurrence in the state of São Paulo, Brazil on 24 May 2005: the Indaiatuba tornado. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8, 2006, **Proceedings...** Foz do Iguaçu, 2006(b), p.1799-1807.

HELD G, GOMES A.M, NACCARATO K.P. e PINTO O. Jr. Analysis of severe thunderstorms in the State of São Paulo, Brazil, using "TITAN" to identify the position of positive and negative ground strokes relative to radar echoes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING AND EARTHING (GROUND'2006) and INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS, 2 (2nd. LPE), Maceió, **Proceedings...**, Maceió, 2006 (c), p.535-540.

HELD G.; GOMES A.M; NACCARATO K.P. The structure and behaviour of supercell storms in the State of São Paulo, Brazil. EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY, 6, 2010a, Sibiu, Romania. **Proceedings...**, Sibiu, 06-10 September 2010a, 7p. [<http://www.erad2010.org/Sibiu.htm>]

HELD G; GOMES A.M.; NACCARATO K.P. Estrutura e comportamento de tempestades supercélulas no Estado de São Paulo, Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010b, (CD ROM), Belém, PA, **Proceedings...**, Belém 13-17 de setembro de 2010b, SBMET, 5pp.

HELD G.; GOMES A.M.; NACCARATO K.P. Lightning and storm severity parameters in supercell storms in the State of São Paulo, Brazil. INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING AND EARTHING (GROUND'2010) & INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS, 4, Salvador, BA, **Proceedings...**, 06-11 November 2010c, 6pp.

HELD G., GOMES A.M; NACCARATO K.P. The Structure of Severe Storms and Associated Lightning in the State of São Paulo, Brazil. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC ELECTRICITY (ICAE 2011), 14, Rio de Janeiro, Brazil, **Proceedings...** Rio de Janeiro, 09-12 August 2011, 4pp.

HELD G.; GOMES JL; GOMES AM. Radar observations of a tornado-spawning storm complex in Southeast Brazil and Meso-Eta forecasts of this extreme event. **Geophysical Research Abstracts**, V.16, EGU General Assembly 2014a, Vienna, Austria, 27 April – 02 May 2014a. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-11437.pdf>

HELD G.; GOMES J.L.; GOMES A.M.; NACCARATO K.P. Observações de radar, descargas elétricas e previsões do modelo Meso-Eta para um complexo de tempestade gerando um tornado no Sudeste do Brasil. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 28, Recife, PE, **Proceedings...**, Recife, 2014b, SBMET, 2pp.

<http://registro-cbmet2014.inteligenciaeventos.com.br/anais>

HOUZE, R. A. **Cloud Dynamics**. San Diego: Academic Press, 1993, 573p. (International Geophysics, v. 53)

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). IPCC, 2014 : Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IENSSE, A.C., WOLLMAMM, C.A., GOMES, S.L.S Circulação atmosférica regional e a ocorrência de tornados e trombas d'água no Rio Grande do Sul, no período de 2001 a 2014. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, XII, 2016, Anais... Goiânia, p. 1922-1932.
- MARCELINO, I.P.V. de O. Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2003.
- MARCELINO, I.P.V. de O.; FERREIRA, N.J.; CONFORTE, J.C. Análise do Episódio de Tornado ocorrido no dia 07/02/98 no Município de Abdon Batista – SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte, **Proceedings...**, Belo Horizonte, 2003, 8 p. (CD Room).
- MARCELINO, I.P.V. de O.; FERREIRA, N.J.; ANDRÉ, I.N. Análise sinótica do episódio de tromba d'água ocorrido em 27/01/96 no município de São Francisco do Sul – SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6, Aracajú, **Anais...** Aracajú: UFS, 2004a. (CD ROM).
- MARCELINO, I.P.V. de O.; FERREIRA, N. J.; ANDRÉ, I.N. Análise geográfica do tornado ocorrido no município de Joinville-SC em 31/01/1999. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1 Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004b. (CD-ROM).
- MARCELINO, I.P.V de O.; MARCELINO, E. de O.; NUNES, L.H. Classificação e análise dos danos do tornado ocorrido em agosto de 2005 no município de Muitos Capões (RS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 7 **Anais...** Rondonópolis: UFMT, Campus Rondonópolis, 2006.
- MARCELINO, I.P.V. de O.; NASCIMENTO, E.L.; FERREIRA, N.J. Tornados em Santa Catarina: análise meteorológica e de vulnerabilidade com o auxílio de geotecnologias. In: ALMEIDA, C. M.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (org.). **Geoinformação em Estudos Urbanos e Regionais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, v.1. 530 p.
- MASSAMBANI, O.; CARVALHO, L.M.V.; VÁZQUES, M. Tornado ou microexplosão? Um diagnóstico via radar do evento de Itú-São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, São Paulo, **Anais...**, São Paulo, 1992. p. 763-768.
- MENEZES, W.F., SILVA DIAS, M.A.F. Simulação numérica dos casos "Itu" e "Ribeirão Preto": comparação entre casos de tempestades imersas em ambientes com diferentes padrões de cisalhamento vertical do vento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10 e SEMINÁRIO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA DE MESOESCALA, 1, Brasília, **Anais...**, Brasília, 1998a. (CD-ROM).
- MENEZES, W. F., SILVA DIAS, M.A.F. 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 e SEMINÁRIO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA DE MESOESCALA, 1, Brasília, **Anais...**, Brasília, 1998b (CD-ROM).
- NACCARATO, K.P.; ANTONIO, C.A.; SABA, M.M.F.; SCHUMANN, C.; PINTO JR, O. First performance analysis of BrasilDAT total lightning network in Southeastern Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING AND EARTHING & 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS, Bonito, 2012.
- NACCARATO, K.P.; PINTO JR., O. Lightning detection in Southeastern Brazil from the new Brazilian Total Lightning Network (BrasilDAT). In: PROCEEDINGS OF THE 2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION (ICLP), DOI: 10.1109/ICLP.2012.6344294, 2012.
- NASCIMENTO, E.L.: Identifying severe thunderstorm environments in southern Brazil: analysis of severe weather parameters. In: CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS, 22, Hyannis/EUA, **Anais...**, Hyannis/EUA: American Meteorological Society, 2004 (CD-ROM). Disponível em: (<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81745.pdf>)
- NASCIMENTO, E.L.; MARCELINO, I.P.V. de O. Análise preliminar dos tornados de 3 de janeiro de 2005 em Criciúma/SC. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 28-29, n.1, 2005, p. 33– 44.



NASCIMENTO, E.L.; MARCELINO, I.P.V. de O. The 24 May 2005 multiple-vortex tornado in southeastern Brazil. In: CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS, Saint Louis, EUA, **Anais...**, Saint Louis: American Meteorological Society, 23, 2006 (CD-ROM). Disponível em:

http://ams.confex.com/ams/23SLS/techprogram/paper_115344.htm).

NASCIMENTO, E.L.; HELD, G.; GOMES, AM. A Multiple-Vortex Tornado in Southeastern Brazil. **Monthly Weather Review**, v.142, 2014, p.3017-3037.

NECHET, D. Ocorrência de tornados no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 2002, p. 29-39.

NSSL. The National Severe Storms Laboratory (NSSL) Warning Guidelines, 1985, Norman, OK, USA.

NUNES, L.H.; CANDIDO, D.H.; VICENTE, A.K., ARAKI, R.; dos SANTOS, F.R.N.; COLLAÇO, M.M.; CASTELLANO, M.S.; BARBIN, N.B.C.B. Condicionantes físicos e impactos dos tornados do final de março de 2006 no interior paulista. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v.23, 2008, p.99-124

NUNES, L.H.; DE BONA, L.; CANDIDO, D. Tornado and waterspout climatology in Brazil. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SEVERE STORMS, 6, Palma de Mallorca, Spain, 2011, 3p.

OLIVEIRA, I. P. V de O. Distribuição espaço-temporal e análise de tornados em Santa Catarina no período de 1975 a 2000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 4., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CLIMAGEO/UFRJ/CREA, 2000. 11 p. (CD Room).

ROSENFELD, D.; LOHMANN, U.; RAGA, G.B.; O'DOWD, C.D.; KULMALA, M.; FUZZI, S.; ANDREAE, M.O. Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? **Science**, v. 321, n.5894, 2008. p.1309-1313.

SCHULTZ, C.J.; PETERSEN, W.A.; CAREY, L.D. Lightning and severe weather: A comparison between total and cloud-to-ground lightning trends, **Weather and Forecasting**, v.26, n.5, 2011. p.744–755.

SILVA DIAS, M.A.F.; 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, 1991, p.513-522.

SMITH, K. **Environmental hazards. Reducing risk and reducing disaster**. London: Routledge. 2006. 250p.

WEBSTER P.J.; HOLLAND, G.J.; CURRY, J.A.; CHANG, H.R. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. **Science**, v. 309, 2005, p.1844-1846.

WILLIAMS, E.R. The tripole structure of thunderstorms. **Journal of Geophysical Research, Atmospheres**, n.94, 1989, p.13.151–13.167.

Agradecimentos

Aos munícipes que deram seu testemunho. À senhora Sônia Tikian, por ceder suas fotos pessoais e pelo relato. Ao Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha (FEAGRI/ UNICAMP) por acompanhar trabalho de campo em setores rurais afetados de Campinas. À Defesa Civil de Campinas, por compartilhar suas informações.