

## FLUXOS DE CALOR E ROL EM SUPERFÍCIE DURANTE A EVOLUÇÃO DE TEMPESTADE SEVERA EM TAQUARITUBA/SP NO DIA 22/09/2013

KELLI SILVA DE LARA<sup>1</sup>; ALLEF PATRICK CAETANO DE MATOS<sup>2</sup>; ANDRÉ BECKER NUNES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [kelli.delara@hotmail.com](mailto:kelli.delara@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [allefpatrickmatos@hotmail.com](mailto:allefpatrickmatos@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [beckernunes@gmail.com](mailto:beckernunes@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre recebe radiação de ondas curtas (ROC) que é a energia proveniente do Sol e, recebe (da atmosfera) e emite radiação de ondas longas (ROL). Segundo Arruda (2011) a superfície quando aquecida cede energia para o aquecimento do ar (calor sensível) e para evaporação da água (calor latente). Toda vez que a água evapora ou condensa, solidifica ou liquefaz, o calor latente é gerado ou liberado. O aquecimento latente é uma importante forma de aquecimento diabático da atmosfera, especialmente nas nuvens em desenvolvimento (PETTY, 2008). Já o calor sensível está relacionado com a variação da temperatura entre dois corpos.

As tempestades compostas por nuvens com grande desenvolvimento vertical apresentam um comportamento importante na circulação global da atmosfera, pois as mesmas transportam umidade, calor sensível e calor latente para as camadas superiores da troposfera. A região sudeste do Brasil devido a sua posição latitudinal e a diversos sistemas atmosféricos atuantes, é propícia à ocorrência de eventos extremos que incluem precipitação intensa, descargas elétricas e até mesmo o tornado – este último vem acontecendo com maior frequência na região e causando danos as comunidades atingidas. O tornado é definido pelo Glossário de Meteorologia (HUSHCKE, 1959), como uma coluna de ar em rotação, em contato com a superfície, pendente de uma nuvem cumuliforme, muitas vezes visível como uma nuvem funil e/ou como uma circulação de poeira/areia perto da superfície.

A tempestade que atingiu o município de Taquarituba/SP, localizada a sudoeste do Estado de São Paulo, ocorreu por volta das 16:30HL (Hora Local) do dia 22 de setembro de 2013. Como não havia estação meteorológica para estimar a velocidade dos ventos do tornado, foi realizado uma avaliação pelos danos materiais usando a escala Fujita. Esta escala mede a intensidade dos tornados não pelo seu tamanho físico, mas pela valoração dos estragos por ele causados (FUJITA, 1981). Uma das causas na evolução da tempestade que originou o tornado de categoria F2 de acordo com a escala Fujita, deu-se ao choque térmico entre uma massa de ar quente que estava sobre o Estado de São Paulo e uma massa de ar fria que atuava sobre a região do Estado do Paraná. Diante disso, o objetivo desse estudo é analisar a ROL, e os fluxos de calor sensível e calor latente no desenvolvimento da tempestade que originou o tornado.

### 2. METODOLOGIA

O estudo fundamentou-se na utilização de dados de reanálises MERRA II – *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* (Rienecker, et al., 2011), com resolução horizontal de 0.5°x0.66°. As variáveis estudadas nesse conjunto de dados foram: radiação de onda longa ( $Wm^{-2}$ ) emitidos pela superfície, fluxos de calor sensível e calor latente ( $Wm^{-2}$ ), correspondente às 19 UTC (horário

aproximado da tempestade) para os dias 21, 22 e 23 de setembro de 2013 no município de Taquarituba/SP (23°31'59"S, 49°14'40"W). Os campos foram plotados usando o software GrADS (*Grid Analysis and Display Sytem*). Nesse mesmo horário, foram utilizadas imagens de satélite realçadas do canal infravermelho GOES-13 (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), acrescentando a imagem das 19:30 UTC no dia 22, disponibilizadas através do site de Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/INPE).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de ROL mostram uma queda mais abrupta após a ocorrência da tempestade. O dia anterior, 22 às 19UTC (Fig. 1a,b), apresentou valor de aproximadamente  $470 \text{ W m}^{-2}$ , caindo para  $460 \text{ W m}^{-2}$  no dia da tempestade (Fig. 1c,d) e para  $430 \text{ W m}^{-2}$  no dia seguinte (Fig. 1e,f). Esta queda está associada à diminuição da temperatura da superfície, associada à nebulosidade e a posterior entrada de massa de ar polar. Os fluxos de calor também apresentaram variações. O fluxo de calor sensível apresentou valores entre  $-60$  e  $-30 \text{ W m}^{-2}$  no dia anterior, ficando mais negativo (de  $-60$  à  $-90 \text{ W m}^{-2}$ ) no dia da tempestade e subindo para  $0$  à  $-30 \text{ W m}^{-2}$  no dia posterior. Valores negativos indicam que a atmosfera cedeu energia à superfície – o que é comum para o horário; contudo, a variação entre os dias indica que a atmosfera estava mais energética que a superfície até o dia da tempestade, quando a diferença entre atmosfera e superfície diminuiu. Quanto ao fluxo de calor latente, nota-se um pico acentuado no dia da tempestade, i.e., os valores subiram de aprox.  $180 \text{ W m}^{-2}$  até atingir  $240 \text{ W m}^{-2}$  para, no dia posterior à tempestade, cair para valores em torno de  $140 \text{ W m}^{-2}$ . Tais valores indicam forte influência da nebulosidade associada a tempestade, como mostra a Figura 2, haja vista que fluxos de calor latente da superfície exercem papel importante no desenvolvimento de tempestades convectivas.

Observa-se na imagem de satélite às 19:30UTC do dia 22 (Fig. 2c) muitas áreas de instabilidade sobre a região com topos de nuvens bastante frios (aproximadamente  $-60^\circ\text{C}$ ). Estima-se que o horário da passagem do tornado ocorreu por volta das 19:30UTC e 19:40UTC. Os valores de temperatura nos topos de nuvens são compatíveis com tempestades severas que podem gerar rajadas de ventos fortes, descargas elétricas, precipitação intensa, granizo e inclusive o tornado.



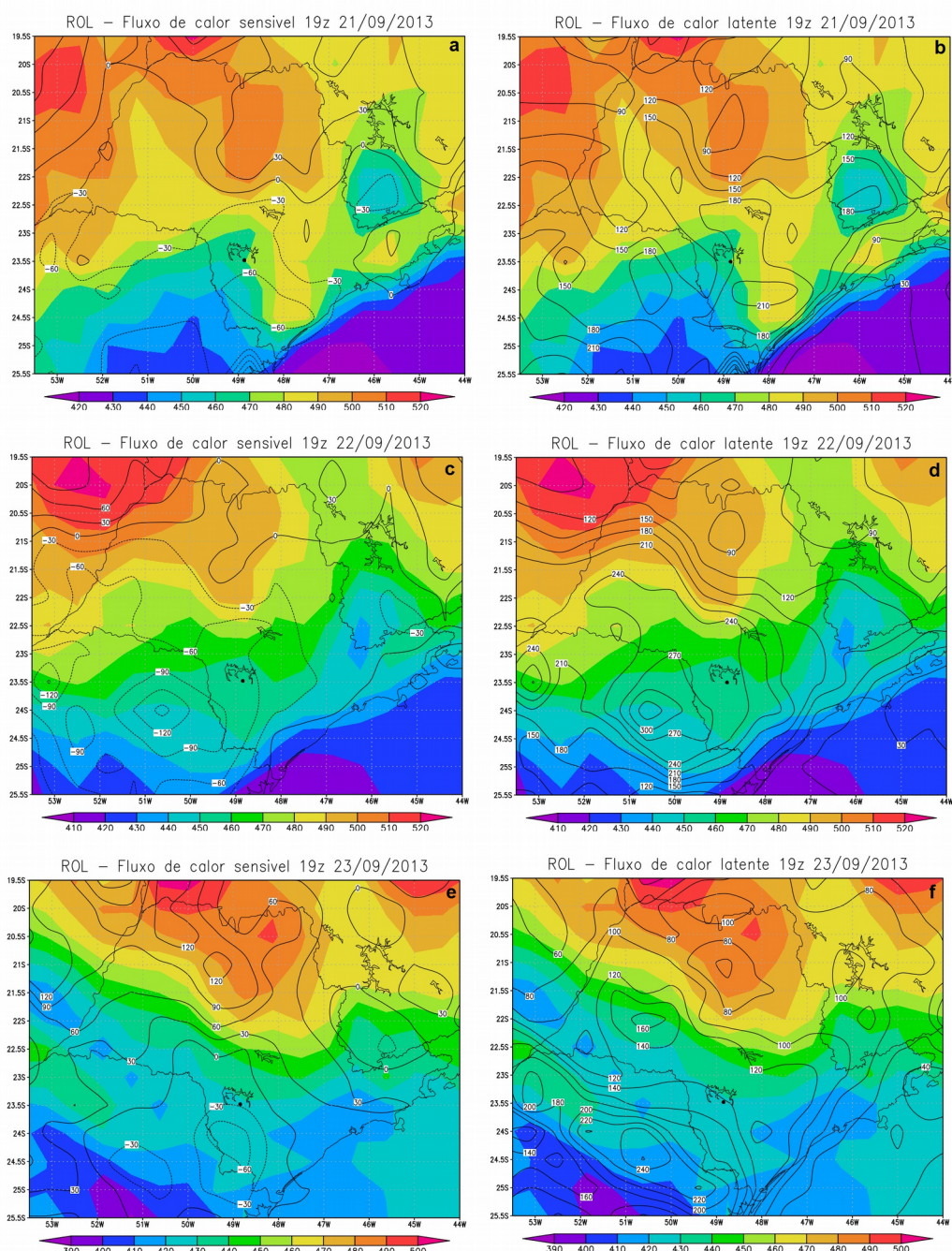


Figura 1. Campo de ROL (sombreado) e fluxo de calor sensível na superfície (a, c, e) e fluxo de calor latente na superfície (b, d, f) em isolinhas, para os dias 21(a, b), 22 (c, d) e 23 (e, f). A localização da cidade está marcada pelo ponto.

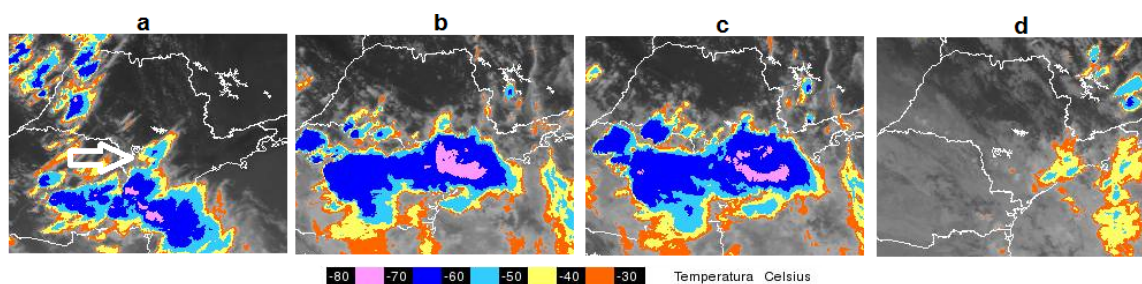


Figura 2. Imagens de satélite canal IR realçado. 21/09/13 às 19UTC (a), 22/09/13 às 19UTC (b), 22/09/13 às 19:30UTC (c) e 23/09/13 às 19UTC (d).

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou a relação entre os fluxos de calor e ROL da superfície durante a passagem de uma tempestade que gerou um tornado sobre a cidade de Taquarituba/SP, em 22/09/2013. A ROL caiu do dia anterior para o dia da tempestade, vindo a cair mais abruptamente no dia seguinte, dado que neste dia a região foi atingida por uma massa polar. O fluxo de calor sensível mostrou-se negativo durante os três dias, o que é normal para o horário da análise, contudo, a magnitude foi decaindo, tornando-se quase nula no dia posterior a tempestade. Já o fluxo de calor latente da superfície apresentou valores bem maiores no dia da tempestade mostrando, como esperado, a forte relação desta variável com o desenvolvimento de instabilidades convectivas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, J.C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato Grosso**. 2011. Dissertação (Doutorado em Física Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

DSA. **Satellite Division and Environmental Systems**. Acessado em 8 de julho de 2016. Online. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/pedidoweb/pedido.formulario.logic?i=en>

FUJITA, T.T. **Tornadoes and downburts in the context of generalized planetary scales**. Journal of the atmospheric sciences, v.38., 1981.

HUSHCKE, R.E. **Glossary of Meteorology**. Boston: American Meteorological Society, 1959.

PETTY, Grant William. **A first course in atmospheric thermodynamics**. Sundog Publishing, 2008.

RIENECKER MM, SUAREZ MJ, GELARO R, TODLING R, BACMEISTER J, LIU E, BOSILOVICH MG, SCHUBERT SD, TAKACS L, GI-KONG K, BLOOM S, CHEN J, COLLINS D, CONATY A, SILVA A, GU W, JOINER J, KOSTER RD, LUCCHESI R, MOLOD A, OWENS T, PAWSON S, PEGION P, REDDER CR, REICHLE R, ROBERTSON FR, RUDDICK AG, SIENKIEWICZ M & WOOLLEN J. 2011. MERRA: NASA's **Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications**. *Journal of Climate*. 24: 3624-3648.