

**SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO APLICANDO OS ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CUMULUS DE ANTHES-KUO E GRELL NO MODELO MM5**

**Giovanni Dolif Neto**

e-mail: [giovanni@model.iag.usp.br](mailto:giovanni@model.iag.usp.br)

**Tércio Ambrizzi**

e-mail: [ambrizzi@model.iag.usp.br](mailto:ambrizzi@model.iag.usp.br)

Departamento de Ciências Atmosféricas  
Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG/USP

**ABSTRACT**

This work shows two simulations of an extreme event of precipitation occurred in October 1<sup>st</sup>, 2001 in the State of São Paulo, Brazil. The MM5 regional model was run with two schemes of cumulus parametrization: Anthes-Kuo and Grell. There were three nested grids, with 90, 30 and 10 Km of resolution. The Anthes-Kuo scheme was only applied for the mother domain, while for the other grids the Grell scheme was used. Accumulated precipitation fields every 3 hours were compared with satellite images and with 3 Km CAPPI accumulated for the same period. The qualitative comparison showed that the Anthes-Kuo scheme has a precipitation field closer to the observed than the Grell scheme. These conclusions are consistent with the literature. It was also detected that both schemes underestimated the precipitation over the region of Grande São Paulo.

**Key words: MM5, extreme precipitation event, cumulus parametrization.**

**1. INTRODUÇÃO**

Anthes e Warner (1978) descrevem o desenvolvimento de um modelo meteorológico geral, hidrostático e prognóstico. Esse modelo é a primeira versão do MM5 (Fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model). Esse modelo de mesoescala foi desenvolvido no *Department of Meteorology* da *Pennsylvania State University* com o suporte da *Environmental Protection Agency* ao longo de cinco anos. Esta ferramenta seria aplicada em problemas de poluição do ar e outros estudos de sistemas meteorológicos de meso-escala, se adaptando para a previsão de escoamentos com comprimentos de onda horizontal aproximadamente entre 10 e 2500 km sob diferentes condições meteorológicas

Segundo Arakawa (1993), os processos físicos associados com a condensação do vapor de água são inerentemente não lineares e, portanto, seus efeitos combinados podem interagir diretamente com a circulação de grande escala. No entanto, muitas nuvens individuais, onde acontece a condensação, são de escala sub-grade, e então, para melhor aproximar as equações da realidade, faz-se necessário formular o efeito conjunto das nuvens em sub-grade em termos das variáveis prognósticas na escala da grade. Esse é o problema de parametrização de cumulus em modelagem atmosférica. Para resolver esse problema, foram desenvolvidos diversos esquemas de parametrização de cumulus. Entre os diversos esquemas o MM5 possui os esquemas **Anthes-Kuo** (Anthes et al., 1987) e **Grell** (Grell et al. 1994).

Segundo Grell et al. (1994), no esquema de Anthes-Kuo, o total de convecção é determinado pela convergência de umidade integrada na vertical  $M_i$  dada por:

$$M_i = -\frac{1}{g} \int_0^{p_s} \nabla \cdot \bar{V} \bar{q} dp, \text{ onde } g \text{ é a constante gravitacional, } q \text{ é a razão de mistura, } V \text{ é o vento, a barra significa um}$$

valor médio na coluna,  $p$  é a pressão e o índice  $s$  indica superfície.

a precipitação PR é dada por:

$$PR = (1 - b)M_i, b = 2(1 - RH), \text{ onde } RH \text{ é a umidade relativa média na coluna.}$$

Segundo Grell et al. (1994) o esquema de Grell é muito simples. As nuvens são descritas como duas circulações em estado estacionário e são formadas por correntes ascendentes e descendentes. Não há mistura direta entre o ar da

nuvem e o ar do ambiente, exceto no topo e na base das circulações. O fluxo de massa é considerado constante com a altura e não há entranhamento ou desentranhamento nas bordas da nuvem. Assim, podemos escrever:

$PR = I.m_b.(1 - b)$ , onde  $I$  é o condensado na corrente ascendente,  $m_b$  é o fluxo de massa da corrente ascendente na base da nuvem, e  $(1-b)$  é a eficiência da precipitação, que é função do cisalhamento médio do vento na baixa troposfera.

Utilizando esses dois esquemas será feita a simulação numérica do evento de 01 de outubro de 2001 no Estado de São Paulo utilizando o modelo regional MM5. O objetivo deste trabalho é fazer uma comparação qualitativa entre os campos de precipitação gerados pelo modelo e acumulados em 3 horas e o observado em CAPPI de 3km e imagens de satélite para o mesmo período. Desse modo tentou-se identificar qual esquema produziu resultados mais próximos à realidade para que seja utilizado em simulações futuras de eventos extremos.

## 2. MATERIAL E METODOLOGIA

A análises e previsões como condição inicial e de contorno são obtidas do NCEP. A análise é das 00Z do dia 01 de outubro de 2001 e previsões a cada 12 horas são utilizadas como condição de contorno.

Foi escolhido este caso devido à maior facilidade de acesso a dados e por ter sido um evento realmente extremo e interessante do ponto de vista sinótico. Além disso, no dia 01 de outubro de 2001 foi possível acompanhar o evento através de imagens de satélite e Capi de 3 km de Radar, além de ter tido acesso a informações da Defesa Civil do Estado de São Paulo e do CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências da Capital) de onde obteve dados bastante úteis para o trabalho.

Além da análise meteorológicas utilizou-se de imagens do satélite Goes-8 fornecidas pelo Inpe (INPE/CPTEC/DSA G-8) e disponíveis em CD-rom no Laboratório Master do DCA/IAG/USP, assim como imagens também do satélite Goes-8, porém geradas no Laboratório Master para uma área limitada do Sul e Sudeste do Brasil. Produtos CAPPI de 3 km do Radar de Ponte Nova, foram utilizados para algumas fases do evento (Figura 2(a)-(d)) e também acumulados para intervalos de 3 horas (Figura 2(e)) e 24h (Figura 2(e)). Esse produto foi fornecido pelo FCTH/USP.

Utilizou-se dados de pluviômetros da Rede Telemétrica do Alto Tiête do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), fornecidos pelo Centro de Gerenciamento de Emergências da Capital (CGE) e pelo FCTH/USP. O CGE forneceu ainda a lista de pontos de alagamentos intransitáveis na Região da Grande São Paulo.

O modelo MM5 foi rodado com três grades, sendo uma grade mãe (grade 1) e duas aninhadas (Tabela 1). A grade 1 foi centrada em 22° S e 53° W. A grade 2 tem sua borda inferior esquerda em 27.03° S e 52.29° W e a grade 3 tem sua borda inferior esquerda em 23.94° S e 47.52° W.

	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Pontos em x	41	37	19
Pontos em y	41	37	25
Pontos em z	23	23	23
Níveis de solo	4	4	4
Espaçamento de grade (km)	90	30	10
Passo de tempo (s)	120	40	13.3
Resolução da Vegetação e Topografia (USGS)	1 grau (~111 km)	10 minutos (~19 km)	5 min (~9 km)
Condição de fronteira	relaxação	Time-dependent	Time-dependent
Radiação	RRTM	RRTM	RRTM
Camada Limite Planetária	MRF PBL	MRF PBL	MRF PBL
Microfísica	Schultz	Simple Ice (Dudhia)	Simple Ice (Dudhia)
Solo	OSU/Eta Land-Surface Model	OSU/Eta Land-Surface Model	OSU/Eta Land-Surface Model
Param. de Cumulus	Anthes-Kuo/Grell	Grell	Grell

**Tabela 1:** Opções de esquemas e parametrizações nas simulações.

Foram utilizados os esquemas de parametrização de Anthes-Kuo e Grell e geradas saídas de precipitação total, ou seja, a precipitação convectiva somada à precipitação de microfísica. Atualmente, ainda não há um esquema existente que seja considerado melhor do que outros sob qualquer situação atmosférica (Kuo et al., 1997; Wang e Seaman, 1997). Dudhia et al. (2001) sugere a utilização do esquema de Anthes-Kuo para escala maiores que 30 km, enquanto que para o esquema de Grell são sugeridas as escalas entre 10 e 30 km.

	Simulação A	Simulação B
Grade 1	<i>Grell</i>	<i>Anthes-Kuo</i>
Grade 2	<i>Grell</i>	<i>Grell</i>
Grade 3	<i>Grell</i>	<i>Grell</i>

**Tabela 2** : Tipos de esquemas de parametrização de cumulus utilizados nas simulações A e B.

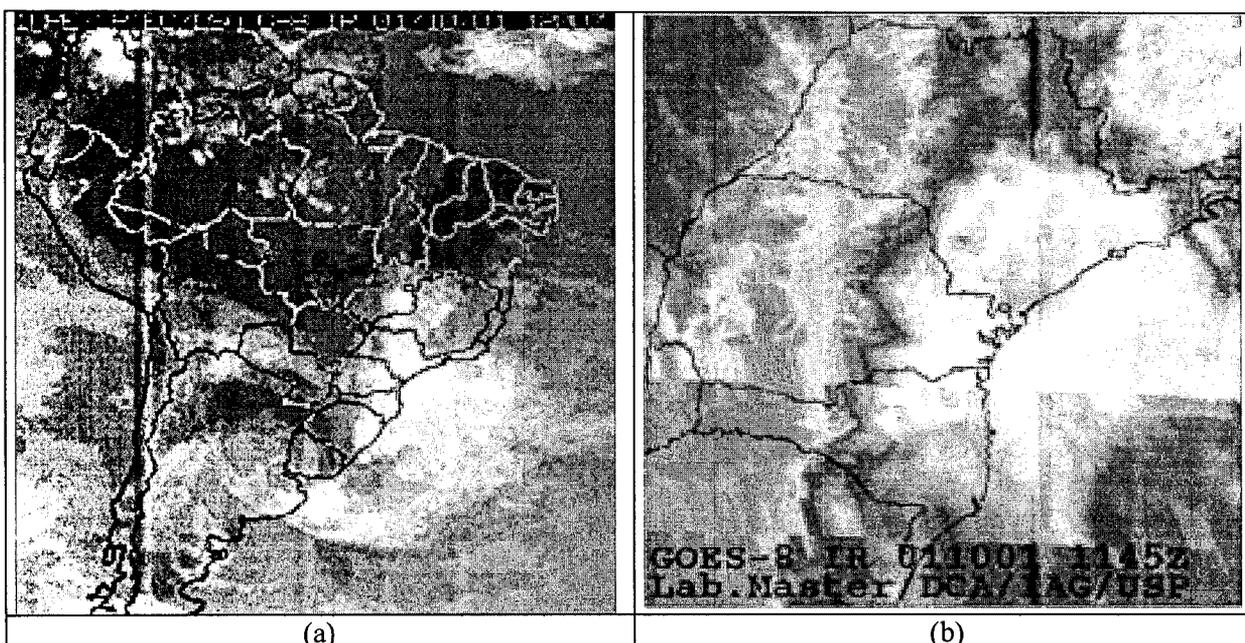
Desse modo, o modelo foi rodado com duas diferentes configurações, A e B (Tabela 2) alterando o esquema de parametrização de cumulus apenas na grade 1. A simulação A teve Grell na três grades, enquanto a simulação B teve o esquema Anthes-Kuo na grade 1 e Grell nas outras duas grades.

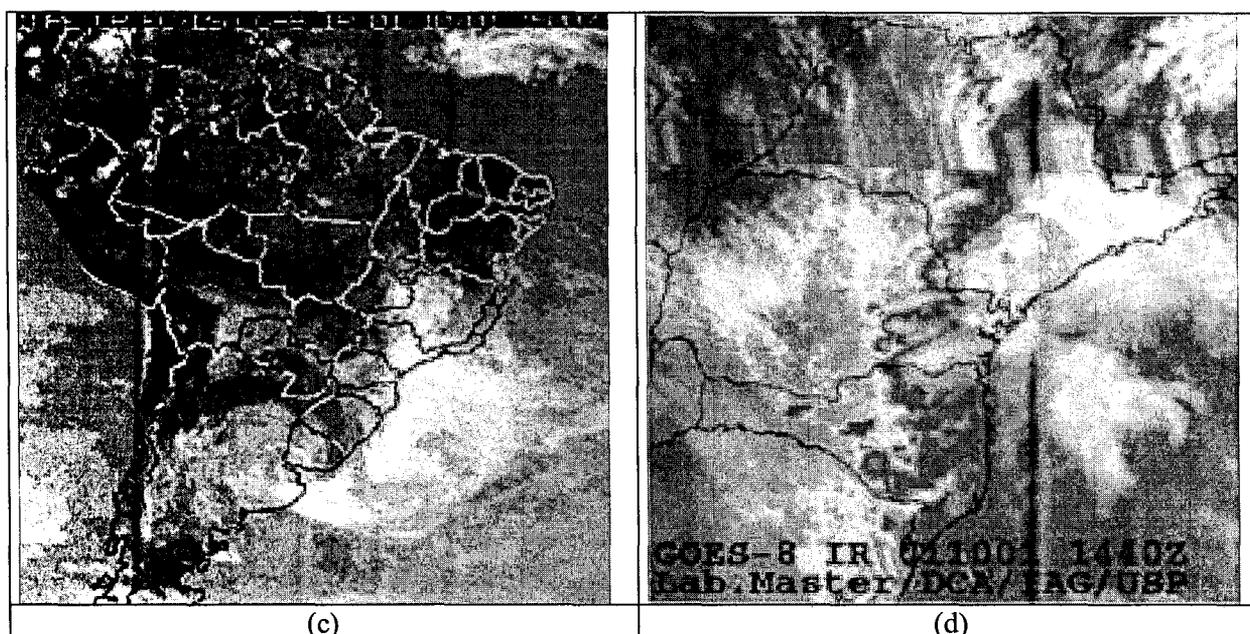
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão descritos os resultados da simulação de um evento extremo de precipitação ocorrido no leste do Estado de São Paulo em 01 de outubro de 2001. As simulações utilizaram diferentes esquemas de parametrização de cumulus para três grades aninhadas com configurações mostradas nas tabelas 1 e 2.

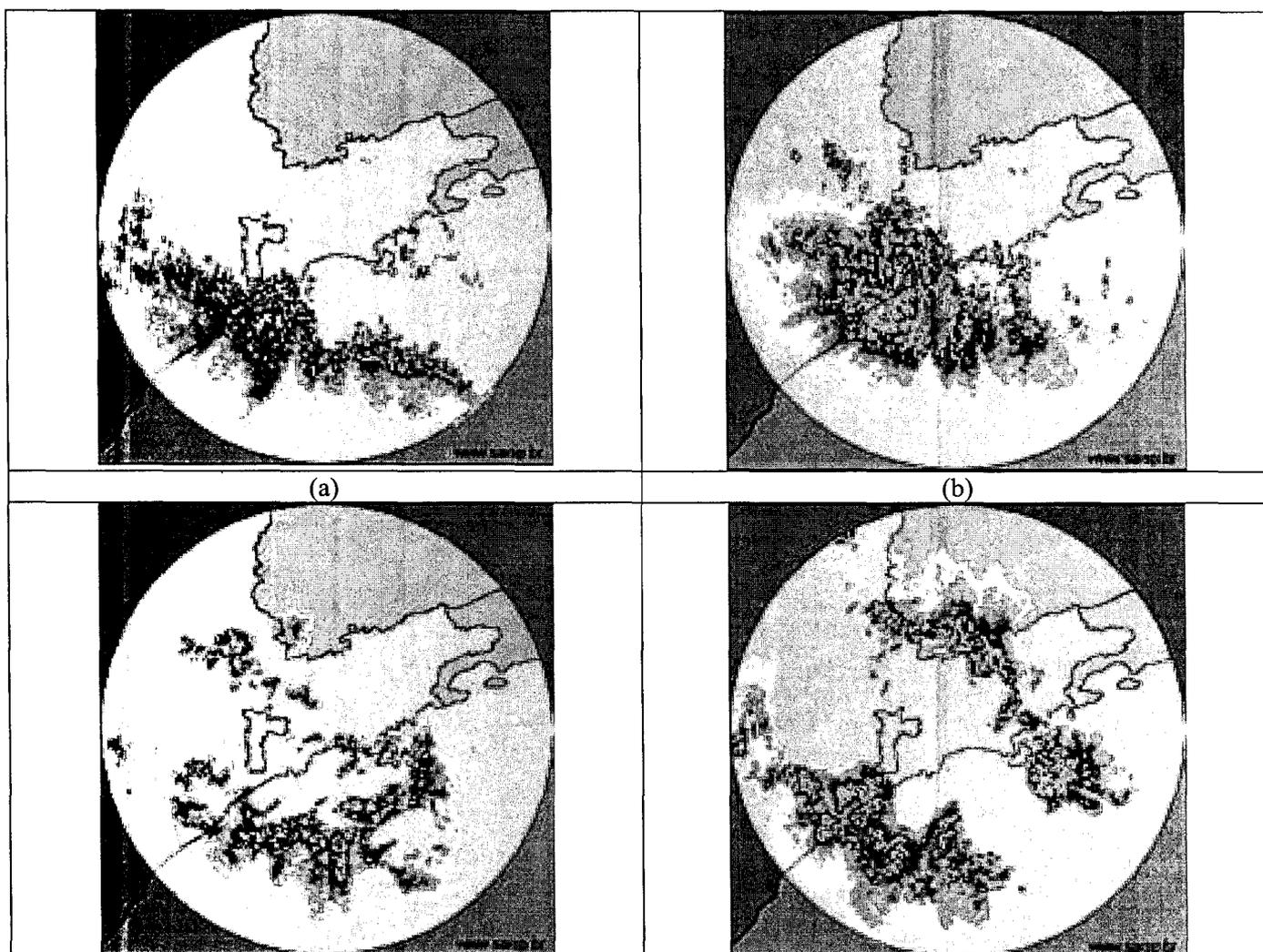
O evento foi escolhido por ter sido um evento extremo, pois foi o dia do ano em que mais choveu em 24 horas na estação do IAG da Água Funda em São Paulo, com 103.6 mm. Isso ajudou para que o mês de outubro de 2001 fosse o mais chuvoso de toda a série de dados (desde 1933), com 244.4 mm, superando os 225.7 mm de 1943 (Grec, dezembro de 2001). Nesse dia, o Centro de Gerenciamento de Emergências da Capital paulista registrou 15 pontos intransitáveis de alagamento.

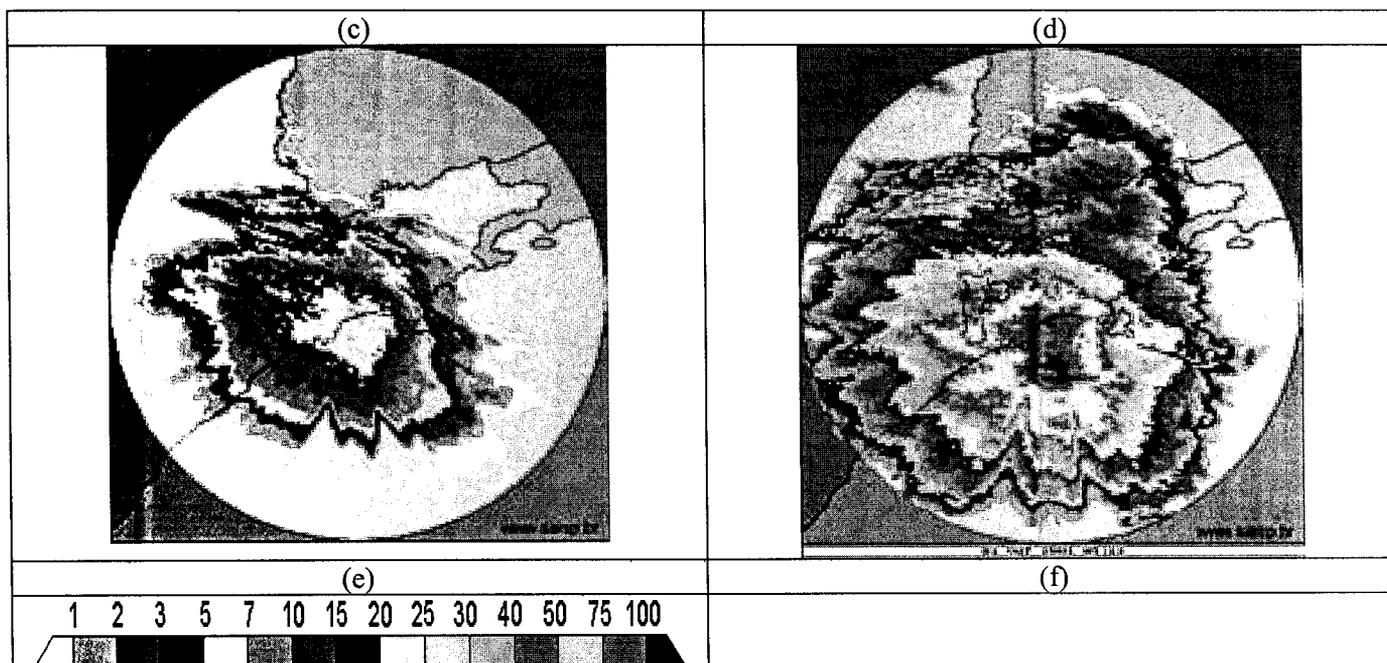
Essa chuva foi causada pela passagem de um sistema frontal associado a um ciclone extratropical entre o Uruguai e a província de Buenos Aires conforme pode-se observar nas Figura 1(a) e 1(c). Fazendo uma análise numa escala menor, nota-se que a chuva foi causada pela passagem de duas linhas de instabilidade paralelas ao sistema frontal (Figuras 1(d) e 2(a)-(d)) sendo que uma delas atingiu a Grande São Paulo no período da manhã e início da tarde, e a segunda durante a noite.





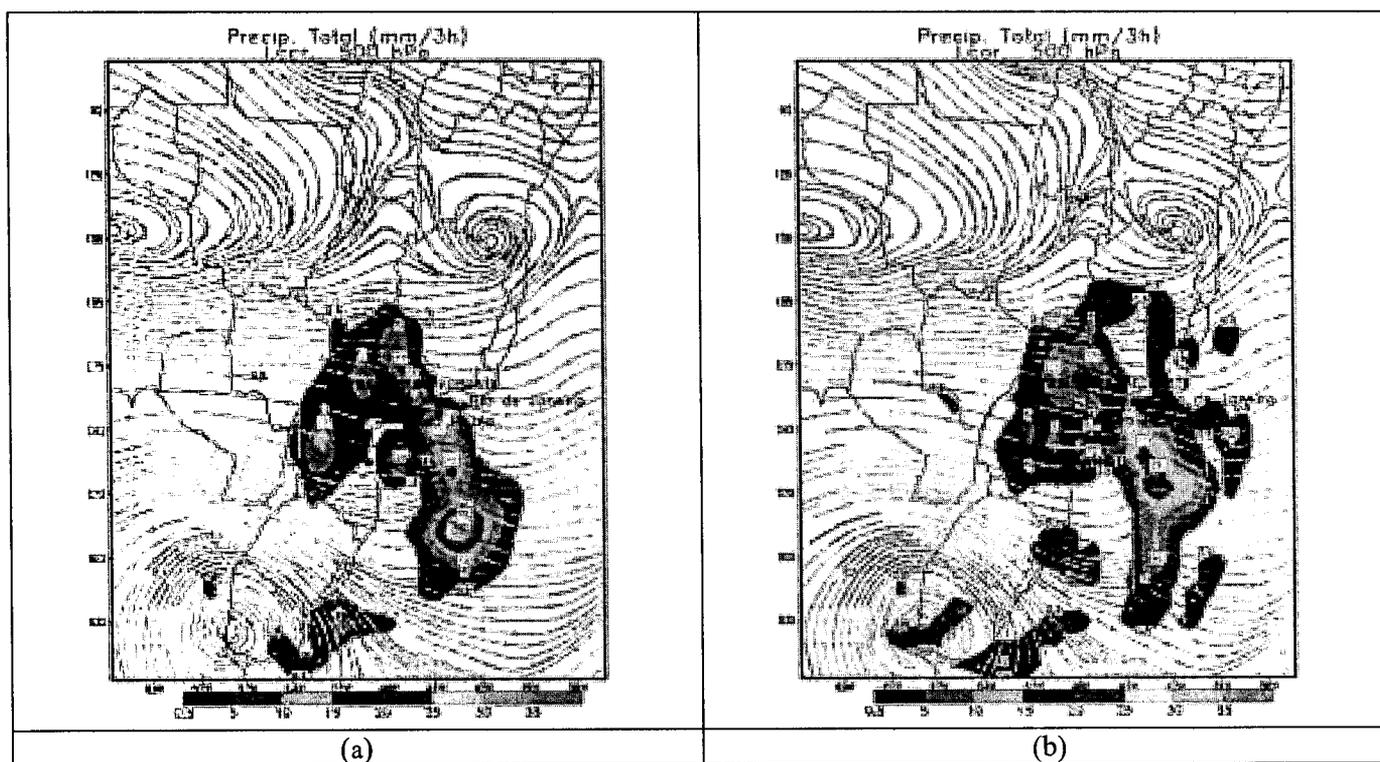
**Figura 1:** (a) Imagem de Satélite no canal infravermelho às 12h00Z (09h00 local) do dia 01/10/2001. Fonte: Inpe; (b) idem (a), porém apenas para São Paulo e Sul do Brasil às 11h45Z. Fonte: Lab. Master DCA/IAG/USP; (c) idem (a), porém para as 15h00Z; (d) idem (b), porém para as 14h40Z.





**Figura 2:** a) CAPPI de 3 km em mm/h às 11h03Z do dia 01/10/2001. ;(b) idem (a), porém às 12h48Z;(c) idem (a), porém às 19h58Z;(d) idem (a), porém às 23h35Z;(e) idem (a), porém acumulado entre 12h00Z e 15h00Z;(f) idem (a), porém acumulado entre 03h00Z do dia 01 e 03h00Z do dia seguinte.Fonte: CTH/USP - SAISP.

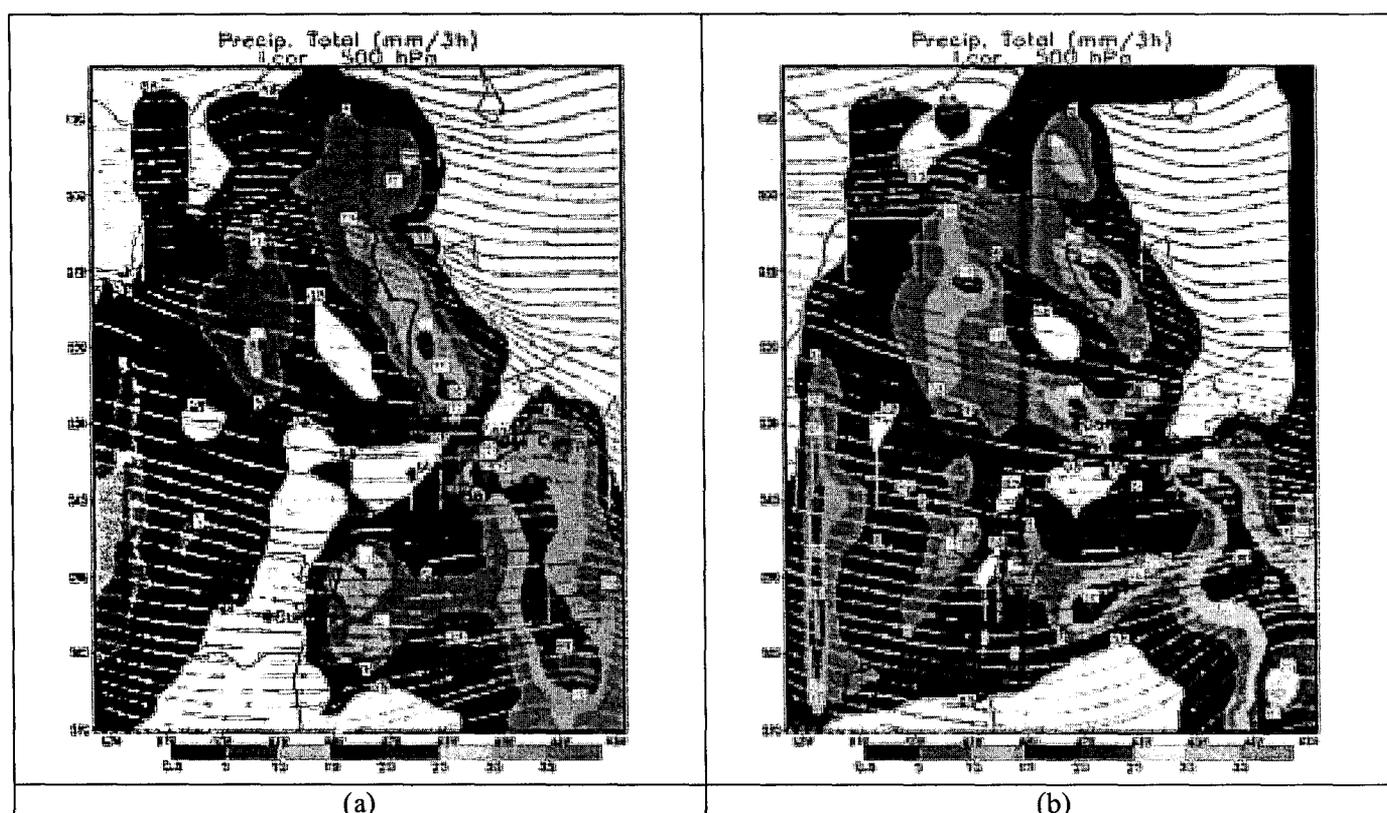
A maior parte dos alagamentos intransitáveis foram registrados entre as 11h00 e as 12h00, período em que atuou a primeira linha de instabilidade. Decidiu-se, então, por simular a chuva desta primeira linha, no período entre 09h00 e 12h00 local, que foi o período de máxima intensidade da mesma (Figura 2(a)-(c)).



**Figura 3:** Campos para a grade 1 de linha de corrente em 500 hPa e precipitação total, ou seja, convectiva somada à de microfísica, em mm, acumulada entre as 12h00Z e 15h00Z do dia 01 de outubro de 2001. (a) simulação A; e (b) simulação B.

Na Figura 2(f) tem-se o acumulado de chuva para todo o evento (00h00 do dia 01 até 00h00 do dia 02) na Grande São Paulo e municípios próximos. Nota-se acumulados que variam desde 15 mm no norte da Grande São Paulo, até valores entre 75 e 100 mm no extremo sul da capital e Grande ABC. Nos postos da Rede Telemétrica do Alto Tietê (Figura \ref{fig:altietete}) os totais de precipitação variaram entre 14.1 mm na Barragem da Penha, e 111.7 mm em Rudge Ramos para as mesmas 24 horas.

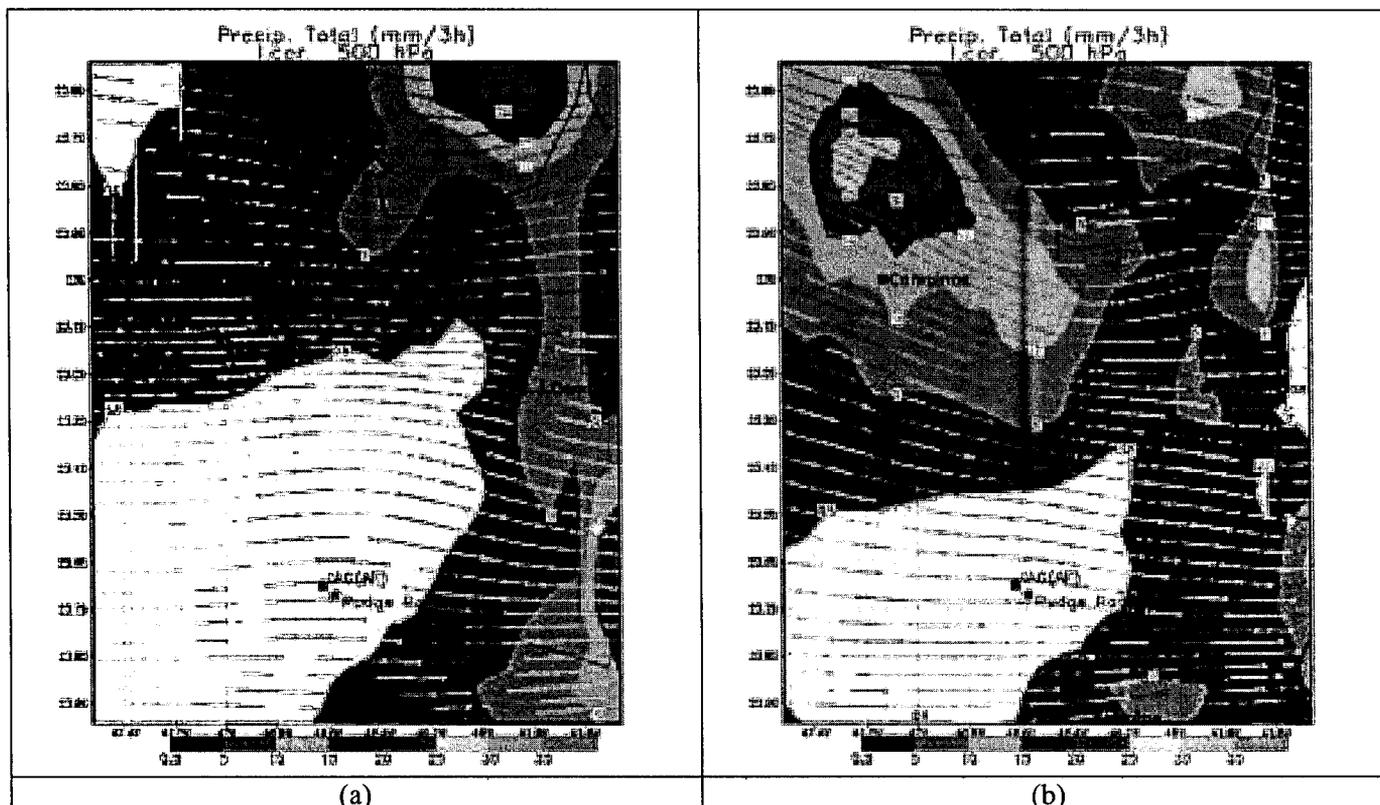
Nas simulações com o modelo MM5 foram acumulados valores de chuva entre as 09h00 e as 12h00 (Figuras 3 a 5). Pode-se comparar esses acumulados com a Figura 2(e), que apresenta o CAPPI de 3 km para o mesmo período.



**Figura 4:** Grade 2: campos de linha de corrente em 500 hPa e precipitação total, ou seja, convectiva somada à de microfísica, em mm, acumulada entre as 12h00Z e 15h00Z do dia 01 de outubro de 2001. (a) e (b) correspondem às simulações A e B respectivamente.

Comparando-se a Figura 3(a) com as Figuras 1(a)-(d) é possível notar uma má distribuição da chuva. O esquema de Grell coloca chuvas mais intensas sobre o oceano (28S e 43W) do que próximo à costa paulista. Observa-se também uma superestimativa no continente, mais precisamente no oeste paranaense, bem como no sul do Estado de São Paulo.

O esquema de Anthes-Kuo (Figura 3(b)) apresenta melhor distribuição das chuvas quando também comparado com as Figuras 1(a)-(d). Diferentemente do esquema de Grell, apresenta um núcleo de precipitação mais intenso sobre o oceano mais próximo da costa paulista, ou seja, mais próximos das áreas com topos mais frios e, portanto maior probabilidade de chuvas mais intensas. Também no interior paranaense e sul paulista, a distribuição qualitativa das chuvas está mais próxima do observado nas imagens de satélite. Desse modo, percebe-se melhores resultados para a grade com espaçamento de 90 km utilizando o esquema Anthes-Kuo do que com o esquema Grell. O resultado é consistente com Dudhia et al.(2001) que sugere utilizar o esquema Anthes-Kuo para espaçamentos de grade maiores que 30 km, e o de Grell para espaçamentos entre 10 e 30 km.



**Figura 5:** Grade 3: campos de linha de corrente em 500 hPa e precipitação total, ou seja, convectiva somada à de microfísica, em mm, acumulada entre as 12h00Z e 15h00Z do dia 01 de outubro de 2001. (a) e (b) correspondem às simulações A e B respectivamente.

Nas grades 2 e 3 (Figuras 4 e 5) utilizou-se apenas o esquema de Grell; portanto, as eventuais diferenças existentes na chuva simulada por essas grades é resultante de alterações na atmosfera geradas pela grade 1 e propagadas para as grades aninhadas.

Entre a grade 2 e a grade 3, as diferenças mais significativas são observadas na região a norte da cidade de Campinas. Nas Figuras 4(b) e 5(b) observa-se um núcleo de precipitação a norte de Campinas, com valores entre 25 e 30 mm na Figura 5. Por outro lado, com o esquema de Grell na grade 1, as grades 2 e 3 (Figuras 4(a) e 5(b)) apresentam, para mesma região ao norte de Campinas, valores entre 0.5 e 5 mm.

Uma outra região onde há diferenças mais significativas entre os dois esquemas é no oeste do Paraná para o caso da grade 2. A Figura 4(b) apresenta um núcleo entre 25 e 30 mm nessa área, enquanto em (b) os totais não ultrapassam 15 mm. A análise da imagem de satélite na Figura \ref{Figura 1}(d) e dos acumulados de 3 e 24 horas do radar nas Figuras 2(b) e 2(e) indicam que a Figura 4(b) está mais próxima da realidade. Outra característica importante das simulações foi o máximo de precipitação a leste da Grande São Paulo que observou-se nas três grades e nas duas simulações.

É importante notar também que os dois esquemas mostram valores de precipitação entre 0 e 0.5 mm sobre a Grande São Paulo (Figura 5), enquanto nas imagens do radar (Figura 2 (e)) os valores variam entre 10 e 30 mm. Portanto, sobre a Grande São Paulo, a precipitação foi subestimada pelos dois esquemas.

**4.COMENTÁRIOS FINAIS**

Os resultados mostraram que para o evento estudado, a simulação com o esquema de Anthes-Kuo na grade 1 gerou melhores resultados qualitativos sobre o Estado de São Paulo quando comparado com imagens de satélite e o CAPPi de 3 km do Radar de Ponte Nova. Os resultados foram melhores não só na grade 1, mas também nas grades 2 e 3 aninhadas à primeira. Entretanto, sobre a Região da Grande São Paulo, a chuva foi subestimada pelos dois esquemas.

Ainda sobre este evento, pretende-se complementar o estudo introduzindo avaliações mais objetivas. Isso será feito utilizando alguns métodos estatísticos como por exemplo utilizando os índices *True Skill Statistics*, *Hei Skill Score* (Losell et al., 1990), *ias Score* e *reat Score* (Lang e Seaman, 1997).

## 5.AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPESP pelo suporte financeiro e ao IAG/USP pelo apoio através da colaboração de alunos, docentes e funcionários, além da estrutura física disponibilizada. T. A. agradece também ao CNPq através do proc. nº 301111/93-6.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTHES, R. A., e T.T. WARNER. Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. **Mon. Wea. Rev.**, 106, 1045-1078, 1978
- ANTHES, E.-Y, e KUO, Y.H. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM5). NCAR/TN-282+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 66pp, 1987.
- ARAKAWA, A. Closure Assumptions in the Cumulus Parametrization Problem. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., **Amer. Meteor. Soc.**, 246 pp., 1993.
- DOSWELL, C. A., JONES, R. D. e KELLER, D. L. On summary measures of skill in rare forecasting based on contingency tables. **Weather and Forecasting**, 5, 576-585, 1990.
- DUDHIA, J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone cold front. **Mon. Wea. Rev.**, 121, 1493-1513, 1993.
- DUDHIA, J., Gill, D., Guo Y-Run, Manning, K., Michalakes, J., Wang, W., Wilson J. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System. Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3. Disponível em URL: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/doc.html> , 2001.
- GREC. Relatório Climatológico Mensal do Grupo de Estudos Climáticos. Disponível em URL: <http://www.master.iag.usp.br/grec> , dezembro, 2001.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J., STAUFFER, D.R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). **NCAR Technical Note**, NCAR/TN-398+STR, 117pp, 1994.
- HALTINER, G. J., WILLIAMS, R. T. Numerical weather prediction and dynamic meteorology. **New York: John Willey**, 477p, 1980.
- KUO, Y.-H., BRESCH, J.F., CHENG, M.-D., KAIN, J., PARSONS, D.B., TAO, W.-K., ZHANG, D.-L. Summary of a mini workshop on cumulus parametrization for mesoscale model. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, n.3, p.475-491, 1997.
- SCHULTZ, P. An explicit cloud physics parametrization for operational numerical weather prediction. **Mon. Wea. Rev.**, 123, 3331-3343, 1995.
- WANG, W., SEAMAN, N.L. A comparison study of convective parametrization schemes in a mesoscale model. **Mon. Wea. Rev.**, 125, n.2, 252-278, 1997.