

EFEITOS DOS FLUXOS DE CALOR EM SUPERFÍCIE NO DESENVOLVIMENTO DE UMA CICLOGÊNESE EXPLOSIVA SOBRE O SUL DA AMÉRICA DO SUL E OCEANO ATLÂNTICO SUL. PARTE I: EXPERIMENTO DE CONTROLE.

Everson Dal Piva¹

Manoel Alonso Gan²

Marley Cavalcante de Lima Moscati²

RESUMO

Um caso de ciclogênese explosiva observado sobre a costa da América do Sul no período de 28 a 30 de maio de 1999 foi simulado com um modelo regional. Nos dados de reanálise a taxa de intensificação da ciclogênese foi 16hPa/24h e a simulação mostrou 22hPa/24h. Ambas as taxas foram classificadas como ciclogênese explosiva pelo critério de Sanders e Gyakum (1980). A simulação com fluxos de calor latente e sensível em superfície foi comparada com dados de reanálise. Esta comparação mostrou bons resultados sobre o oceano. Sobre o continente, o modelo falhou em simular o ciclo diurno de temperatura e umidade e os fluxos de calor em superfície foram menores do que na reanálise as 12UTC (00h e 24h de simulação). A simulação do fluxo de calor em superfície mostrou máximos valores antes e depois do período de mais rápida intensificação, com o mínimo durante este período. Embora exista um problema com os fluxos de calor em superfície sobre o continente, o modelo foi considerado apto a realizar experimentos numéricos com este caso de ciclogênese, pois a simulação e os fluxos de calor em superfície sobre o oceano foram bons.

ABSTRACT

A case of explosive cyclogenesis observed over South America coast in the period from 28 to 30 May 1999 was simulated with regional model. In reanalysis data the cyclogenesis deepening rate was 16hPa/24h and the simulation showed 22hPa/24h. Both rates were classified as explosive cyclogenesis by Sanders e Gyakum (1980) criterion. The simulation with the latent and sensible surface heat flux was compared with the reanalysis data. This comparison showed good results over

¹ - Bolsista CAPES na UFSM/CRSPE/INPE (*everson.bento@gmail.com*)

² - Pesquisadores do INPE/CPTEC (*alonso@cptec.inpe.br, marley@cptec.inpe.br*)

sea. However, over land the model failed in simulate the temperature and humidity diurnal cycle and the surface heat flux was lower in 12UTC time (00h and 24h of simulation) than in reanalysis. The surface heat flux simulation showed maximum values before and after the most rapid intensification period, with a minimum during the maximum rate period. Although the problem with surface heat flux over land simulated by the model, it was considered able to experiment numeric with this case, because the general simulation and the heat flux over sea was very good.

Palavras-Chave: ciclogênese explosiva, fluxos de calor, modelo regional.

INTRODUÇÃO

As regiões sul e sudeste da América do Sul foram identificadas como sendo regiões ciclogênicas (Gan e Rao, 1991; Sinclair, 1995) e as condições de tempo associadas registram ventos e precipitação que em alguns casos podem ser intensos, provocando sérios prejuízos sócio-econômicos à região de atuação. A experiência sinótica mostra que é comum ocorrer rápida intensificação do ciclone extratropical no período de maio a setembro, em situações em que o ciclone passa do continente frio para o oceano relativamente quente (Sanders e Gyakum, 1980; Gan e Rao, 1991; Innocentini e Caetano Neto, 1996). Essa intensificação se deve também ao forte gradiente de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que aumenta os Fluxos de Calor Latente (FCL) e Sensível (FCS) em superfície (Sanders e Gyakum, 1980; Bosart e Lin, 1984). Para entender melhor a contribuição dos fluxos de calor em superfície na intensificação dos ciclones extratropicais na América do Sul, a parte I desse estudo tem por objetivo simular um caso de ciclogênese intensa que apresentou uma fase de rápida intensificação ao passar do continente para o oceano. Na Parte II desse trabalho, são apresentados os resultados de experimentos numéricos que mostram o efeito dos fluxos de calor em superfície no desenvolvimento dessa ciclogênese intensa. Esse evento ocorreu no período de 28 e 31 de maio de 1999 e ocasionou como prejuízos para os estados atingidos: na cidade de Porto Alegre ocorreram alagamentos em algumas ruas devido a forte chuva; o porto da cidade de Rio Grande foi fechado para entrada e saída de navios devido aos fortes ventos e a ressaca; o nível do Rio Uruguai na fronteira com a Argentina subiu 4 metros devido as chuvas no norte do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina; no Rio de Janeiro dois pescadores foram arrastados para o mar devido a ressaca (Correio do Povo, 1999). A situação sinótica deste caso é discutida através da análise dos campos de Pressão ao Nível médio do Mar (PNM) e altura geopotencial em 500hPa. Os campos analisados de FCL, de FCS e de Fluxo de Calor Total (FCT,

representando a soma do FCS e FCL) também são discutidos.

DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados os dados de Reanálise do NCEP/NCAR (componentes zonal e meridional do vento, temperatura, umidade relativa, altura geopotencial, PNM, FCL e FCS) e dados de TSM média semanal disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC), para o período de 26 de maio a 1 de junho de 1999. Foi utilizado o *Modelo de Área Limitada da Japan Meteorological Agency* (MAL-JAPA), desenvolvido por Yamagishi (1980) e Tatsumi (1983), e modificado por Nagata e Ogura (1991). Esse modelo foi adaptado para a região da América do Sul, abrangendo parte dos Oceanos Atlântico e Pacífico. O MAL-JAPA apresenta resolução horizontal de aproximadamente 100 km, grade do Tipo B de Arakawa (Messinger e Arakawa, 1976), e 16 camadas na vertical em coordenadas sigma, sendo quatro delas abaixo de 900hPa e o topo em 100hPa. Nos seis pontos mais externos da grade horizontal é aplicada relaxação entre os campos gerados pelo modelo e os campos da reanálise do NCEP/NCAR. Os processos de precipitação considerados são a condensação na escala da grade e a convecção cúmulus parametrizada usando o Esquema Kuo (Kuo, 1965), modificado por Geleyn (1985). Os processos na camada limite são avaliados usando o Modelo de Fechamento de Nível 2 (Mellor e Yamada, 1974), enquanto os fluxos turbulentos em superfície são estimados com base na Teoria da Similaridade de Monin-Obukov, com as funções universais definidas por Bussinger et al. (1971). Informações adicionais sobre o modelo MAL-JAPA são dadas em Nagata et al. (1986) e Innocentini e Caetano Neto (1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação de 36h (aqui referida como Experimento de Controle – EXP CON) foi iniciada as 12UTC do dia 28 (correspondendo a 00 h) e finalizada as 00UTC do dia 30 (correspondendo a 36h). Nos campos de PNM e altura geopotencial em 500hPa (Figura 1) observa-se uma região de baixa PNM sobre o norte da Argentina, com valores da ordem de 1010 hPa no início da simulação (Figura 1a). Com 12h de simulação, esta região de baixa pressão se estende para sudeste e ocorre a formação de um ciclone sobre o Uruguai, com PNM de 1012hPa (Figura 1b). A partir deste momento inicia-se as 24h de mais rápido aprofundamento, com a PNM baixando para 990hPa após 36h de simulação (Figura 1d). A taxa de intensificação simulada pelo modelo foi de 22hPa/24h o que o caracteriza como ciclogênese explosiva, segundo o critério de Sanders e Gyakum (1980). Em 500 hPa observa-se que o ciclone se desenvolveu entre o eixo do cavado e da crista, indicando uma

inclinação na vertical para oeste, e portanto mostrando condições para o sistema crescer por instabilidade baroclínica (Randel e Stanford, 1985). O modelo desenvolveu um ciclone mais intenso e o posicionou mais a oeste comparando com os campos da reanálise (Figuras 1e-g). Entretanto, mesmo com a taxa de intensificação desse ciclone, da ordem de 16hPa/24h obtida dos dados da reanálise, sendo um pouco menor (6hPa) que a taxa de intensificação simulada, o sistema é classificado como ciclogênese explosiva. A diferença entre os campos observado e simulado pode ser devido a característica que os modelos regionais tem em posicionar o ciclone mais para oeste e aprofundá-lo (Gyakum et al. (1996).

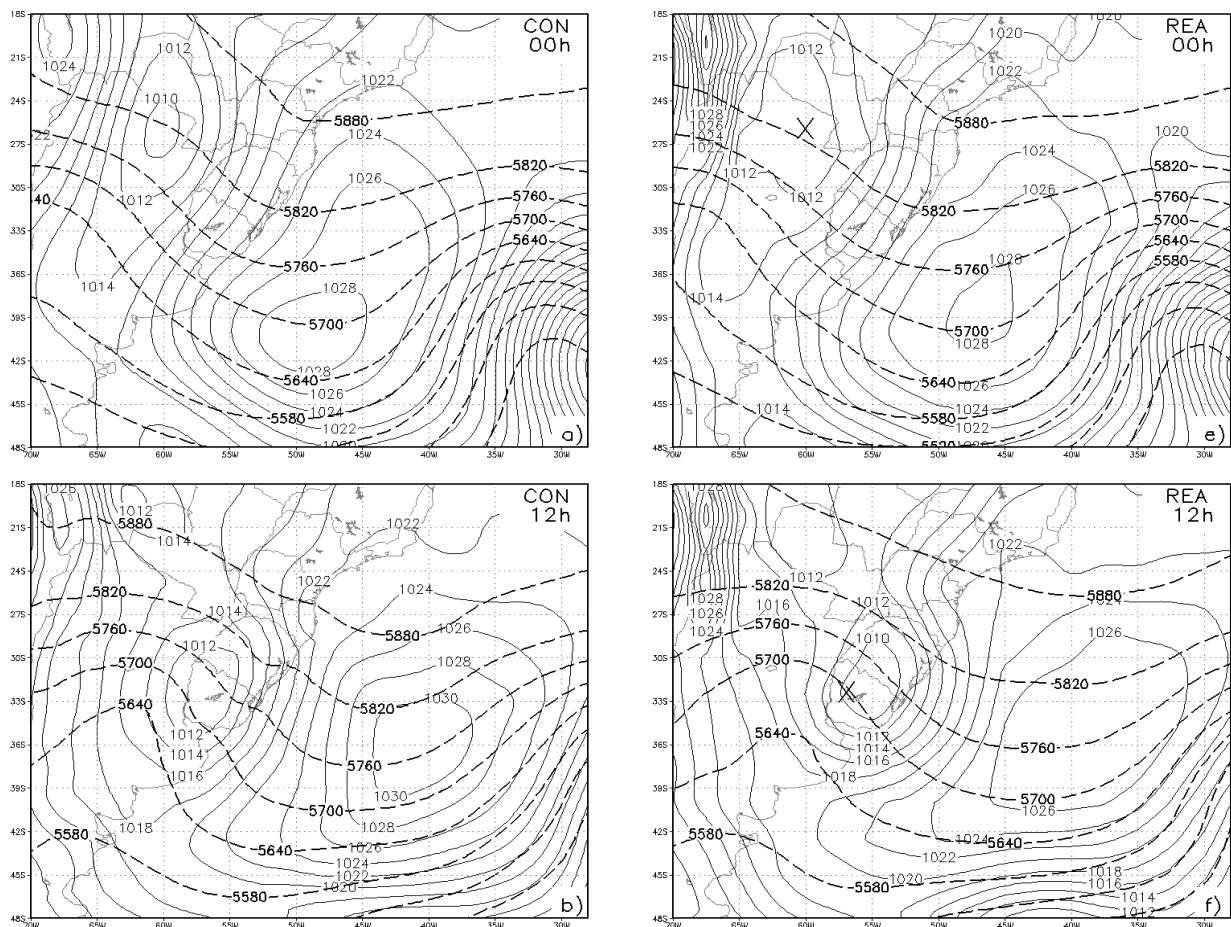


Figura 1- Campos de PNM (hPa, em intervalos de 2hPa, linhas sólidas) e altura geopotencial (mgs, em intervalos de 60 mgs, linhas pontilhadas) simulados pelo EXP CON para as: a) 00h, c) 12h, e) 24h, g) 36h; e para a Reanálise para as: a) 00h, d) 12h, f) 24h, h) 36h. O X nos campos da reanálise indicam a localização do centro do ciclone em superfície no EXP CON. (continua)

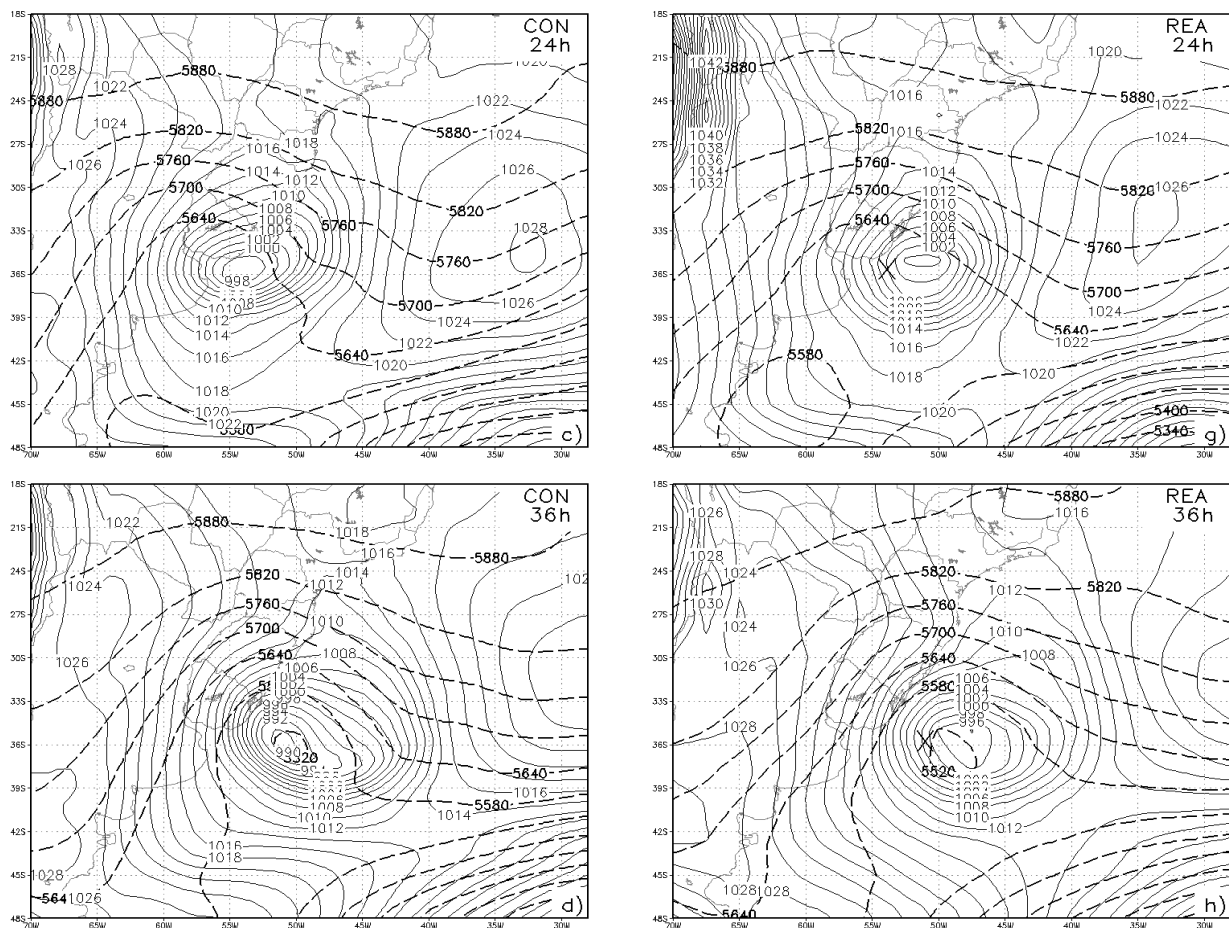


Figura 1- Conclusão.

No início da simulação (Figura 2a), os maiores valores positivos de FCT (FCL + FCS) são encontrados sobre o Oceano Atlântico Sul (400Wm^{-2}), com máximo secundário de 300Wm^{-2} próximo a costa dos estados do sul do Brasil, Uruguai e Argentina. À medida que o ciclone desloca-se para leste, a área de máximos valores de FCT próximo à costa, se reduz em área e em intensidade, atingindo valores de 200Wm^{-2} após 24h de simulação (Figuras 2c). Os valores de FCT voltam a aumentar no final da simulação com máximo principal ao sul do ciclone (acima de 400Wm^{-2}) e com máximo secundário ao norte dessa região, com magnitude de 300Wm^{-2} (Figura 2d). A evolução do campo de FCT, mostrando valores elevados nas horas iniciais da ciclogênese, sugere que os FCT desempenham papel de pré-condicionamento (Bosart e Lin, 1984; Kuo e Low-Nam, 1990), ou seja, preparam o ambiente para a ciclogênese explosiva através do aquecimento e umedecimento das camadas mais baixas da troposfera. O campo de TSM utilizado pelo Modelo MAL-JAPA (Figura 2c) mostra que na costa da região sudeste da América do Sul as TSMs estiveram entre 21°C (norte do Rio Grande do Sul) e 15°C (próximo a Buenos Aires). Através da configuração das isotermas é possível observar a Corrente do Brasil (em torno de 50°W e 36°S) com águas quentes (temperatura de 20°C) e a Corrente das Malvinas (na costa Argentina) com águas

frias (temperatura em torno de 12°C) (Figura 2c).

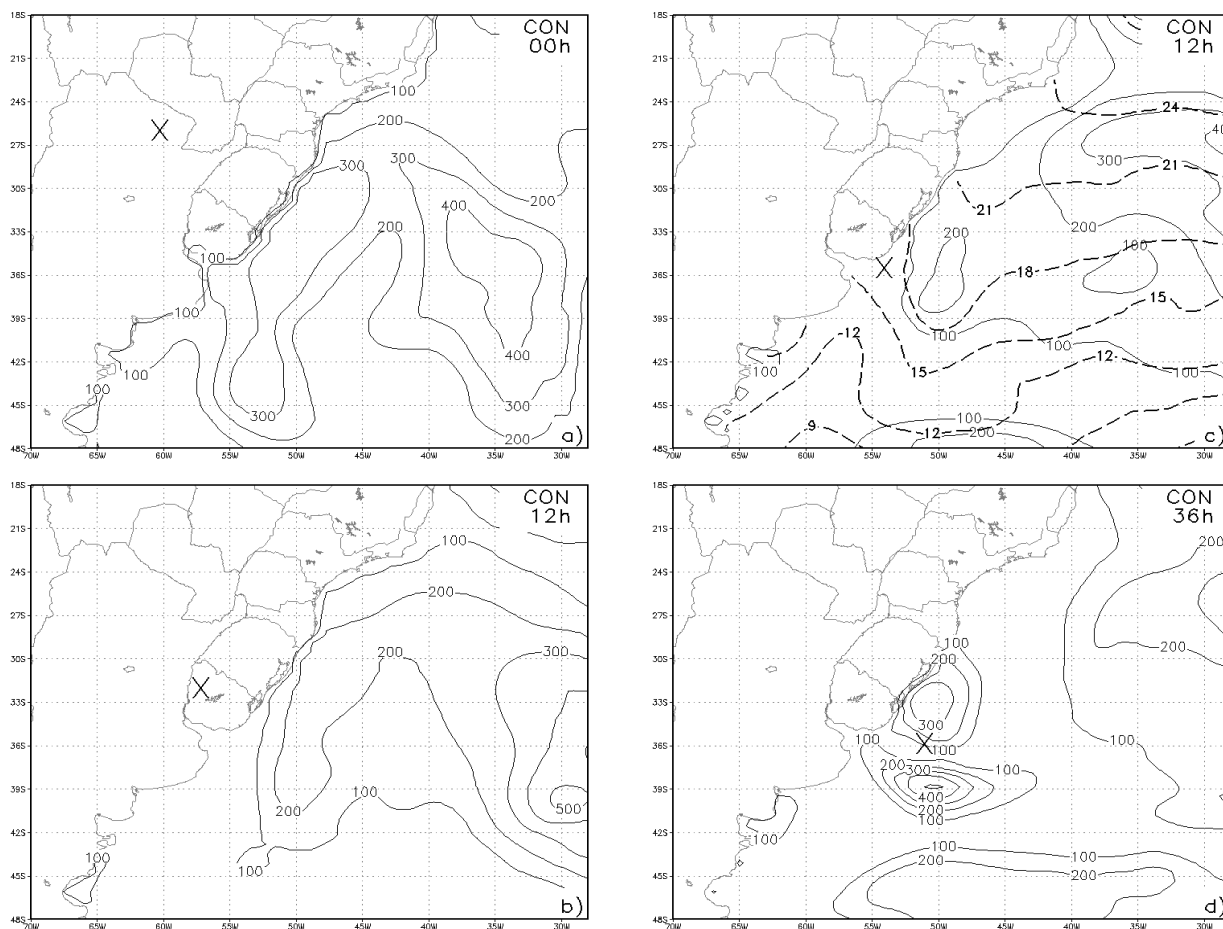


Figura 2- Campos de FCT (Wm^{-2} em intervalos de $100Wm^{-2}$) gerados pelo EXP CON, para as: a) 00h, b) 12h, c) 24h, d) 36h de simulação; e TSM média semanal observada para o período de 26/05/99 a 01/06/99 (linhas tracejadas). O X indica a localização do centro do ciclone em superfície no EXP CON. Valores positivos indicam fluxos da superfície (solo/oceano) para a atmosfera.

Como o FCT é a soma dos FCL e FCS, a evolução no tempo desses campos tende a ser semelhante, principalmente sobre o oceano, onde os FCL são sempre positivos e maiores do que os FCS. Sobre o continente, os FCS oscilam entre valores positivos durante o dia e negativos durante a noite, enquanto os FCL permanecem sempre positivos e com valores reduzidos, fazendo com que os campos de FCT sobre o continente não apresente evolução similar a evolução dos FCL e FCS. Em termos gerais, o FCL foi de 2 a 3 vezes maior do que o FCS, principalmente sobre o oceano. Sendo assim, 70% de FCT está associada à contribuição de FCL e 30% associada a FCS. Comparando-se os campos de FCL para o EXP CON com os obtidos na reanálise (Figura 3), verifica-se que o FCL sobre o oceano foi bem simulado, embora o modelo tenda a subestimar sua magnitude, enquanto sobre o continente o modelo não simula tão bem o FCL. Sobre a costa do Brasil e Uruguai a evolução no tempo do FCL apresenta duas características principais: 1) enfraquecimento dos FCL nas primeiras 24h de simulação (Figura 3a, c, e); 2) fortalecimento dos FCL devido ao

desenvolvimento do ciclone, resultando em dois máximos de FCL, sendo um localizado ao norte e outro ao sul do centro do ciclone (Figura 3g). A primeira característica se deve ao fato do estabelecimento de um escoamento de noroeste sobre o sul do Brasil, contribuindo para que ar úmido da região amazônica seja transportado do continente para o oceano, o que tende a tirar menos vapor d'água do oceano, explicando assim a redução do FCL. A segunda característica se deve ao fato que o ar mais frio e seco proveniente do sul começa a se deslocar do continente para o oceano, o que tende a tirar mais vapor d'água do oceano. Associado a essa última situação, têm-se também a contribuição do desenvolvimento do ciclone, pois como a velocidade do vento em superfície aumenta, aumenta também o FCL.

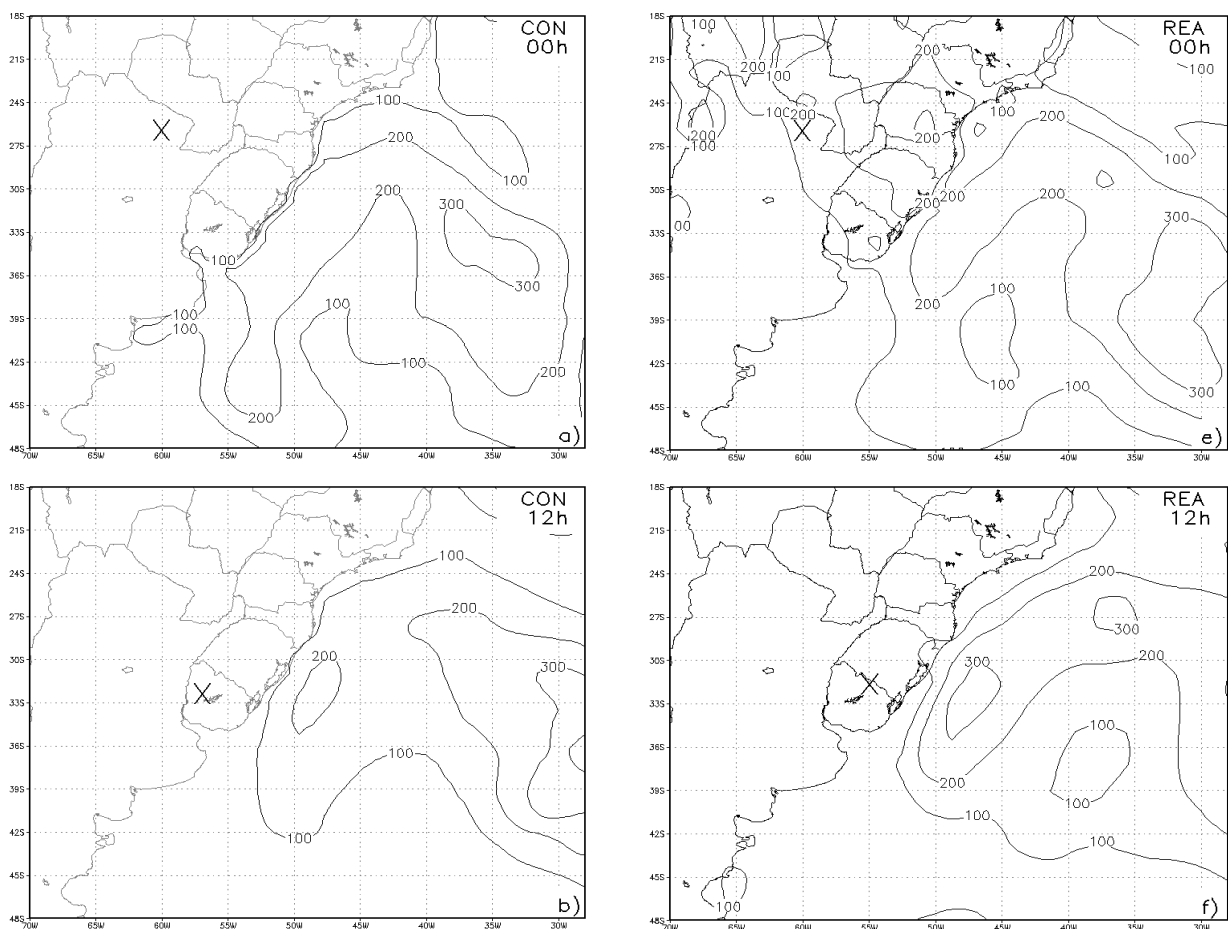


Figura 3- Campos de FCL (Wm^{-2} , em intervalos de $100Wm^{-2}$) simulados pelo EXP CON para as: a) 00h, c) 12h, e) 24h, g) 36h; e para a Reanálise para as: b) 00h, d) 12h, f) 24h, h) 36h. O X indica o centro do ciclone em superfície. (continua)

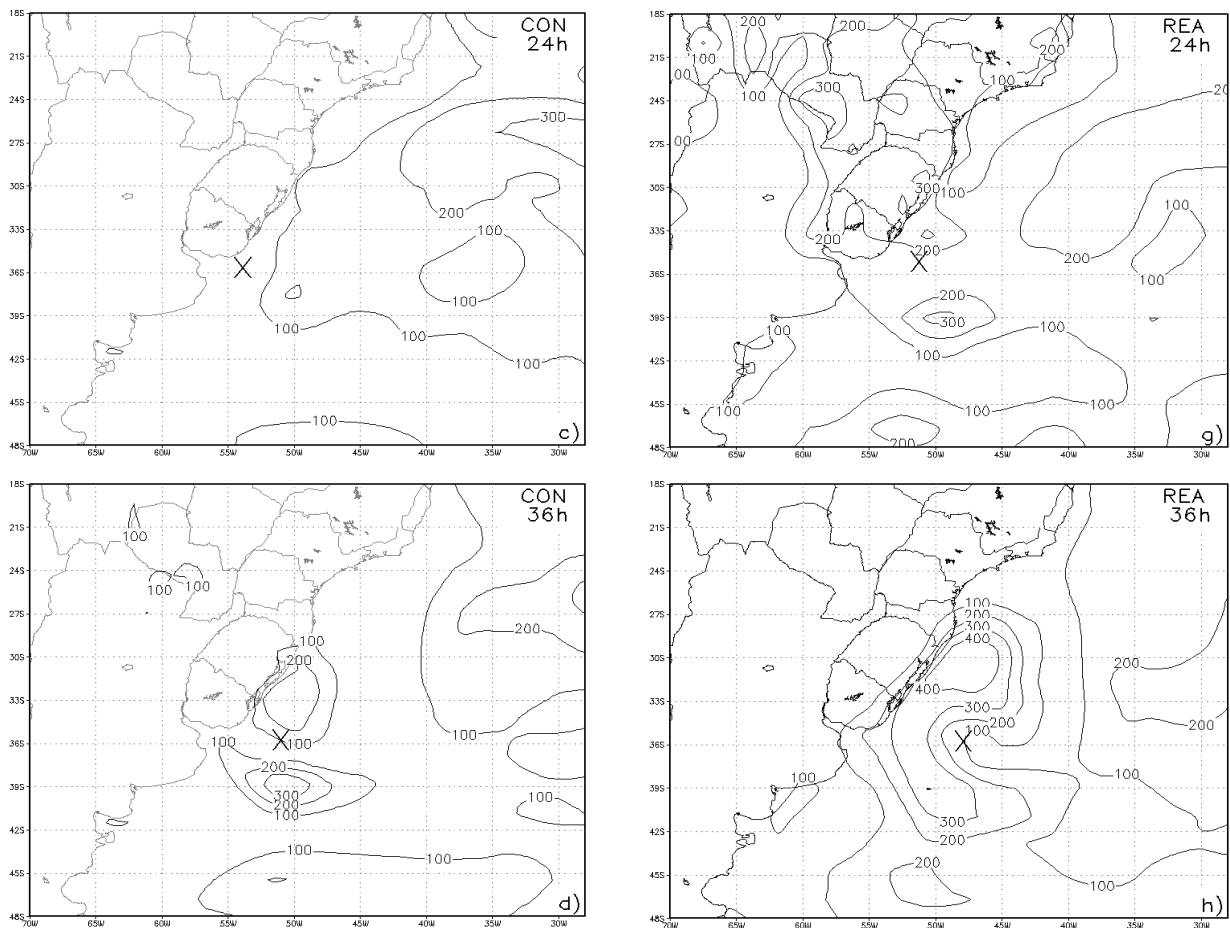


Figura 3- Conclusão.

A análise da simulação do campo de FCS para o EXP CON (Figura 4) mostra discrepâncias entre o modelo e a reanálise, similares às verificadas no caso do FCL. Sobre o oceano, a evolução no tempo do FCS foi bem simulada pelo modelo, mas sobre o continente, a magnitude do FCS foi subestimada. O maior erro do modelo ocorreu sobre o continente as 00h e 24h de simulação (o que corresponde a 12UTC), sugerindo que a temperatura da superfície do solo não aumentou o suficiente para fornecer calor para a atmosfera (Figura 4a, c).

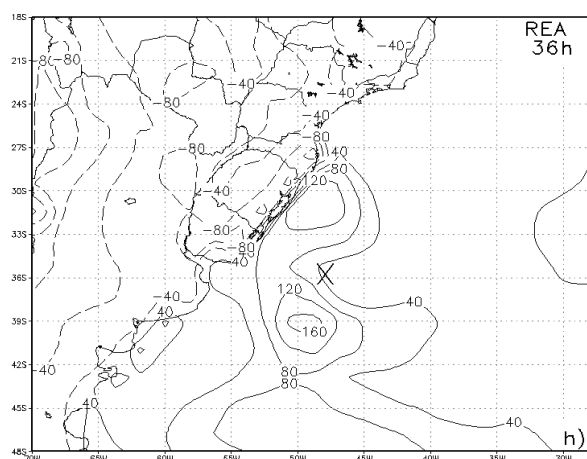
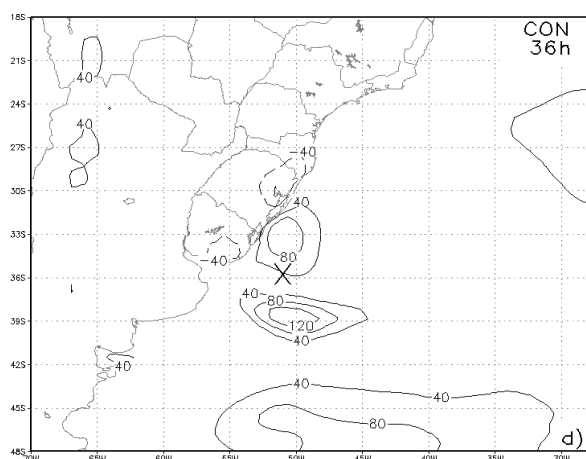
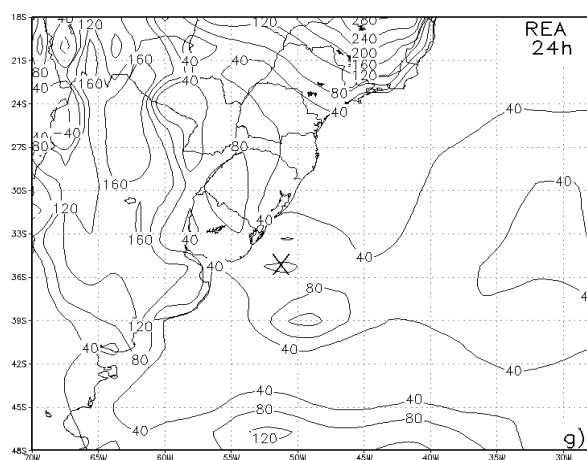
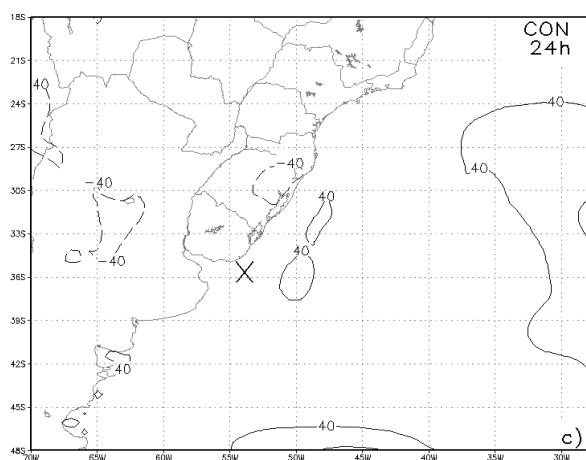
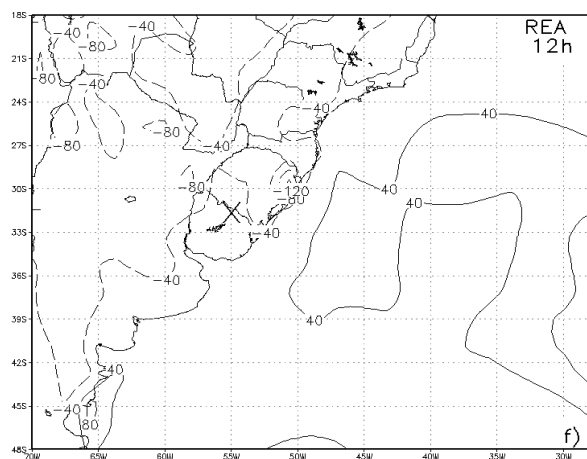
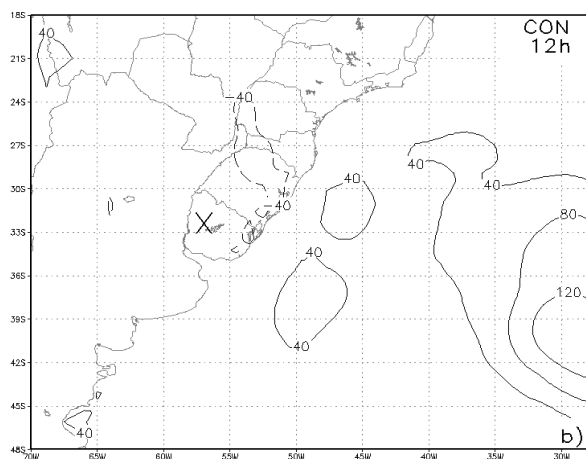
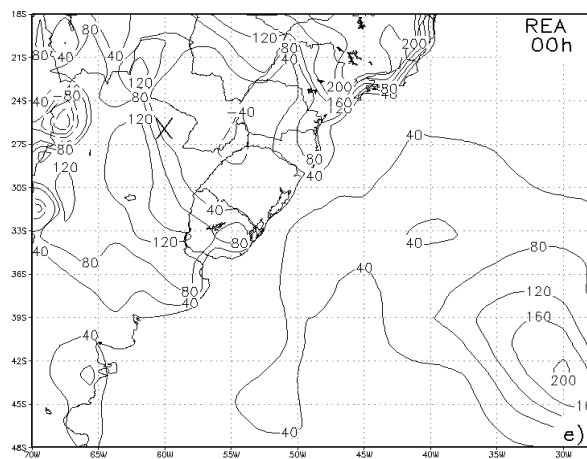
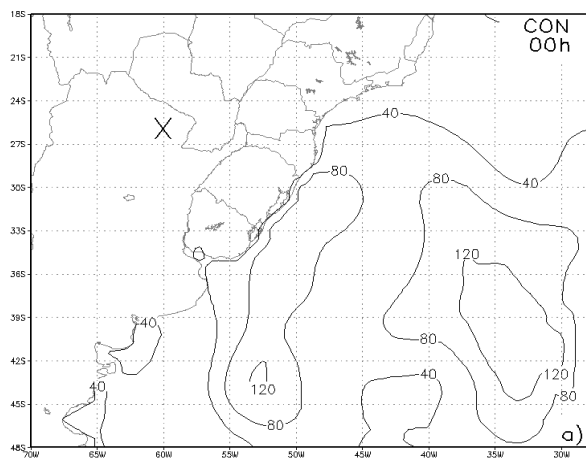


Figura 4- Como na Figura 3, mas para o FCS (Wm^{-2} , em intervalos de $40Wm^{-2}$).

CONCLUSÃO

O caso de ciclogênese selecionado apresentou o máximo de intensificação ao passar do continente para o oceano, sugerindo que os fluxos de calor em superfície sobre o oceano possam ter um papel importante. O Modelo MAL-JAPA e a reanálise do NCEP/NCAR mostraram uma taxa de intensificação do sistema que o classifica como ciclogênese explosiva, porém, na simulação o ciclone foi mais intenso. Os fluxos de calor em superfície foram bem simulados sobre o oceano e as discrepâncias com relação a reanálise ocorreram principalmente sobre o continente. Apesar da simulação apresentar diferenças com relação à reanálise, acredita-se que o modelo possa fornecer informações confiáveis sobre os impactos dos fluxos de calor em superfície no desenvolvimento da ciclogênese dos dias 28 a 30 de maio de 1999, o qual será avaliado na Parte II deste artigo (Piva et al., 2006).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor e à FAPESP pelo financiamento do Projeto ATLASUL (Processo 95/4573-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosart, L. F.; Lin, S. C. A diagnostic analysis of the Presidents' day storm of February 1979. **Monthly Weather Review**, 112(11):2148-2177, 1984.
- Businger, J.A., Wyngaard, J.C., Izumi, Y.; Bradley, E.F. Flux-profile relationships in the atmosphere surface layer. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 28:181-189, 1971.
- Correio do Povo**. Porto Alegre, 28 maio a 3 junho. 1999.
- Gan, M. A., Rao V. B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**. 119, 1293-1302, 1991.
- Geleyn, J.F. On a simple, parameter-free partition between moistening and precipitation in the Kuo scheme. **Monthly Weather Review**, 113:405-417, 1985.
- Gyakum, J.R, Carrera, M., Zhang, D-L, Miller, S. Caveen, J., Benoit, R., Black, T., Buzzi, A. Chouinard, C. Fantini, M., Folloni, C., Katzfey, J. J., Kuo, Y-h., Lalaurette, F., Low-Nam, S., Mailhot, J., Malguzzi, P. McGregor, J. L., Nakamura, M., Tripoli, G., Wilson, C. A regional model intercomparison using a case of explosive oceanic cyclogenesis. **Weather and Forecasting**, 11(4): 521-543, 1996.
- Innocentini, V.; Caetano Neto, E.D.C. A case study of the 9 August 1988 South Atlantic storm: Numerical simulations of the wave activity. **Weather and Forecasting**, 11(1): 78-88, 1996.

- Kuo, H. L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 22:40-63, 1965.
- Kuo, H. L. e Low-Nam, S. Prediction of nine explosive cyclones over the western Atlantic ocean with a regional model. **Monthly Weather Review**, 118:3-25, 1990.
- Mellor, G.L. e Yamada, T. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 31: 1791-1806, 1974.
- Messinger, F.; Arakawa, A. **Numerical methods used in atmospheric models**. GARP/WMO, 1: 65p. 1976.
- Nagata, M; Ikawa, M; Yoshizumi, S; Yoshida, T. On the formation of convergent cloud vane over Japan Sea in Winter: Numerical experiments. **J. Meteor. Soc. Japan**, 65: 841-855, 1986.
- Nagata, M.; Ogura, Y. A modeling case of interaction between heavy precipitation and a low-level jet over Japan in Baiu season. **Monthly Weather Review**, 119:1309-1336, 1991.
- Randel, W. J.; Stanford, J. L. An observational study of medium-scale wave dynamics in the Southern hemisphere summer. Part I: Wave structure and energetics. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 42, n. 11, p. 1172-1188, 1985.
- Rao, V. B.; Hada K. Characteristics of rainfall over Brazil – Annual variations and connections with southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, 42 (2): 81-91, 1990.
- Sanders, F.; Gyakum, J. R. Synoptic-dynamic climatology of the ‘bomb’. **Monthly Weather Review**, 108(10):1589-1606, 1980.
- Sinclair, M. R. A Climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, 123:1606-1619, 1995.
- Tatsumi, Y. An economical explicit time integration scheme for primitive model. **Journal Meteorological Society of Japan**, 61: 269-288, 1983.
- Yamagishi, Y. Simulation of the air mass transformation processes using a numerical model with the detailed boundary layer parametrization. **Journal Meteorological Society of Japan**, 58: 357-377, 1980.