

## **CLIMATOLOGIA DA PROPAGAÇÃO MERIDIONAL DA CONVECÇÃO NA AMÉRICA DO SUL**

José Ricardo Siqueira  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE  
Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos-SP, 12227-010  
e-mail: jricardo@cptec.inpe.br

José Ricardo Siqueira  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE  
Rodovia Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista-SP, 12630-000  
e-mail: machado@cptec.inpe.br

### **ABSTRACT**

Using ISCCP cloud data and NCEP atmospheric circulation data from 1983 to 1993 we have elaborated a climatology for the meridional propagation of convection over South America. Results reveal the existence of three important event types that modulate strongly the convective activity over South America in day-to-day time scales. Type 1 focuses the frequent penetrations of cold fronts that organize tropical convection and move with it towards equator. Type 2 is characterized by an organization of tropical convection due to cold fronts over the subtropics and is associated with intensification and apparent propagation of convection from the Tropics towards the subtropics and midlatitudes. The cold fronts that have only weak interaction with tropical convection and remain quasi-stationary with convection in the subtropics (with respect to the meridional direction) are classified as type 3.

### **1 - INTRODUÇÃO**

As características da propagação meridional da convecção sobre a América do Sul (AS) foram apresentadas por Machado e Duvel (1998), que verificaram uma propagação meridional da atividade convectiva do sudeste para o noroeste do continente utilizando componentes principais complexas, imagens do satélite GOES-7 e reanálises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Neste contexto, Garreaud (1999) identificou e descreveu as principais características das incursões de ar frio das latitudes médias na região tropical da AS a partir das reanálises de 17 anos do NCEP e campos de Radiação de Onda Longa (ROL). Este autor observou um forte impacto das incursões em escala sinótica sobre a região central da Argentina, o sul do Brasil e a Bolívia.

A propagação meridional da convecção na AS também foi investigada por Machado et al. (1999) utilizando campos de nuvem do International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) e reanálises do NCEP. Neste caso, foram observados alguns padrões de variabilidade interdiurna da convecção sobre o continente associados a ondas de frio originadas das latitudes médias. No presente trabalho é apresentada uma descrição climatológica dos principais tipos de propagação meridional da convecção existentes sobre a AS e que ocorreram no período de Julho de 1983 a Dezembro de 1993. Para tanto, foram utilizadas imagens de satélite fornecidas pelo estágio C1 do ISCCP, reanálises do NCEP e ferramentas estatísticas.

### **2 - DADOS E METODOLOGIA**

Os dados utilizados neste estudo foram: porcentagens de cobertura de nuvens frias derivadas do estágio C1 do ISCCP e campos de vento horizontal do NCEP, ambos para os anos de 1983 a 1993. Os dados do estágio C1 descrevem a estatística espacial da nebulosidade em regiões com uma área correspondente a uma grade de 2,5° latitude x 2,5° longitude para cada 3 horas, e são derivados das medidas de radiâncias de banda estreita na faixa do visível e do infravermelho termal que são feitas por radiômetros a bordo de satélites geoestacionários e de órbita polar (Schiffer e Rossow, 1983). As porcentagens de cobertura de nuvens frias do estágio C1 são definidas pela razão (multiplicada por 100) entre o número de pixels de nuvem com pressão no topo inferior a 560 hPa (temperatura do topo abaixo de 270 K) e o número total de pixels dentro da grade. As reanálises do NCEP correspondem aos dados de ar superior em níveis de pressão gerados para grades de 2,5° latitude x 2,5° longitude, para cada 6 horas (Kalnay et al., 1996).

O primeiro procedimento realizado no estudo foi identificar todo tipo de evento de propagação meridional da convecção na AS ocorrido entre Julho de 1983 e Dezembro de 1993. Para tanto, foram aplicados diagramas de Hovmoller às porcentagens de cobertura de nuvens frias do ISCCP sobre a janela longitudinal entre  $48,75^{\circ}$  W e  $58,75^{\circ}$  W para o período completo de dados. Com base nesta ferramenta foi possível observar a existência de três importantes tipos de propagação meridional da convecção na AS e identificar de forma objetiva todos os seus respectivos eventos, conforme ilustrado na Figura 1. O tipo 1 enfoca as frequentes penetrações de sistemas frontais vindos dos subtropicais ou latitudes médias que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se meridionalmente para norte com a convecção em direção às latitudes tropicais mais baixas. A ocorrência de quatro eventos deste tipo é notada durante a primeira quinzena do mês de Outubro. Já o tipo 2 é caracterizado por uma organização da atividade convectiva nos trópicos aparentemente devido a sistemas frontais sobre os subtropicais, e está associado com uma intensificação e uma aparente propagação meridional da convecção dos trópicos para os subtropicais ou latitudes médias. A ocorrência de um evento deste tipo é observada entre os dias 10 e 15 de Outubro. Os sistemas frontais que pouco interagem com a convecção tropical e exibem propagação quasi-estacionária (com respeito à direção meridional) com a convecção sobre os subtropicais e latitudes médias são classificados como o tipo 3, com a ocorrência de um evento podendo ser observada entre os dias 12 e 20 de Outubro. Um total de 442, 194 e 25 eventos foi identificado para as propagações meridionais da convecção dos tipos 1, 2 e 3, respectivamente.

Na etapa seguinte foi feita uma ampla descrição da variabilidade espacial e temporal da convecção associada a cada um dos três tipos de propagação meridional da convecção para avaliar suas influências na atividade convectiva sobre a AS. Neste caso, foram aplicadas análises de compostos, componentes principais complexas (CPCs) e Transformadas de Ondaleta (TOM) às séries temporais filtradas (2-10 dias) das porcentagens de cobertura de nuvens frias do ISCCP para os dias  $-2$  a  $+2$  de ocorrência de cada evento correspondente a cada um dos três tipos. As CPCs são baseadas nos autovalores e autovetores de uma matriz espectral, e fornecem informação a respeito das amplitudes (tamanho do vetor) e fases (ângulo do vetor com respeito ao eixo horizontal) produzidas por flutuações temporais de campos geofísicos sobre uma determinada região. As CPCs também foram aplicadas às porcentagens de cobertura de nuvens frias para cada estação do ano com o intuito de investigar o impacto de cada um dos três tipos de propagação meridional da convecção sobre a variabilidade total interdiurna da convecção na AS durante cada estação. Por sua vez, a TOM decompõe séries temporais em um domínio tempo-frequência e possibilitou determinar as escalas temporais dominantes da variabilidade convectiva no decorrer de cada evento. Na última etapa do estudo foram determinados os principais padrões de circulação atmosférica na AS associados a cada tipo de propagação meridional da convecção. Para tanto, foram aplicadas análises de compostos aos campos médios diários de vento horizontal transientes do NCEP para os dias  $-2$  a  $+2$  de ocorrência de cada evento e obtidos os compostos médios diários para cada um dos três tipos.

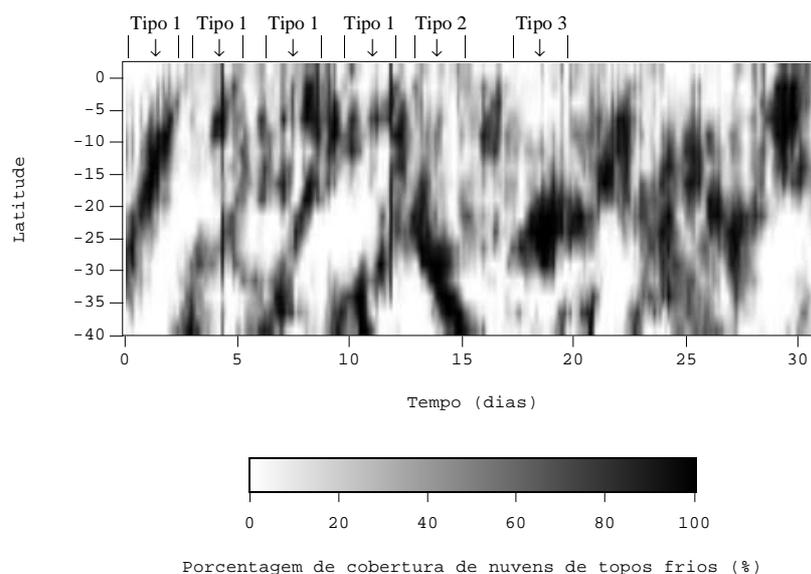


Figura 1 - Diagrama de Hovmoller construído para as porcentagens de cobertura de nuvens frias na janela longitudinal de 48,75° W a 58,75° W durante Outubro de 1987, para cada 3 horas.

### 3 - PRINCIPAIS TIPOS DE PROPAGAÇÃO MERIDIONAL DA CONVECÇÃO

#### 3.1 - Padrões espacial e temporal da variabilidade convectiva na América do Sul

A Figura 2 ilustra a evolução média das porcentagens de cobertura de nuvens frias durante os dias -2 a +2 da data central de ocorrência dos eventos de propagação meridional da convecção dos tipos 1 e 2 e durante os dias -1 a +1 da data central dos eventos do tipo 3, para as 18 UTC. O padrão médio observado para os 442 eventos do tipo 1 consiste da penetração de uma frente fria sobre o sudeste da AS no dia -2. Durante o dia -1, a frente fria organiza a convecção sobre aquela região. Nos dias 0 e +1, a propagação e a intensificação da convecção ao longo da frente fria são observadas em direção à região Central da AS, à região Amazônica e ao sul da região Nordeste da AS, seguidas por uma diminuição da atividade convectiva sobre o sudeste da AS no dia +2. Este padrão é similar ao identificado por Machado e Duvel (1998) utilizando CPCs durante a primavera austral. Para os 194 eventos do tipo 2, a convecção intensificada na região Amazônica no dia -2 é o principal padrão médio observado inicialmente. A amplificação da convecção na região Central da AS é observada no dia -1, enquanto forte atividade convectiva encontra-se também presente sobre o sudeste da AS no dia 0. A existência de uma banda de convecção quasi-estacionária na direção noroeste-sudeste e estendendo-se da região Amazônica até os subtrópicos e parcialmente sobre o Atlântico Sul para um período mínimo de três dias partir do dia 0 é evidente, com um máximo de nebulosidade entre os dias 0 e +1. Este padrão representa a configuração sinótica da ZCAS sobre a AS. O papel fundamental da convecção intensa na região Amazônica em aprofundar a atividade convectiva sobre o sudeste da AS e estabelecer o padrão da ZCAS sobre o continente tem sido ressaltado em diversos estudos descrevendo a formação sinótica da ZCAS (Kodama, 1992, Liebmann et al., 1999; e outros). A existência das frentes frias nos subtrópicos foi observada por Liebmann et al. (1999) como sendo também necessária para caracterizar e manter o padrão da ZCAS sobre a AS. Estes padrões mostram que a propagação meridional da convecção do tipo 2 pode constituir o mecanismo necessário para a formação da ZCAS, mas eles não satisfazem necessariamente o critério de quatro dias normalmente utilizado para a existência da ZCAS sobre a AS a partir de imagens de satélite.

Para as imagens médias das porcentagens de cobertura de nuvens frias obtidas para os 25 eventos do tipo 3, o padrão médio observado é representado por uma frente fria quasi-estacionária sobre os subtrópicos e latitudes médias entre os dias -1 e +1 (Fig.2). Alguma atividade convectiva é também observada na regiões Amazônica e central da AS durante os dias 0 e +1; porém, menos intensa comparada à observada durante o ciclo de vida dos tipos 1 e 2. Um possível mecanismo responsável pelo padrão quasi-estacionário exibido pela atividade convectiva nos subtrópicos durante o ciclo de vida do tipo 3 é a ocorrência de episódios de bloqueio atmosférico no sudeste da AS, que tende a impedir a progressão normal das frentes frias em direção aos trópicos e a causar condições de tempo duradouras sobre o sudeste da AS (Marques e Rao; 2001).

As amplitudes e fases da primeira CPC obtida para as imagens médias das porcentagens de cobertura de nuvens frias durante os dias -2 a +2 de ocorrência dos eventos dos tipos 1 a 3 exibem um padrão espacial de variabilidade convectiva coerente com o observado no seu ciclo de vida médio para cada tipo, conforme mostra a Figura 3. O padrão espacial da primeira CPC obtida para o tipo 1 representa a variabilidade convectiva causada por uma frente fria inicialmente nas latitudes médias que se move para norte com a convecção até o sudeste da AS, o centro da AS, o sul da região Nordeste da AS e a região Amazônica, e contribuiu para pelo menos 37% da variância total interdiurna da convecção durante a primavera austral, seguida do outono, verão e inverno com pelo menos 33%, 32% e 34%, respectivamente. O padrão espacial da primeira CPC correspondente ao tipo 2 é representado por uma intensificação da convecção proveniente da região Amazônica até o centro e o sudeste da AS e característico da formação da ZCAS, contribuindo por no mínimo 16% da variância total interdiurna da convecção sobre a AS durante o verão e o outono austral. Já o padrão da primeira CPC do tipo 3 é caracterizado por uma variabilidade convectiva nos subtrópicos causada pelo deslocamento de uma frente fria quasi-estacionária, com pouca variabilidade convectiva sobre os trópicos. Este padrão contribui por pelo menos 50% e 17% da variabilidade total interdiurna da convecção sobre a AS durante o inverno e a primavera austral, respectivamente. Escalas de tempo interdiurnas dominaram a variabilidade convectiva associada com a ocorrência dos três tipos de propagação meridional da convecção sobre o cinturão subtropical da AS, seguidas dos modos intrasazonais de 22-28 e 30-50 dias. A convecção que se move para norte com

as frentes frias nos trópicos (tipo 1) e a convecção que se intensifica para sul ao longo das frentes frias nos subtropicais (tipo 2) exibiram escalas de tempo interdiurnas coerentes entre 5-7 dias sobre a região Amazônica, o centro e o cinturão subtropical da AS no decorrer dos eventos. Escalas de tempo entre 5-7 dias também foram identificadas para a convecção que é modulada por frentes frias quasi-estacionárias nos subtropicais (tipo 3).

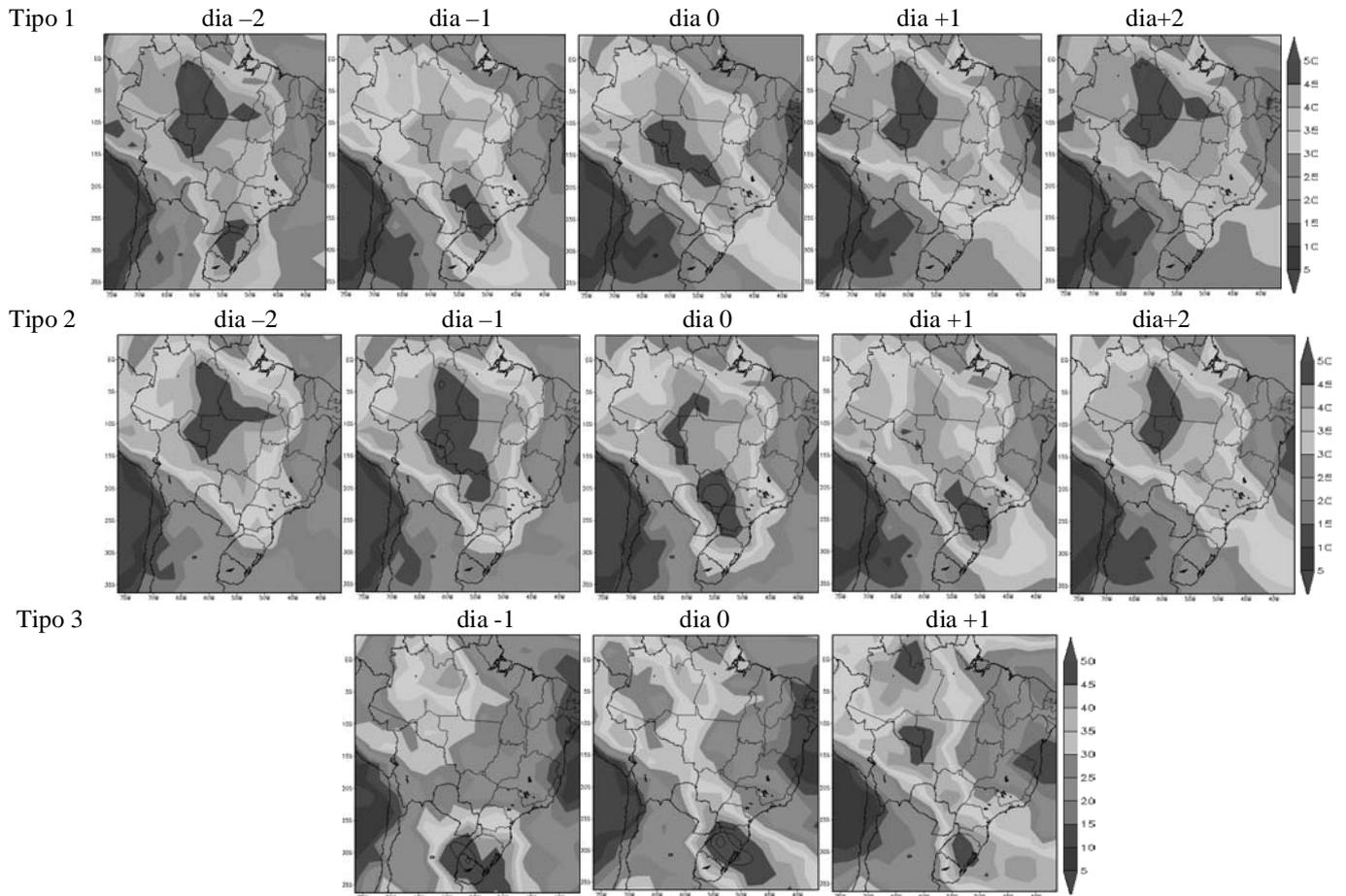


Figura 2 - Porcentagens médias de cobertura de nuvens frias para os dias -2 a +2 de ocorrência dos 442 eventos do tipo 1 e dos 194 eventos do tipo 2. Para os 25 eventos do tipo 3, somente os dias -1 a +1 são mostrados.

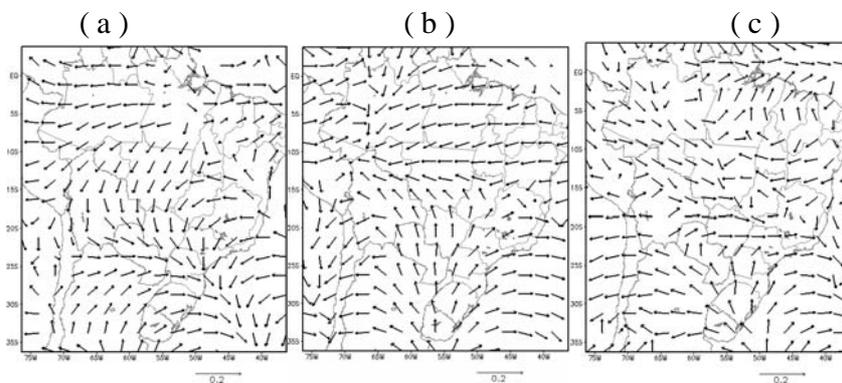


Figura 3 - Amplitude e fase da primeira CPC calculada para as séries temporais médias filtradas das porcentagens de cobertura de nuvens frias durante os dias  $-2$  a  $+2$  de ocorrência de todos os eventos do tipo 1 (a), do tipo 2 (b) e do tipo 3 (c) na AS.

### 3.2 - Características da circulação atmosférica na América do Sul

As Figuras 4 a 5 ilustram a evolução média dos campos diários transientes de vento horizontal em 850 e 200 hPa, respectivamente, durante o ciclo de vida dos três tipos de propagação meridional da convecção. O padrão inicialmente observado para o tipo 1 nos baixos níveis é o fortalecimento e o avanço de um ciclone transiente do sudeste para o nordeste da AS. No lado norte do ciclone transiente observa-se o deslocamento para nordeste de uma zona de convergência de aproximadamente  $23^{\circ}$  S no dia  $-2$  até pelo menos  $15^{\circ}$  S no dia 0, e a sua principal característica é o enfraquecimento dos ventos nos baixos níveis provenientes da região Amazônica e o fortalecimento dos ventos nos baixos níveis provenientes das latitudes médias. Este modelo de circulação, que é semelhante ao observado por Machado e Duvel (1998) durante a primavera austral, é um indicativo da penetração de uma frente fria sobre os subtropicais que se move em direção ao nordeste da AS. Uma intensificação do fluxo de umidade da região Amazônica até o centro e o sudeste da AS também foi observada nos campos diários médio e transiente do transporte de umidade horizontal integrado verticalmente entre a superfície e 850 hPa (não mostrado). A configuração de trem de onda nos baixos níveis observada nas latitudes médias e de ventos de sul anômalos caracterizam a presença de uma frente fria sobre o sudeste da AS movendo-se com a convecção em direção ao nordeste da AS, bem como de uma incursão de ar frio no sudeste associada à frente fria que estimula e se desloca com a convecção em direção ao centro da AS e sul da Amazônia. Uma configuração de trem de onda nos altos níveis é observada nos subtropicais, coerente com o modelo de circulação observado nos baixos níveis.

Para as propagações meridionais da convecção do tipo 2, a presença de um ciclone transiente nos baixos níveis sobre os subtropicais e de ventos anômalos da região Amazônica até o centro e o sudeste da AS são observadas antes do dia 0. Fluxos de umidade horizontal anômalos da região Amazônica também foram observados no decorrer do ciclo de vida nos campos diários médio e transiente, e constituem um importante mecanismo para sustentar o ciclone transiente e alimentar a convecção sobre o centro e o sudeste da AS durante os eventos do tipo 2 (não mostrado). Ventos e fluxos de umidade anômalos no dia  $+1$  aparentemente também contribuem para a convecção sobre o centro da AS. Ventos de sul anômalos e um anticiclone transiente nos baixos níveis sobre os subtropicais antes do dia  $-1$  indicam a presença de uma incursão de ar frio das latitudes médias aparentemente produzida por uma frente fria que penetrou o sudeste da AS antes do início do ciclo de vida do tipo 2. Esta incursão de ar frio contribui para manter o ciclone transiente e a convecção sobre o sudeste da AS por vários dias. Este modelo de circulação favorece a formação da ZCAS durante a maioria dos eventos do tipo 2. A configuração sinótica da ZCAS durante o ciclo de vida do tipo 2 é também evidenciada por uma inclinação noroeste-sudeste nos altos níveis sobre os trópicos. Uma outra característica importante nos altos níveis é a existência de um vórtice ciclônico transiente sobre o nordeste da AS que migra para oeste durante o dia  $-2$  ao dia 0, que pode estar relacionado com os VCANs no nordeste do Brasil descritos na literatura (Kousky e Gan, 1981; Rao e Bonatti, 1987).

No decorrer do ciclo de vida do tipo 3, a existência de uma frente fria quasi-estacionária sobre os subtropicais e latitudes médias é evidenciada pela presença de um ciclone transiente naquela região. Ventos anômalos vindos da região Amazônica também são observados antes do dia 0. Nos altos níveis, uma intensa corrente de jato de oeste quasi-estacionária nas latitudes médias aparentemente associada com o jato subtropical e um anticiclone transiente relacionado com a frente fria quasi-estacionária são notados até o dia 0, caracterizando o bloqueio de uma frente fria nos subtropicais e em latitudes médias. A penetração de um extenso vórtice ciclônico transiente sobre o nordeste da AS que migra para oeste ao longo do ciclo de vida médio do tipo 3 é um outro mecanismo importante para o modelo de circulação do tipo 3 identificado nos altos níveis, e pode também estar relacionado à existência dos VCANs no nordeste do Brasil. A presença dos VCANs no nordeste do Brasil parece contribuir para o fraco avanço meridional das frentes frias em direção àquela região, conforme já foi sugerido por Kousky e Gan (1981).

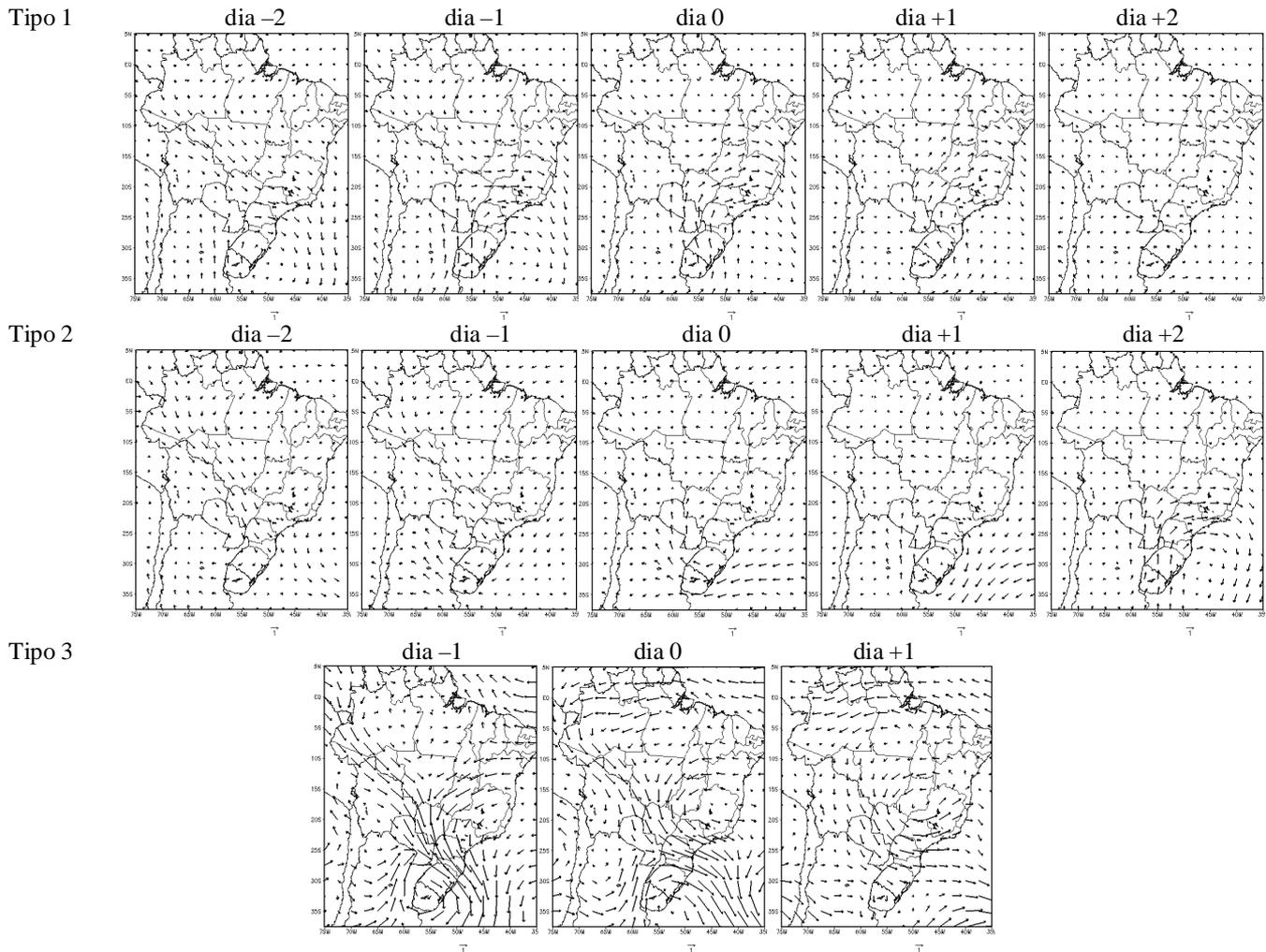


Figura 4 - Componente transiente média do vento horizontal no nível de 850 hPa para os dias -2 a +2 de ocorrência dos eventos do tipo 1 e do tipo 2 durante o período de Janeiro de 1984 a Dezembro de 1993. Para os 25 eventos do tipo 3, somente os dias -1 a +1 são mostrados.

#### 4 - DISCUSSÃO

Este trabalho mostra que as frentes frias interagem diretamente com a convecção tropical sobre a AS no decorrer do ano e propiciam importantes eventos de propagação meridional da convecção com escalas de tempo predominantemente interdiurnas da variabilidade convectiva. As propagações meridionais da convecção em direção ao equador (tipo 1) e aos subtrópicos (tipo 2) contribuem juntas para mais de 48% da variabilidade total interdiurna da convecção sobre uma grande parte da AS durante o verão austral. O jato subtropical e os vortices ciclônicos nos altos níveis sobre o nordeste da AS tendem a enfraquecer a interação frente fria-convecção tropical, favorecendo a ocorrência das propagações quasi-estacionárias da convecção na região subtropical da AS (tipo 3) que são responsáveis por mais de 50% da variabilidade total da atividade convectiva naquela região durante os meses de inverno austral.

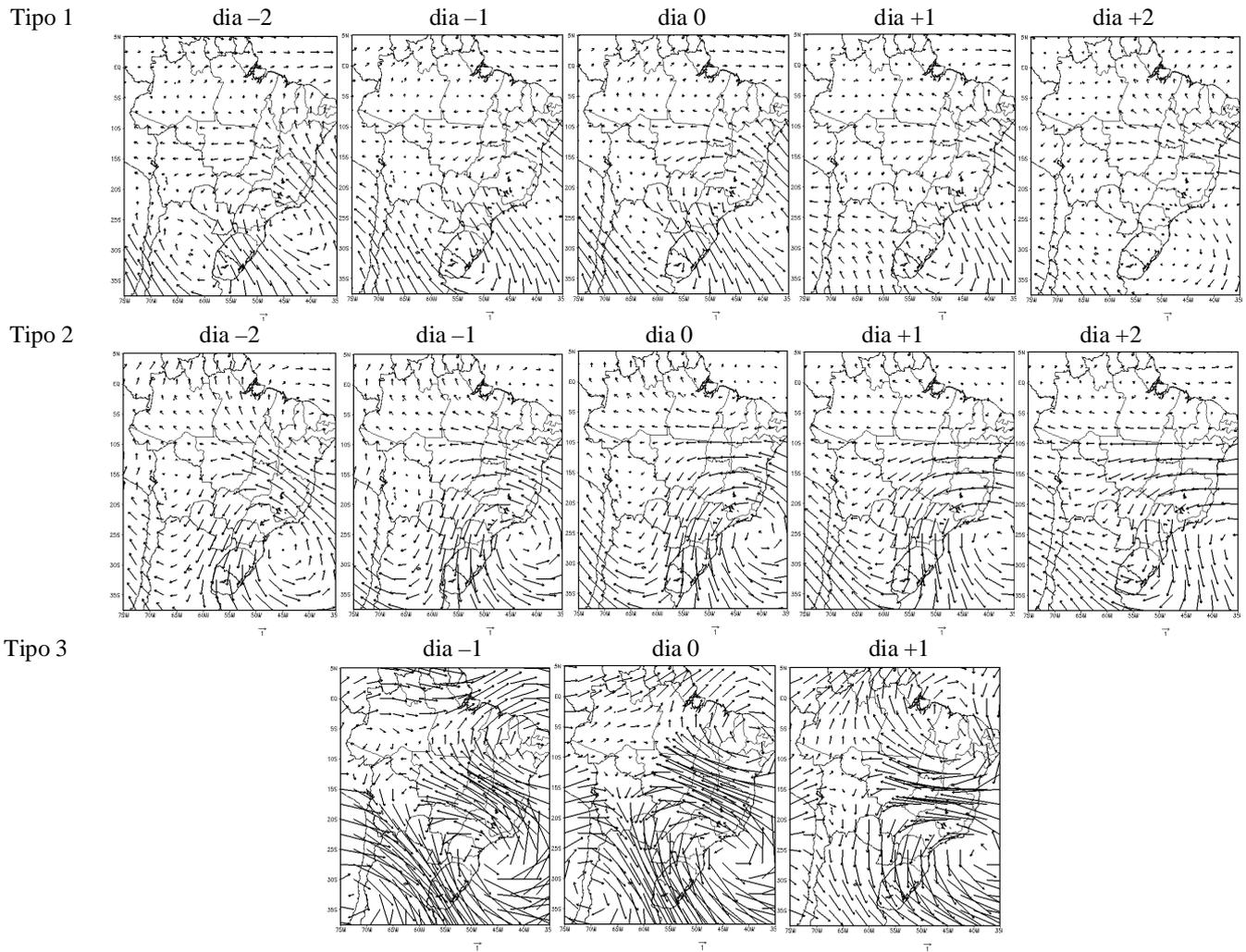


Figura 5 - Idem à Figura 4, mas para o nível de 200 hPa.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Projeto 1999/06045-7 e Projeto Temático 1996/1403-4) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (REF. 300692/95-1.)

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GARREAU, R.D. Cold air incursions over subtropical and tropical South America: a numerical case study. **Monthly Weather Review**. V. 127, p. 2823-2853, Dez 1999.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R. The NCEP/NCAR 40 - year reanalysis project. **Bulletin of American Meteorological Society**, V. 77, p. 437-471. 1996.

- KODAMA, Y.M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, V. 70, p. 813-836. 1992.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, V. 33, p. 538-551. 1981.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G.N.; MARENGO, J.A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J.D. Submonthly convective variability over SA and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, V. 12, p. 1877-1891. 1999.
- MACHADO, L.A.T.; DUVEL, J.PH. Propagação meridional da convecção na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. **Anais...**, Brasília, 1998, CD-ROM.
- MACHADO, L.A.T.; DUVEL, J.PH.; LAURENT, H.; SIQUEIRA, J.R. Meridional propagation of the convection in South America. CONGRESSO INTERNACIONAL DE METEOROLOGIA., 6, 2000, Chile. **Anais...**, Chile, 1999, CD-ROM.
- MARQUES, R.F.C.; Rao, V.B. A comparison of atmospheric blockings over the southeast and southwest Pacific ocean. **Journal of Meteorological Society of Japan**, V. 79, p. 863-874. 2001.
- RAO, V.B.; BONATTI, J.P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteorology and Atmospheric Physics**, V..37, p. 11-16. 1987.
- SCHIFFER, R.A.; ROSSOW, W.B. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) - The first project of the World Climate Program Research. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, V. 64, p. 779-784, 1984.