

ESTAÇÃO CHUVOSA DE 2001/02 NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL

MANOEL ALONSO GAN E MARLEY CAVALCANTE DE LIMA MOSCATI

Laboratório Associado de Meteorologia e Oceanografia – LMO
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12201-970, São José dos Campos - SP, Brasil
E-mail: alonso@cptec.inpe.br, marley@cptec.inpe.br

RESUMO

Utilizando-se dados de reanálises do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research” (NCEP/NCAR), análise de precipitação para a América do Sul do Climate Prediction Center (CPC) e de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) do Climate Diagnostics Center (CDC), analisa-se neste trabalho as características da circulação atmosférica sobre a América Sul durante a estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste utilizando-se dois critérios distintos para delimitar a estação chuvosa. O primeiro considera que a estação chuvosa iniciou (terminou) com a primeira ocorrência de vento de oeste (de leste) em 850 hPa sobre a longitude de 60°W e na faixa de latitude entre 10°S e 20°S, ao mesmo tempo em que a taxa de precipitação for maior (menor) do que 4 mm d⁻¹ durante o período e em pelo menos 75% das 8 pântadas subsequentes. Baseado neste critério, o início da estação chuvosa ocorreu na pântada centrada em 04 de novembro e terminou na centrada em 3 de abril, totalizando 30 pântadas. O outro critério utilizado foi o Índice-v, baseado no cisalhamento vertical do vento meridional em 40°W e 10°S (Índice-v = v200(40°W,10°S) - v850(40°W, 10°S)). Assim, a estação chuvosa inicia (termina) quando o Índice-v for maior (menor) ou igual a um limiar em pelo menos 75% das 8 pântadas subsequentes. Utilizaram-se dois limiares, zero e 4 ms⁻¹. Os campos das pântadas de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) para o período do início da estação chuvosa mostram que a convecção tropical começou sobre a região noroeste da América Sul, conectada com a nebulosidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Oceano Pacífico. Em seguida esta se estendeu ao longo dos Andes, Paraguai e Sul do Brasil, formando uma faixa de nebulosidade associada a a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Durante o período de encerramento da estação chuvosa, a convecção avançou para norte e depois para noroeste, porém, neste período, a convecção tropical esteve conectada à nebulosidade da ZCIT do Atlântico. A evolução e a propagação da nebulosidade foram acompanhadas do avanço para leste da mudança de direção do vento zonal em 850 hPa de leste para oeste. Esta mudança foi suficiente para aumentar o transporte de umidade específica para a região de estudo. Durante a estação chuvosa, a região Centro-Oeste registrou períodos anômalos secos e chuvosos. Algumas análises das condições atmosféricas foram efetuadas para os períodos de 09 a 15 de janeiro (chuvoso) e de 18 a 27 de janeiro (seco). Observou-se que o período chuvoso esteve associado com ventos de noroeste e de oeste em 850 hPa a leste dos Andes, convergindo sobre a região Centro-Oeste. Durante o período seco os ventos de noroeste em 850 hPa se intensificaram sobre o Paraguai e norte da Argentina, e os de leste sobre a região Centro-Oeste.

Palavras chaves: monção, precipitação, circulação atmosférica

ABSTRACT: 2001/02 RAINY SEASON OVER WEST-CENTRAL BRAZIL REGION.

In this paper the mean atmospheric circulation over South America for the 2001/02 rainy season over mid-west Brazil is investigated using date of the reanalysis from National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research” (NCEP/NCAR), South America’s precipitation analysis from Climate Prediction Center (CPC) and Outgoing Longwave Radiation (OLR) from Climate Diagnostics Center (CDC). Two different criteria were utilized to identify both the onset and the demise date of the rainy season. The first one defines the onset (demise) as the first occurrence of 850-hPa westerly (easterly) winds along 60°W in the band 10°S-

20°S, together with rainfall rates greater (less) than 4 mm d⁻¹ for at least 75% of the subsequent 8 pentads. Based on this criterion the rainy season onset occurred in the pentad centered on November 04 and the demise occurred in the pentads centered on April 3, with the extension of 30 pentads. The second criterion used the Index-v based on a meridional wind shear over 40°W-10°S (Index-v = $\sqrt{200(40^{\circ}\text{W},10^{\circ}\text{S}) - \sqrt{850(40^{\circ}\text{W},10^{\circ}\text{S})}}$). Thus, the onset (demise) occurs when the Index-v is greater or equal to a threshold (0 ms⁻¹ and 4 ms⁻¹) for at least 75% of the subsequent 8 pentads. The OLR pentad maps for the onset period show that the tropical convection started over the northwest portion of South America with a connection to the Pacific Intertropical Convergence Zone (ITCZ). Then, it propagated along the lee side of the Andes and over Paraguay and South Brazil, until the formation of a NW-SE cloudiness band, characterizing the South Atlantic Convergence Zone (SACZ). During the end of the rainy season, the tropical convection showed a connection with the Atlantic ITCZ. The evolution and propagation of the convection occurred with the advance to east of the change from easterly to westerly winds at 850 hPa. This change was enough to increase the specific humidity in the analyzed region. During the rainy season, mid-west Brazil experienced anomalously wet and dry periods. Also analysis of the atmospheric conditions was done for the January 09 to 15 (wet period), and from January 18 to 27 (dry period) period. The wet period was associated with low-level northwesterly and westerly flow east of the Andes that converges on mid-west Brazil. The dry period was associated with enhanced low level northwesterly over Paraguay and northern Argentina, and low level easterly over mid-west Brazil.

Key words: monsoon, precipitation atmospheric circulation

1. INTRODUÇÃO

O regime de precipitação da região tropical do Brasil é caracterizado por um ciclo anual bem definido, possuindo 6 meses secos e 6 meses chuvosos, exceto as regiões nordeste e extremo norte do Brasil. Apesar disto, Ramage (1971) não considerou que a região tropical da América do Sul tivesse uma circulação de monção, devido ao fato dos ventos em baixos níveis não reverterem sua direção durante a mudança da estação seca para a chuvosa. Entretanto, vários estudos têm mostrado que a América do Sul possui outras características de um regime de monção (Kousky, 1988; Zhou e Lau, 1998; Marengo et al., 2001, entre outros). Os resultados desses e de outros estudos para a América Central e América do Norte motivaram a criação do programa internacional “The Variability of American Monsoon Systems” (VAMOS), para estudar a circulação de monção nas três Américas.

O desenvolvimento do sistema de monção na América do Sul começa durante a primavera, caracterizado pelo aumento da convecção sobre o noroeste da bacia Amazônica em meados de setembro, quando então avança para sudeste e atinge a região Sudeste do Brasil em meados de outubro (Kousky, 1988; Zhou e Lau, 1998; Marengo et al., 2001). A precipitação máxima ocorre durante o verão (dezembro a fevereiro) com o desenvolvimento de convecção profunda sobre a maior parte da região tropical da América do Sul. O transporte de umidade desde o Oceano Atlântico, associado à sua reciclagem sobre a floresta tropical, mantém a precipitação máxima sobre o Brasil Central (Rao et al., 1996; Zhou e Lau, 1998), favorecendo a formação da Zona de Convergência do

Atlântico Sul (ZCAS) durante os meses de verão (Horel et al., 1989; Kodama, 1992). A fase de decaimento da monção começa no final do verão, quando a convecção desloca-se gradualmente para o equador (Kousky, 1988; Marengo et al., 2001). Durante o outono, o transporte de umidade em baixos níveis, proveniente do oeste da Amazônia, enfraquece devido às freqüentes incursões de ar seco e frio oriundo das latitudes médias sobre o interior da região subtropical da América do Sul (WMO, 1998).

Gan et al. (2001) (definido como GKR) estudaram as mudanças na circulação atmosférica da América do Sul, durante os períodos de transição da estação seca para a chuvosa e vice-versa, na região Centro-Oeste do Brasil (50°W-60°W; 10°S-20°S), considerando 22 anos de dados (1979 a 2000). Neste estudo foram encontradas variações na circulação atmosférica, tal como a inversão do vento zonal no início e no término da estação chuvosa. Esses resultados mostram a presença de ventos de leste (oeste) em 850 hPa (200 hPa) durante a estação seca, e de oeste (leste) na estação chuvosa. Assim, o cisalhamento vertical do vento zonal, que é de oeste durante a estação seca, altera-se para de leste na estação chuvosa. Analisando a inversão do vento zonal nos baixos níveis, GKR observaram que o sistema de monção inicia-se no começo de setembro, próximo aos Andes, e propaga-se para sudeste, atingindo 48°W em dezembro. Esta característica também foi identificada por Kousky (1988) e Marengo et al. (2001), sendo similar ao observado na Austrália, porém, nessa última região o início da estação chuvosa começa em dezembro, e tem duração de apenas dois meses (Hendon e Liebmann, 1990). Outro fator

importante na região Centro-Oeste do Brasil é a mudança na direção do fluxo de umidade integrado verticalmente. Durante a estação seca este é perpendicular à Cordilheira dos Andes ao norte de 10°S sendo que, em torno de duas pântadas antes do início da estação chuvosa, ele começa a girar para sudoeste, favorecendo o transporte de umidade da Amazônia para a região Centro-Oeste.

Um máximo no campo de temperatura nos baixos níveis foi observado por GKR na região Centro-Oeste durante os meses de agosto e setembro, o que implica em um aquecimento na baixa troposfera durante o período seco e um ligeiro resfriamento logo após o início da estação chuvosa. Este máximo de temperatura forma um gradiente de temperatura negativo, contribuindo para a mudança da direção do vento zonal nos baixos níveis. GKR também verificaram que a umidade específica nos baixos níveis possui um mínimo no inverno e um máximo no verão austral, porém, o aumento da umidade inicia-se antes do início da estação chuvosa.

Outra característica de monção que tem sido observada na circulação dos ventos nos altos níveis, é a mudança do escoamento zonal observado no inverno para ondulatório no verão, resultando na formação de um anticiclone sobre o altiplano boliviano, conhecido como Alta da Bolívia (Virji, 1981). O desenvolvimento desse anticiclone inicia-se em torno de 6 pântadas antes do início da estação chuvosa no Centro-Oeste do Brasil, sobre o setor norte da região Amazônica, desloca-se para o sul e intensifica-se à medida que a convecção aumenta sobre a região tropical da América do Sul (GKR).

Durante o período de verão, quando a circulação de monção está na sua fase mais ativa, ocorrem dias com pouca ou intensa precipitação. Esses períodos estão associados com o vento zonal de leste em baixos níveis nos períodos secos, e ventos zonais de oeste nos períodos chuvosos (GKR; Jones e Carvalho, 2002). Os períodos secos podem estar associados com a intensificação do jato de baixos níveis a leste dos Andes.

Estudos sobre o início e o término da estação chuvosa nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, além do interesse científico, podem beneficiar os setores produtivos que estão preocupados com uma possível redução no nível das águas dos reservatórios das hidroelétricas do país nos últimos anos. Assim, este trabalho enfoca as características da circulação atmosférica sobre a América do Sul durante o início e o término da estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste do Brasil, além de analisar as alterações do comportamento dessa circulação durante os períodos secos e de intensa precipitação dentro da estação chuvosa. Também procurar-se-á identificar a influência da Oscilação de Maden-Julian (OMJ), ou Oscilação de 30-60 dias, durante esses períodos.

2. DADOS E METODOLOGIA

Neste estudo utilizaram-se os seguintes dados:

- a) Média diária da Radiação Onda Longa Emergente (ROLE), obtida junto ao Climate Diagnostics Center (CDC), com resolução de 2,5°X2,5° de latitude/longitude, no período de 01/07/2001 a 30/06/2002;
- b) Temperatura do ar, pressão reduzida na superfície do mar (PNM) e as componente zonal (u) e meridional (v) do vento, em 12 níveis padrões entre 1000 e 100 hPa, para o período de 01 julho de 2001 a 30 de junho de 2002, oriundos da análise numérica do “National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research” (NCEP/NCAR). Esses dados foram obtidos junto ao CDC, EUA;
- c) Componente meridional do vento em 850 e em 200 hPa para o período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 1997. Esses dados fazem parte das reanálises do NCEP/NCAR e foram obtidos junto ao International Research Institute for Climate Predictions (IRI). Mais informações sobre essas análises podem ser obtidas em Kalnay et al. (1996);

Análise da precipitação diária para a América do Sul, produzida pelo Climate Prediction Center (CPC) (<ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/precip/wd52ws/sa/>). Os dados são analisados em pontos de grade de 1° de latitude por 1° de Manoel.

- a) longitude, no período de 01 de julho de 2001 a 30 de junho de 2002;
- b) Análise de precipitação diária para o Brasil produzida pelo CPC, em pontos de grade de 1° de latitude por 1° de longitude, para o período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 1997. Essa análise é baseada nos dados da precipitação diária das estações meteorológicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- c) Pântadas de 10 índices da OMJ para o período de 01 janeiro de 2001 a 30 de agosto de 2002, obtidos junto ao CPC (informações sobre esses índices podem ser obtidas em http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/pentad.html).

Calcularam-se as pântadas dos dados diários das análises do NCEP/NCAR, da precipitação e da ROLE, e analisaram-se os campos sinóticos para observar as características atmosféricas sobre a América do Sul, durante o período de estudo.

Apesar da existência de vários critérios usados para definir o início e o término da estação chuvosa, sendo uns baseados na precipitação (Nicholls et al., 1982), outros nos ventos (Troup, 1961; Ramage, 1971;

Murakami e Sumi, 1982) e, ainda, outros na nebulosidade (Davidson et al. 1983, 1984), procurou-se utilizar o mesmo índice (Índice-u) de GKR, visando comparar se o início e/ou o término da estação chuvosa de 2001/02 foram antecipados ou adiados. Assim, definiu-se que a estação chuvosa inicia (termina) com a primeira ocorrência de vento zonal de oeste (de leste) em 850 hPa sobre a longitude de 60°W e na faixa de latitude de 10°S a 20°S, ao mesmo tempo em que a taxa de precipitação na pântada deve ser maior (menor) do que 4 mm d⁻¹ por, pelo menos, 75% das 8 pântadas subsequentes. O limiar de 4 mm d⁻¹ foi escolhido por ser o valor próximo da média diária da precipitação, e porque esse valor corresponde ao valor médio da precipitação quando o vento zonal muda sua direção de leste para oeste.

Após a definição da estação chuvosa, calculou-se as correlações entre as anomalias de precipitação e do vento meridional em 850 hPa e 200 hPa, com a finalidade de escolher alguns pontos de máxima correlação para criar um outro índice, que também possa definir o início e o término da estação chuvosa na região Centro-Oeste. O índice foi elaborado com base no cisalhamento vertical do vento meridional, sendo definido pela diferença do vento meridional entre 200 hPa e 850 hPa, no ponto 40°W-10°S, expresso por:

$$\text{Índice-v} = v_{200}(40^{\circ}\text{W}, 10^{\circ}\text{S}) - v_{850}(40^{\circ}\text{W}, 10^{\circ}\text{S}) \quad (1)$$

A escolha desse ponto deveu-se ao fato da precipitação na região Centro-Oeste do Brasil apresentar correlação positiva nos altos níveis e negativa nos baixos níveis com o vento meridional. Quando esse índice for positivo estará associado com ventos de norte em baixos níveis e de sul em altos níveis sobre a região Nordeste do Brasil, e o oposto quando esse índice for negativo. Assim, a estação chuvosa inicia-se quando o índice v for maior que um limiar por, pelo menos, 75% das 8 pântadas subsequentes. Neste índice utilizou-se dois limiares, 0 mm s⁻¹ e 4 mm s⁻¹.

3. RESULTADOS

3.1 Análise da precipitação e da circulação atmosférica durante o período de transição

A análise da precipitação ocorrida no período de 01 de julho de 2001 a 30 de junho de 2002 (Fig. 1) mostra um ciclo anual bem definido, com precipitações próximas de zero durante os meses de junho de 2001, julho e agosto de 2002, e um período chuvoso durante os meses de dezembro a fevereiro, com precipitação média na área de estudo em torno de 8mm d⁻¹ (Fig. 1). Nos meses de primavera (setembro a novembro) verifica-se um acentuado aumento na precipitação, e o inverso ocorre nos meses de outono (março a maio). Picos de máxima

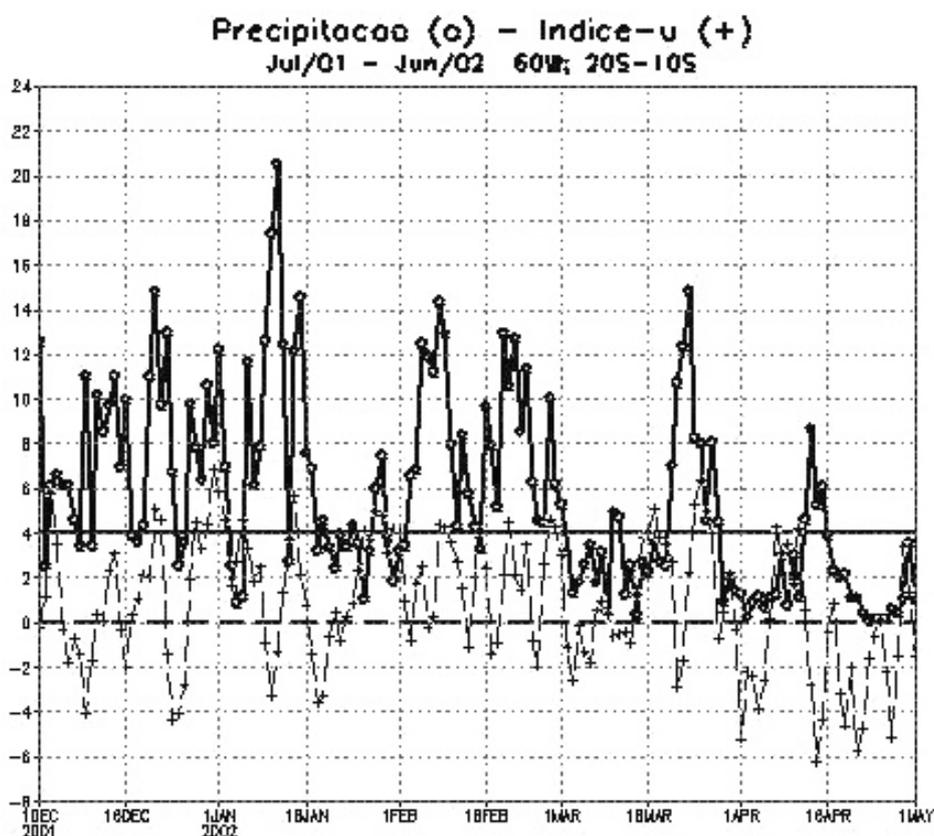


Figura 1: temporal das pântadas de precipitação (linha contínua, expressa em mm dia⁻¹) e do Índice-u (linha tracejada, expressa em ms⁻¹) durante o período de jul/2001 a jun/2002.

precipitação são observados no final de novembro, na primeira quinzena de janeiro e de fevereiro e na segunda quinzena de março. Durante a estação chuvosa, observa-se ainda, dois períodos de diminuição da precipitação, sendo um na segunda quinzena de janeiro e outro na primeira quinzena de março. Períodos de diminuição e de intensa precipitação durante a estação chuvosa é uma característica comum de regime de monção e são conhecidos como “break and active periods” (Rodwell, 1997). É interessante também observar na Figura 1 que, entre um período de interrupção da precipitação e outro, os períodos de precipitação diminuem até que a estação chuvosa se encerre. Também se observa a ocorrência de uma variabilidade intrasazonal nas análises de precipitação, com escalas temporais da ordem de 30-60 dias e de 10-20 dias.

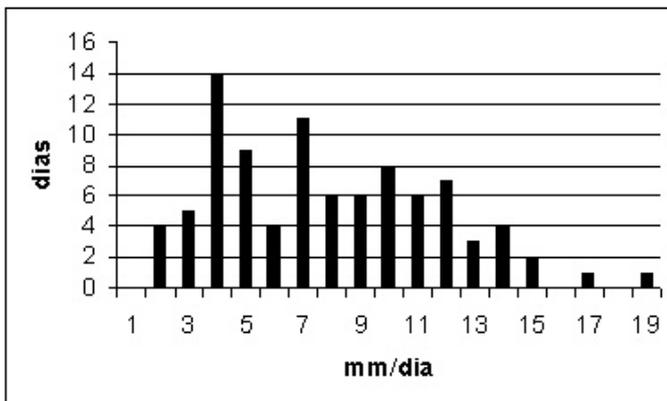


Figura 2: Histograma do número de dias por quantidade de precipitação ($\text{mm}^\circ\text{dia}^{-1}$).

A Figura 2 apresenta um histograma relacionando a quantidade de dias em que ocorreu precipitação para vários intervalos (expressos em mm d^{-1}), durante o período de maior atividade convectiva (1 dezembro de 2001 a 28 de fevereiro de 2002). Observa-se que em quase um terço desse período (25 dias), a quantidade de precipitação média diária na região de estudo variou entre 3 e 4 mm d^{-1} (14 dias) e entre 6 e 7 mm d^{-1} (11 dias). Por outro lado, houve poucos dias com intensa precipitação.

Pelo critério de definição de início e de término da estação chuvosa estabelecido por GKR, verifica-se que o início da estação chuvosa ocorreu na pênstada centrada em 04 de novembro e o seu término na pênstada centrada em 03 de abril, totalizando 30 pênstadas (Fig. 1). De acordo com GKR, a estação chuvosa na região Centro-Oeste do Brasil não inicia antes da pênstada centrada em 15 de setembro e nem depois da pênstada de 14 de novembro, e o término não inicia antes da pênstada centrada em 3 de abril e nem depois da pênstada de 3 de maio, totalizando um comprimento de, no mínimo, 30 pênstadas (150 dias) e no máximo 44 pênstadas (220 dias). Em média, o início

ocorre na pênstada centrada em 15 de outubro, termina em 18 de março, e o comprimento é de 38 pênstadas (190 dias). Comparando-se as datas identificadas neste estudo com aquelas obtidas por GKR, verifica-se que o início da estação chuvosa ocorreu com retardo e seu término coincidiu com o ano em que a interrupção da estação chuvosa foi antecipada (1985/86). O comprimento da estação chuvosa de 2001/02 foi o menor, comparando com os obtidos nos 18 anos estudados por GKR, juntamente com o ano de 1986/87 (ver Tabela 2 de GKR).

Comparando os índices da OMJ (Fig. 3) com a precipitação diária média na área de estudo para o período de dezembro a abril (Fig. 1), nota-se que durante os períodos chuvosos (de 09 a 15 de janeiro e de 19 a 23 de fevereiro) a faixa entre os índices 6 e 7 (que abrange a região da América do Sul) possui valores negativos (fase favorável à precipitação), enquanto que para o período seco (entre 18 e 27 de janeiro), a região está sob o domínio de valores positivos (desfavorável à precipitação). Durante o período de 2 a 19 de março (seco), os valores dos índices da OMJ estão próximos de zero. Este resultado indica que a OMJ atuou para que houvesse um aumento de precipitação durante os períodos chuvosos e uma redução durante o primeiro período seco (18 a 27 de janeiro), porém, não ficou nítida essa influência durante o outro período seco (2 a 19 de março), pois os valores da OMJ ficaram entre -0,5 e 0,5. Assim, outros fatores atmosféricos podem ter contribuído para a redução da precipitação durante esse período.

Analisando-se o diagrama Hovmöller para ROLE mediado no cinturão de latitude entre 20°S e 10°S (Fig. 4), nota-se que nos meses de dezembro e janeiro a convecção propagou para leste com velocidade em torno de 8° de longitude por dia (visto no período de 24/12 a 03/01), caracterizando uma propagação da ordem da OMJ. No entanto, em fevereiro não ficou nítida a propagação da convecção para leste ou para oeste, uma vez que esta desenvolveu-se à oeste em relação àquela observada em janeiro. Em março houve uma redução significativa da convecção, o que poderia, dependendo do critério a ser adotado para identificar o término da estação chuvosa, dizer que esta terminou no final do mês. Por este motivo, testou-se um outro índice para definir o início e o término da estação chuvosa na região Centro-Oeste do Brasil.

Apesar de existirem na literatura vários índices para determinar a estação chuvosa, optou-se pelo índice de cisalhamento vertical do vento meridional, utilizado para identificar a estação chuvosa na Ásia, por este ser baseado em condições dinâmicas da atmosfera (Wang e Fan, 1999). Uma vez que este índice ainda não foi

utilizado para a América do Sul, fez-se necessário calcular a correlação entre a anomalia de precipitação pentadal média na região de estudo e as anomalias das pântadas do vento meridional em 850 hPa e em 200 hPa (Fig. 5) sobre a região da América do Sul, para o período de 01 janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 1997.

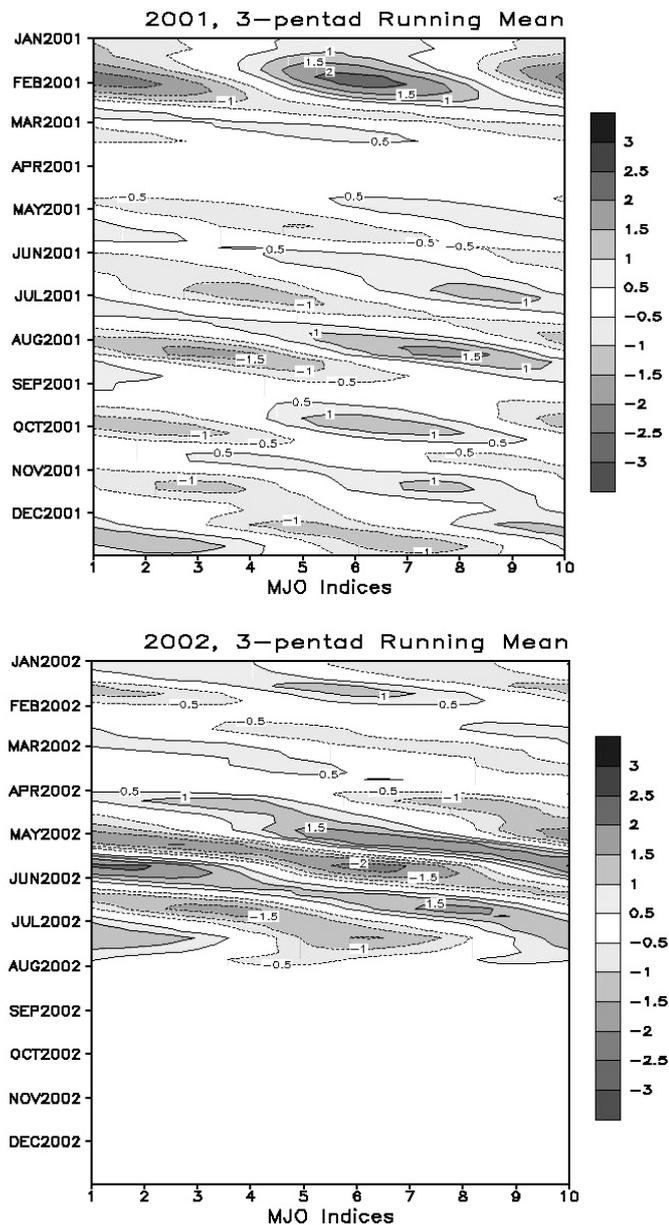


Figura 3: Índices de OMJ para 10 longitudes indicadas: a) janeiro a dezembro de 2001 e b) janeiro a julho de 2002. FONTE: CPC (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/mjo_index.html)

O campo de correlação entre as anomalias de precipitação e do vento meridional em 850 hPa (Fig. 5a) mostra dois centros de mínima correlação e um de máxima sobre a América do Sul. Um dos centros de

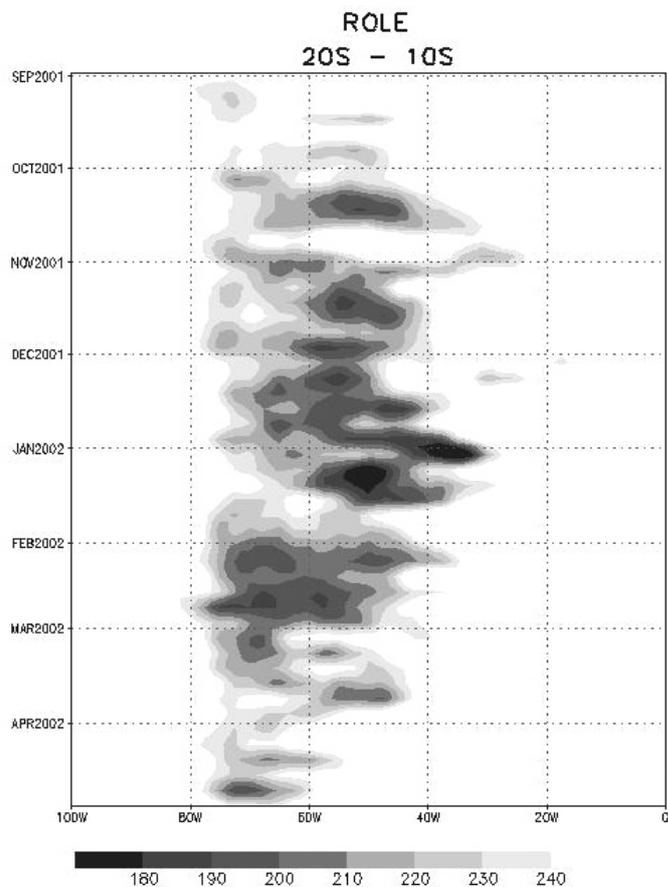


Figura 4: Diagrama Hovmöller para ROLE ($W m^{-2}$) durante o período de setembro de 2001 a abril de 2002, mediado entre 20°S e 10°S.

mínima correlação localiza-se sobre a região Amazônica e outro sobre o Nordeste e o Sudeste do Brasil. Assim, durante períodos de precipitação, o primeiro centro de mínima correlação está associado com os ventos de norte que cruzam a região Amazônica, transportando umidade para a região Centro-Oeste (figura não apresentada); o segundo centro, com os ventos oriundos da circulação anticiclônica da Alta Subtropical do Atlântico Sul, enquanto que, o centro de máxima correlação está associado com ventos de sul sobre o Paraguai, o sul da Bolívia e o norte da Argentina. Esse resultado sugere uma correlação entre a convergência do vento meridional em 850 hPa e a precipitação na região Centro-Oeste do Brasil, característica esta observada em episódios de ZCAS (Herdies et al., 2002).

A análise do campo de correlação entre as anomalias de precipitação e de vento meridional em 200 hPa (Fig. 5b) mostra dois centros de correlação positiva, um sobre a região central da Argentina e Chile e o outro sobre o Nordeste do Brasil, e um centro de correlação negativo, alongado com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico. Esses centros de correlação fazem parte de

um padrão tipo onda cruzando a América do Sul, que se estende desde as latitudes médias do Oceano Pacífico Sul até o Oceano Atlântico Equatorial. Esse padrão de onda tem a mesma orientação daquele observado por Garreaud (1999), que estudou a influência da circulação anômala de grande escala na precipitação da região central dos Andes. Porém, neste estudo, o padrão aparece somente nos altos níveis, com comprimento de onda menor.

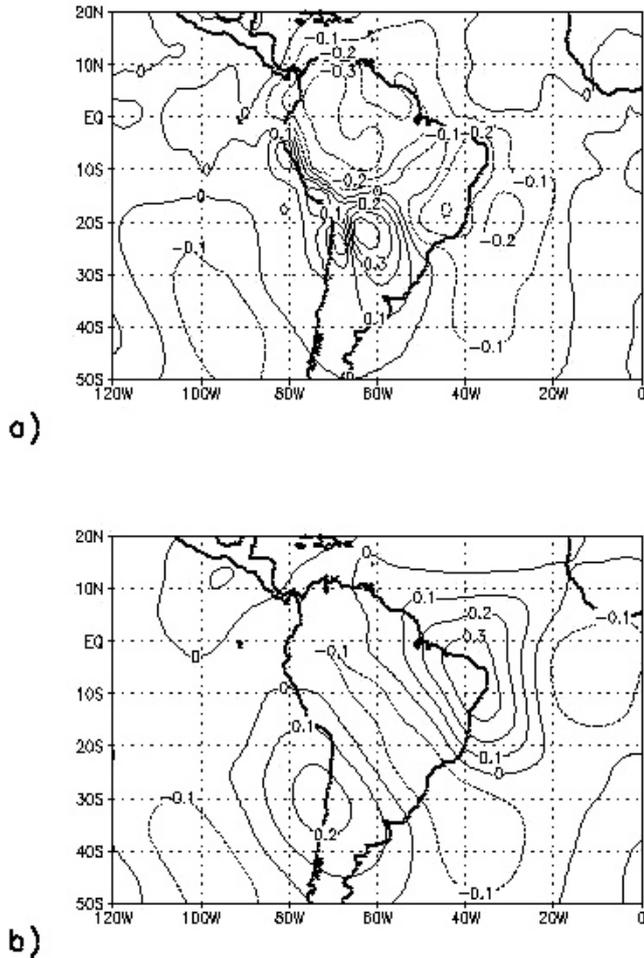


Figura 5: Correlação entre: a) anomalia da precipitação e anomalia do vento em 850 hPa; b) anomalia da precipitação e anomalia do vento em 200 hPa. Período: julho de 1979 a junho de 1997. Todas as isolinhas traçadas na figura correspondem a valores de significância estatística acima de 95%.

Comparando-se os centros de correlação das Figuras 5a e 5b, nota-se que a condição dinâmica associada ao cisalhamento vertical do vento meridional é importante para a precipitação na região Centro-Oeste. A Figura 6 mostra os valores pentadais do Índice-v e da precipitação média na área de estudo. Analisando o comportamento do Índice-v com relação à precipitação, observa-se que este assume valores negativos durante a estação seca, e

positivos durante a estação chuvosa. Valores mais altos, durante a estação chuvosa, correspondem aos períodos mais chuvosos, e valores menores, aos períodos secos. Isto é observado na segunda quinzena de janeiro, durante o qual houve uma acentuada redução no seu valor, e na primeira quinzena de março, quando os valores tornaram-se negativos. Se for estipulado que a estação chuvosa inicia (termina) quando o Índice-v for positivo (negativo) por, pelo menos, 75% das 8 pântadas subsequentes, pode-se dizer que a estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste começou na pântada centrada em 15 de setembro (após esta pântada só há uma com valor negativo), e terminou na pântada centrada em 04 de março, totalizando 34 pântadas. Por outro lado, aplicando esse critério e levando-se em conta um limiar de 4 ms^{-1} , a estação chuvosa iniciou na pântada centrada em 30 de outubro e terminou em 04 de março, totalizando uma estação chuvosa de apenas 24 pântadas. Comparando-se esses resultados com o de GKR, observa-se que pelo critério do Índice-v, a estação chuvosa de 2001/02 iniciou uma pântada antes e terminou 6 pântadas antes do obtido pelo critério de GKR. Entretanto, esse critério precisa ser testado para outros anos, visando verificar se ele é um bom indicador das datas do início e do término da estação chuvosa, ou apenas um indicador da qualidade da estação chuvosa.

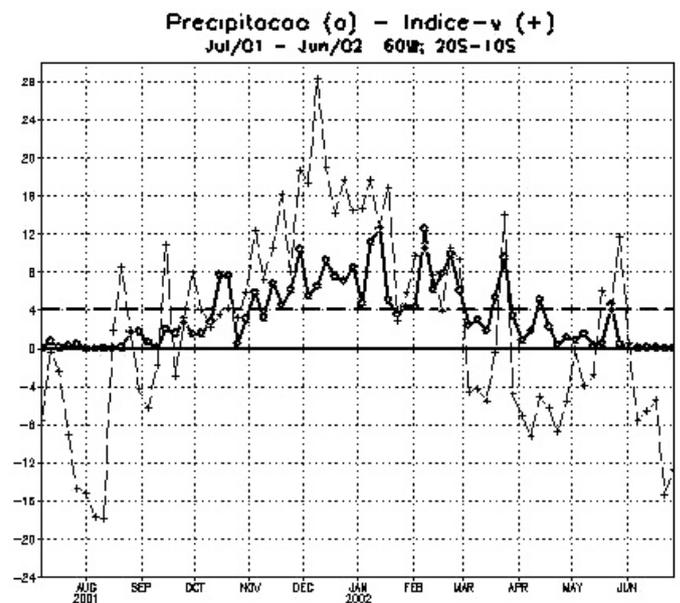


Figura 6: Série temporal das pântadas de precipitação (linha contínua, expressa em mm dia^{-1}) e do Índice-v (linha tracejada, expressa em ms^{-1}), durante o período de jul/2001 a jun/2002.

Marengo et al. (2001) e GKR mostraram que o regime de monção de verão sobre a América do Sul começa sobre o noroeste da Amazônia, e propaga para

leste. Essa evolução pode também ser vista no vento zonal em 850 hPa mediado entre as latitudes de 20°S e 10°S (Fig. 7a). Durante a estação seca, o vento zonal entre os Andes e 60°W variou entre as direções de oeste e de leste. Em meados de setembro, os ventos de oeste avançaram para leste, em outubro para oeste e, no início de novembro novamente avançaram para leste, atingindo 43°W no final de dezembro, o que concorda com os resultados de GKR e de Marengo et al. (2001). Entretanto, nos resultados de GKR a duração é de dois meses e avança somente até 48°W. Em meados de janeiro, o vento zonal de leste começou o seu avanço para oeste, até 55°W. No início de fevereiro o vento zonal de oeste novamente avançou para leste, retornando gradualmente para oeste a partir da segunda quinzena de fevereiro. Estes resultados indicam que a circulação de monção atingiu o setor oeste da Bahia e da região Sudeste do Brasil em meados de dezembro, permanecendo até meados de janeiro.

A Figura 7b apresenta o diagrama latitude x tempo para o vento zonal em 850 hPa, mediado entre 60°W e 50°W. A análise desta figura mostra outra característica de monção que é a delimitação entre os ventos alísios e os ventos de oeste nos subtropicais, ocorrendo em torno

de 20°S durante a estação seca de 2001 e 2002. No início da estação chuvosa, os ventos de oeste avançaram ligeiramente para o norte, e ao sul de 20°S em meados de outubro surge uma região de ventos de leste, associados com a baixa térmica (Baixa do Chaco) que se formou sobre o continente, característica esta que permaneceu ao longo de toda a estação chuvosa, exceto durante a segunda quinzena de janeiro, quando ocorreu um período seco.

A seção latitude x tempo mediada entre 60°W e 50°W para a PNM (Fig. 8a) mostra que pressão começou a cair em setembro atingindo valores mínimos de 1010 hPa, em meados de novembro. A seção tempo x latitude da temperatura do ar em 925 hPa (Fig. 8b) destaca um máximo em setembro entre 20°S e 10°S, porém, ao compará-lo com o obtido por GKR, nota-se que o máximo de temperatura ocorrido durante o período pré-estação chuvosa de 2001, ficou 4 K abaixo da média de 22 anos. Isso pode estar associado com o fato da estação chuvosa de 2001/02 ter iniciado com um atraso e terminado adiantada. Entretanto, uma conclusão desse resultado somente poderá ser obtida após uma análise para outros anos.

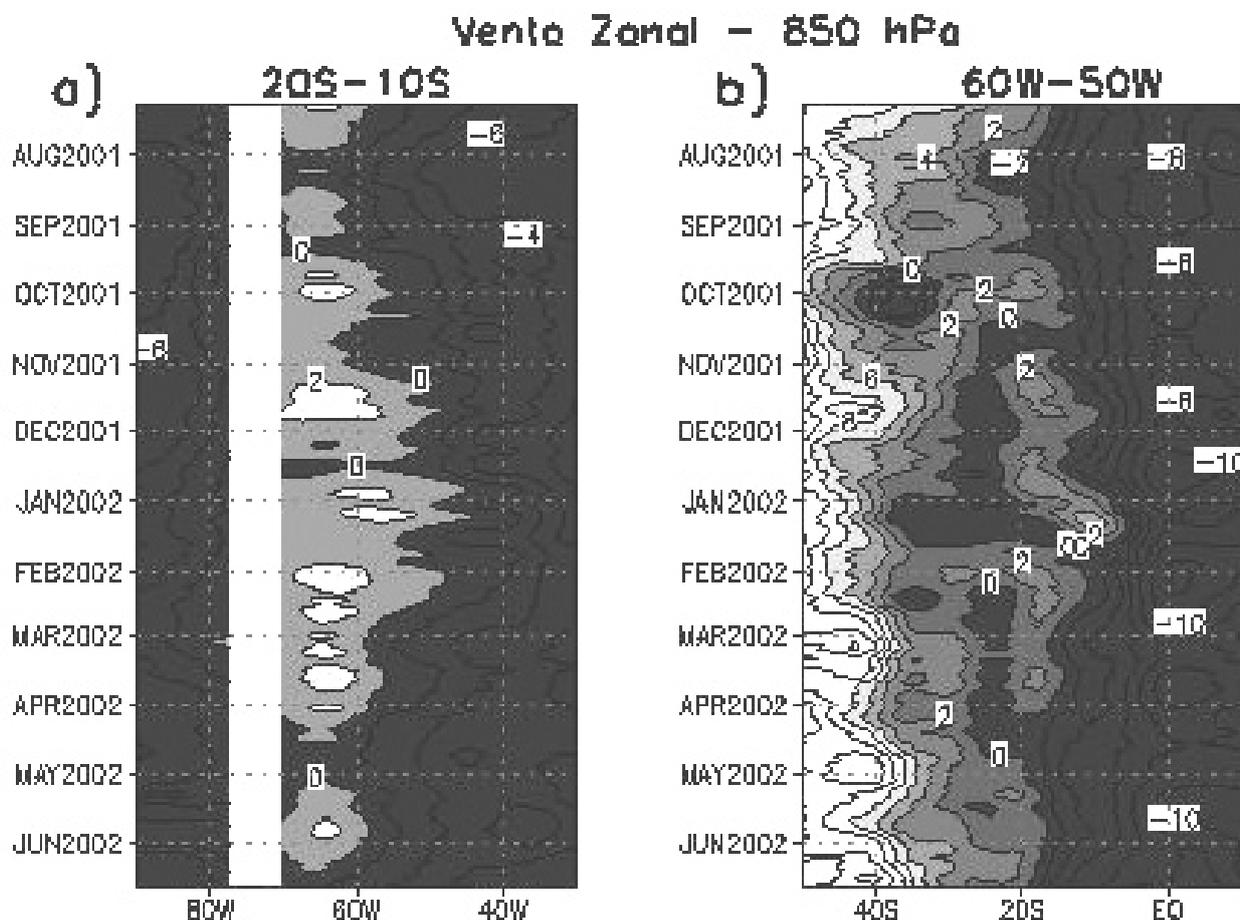


Figura 7: a) Seção longitude x tempo do vento zonal (ms^{-1}) em 850 hPa mediado entre 20°S-10°S; b) seção latitude x tempo do vento zonal (ms^{-1}) em 850 hPa mediado entre 60°W-50°W (b). A faixa branca representa a topografia.

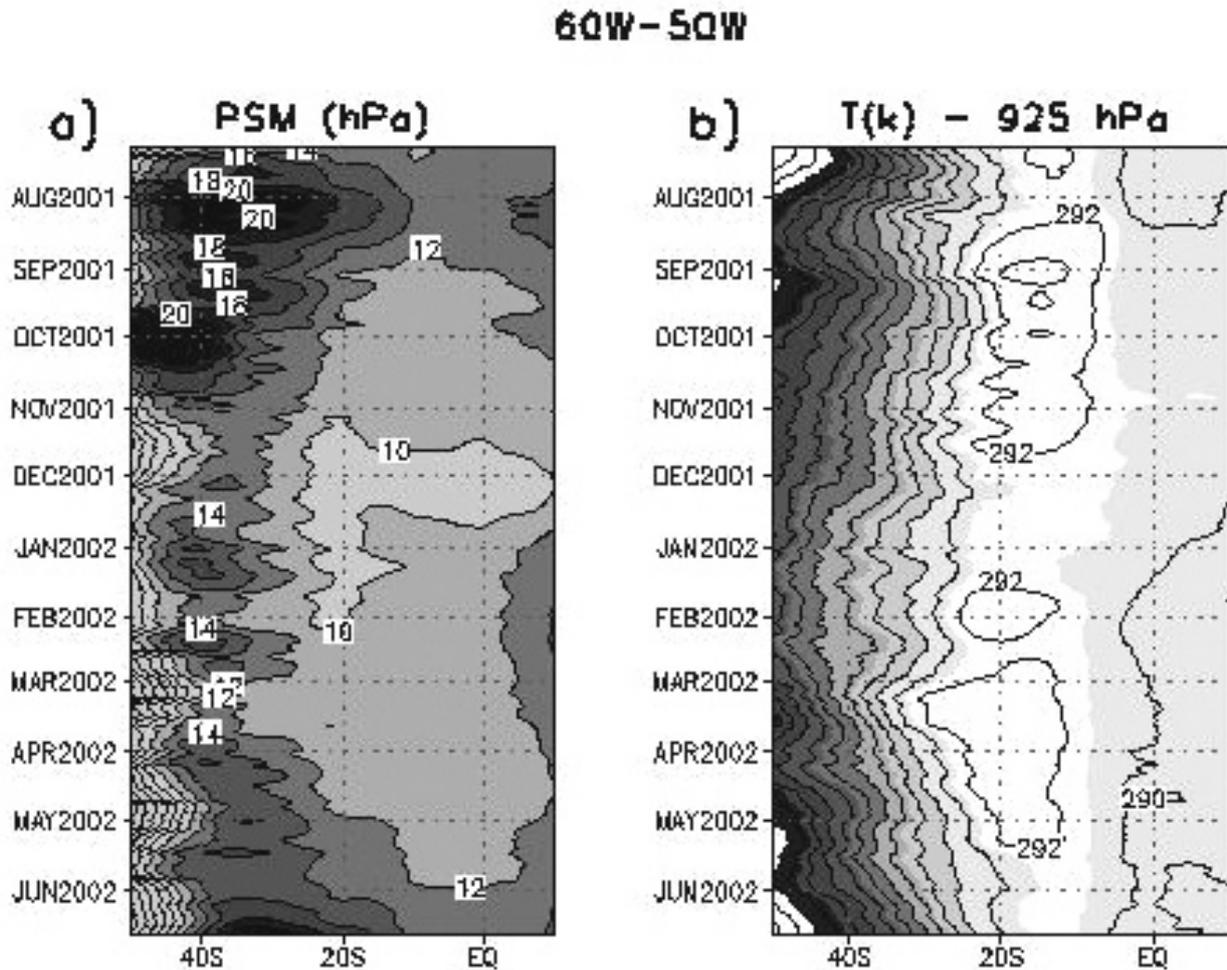


Figura 8: Seção latitude x tempo para: a) PNM (hPa), b) temperatura do ar (K) em 925 hPa mediados entre 60°W-50°W.

A evolução da nebulosidade convectiva durante o desenvolvimento da monção pode ser vista através do campo das pântadas de ROLE (Fig. 9). Observou-se que em 9 pântadas antes do início da estação chuvosa, a convecção se desenvolveu sobre o noroeste da região Amazônica, conectada com a nebulosidade associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Oceano Pacífico. Seis pântadas antes, a convecção surge ao longo dos Andes, Paraguai e Sul do Brasil. Três pântadas antes, formou-se a faixa de nebulosidade caracterizando a formação da ZCAS (Kodama, 1992), a qual permaneceu até 3 pântadas após o início da estação chuvosa. Nas próximas 3 pântadas a convecção não estava mais organizada em forma de faixa, embora avance para norte aproximando-se da costa Norte do Brasil, resultado semelhante ao obtido por Marengo et al. (2001). Situação quase oposta ocorreu durante a fase final da estação chuvosa (Fig.10). Nove pântadas antes do término da estação chuvosa, a convecção tropical conectou-se com a convecção da ZCIT do Oceano Atlântico, com a de um sistema transiente localizado sobre o Oceano Atlântico Norte e com a da ZCAS, conforme visto

em Climanálise (2002). Seis pântadas antes, a ZCAS não está presente, porém, a convecção associada aos sistemas sobre o Oceano Atlântico Norte, intensificou, assim como aumentou a atividade convectiva sobre a região Nordeste. Três pântadas antes, a convecção aumentou e reorganizou-se em uma faixa estendendo-se para o sul do Brasil e Oceano Atlântico, porém, agora localizada sobre o Sul do Brasil. A partir da pântada em que se encerrou a estação chuvosa, a convecção tropical começou seu avanço para norte-noroeste.

3.2 Análise dos períodos seco e chuvoso

A análise de precipitação discutida no item anterior mostrou dois períodos distintos durante o mês de janeiro, um úmido (de 09 a 15 de janeiro) e outro seco (de 18 a 27 de janeiro). Neste item procura-se identificar alguns padrões atmosféricos de escala sinótica associados com esses dois períodos. A Figura 11 mostra a anomalia da PNM e os campos de vento em 850 hPa e em 200 hPa, para os períodos seco (coluna da esquerda) e úmido (coluna da direita). Durante o período seco, anomalias

Estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste do Brasil

positivas de PNM são observadas sobre a região tropical, com centro de máximos valores sobre a região Sudeste do Brasil, e anomalias negativas sobre a Argentina, Paraguai e Oceano Atlântico. O campo de vento em 850 hPa mostra um escoamento de nordeste sobre as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, associado à circulação anticiclônica da alta subtropical do Atlântico Sul, e um outro de noroeste sobre o sul da Amazônia e Bolívia. Esses dois escoamentos culminaram em uma confluência sobre o Paraguai e sul da Bolívia, acarretando

em uma aceleração dos ventos, caracterizando o jato em baixos níveis. Segundo Barros e Doyle (2002) e Díaz e Aceituno (2002) essa situação é típica de períodos chuvosos na região sudeste da América do Sul (Uruguai, Sul do Brasil e Nordeste da Argentina). Em altos níveis, destaca-se o jato subtropical e a Alta da Bolívia, com um centro alongado em torno de 20°S, cujos ventos intensos de sudeste estão associados a um vórtice ciclônico de altos níveis (Kousky e Gan, 1981) sobre o Oceano Atlântico Sul, próximo à costa do Nordeste Brasileiro.

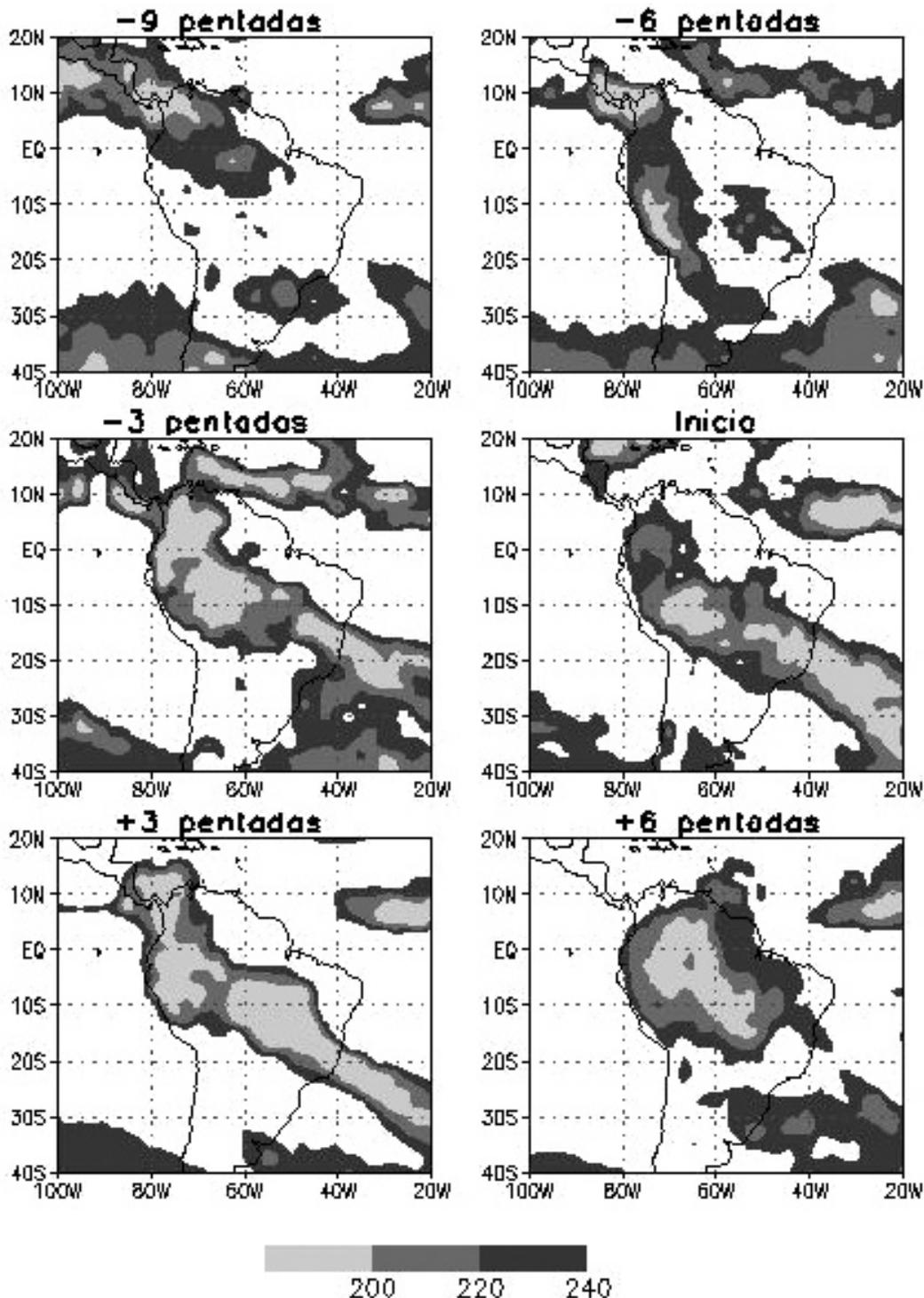


Figura 9: Pêntadas de ROLE (Wm^{-2}) para o período de início da estação chuvosa.

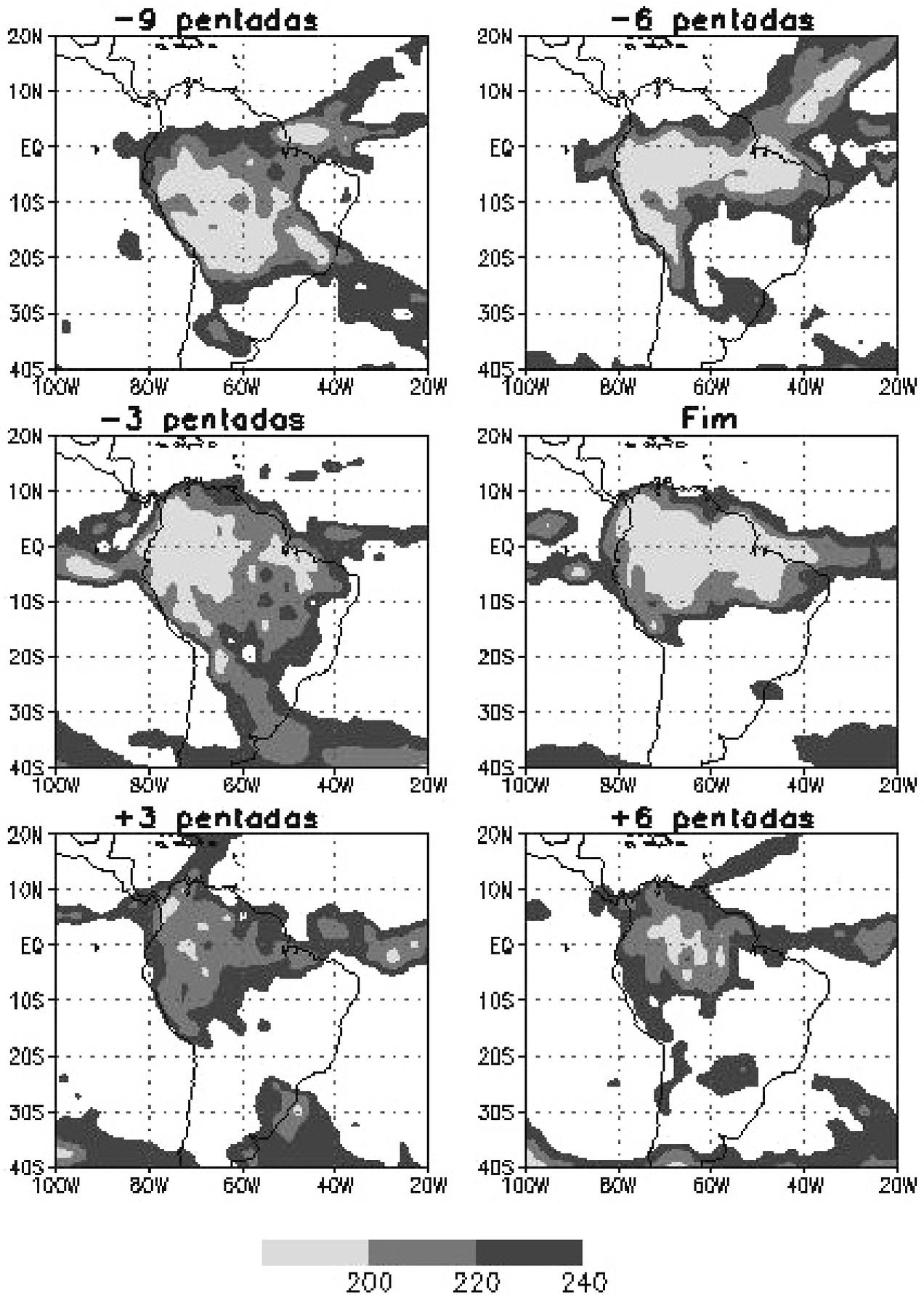


Figura 10: Pêntadas de ROLE (Wm²) para o período de término da estação chuvosa.

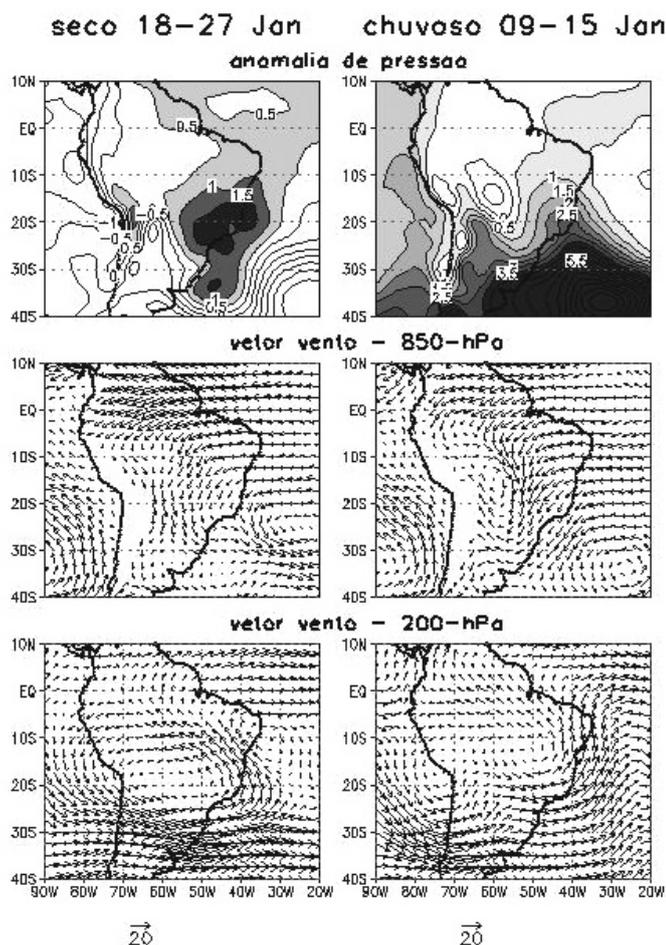


Figura 11: Campos médios de anomalias de PNM (hPa), vetor vento (ms^{-1}) em 850 hPa e em 200 hPa, para o período seco (coluna da esquerda) e para o período chuvoso (coluna da direita).

Durante o período chuvoso, há um centro de anomalias negativas de pressão sobre a região Centro-Oeste e sul da Amazônia, e um intenso centro de anomalias positivas em latitudes médias do Oceano Atlântico. Associada às anomalias negativas de PNM, desenvolveu-se no campo de vento em 850 hPa, uma circulação ciclônica fechada (Baixa do Chaco), estabelecendo ventos de oeste sobre o sul da Amazônia. Nos setores leste e nordeste da circulação ciclônica destaca-se uma confluência dos ventos dessa circulação com a dos ventos da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Sobre a região norte da Argentina e sudeste da América do Sul, os ventos se apresentam de leste-sudeste, indicando um período de seca nessas regiões, conforme mostrado por Barros e Doyle (2002) e Díaz e Aceituno (2002). Nos altos níveis, há dois centros de circulação anticiclônica, um sobre o Peru e norte do Chile, e o outro sobre a região Centro-Oeste. Entre esses dois centros nota-se a presença de um cavado. Essa configuração é típica de situações de ZCAS (Brauer, 1999).

Comparando-se o período seco com o chuvoso, nota-se que no primeiro caso a PNM aumenta, e o escoamento nos baixos níveis gira para o sul, transportando umidade para a região sudeste da América do Sul, favorecendo a propagação da convecção para sul, o que induz ao deslocamento para sul da Alta da Bolívia. No período úmido, a redução da pressão na superfície favorece o desenvolvimento da Baixa do Chaco, condição essa favorável para o transporte de umidade e aumento de convergência de massa e de umidade na região Centro-Oeste do Brasil.

A análise comparativa dos resultados obtidos na circulação dos ventos em 850 hPa sobre o Centro-Oeste do Brasil, com os resultados de Herdies et al. (2002), sugere que o período chuvoso analisado está associado com um evento de ZCAS e o período seco, com um episódio de não ZCAS.

4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurou-se estudar as características da circulação atmosférica sobre a América Sul durante a estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste do Brasil, além de analisar as alterações do comportamento dessa circulação durante os períodos secos e de intensa precipitação. Também se procurou identificar as influências da OMJ, em períodos secos e chuvosos, durante essa estação chuvosa.

A análise das pântadas da precipitação média para a região de estudo mostrou um padrão de desenvolvimento típico para essa região, havendo um rápido aumento da precipitação durante os meses de primavera (setembro-novembro) e uma diminuição em abril, sendo o período de dezembro a fevereiro o mais chuvoso. Entretanto, essa análise não permite verificar se a estação chuvosa foi intensa ou fraca, longa ou curta. Para delimitar a estação chuvosa, utilizou-se dois critérios. O primeiro foi semelhante ao de GKR (ver a definição no item 2) e o segundo foi baseado no Índice-v, com dois limiares, um para valores positivos, e o outro para valores superiores a 4 ms^{-1} . Pelo primeiro critério, o início da estação chuvosa ocorreu na pântada centrada em 04 de novembro e terminou durante a pântada centrada em 3 de abril, totalizando 30 pântadas. Pelo critério do Índice-v com limiar igual a zero, a estação chuvosa começou na pântada centrada em 15 de setembro, e terminou na pântada centrada em 04 de março, totalizando 34 pântadas. Porém, pelo limiar igual a 4 ms^{-1} , a estação chuvosa iniciou na pântada centrada em 30 de outubro e terminou em 04 de março, totalizando uma estação chuvosa de apenas 24 pântadas. Comparando-se esses resultados, nota-se que o Índice-v com limiar de 4 ms^{-1} , identificou o início da estação

chuvosa uma pântada antes do que com o critério de GKR, enquanto o término da estação chuvosa coincide com o Índice-v, com limiar igual a zero. Pelo fato deste estudo ser realizado somente para uma estação chuvosa, torna-se difícil identificar qual desses critérios é o melhor. Entretanto, pode-se dizer que a estação chuvosa na região Centro-Oeste do Brasil ocorreu durante o período da pântada centrada em 4 de novembro de 2001 até a de 4 de março de 2002. Esses critérios precisam ser testados para outros anos, visando verificar qual deles é um bom indicador das datas do início e do término da estação chuvosa, e qual é apenas um indicador da qualidade da estação chuvosa.

O comportamento da convecção sobre a região tropical da América do Sul durante a fase pré-estação chuvosa de 2001/02, apresentou diferenças do observado por Marengo et al. (2001) e por GKR. Neste caso, após a convecção tropical desenvolver-se sobre a região noroeste da América Sul nove pântadas antes do início da estação chuvosa, esta não propagou para sudeste, apenas estendeu-se ao longo dos Andes e sobre o Paraguai e o Sul do Brasil, até que formou a faixa de nebulosidade caracterizando um episódio de ZCAS. Entretanto, a evolução e propagação da nebulosidade foram acompanhadas com o avanço para leste da mudança de direção do vento zonal em 850 hPa de leste para oeste. Esta mudança na direção do vento zonal em 850 hPa é importante para aumentar o transporte de umidade e a convergência de umidade para a região de estudo.

Assim, como em outras regiões sob o domínio da circulação de monção, a estação chuvosa da região Centro-Oeste registrou períodos anômalos secos e chuvosos. Para esses períodos, foi observada a influência positiva da OMJ (índices negativos) nos períodos chuvosos, e negativa (índices positivos) no período seco de 18 a 27 de janeiro. A análise para o período chuvoso de 09 a 15 de janeiro, mostrou que o mesmo esteve associado com ventos de noroeste e de oeste em baixos níveis a leste dos Andes, convergindo sobre a região Centro-Oeste, apresentando uma configuração semelhante a períodos em que a ZCAS está ativa (Herdies et al. 2002). Por outro lado, durante o período seco, os ventos de noroeste em baixos níveis se intensificaram sobre o Paraguai e norte da Argentina.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS V., M. DOYLE, 2002. Midsummer circulation in subtropical South America and related precipitation patterns. *VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002, (http://www-cima.at.fcen.uba.ar/sallj/SALLJ_Conference_extabs_A53.pdf).
- BRAUER, M., 1999. Aspectos sinóticos e Climatológicos associados à Zona de Convergências do Atlântico Sul. Dissertação de mestrado – INPE (no prelo).
- Climanálise. fev. 2002. (<http://www.cptec.inpe.br>).
- DAVIDSON, N. E., J. L. MCBRIDE and B. J. MCAVANEY, 1983: The Onset of the Australian Monsoon During Winter MONEX: Synoptic Aspects. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 496–516.
- _____, _____, and _____, 1984: Divergent Circulations during the Onset of the 1978–79 Australian Monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, **112** (9), 1684–1696.
- DÍAZ A., P. ACEITUNO, 2002: Dipole in convective cloudiness associated to wet and dry episodes in SESA during austral summer. Part I: regional and hemispheric circulation anomalies. *VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002, (http://www-cima.at.fcen.uba.ar/sallj/SALLJ_Conference_extabs_A49.pdf).
- GAN, M.A.; ROPELEWSKI, C.; KOUSKY V.E., 2001. The South America: climate aspects. *The Scientific Assembly of International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences - IAMAS*. Innsbruck, Austria. SO6.2-PO2.
- GARREAUD, R. D., 1999: Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. *Mon. Wea. Rev.*, **127** (5), 901–921.
- HENDON, H. H., and B. LIEBMANN, 1990: A Composite Study of Onset of the Australian Summer Monsoon. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2227–2240
- HERDIES D. L., A. DA SILVA, M. A. F. SILVA DIAS, 2002. The bi-modal pattern of the summer circulation over South America. *VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002, (http://www-cima.at.fcen.uba.ar/sallj/SALLJ_Conference_extabs_A1.pdf).
- HOREL, J. D., HAHMANN A. N., GEISLER, J. E., 1989: An investigation of the annual cycle of the convective activity over the tropical Americas. *J. Climate*, **2**: 1399–1403.
- JONES, C. AND L. M. V. CARVALHO, 2002: Active

- and Break Phases in the South American Monsoon System. *J. Climate*, **15**, 905–914.
- KALNAY, E. M., and COAUTHORS, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- KODAMA, Y.-M., 1992: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 813-836.
- KOUSKY, V. E., 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Bras. Meteor.*, **3**, 217- 231.
- _____, and M. A. GAN, 1981: Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, **33**(6), 538-551.
- MANOEL ALONSO GAN E MARLEY CAVALCANTE DE LIMA MOSCATI MARENGO J. A., B. LIEBMANN, V. E. KOUSKY, N. P. FILIZOLA, and I. C. WAINER, 2001: Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *J. Climate*, **14**, 833-852.
- MURAKAMI T. and A. SUMI, 1982: Southern Hemisphere summer monsoon circulation during the 1978/79 WMONEX. Part II: onset, active and break monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 649-671.
- NICHOLLS, N., J. L. MCBRIDE AND R. J. ORMEROD, 1982: On predicting the onset of the Australian wet season at Darwin. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 14–17.
- RAMAGE, C. S., 1971: *Monsoon Meteorology*. Academic Press, 296 pp.
- RAO V.B., CAVALCANTI, I.F.A., HADA K., 1996: Annual variations of rainfall over Brazil and water vapour characteristics over South America. *J. Geophys. Res.*, 101:26539-26551.
- RODWELL, M.J., 1997: Breaks in the Asian Monsoon: The Influence of Southern Hemisphere
- TROUP, A. J., 1961: variation in upper-tropospheric flow associated with the onset of the Australian summer monsoon. *Indian J. Meteor. Geophys.*, **12**, 217-230.
- VIRJI, H., 1981: A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 599-610.
- WANG, B. FAN, Z., 1999: Choice of South Asian Summer monsoon indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80(4), 629-638.
- Weather Systems. *J. Atmos. Sci.*, 54(22): 2597-2611.
- WMO, 1998: *CLIVAR Initial implementation Plan*. SCRP No. 103, WMO/TD No. 869, ICPO No. 14.
- ZHOU, J., and K.-M. LAU, 1998: Does a monsoon climate exist over South America? *J. Climate*, **11**, 1020-1040.