

INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL: PARTE 1 - ESTUDOS OBSERVACIONAIS

LINCOLN MUNIZ ALVES, JOSE A. MARENGO, HÉLIO CAMARGO JÚNIOR e CHRISTOPHER CASTRO

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climático - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Rodovia Presidente Dutra, Km 39 - CEP 12630-000 Cachoeira Paulista - SP, Brasil
Fone: (83) 3186-8085
E-mail: lincoln@cptec.inpe.br

Recebido Julho 2004 - Aceito Fevereiro 2005

RESUMO

Este trabalho apresenta os padrões atmosféricos e oceânicos dominantes no início da estação chuvosa (onset) da Região Sudeste do Brasil (17-26°S e 40-54°W), bem como sua variabilidade interanual, a partir da análise conjunta dos dados de precipitação produzidos pelo Climate Prediction Center da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), circulação nos baixos níveis da atmosfera (Reanálises do NCEP-NCAR), Radiação de Onda Longa (ROL), obtidos da NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, e Temperatura da Superfície do Mar (TSM), extraídos do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS/NOAA), utilizando diferentes critérios e limiares. Os resultados são para o período 1968-97 e mostraram que: 1) Em média o início da estação chuvosa acontece na pântada 57 (08-12 de outubro), com desvio padrão de ± 2 pântadas; 2) A variabilidade interanual do onset têm mostrado uma associação com anomalias de TSM no Oceano Pacífico. Em outras palavras, a estação chuvosa parece começar mais cedo em anos nos quais a TSM está mais quente e mais tarde em anos nos quais se observam TSM's mais frias; 3) O onset está associado com um intenso transporte de umidade atmosférica da região Amazônica para as latitudes subtropicais.

Palavras-chave: estação chuvosa, variabilidade climática, convecção.

ABSTRACT: ONSET OF THE RAINY SEASON OVER SOUTHEAST OF BRAZIL: PART I - OBSERVATIONAL STUDIES

This paper shows the atmospheric and oceans dominant patterns of the onset over Southeast of Brazil (defined as the region of 17-26°S e 40-54°W), as well as interannual variability, from the analysis between precipitation data by Climate Prediction Center of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), low-level wind fields were obtained from the NCEP/NCAR, Outgoing Longwave Radiation (OLR) and Sea Surface Temperature anomalies were obtained from COADS/NOAA (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set), a given different methods and threshold. The results are examined for the period 1968-97 and showed that: 1) The onset of the rainy season arriving in early October (57 pentad), with standard deviation ± 2 pentad; 2) The interannual variability onset was associated with warm Pacific result in early onset and cold Pacific a delay; 3) There is an apparent association between onset and a stronger moisture transport of the Amazon Basin on this area.

Keywords: onset, climate variability, rainy season.

1. INTRODUÇÃO

O início da estação chuvosa assim como a sua intensidade e variabilidade espacial e temporal, nas diferentes regiões do Brasil, são aspectos importantes do clima. Variabilidade interanual ou de mais longo prazo do início da estação chuvosa podem afetar as atividades humanas, a exemplo da agropecuária e operações de reservatórios para geração de energia elétrica.

Nas regiões tropicais e subtropicais, como a Região Sudeste do Brasil, as datas de início e final da estação, o total acumulado no período, assim como variações na extensão da

estação chuvosa parecem estar relacionadas à variabilidade interanual do total de chuva durante a estação chuvosa. Neste sentido, um melhor entendimento do início da estação (caracterizado pela transição de uma estação seca para chuvosa) está associado à identificação das mudanças na circulação atmosférica, ou seja, estas mudanças podem levar ao estabelecimento de condições meteorológicas que determinam o início da estação.

São vários os métodos que têm sido utilizados para identificar e caracterizar o início das chuvas em diversas regiões do globo. Definições baseadas em mudanças da direção do vento foram usadas para identificar e prever o

início da estação chuvosa nas regiões de monção da Ásia e Austrália: Troup (1961), Ramage (1971), Murakami e Sumi (1982), Holland (1986), Hendon e Liebmann (1990) e Joseph et al. (1991). Estes mesmos autores também pesquisaram o impacto do El Niño e das anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) no início da estação chuvosa daquelas regiões. Outros trabalhos utilizaram a variável Radiação de Onda Longa (ROL), que permite inferir a ocorrência ou não de convecção na América do Sul, como mencionado em Kousky (1988), Horel et al. (1989), Zhou et al. (1998), Veiga et al. (2002), Marengo et al. (2001), Gan et al. (2003). Utilizando a precipitação acumulada, Sansigolo (1989), Sugahara (1991), Virmani (1975), Nicholls et al. (1982), Marengo et al. (2001), Liebmann e Marengo (2001) e Veiga et al. (2002) determinaram o início da estação chuvosa baseado num valor limiar do total de chuva diária acumulada em um determinado período (geralmente por pântadas, ou seja, totais acumulados a cada 5 dias).

Em relação às forçantes dinâmicas que determinam o início da estação chuvosa, Liebmann e Marengo (2001), Marengo et al. (2001) e Fu et al. (1999) observaram que a estação chuvosa nos setores central e norte da Amazônia começou mais tarde e foi mais fraca durante alguns anos com forte aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical (El Niño 1983), consistente com os estudos mostrado por Kousky et al. (1984), Ropelewski e Halpert (1987), Kousky e Ropelewski (1989), e uma série de outros pesquisadores.

Verificaram também que, na porção sul da Amazônia esta data de início tem fortes associações com as características locais da camada limite e está pouco associada às características dos oceanos tropicais, como é o caso da Amazônia Central. Liebmann e Marengo (2001) e Marengo et al. (2001) têm identificado o início da estação chuvosa e sua variabilidade interanual para a Amazônia através de análises pentadais de chuva. Estes autores mostraram que as chuvas começam mais cedo na Foz do Amazonas e gradativamente mais tarde em direção ao sudoeste. Para a região de Monção da América do Sul, Veiga et al. (2002) e Gan et al. (2003) utilizaram dados de ROL e chuva e mostraram que o início da estação chuvosa começa entre setembro e outubro e sugeriram impactos das anomalias de TSM do Pacífico e Atlântico Tropical na data de início da estação chuvosa, sem contudo, particularizar para anos normais ou sem forçante intensa associadas ao El Niño ou La Niña. Esse período coincide com o início da estação chuvosa no sudeste do Brasil, conforme sugerido por Sugahara (1991).

O presente trabalho tem como propósito determinar o início da estação chuvosa na Região Sudeste do Brasil (17-26°S e 40-54°W), assim como suas flutuações espaciais e temporais. Além disso, foi analisada a evolução os campos de circulação atmosférica, convecção e as características oceânicas típicas que antecedem e sucedam o início da estação chuvosa, bem como suas variações interanuais. Os dados utilizados para identificar o início da estação chuvosa e as mudanças nos campos dinâmicos que

acompanham este início foram a precipitação, ROL e os ventos nos níveis baixos da atmosfera. Também foi possível identificar eventuais associações entre os campos de temperatura de superfície do mar nos trópicos e subtropicais que podem acompanhar este início.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1. Dados de Precipitação

Foram utilizados dados diários de precipitação, gerados em pontos de grade regular de 1°x1° utilizando o método de interpolação Cressman (1959), produzidos pelo Climate Prediction Center da NOAA/EUA (National Oceanic and Atmospheric Administration) através do programa Pan American Climate Studies (PACS) a partir dos dados de precipitação diária das estações meteorológicas do CPTEC/INPE, ANEEL e INMET. Estes dados foram, para o período entre 1979 e 1997.

2.2. Dados de ROL, Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e Reanálises do NCEP

Foram utilizados dados diários de ROL obtidos da NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado (EUA) em pontos de grade regular de 2.5°x2.5° para o período de 1979 a 2000. Além disso, foram usados dados de TSM do período compreendido entre 1950 e 2000 extraídos do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS/NOAA). Para o cálculo das anomalias, foi utilizada climatologia de TSM, calculada para o período de 1950 a 1979 (Reynolds e Smith, 1994 e Smith et al., 1996).

Adicionalmente, a análise da circulação atmosférica nos baixos níveis (850 hPa) foi feita a partir dos dados diários das componentes zonal e meridional do vetor vento para o período 1974-1997, obtidas das reanálises do NCEP (Kalnay et al., 1996) e fornecidas pelo NCAR.

2.3. Metodologia

Inicialmente foram geradas médias pentadais de precipitação, ROL e vento, a partir dos dados diários, sem sobreposição de datas, obtendo-se então, para cada ano um total de 73 pântadas. Para um ano bissexto, o dia 29 de fevereiro foi incluído na pântada 12 (25/Fev-01/Mar), de tal forma que, o valor desta pântada representa uma média de seis dias.

Após o cálculo das pântadas, foi determinado o início da estação chuvosa (onset) em cada ponto de grade, com base nos dados de ROL, utilizando-se a definição proposta por Kousky (1988). O critério é o seguinte: a) primeira ocorrência de ROL médio inferior a 240 W/m²; b) a condição (a) ser precedida por 12 pântadas tendo pelo menos em 10 pântadas > 240W/m²; c) a condição (a) ser seguida por 12 pântadas com pelo menos 10 pântadas < 240 W/m². Ressalta-se que a escolha do limiar foi baseada num valor que mais se aproxima da transição entre o período seco e o chuvoso, de acordo com a

climatologia pentadal de ROL estimada. Em seguida, também foram analisados limiares de 220 e 230 W/m^2 , utilizando os mesmos critérios discutidos acima. Este valor limiar de ROL representa um valor associado ao desenvolvimento de convecção que, na região Sudeste, está associada à entrada das frentes frias e da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Posteriormente, adotou-se o critério proposto por Virmani (1975) e Sugahara (1991) para as pântadas de precipitação, com as seguintes imposições: a) a partir da pântada de número 37 (30/Junho-4/Julho), que está dentro da estação seca; b) a primeira ocorrência de uma pântada ≥ 3 mm; c) a condição (b) ser seguida e precedida por 5 pântadas com pelo menos 2 pântadas > 3 mm. A metodologia aplicada também foi utilizada para limiares de 4 e 5 mm.

2.4. Condições atmosféricas e oceânicas

Após a determinação das pântadas médias em cada ponto de grade, efetuou-se o cálculo das correlações com defasagens de 0, 1 e 2 meses entre a pântada média anual, na área de estudo, e as anomalias mensais de TSM. Ressalta-se que, a defasagem 0 significa a correlação entre as anomalias de TSM do mês de início da estação chuvosa da série (1950-2000). A defasagem 1 corresponde a um meses antes do mês do início, e, no caso da defasagem 2, seria de dois meses antes.

Foi calculada a climatologia pentadal para o vetor vento (baixos níveis), com base nas reanálises do NCEP/NCAR, e de convecção, baseados nos dados de ROL. Em seguida, foi feito um composto das quatro pântadas anteriores e posteriores à pântada definida como onset, assim como, calculada a diferença "Depois-Antes", afim de identificar as mudanças na circulação e convecção, associadas ao início da estação chuvosa na região de estudo.

2.5. Área de estudo

A Figura 1 mostra a área de estudo e compreende, partes das Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Nesta área, os regimes de precipitação apresenta-se dividido em dois períodos: a estação chuvosa, novembro a abril, e a estação seca, maio a outubro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variabilidade sazonal da chuva na área de estudo é ilustrada na Tabela 1 que mostra a precipitação média mensal e o número médio de dias com chuva para o período de 1968 a 1997. A análise desta tabela destaca que, no período seco, a uma enorme redução no número de episódios com precipitação observada, entretanto, é notável que a periodicidade do número médio de dias com chuva retorna em outubro. Nota-se um aumento significativo do total acumulado de chuva de outubro quando comparado com setembro. Portanto, essas características aparentes revelam modificações nos padrões da circulação de grande escala e, conseqüentemente, refletem o início do período úmido.

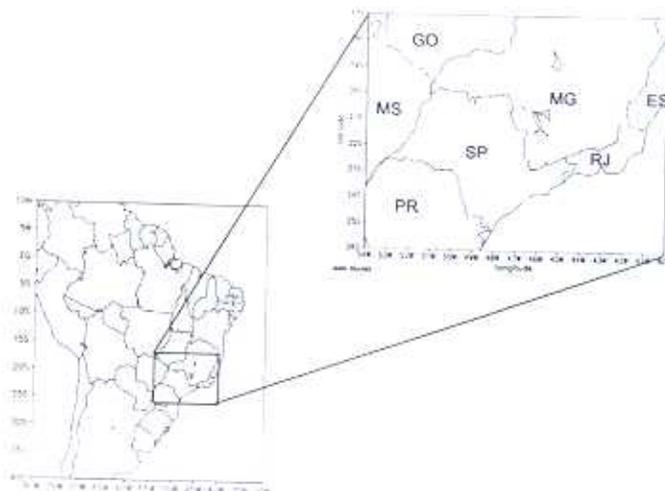


Figura 1: Área do Brasil selecionada para estudo (retângulo preto).

Mês	Prec. Mensal (mm)	Nº dias s/ chuva
JAN	208,8	18
FEV	152,1	14
MAR	143,1	12
ABR	80,2	3
MAI	56,7	2
JUN	38,8	1
JUL	33,6	1
AGO	33,5	1
SET	69,0	3
OUT	119,9	8
NOV	162,9	13
DEZ	211,1	19

Tabela 1: Valores médios mensais de precipitação (mm) e número de dias com chuva, sobre a área de 17-26°S e 40-54°W, entre os anos de 1968 e 1997.



Figura 2: Séries temporais dos valores climatológica pentadial sobre a área de estudo para os campos de: precipitação (mm/dia) – linha -pontilhada; e ROL (W/m^2) – linha contínua. No centro superior da figura o número representa o coeficiente de correlação entre as duas séries.

A série pentadal climatológica referente ao período de 1968 a 1997 de precipitação e ROL, que é utilizado para o monitoramento da variabilidade intrasazonal e interanual por ser um bom indicador de convecção em regiões tropicais e subtropicais (Kousky, 1988; Horel et al., 1989; Janowiak, 1992; Kousky e Kayano, 1994) é mostrada na Figura 2. Pode-se observar uma alta correlação entre a ROL e a precipitação integrada na região de estudo (0,97). É interessante destacar como os ciclos sazonais climatológicos de ROL e precipitação estão em fase, com mínimos valores de ROL coincidentes com máximos valores de precipitação, e vice versa.

De maneira geral, o comportamento das séries apresentam valores de ROL acima de 250 W/m^2 e precipitação não superior a 2 mm/dia no período seco. A origem de uma inclinação ascendente pode ser inferida subjetivamente em meados da primeira quinzena de outubro, onde podem ser observados valores iguais ou superiores a 3 mm/dia (precipitação) e menores ou iguais a 240 W/m^2 (ROL). Esta ascensão é um indicador do início da estação chuvosa, entretanto, não tão clara como no caso do início das chuvas de monção na Índia ou Norte de Austrália (Hendon & Liebmann, 1990).

3.1. VARIAÇÃO ESPACIAL DA DATA DO ONSET DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

A Figura 3 mostra a distribuição espacial das pântadas médias climatológicas para a região central do Brasil, utilizando os limiares de 3 mm/dia para precipitação (a) e 240 W/m^2 para ROL (b). É interessante destacar a variabilidade espacial das pântadas, com períodos alternados a intervalos de aproximadamente 10 dias entre os pontos de grade, característica observada em ambas as variáveis. Esta forte variabilidade pentadal intra-regional, durante o início das chuvas, evidencia um regime de transição, associado à ação dos principais sistemas atmosféricos causadores de chuva, tais como as frentes frias, a convecção local organizada e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Entretanto, embora exista esta variabilidade, pode-se considerar que o mecanismo dinâmico do onset é o mesmo em toda a Região Sudeste.



Para o Estado de São Paulo, os resultados concernentes à média espacial indicam o onset, em 10 de outubro (pântada 57), data central da pântada, para a precipitação e em 05 de outubro (pântada 56) para ROL, com um desvio padrão de ± 2 pântadas. A análise destas datas sugere uma concordância qualitativa com aquelas encontradas por Kousky (1988) e Sugahara (1991), uma vez que a determinação das datas é sensivelmente afetada pela variação dos limiares e o período escolhido. O Estado do Mato Grosso do Sul apresentou também o início nas pântadas 56-57, aproximadamente. Por outro lado, no Paraná a estação chuvosa começa mais cedo (pântada 47-48). No Rio de Janeiro e Espírito Santo, as chuvas começam nas pântadas 58-59. Em Minas Gerais o início das chuvas ocorre nas pântadas 57-58, no sul do Estado, e nas pântadas 60-62, no norte do Estado. Estas datas foram consistentes com a presença dos mecanismos que produzem chuva na região: as frentes frias, que são mais frequentes em setembro no sul (Lemos e Calbete, 1996), e a Zona de Convergência do Atlântico Sul, que atua no norte São Paulo e Minas Gerais e são mais frequentes e intensas já no início de dezembro (Liebmann et al., 1999).

Uma pequena variação no limiar para a determinação da pântada média, determina uma variabilidade espacial e temporal nas datas do onset. Neste sentido, utilizou-se os limiares 4 e 5 mm, para precipitação, e 230 e 220 W/m^2 , na ROL (Figuras 4 e 5). A priori, esperaria-se que os resultados indicassem um certo retardamento, visto que estamos aplicando maior rigor no critério determinado. Em conjunto, as Figuras 4 e 5 mostram o retardamento do onset de aproximadamente 15 dias e confirma que a variabilidade temporal da pântada média é resultado dos limiares escolhidos. As datas entre 30 de outubro (Pântada 61) e 09 de novembro (Pântada 63) são evidentes na análise de ambas as variáveis, quando da alteração dos limiares.

É importante destacar que, dinamicamente, sempre existe uma certa dificuldade em se encontrar o início do onset, uma vez que, após um período úmido, pode ocorrer um período seco (veranico), ou seja, um "falso" onset da estação chuvosa.



Figura 3: Pântadas médias do início da estação chuvosa na região central do Brasil, para o período de 1968 a 1997, baseados em dados pentadais de precipitação com limiar de 3 mm (a) e ROL com limiar de 240 W/m^2 (b). Os números representam a pântada média em cada ponto da grade.

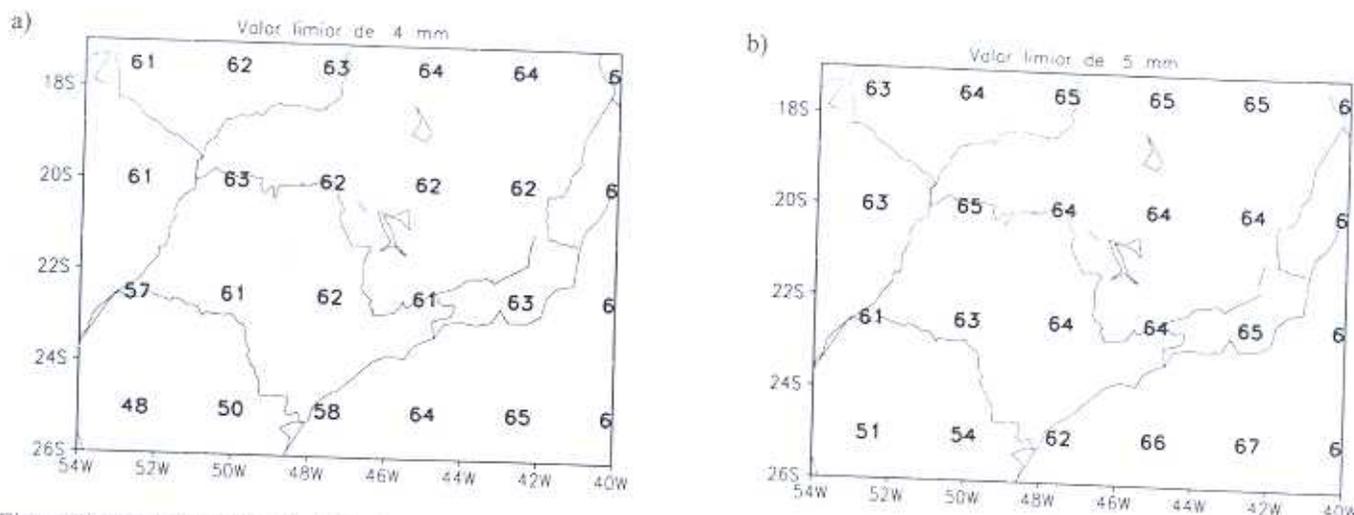


Figura 4: Pêntadas médias do início da estação chuvosa na região central do Brasil, para o período de 1968 a 1997, baseados em dados pentadais de precipitação com limiares de 4 mm (a) e 5 mm (b). Os números representa a pêntada média em cada ponto da grade.

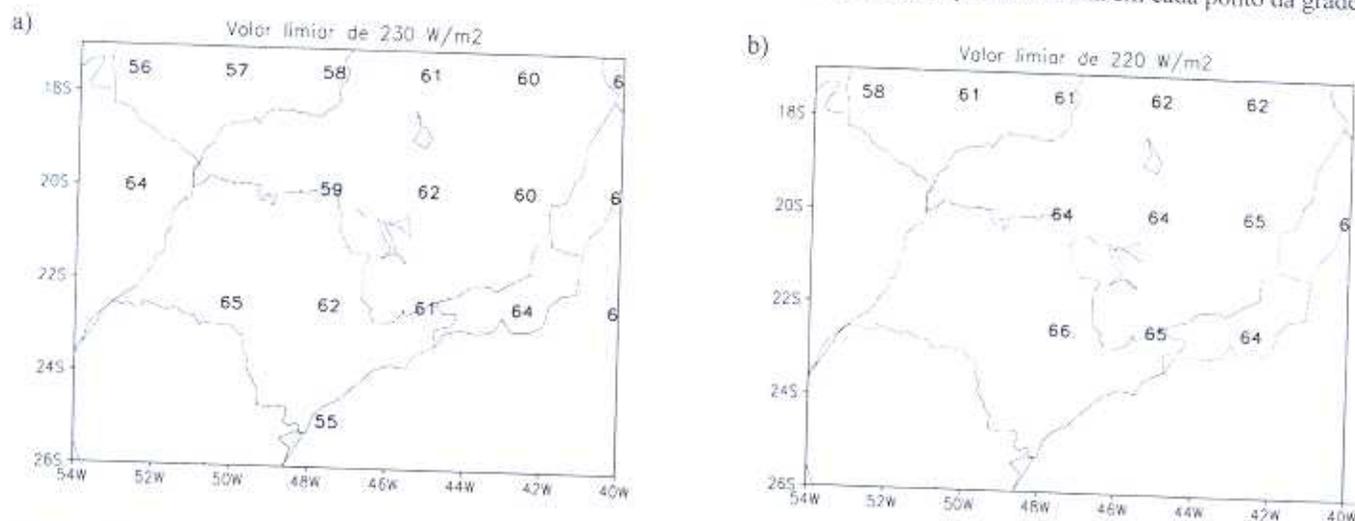


Figura 5: Pêntada média do início da estação chuvosa na região central do Brasil, para o período de 1968 a 1997, baseado em ROI com limiares de 230 W/m² (a) e 220 W/m² (b). Os números representam a pêntada média em cada ponto da grade. Os pontos de grade em branco, são pontos onde não foi satisfeito o critério estabelecido.

3.2. MUDANÇAS NA CIRCULAÇÃO E CONVECÇÃO ASSOCIADAS AO ONSET

A Figura 6 mostra composições da circulação em baixos níveis (850 hPa) para os períodos que antecedem (Antes) e sucedem (Depois) a pêntada climatológica de início da estação chuvosa (pêntada 57). Igualmente, apresenta-se o campo de diferença "Depois-Antes". Desta maneira, procura-se analisar as mudanças ocorridas na circulação zonal e meridional antes e após o início climatológico da estação chuvosa. Uma análise similar feita por Marengo et al. (2001) e Liebmann e Marengo (2001), para Amazônia, ajudou a identificar as mudanças na circulação que determinam o onset da estação chuvosa daquela região.

O onset da estação chuvosa no centro-oeste (Mato Grosso, Tocantins e Mato Grosso do Sul) e parte do sudeste do Brasil esta associado com uma intensificação do fluxo de noro-

este na faixa entre 10° e 22°S, no escoamento em baixos níveis, mostrando um intenso transporte de umidade atmosférica da região Amazônica para as latitudes subtropicais. Desta forma, estabelece-se uma esteira transportadora de umidade que permite uma intensificação da ZCAS, cuja posição climatológica ocorre em dezembro nesta região do Brasil, dando início a estação de chuvas (Nogues Pagle & Mo, 1997 e Liebmann et al., 1999) em algumas áreas. Porém, para algumas regiões, aparentemente não existe uma diferença significativa na circulação de baixos níveis antes e depois do início da estação chuvosa, ao menos tão intensa como no onset da estação chuvosa na Amazônia (Marengo et al., 2001) ou sobre o centro-oeste do Brasil (Gan et al., 2003). Esta situação sugere que, uma vez que a estação chuvosa tenha começado, a convecção poderia ser mantida em maior grau pela umidade do solo acumulada durante as pêntadas iniciais e em menor grau pelo transporte de umidade atmosférica trazido pelo fluxo de noroeste da bacia Amazônica.

3.3. VARIABILIDADE INTERANUAL DO ONSET

Enquanto a uniformidade das datas do início da estação chuvosa é explicada pela associação da ROL e da precipitação, as possíveis variações entre o adiantamento ou atraso da data podem ser, ainda que parcialmente, explicadas por padrões extremos de anomalias das TSM's no Oceano Atlântico Tropical ou Pacífico Equatorial, como por exemplo, o El Niño 1982/1983 e a La Niña 1988/1989. Esses dois verões (Hemisfério Sul) foram escolhidos em virtude da variabilidade da precipitação ter sido representativa nestes dois eventos extremos de Oscilação Sul (OS), onde as TSM's do Oceano Pacífico Tropical foi uma forçante intensa e que afetou significativamente a circulação geral da atmosfera.

A variabilidade interanual das datas de início da estação chuvosa é mostrada na Figura 7. De maneira geral, observa-se alta variabilidade temporal da pênstada do onset da estação chuvosa em relação à pênstada climatológica (Pênstada 57). Além disso, é notável observar que, no ano do episódio El Niño, as chuvas começaram relativamente mais cedo quando comparada com o episódio de La Niña. Entretanto, apesar desta característica nestes episódios isolados, verifica-se que estes se encontram dentro do intervalo do desvio-padrão em ambos os casos, ressaltando-se, desta forma, a existência de outros fatores dinâmicos, além das forçantes remotas do Oceano Pacífico, que explicam o adiantamento ou atraso da estação chuvosa com eventos extremos (El Niño ou La Niña).

Outra característica da estação chuvosa que pode ou não ter relação com o início prematuro ou tardio da estação chuvosa é a qualidade da estação, ou seja, o total de precipitação acumulada no período entre novembro e março. Neste sentido, o total acumulado entre novembro e março foi dividido em três categorias: seco, normal ou chuvoso. Na categoria normal estão compreendidos os totais acumulados de chuva que ocorrem no intervalo $(\mu - \sigma/2)$ e $(\mu + \sigma/2)$; como chuvoso é classificado o total que foi superior a $(\mu + \sigma/2)$; e, na categoria seco, o total que foi inferior a $(\mu - \sigma/2)$. Nestas equações, μ é a média do total acumulado de chuva nos meses para o período de 1968 a 1997 e σ o desvio padrão sobre toda a amostra de dados. A Figura 8 mostra um gráfico de dispersão entre a pênstada média e a precipitação acumulada, no período sobre a Região Central do Brasil, durante os anos de estudo. Pode-se observar que, 69% dos casos encontram-se entre as pênstadas 54 e 60, ou seja, pênstada média $(57) \pm$ o desvio da amostra, considerando um limiar de 3 mm. Portanto, a qualidade da estação independente da antecipação ou atraso das chuvas. Além disso, sugere que os totais acumulados no período sejam resultados de interações entre circulações atmosféricas intra-sazonais, tais como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, Zona de Convergência do Atlântico Sul, frentes frias e padrões oceânicos do Atlântico Tropical Sul, que favorecem ciclogêneses intensas. Conclusão similar foi obtida na Amazônia por Marengo et al. (2000), onde o total acumulado de chuva, durante a estação chuvosa, parece ser independente do início mais cedo ou mais tarde.

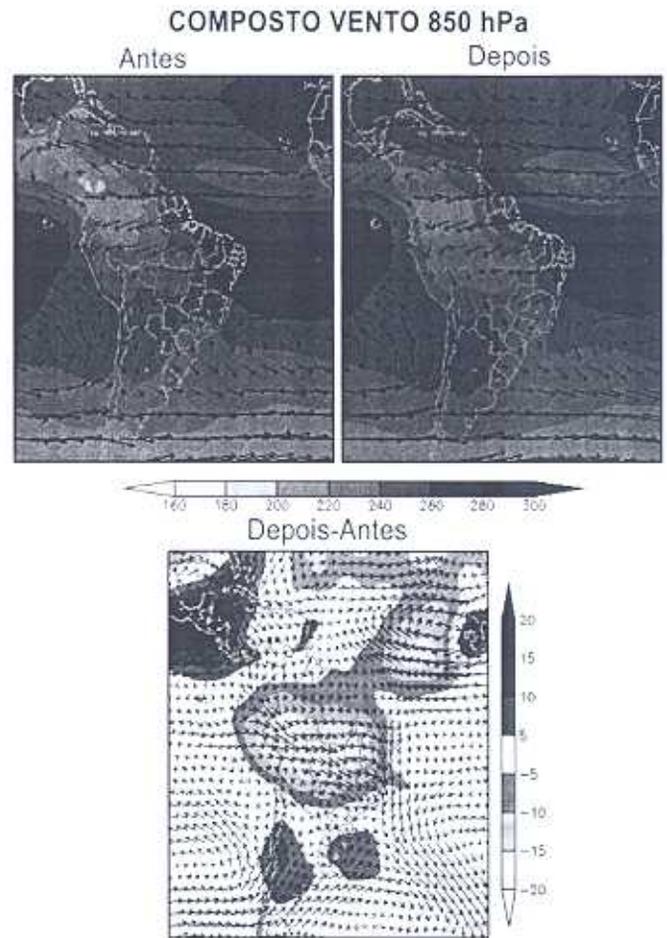


Figura 6: Composições do vento no nível de 850 hPa e ROL para os períodos que antecede (Antes) e sucede (Depois) a pênstada climatológica do início da estação chuvosa, bem como para a diferença "Depois-Antes".

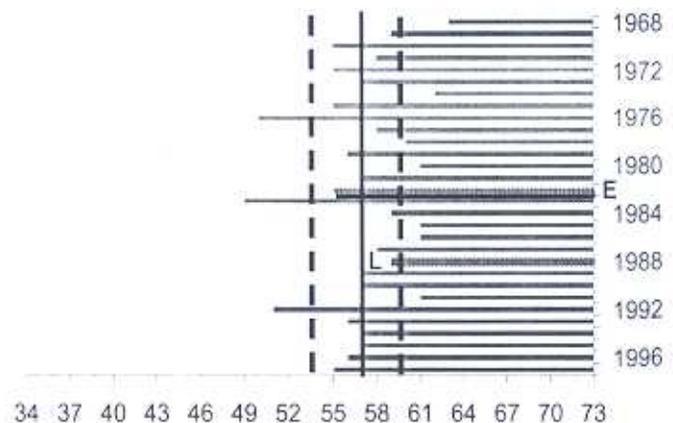


Figura 7: Variabilidade interanual das datas de início das chuvas na região de estudo. As barras horizontais indicam o início da pênstada; as linhas verticais indicam a pênstada média (linha cheia) e \pm o desvio padrão (linha tracejada). A linha horizontal com "E" representa o episódio: El Niño 1982/83, e com "L" a La Niña 1988/89.

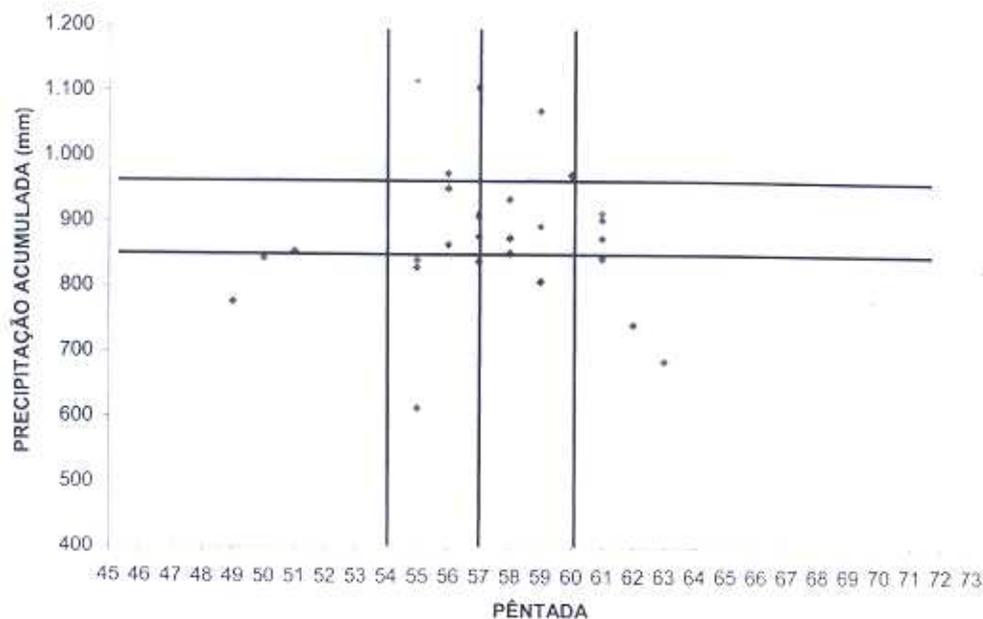


Figura 8: Gráfico de dispersão entre as pêntadas médias e a precipitação acumulada entre os meses de novembro e março de 1968 a 1997 na Região Central do Brasil.

3.4. ASSOCIAÇÕES ENTRE O ONSET E AS ANOMALIAS DE TSM

As características termodinâmicas de grande escala têm algum grau de controle no início da estação chuvosa em regiões tropicais, tanto pelas forçantes remotas associadas às anomalias de TSM, como pelos efeitos regionais locais associados a uma umidificação da camada limite, devido às características da superfície (umidade do solo, cobertura vegetal). Estudos de modelagem climática (Marengo et al. 2003, Cavalcanti et al. 2002, Koster et al. 2000) mostram que, na Região Sudeste do Brasil, a forçante remota da TSM pode ser menos importante que as condições de umidade de solo na variação interanual de chuva na região.

A Figura 7 sugere a existência de alguma associação entre o onset no Sudeste do Brasil, que, contudo, parece ser mais clara somente durante anos com forçantes extremas da TSM no Pacífico Equatorial e não permite detectar alguma associação entre a data do onset e as TSM's do Oceano Atlântico Tropical ou Subtropical adjacente à Região Sudeste. As Figuras 9a a 9c mostram as correlações entre a pêntada média do início da estação chuvosa predominante na área estudada e as anomalias de TSM nos oceanos tropicais. As linhas em azul evidenciam as regiões cuja significância estatística atinge o nível de 1%. Para o cálculo da significância estatística foi aplicado o teste t-Student. Para a pêntada climatológica do onset, as correlações são feitas com os campos de TSM de agosto, setembro e outubro.

Nos setores central e leste do Oceano Pacífico Equatorial, observa-se um sinal consistente de correlações negativas, especialmente em agosto, sendo o sinal estatisticamente significativo ao nível de 1% nos meses de agosto e setembro. Nestes meses, observa-se, geralmente o início de episódios El

Niño. Ressalta-se que, no período de análise 1979-97, foram observados 3 eventos fortes (1982-83, 1990-94 e 1997) e 2 eventos moderados (1986-87 e 1994-95). Os valores dos coeficientes de correlação sugerem que águas superficiais mais frias (La Niña) no Pacífico Leste podem estar associadas a um atraso do início da estação chuvosa na Região Sudeste. Da mesma forma, águas superficiais mais quentes, como no caso de eventos El Niño, podem estar associadas ao início prematuro da estação chuvosa na região em estudo. No mês de agosto, o campo de TSM, no Oceano Atlântico Equatorial, apresenta correlações positivas, sugerindo que águas superficiais mais quentes estariam associadas a um adiamento do início da estação chuvosa no Sudeste.

No litoral da Região Sudeste, no mês de setembro, observa-se um sinal consistente de correlações positivas com valores estatisticamente significativos. Estas correlações positivas indicam que a presença de anomalias positivas de TSM naquele setor está relacionada a um atraso do início da estação chuvosa. Dinamicamente, tais correlações positivas favorecem uma situação estacionária de sistemas frontais, o que mantém a convecção na região sul do País e dificulta sua evolução para latitudes mais ao norte. Climatologicamente, o mês de setembro apresenta a maior frequência de frentes frias que atuam no litoral das Regiões Sudeste e Sul do Brasil, segundo Lemos e Calbete (1996). Outra possível explicação para as altas correlações entre TSM de setembro e o início da estação chuvosa no sudeste é que o litoral desta região apresenta os valores mais baixos do ano nos meses de agosto e setembro. Assim, flutuações de TSM, em setembro, nesta região poderiam ter contribuído o aumento. Em geral, as correlações não são tão altas como no caso do início da estação chuvosa na Amazônia Central (Marengo et al. 2001), sugerindo que a convecção na Região Sudeste deve-se às altas temperaturas próximos à superfície.

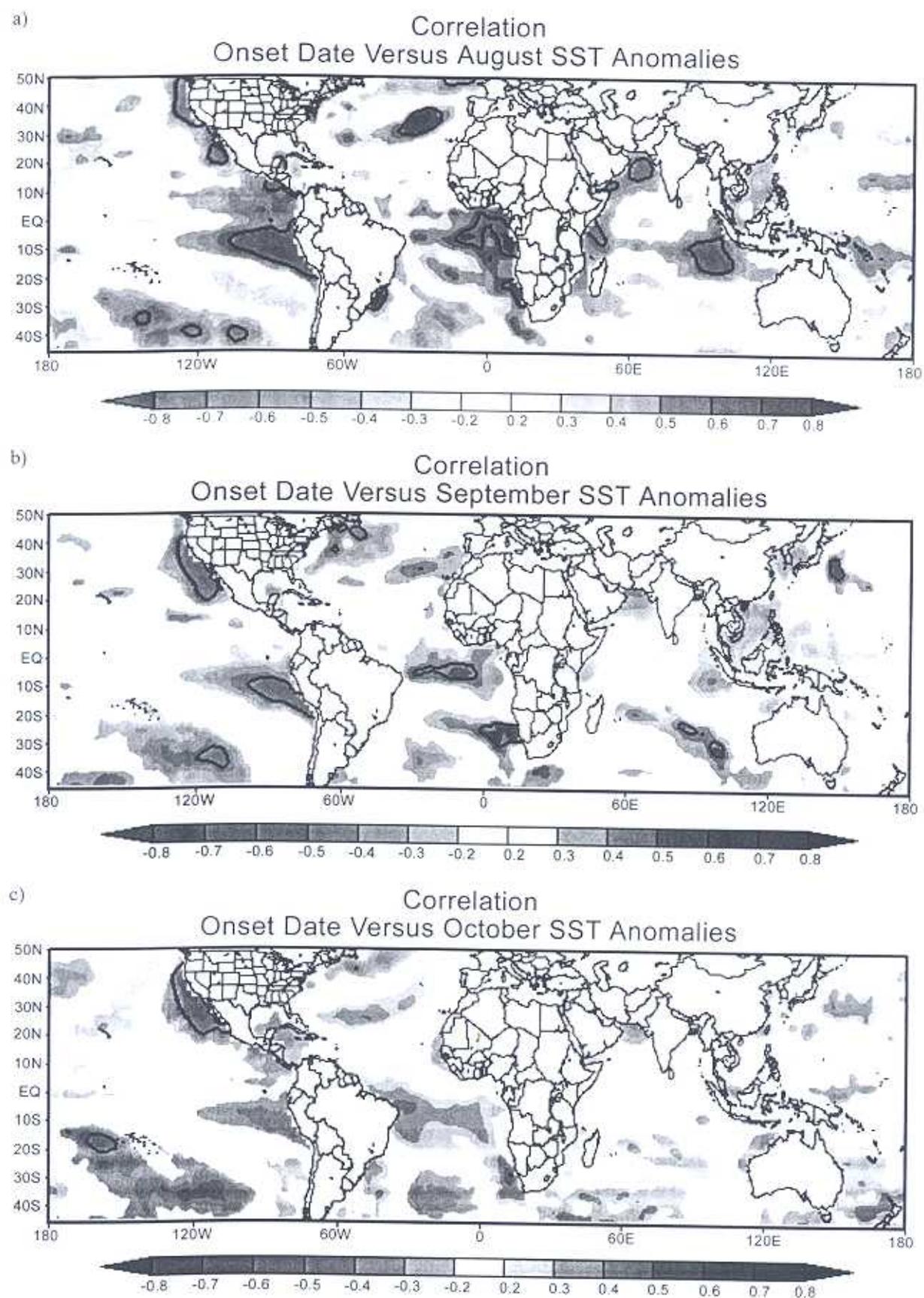


Figura 9: Coeficientes de correlação entre a pêntrada média de início da estação chuvosa e anomalias da TSM nos Oceanos Tropicais: (a) agosto, (b) setembro, (c) outubro. As linhas azuis indicam áreas cuja significância estatística atinge o nível de 1%

4. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo identificar o início da estação chuvosa no Sudeste do Brasil, baseado na análise conjunta dos campos de chuva, circulação nos baixos níveis e convecção, utilizando diferentes critérios e limiares de chuva e ROL, que têm sido aplicados com sucesso em outras regiões do Brasil. Os resultados são para o período 1968-97.

O onset da estação chuvosa é definido usando um limiar de chuva média pentadal que ultrapassa um valor climatológico. Usando esta definição, os resultados mostram, em média, que o início da estação chuvosa na Região Sudeste acontece na pântada 57 (08-12 de outubro), com um desvio padrão de ± 2 pântadas. As chuvas começam mais cedo na Região Sul do Brasil (pântadas 44-46) e mais tarde no norte de Mato Grosso (pântadas 60-62), o que implica numa diferença de quase 15-20 pântadas (2-3 meses) entre as datas de início da estação chuvosa entre o sul e o norte da Região Sudeste (eixo Santa Catarina-Minas Gerais). Estas datas coincidem com a maior frequência das frentes frias no sul do País, em setembro, e com a fase ativa da ZCAS, durante dezembro. Estas mesmas regiões apresentam uma sazonalidade diferente em relação à ocorrência da estação chuvosa.

Variações interanuais do onset na Região Sudeste têm mostrado uma associação com anomalias mais quentes nas águas superficiais do Oceano Pacífico. Em outras palavras, a estação chuvosa parece começar mais cedo em anos nos quais a TSM está mais quente no Pacífico Equatorial e mais tarde em anos nos quais se observam TSM's mais frias no Pacífico Central. Porém, esta variabilidade localiza-se entre os limites do desvio padrão e não parece ser tão forte como em outras regiões tropicais.

Outros fatores de caráter mais local parecem ter um efeito importante não só no onset mais também na qualidade da estação chuvosa, a exemplo da umidade do solo, sem precisar do intenso transporte de umidade da Amazônia, como é o caso da região da ZCAS, em Minas Gerais e o centro-oeste do Brasil onde a estação chuvosa começa mais tarde (dezembro).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Inter American Institute for Global Change (IAI) por ter financiado este estudo, CRN 055 PROSUR, e pelo projeto temático da FAPESP 01/13816-1 liderado por Jose Marengo. Os agradecimentos também são extensivos à Meteorologista Anna Bárbara C. de Melo e ao revisor anônimo cujos comentários e sugestões foram altamente relevantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P. et al. Global climatological features in a simulation using CPTEC/COLA AGCM. *Journal of Climate*, v.15, p.2965-2988, 2002.

FU, R.; ZHU, B.; DICKINSON, R. E. How do atmosphere and land surface influence seasonal changes of convection in the tropical Amazon. *Journal of Climate*, v.12, p.1306-1321, 1999.

GAN, M.; KOUKSY, V.; ROPELEWSKI, C. The South American monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. *Journal of Climate*, v.17, n.1, p.47-66, 2004.

GAN, M.; MOSCATI, M. L. Estação chuvosa de 2001/2002 na região centro-oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.18, n.2, p.183-196, 2003.

HENDON, H.; LIEBMANN, B. A composite study of the onset of the Australian summer monsoon. *Journal Atmospheric Sciences*, v.47, p.2227-2240, 1990.

HOLLAND, G. Interannual variability of the Australian monsoon at Darwin. *Monthly Weather Review*, v.114, p.594-604, 1986.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of Climate*, v.2, p.1388-1403, 1989.

JANOWIAK, E. J. Tropical Rainfall: A comparison of satellite-derived rainfall estimates with model precipitation forecasts, climatologies, and observations. *Monthly Weather Review*, v.120, p.448-462, 1992.

JOSEPH, P.; LIEBMANN, B.; HENDON, H. Interannual variability of the Australian summer monsoon onset: possibly influence of Indian summer monsoon and El Niño. *Journal of Climate*, v.5, p.529-538, 1991.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R. et al. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.77, p.437-471, 1996.

KOSTER, R.; SUAREZ, M. J.; HEISER, M. Variance and predictability of precipitation at seasonal-to-interannual timescales. *Journal of Hydrometeorology*, v.1, p.26-46, 2000.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.3, p.217-231, 1988.

KOUSKY, V. E.; M. T. KAYANO. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, v.7, p.1131-1143, 1994.

KOUSKY, V. E., KAGANO, M. T., CAVALCANTI, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, v.36A, p.490 - 504, 1984.

- KOUSKY, V. E.; C. F. ROPELEWSKI. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.4(2), p.351-363, 1989.
- LEMOS, C.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1991. *Climanalise, Edição Comemorativa de 10 anos*. Cachoeira Paulista, São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/clients/p10a/14.html>> Acesso em: 15 nov 2003.
- LIEBMANN, B.; MARENGO, J. The Seasonality and Interannual Variability of Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v.14, p.4308-4318, 2001.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. *Journal of Climate*, v.12, p.1877-1891, 1999.
- MARENGO, J.; CAVALCANTI, I. F. A.; SATYAMURTY, P. et al. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. *Climate Dynamics*, v.21, p.459-475, 2003.
- MARENGO, J.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N.; WAINER, I. On the Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v.14, p.833-852, 2001.
- MURAKAMI, T.; SUMI, A. Southern hemisphere summer monsoon circulation during 1978-79 WMONEX. Part I: Onset, active and break monsoon. *Journal Meteorological Society Japan*, v.60, p.649-671, 1982.
- NICHOLLS, N.; MCBRIDE, J. L.; ORMEROD, R. On predicting the onset of the Australian set season at Darwin. *Monthly Weather Review*, v.110, p.14-17, 1982.
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Monthly Weather Review*, v.125, p.279-291, 1997.
- RAMAGE, C. S. *Monsoon Meteorology*. Academic Press, p.269, 1971.
- REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *Journal of Climate*, v.7, p.929-948, 1994.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626, 1987.
- SMITH, T. M.; REYNOLDS, R. W.; LIVEZEY, R. E.; STOKES, D. C. Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. *Journal of Climate*, v.9, p.1403-1420, 1996.
- SANSIGOLO, C. A. Variabilidade interanual da estação chuvosa em São Paulo. *Climanalise*, v.4, n.9, p.40-43, 1989.
- SUGAHARA, S. Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais de precipitação no estado de São Paulo. São Paulo. USP, 1991. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- TROUP, A. J. Variations in upper-tropospheric flow associated with the onset of the Australian monsoon. *Indian Journal Meteorological Geophysical*, v.12, p.217-230, 1961.
- VEIGA, J.; MARENGO, J.; RAO, V. B. A influencia das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n.2, p.181-194, 2002.
- VIRMANI, S. M. The agricultural climate of the Hyderabad regions in relation to crop planning. Internal Report, Farming Systems Program. ICRISAT, Hyderabad, India, p.22, 1975.
- ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America. *Journal of Climate*, v.11, p.1020-1040, 1998.