

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Estudo sobre a viabilidade do uso de reanálise na caracterização do sistema de monção da América do Sul

Vinícius Albuquerque de Almeida

Defesa de Dissertação do curso de Mestrado em Meteorologia do Programa de Pós-graduação do Departamento de Meteorologia, do Instituto de Geociências, do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientadores: Prof. Dra. Ana Maria Bueno Nunes
Prof. Dr. Edilson Marton

Rio de Janeiro
Agosto/2016

Estudo sobre a viabilidade do uso de reanálise na caracterização do sistema de monção da América do Sul

VINÍCIUS ALBUQUERQUE DE ALMEIDA

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Avaliada por:


Profª. Ana Maria Bueno Nunes, D.Sc.


Prof. Edilson Marton, D.Sc.


Profª. Fernanda Cerqueira Vasconcellos D.Sc.


Prof. Hugo Abi Karam, D.Sc.


Prof. Marcio Cataldi, D.Sc.

Rio de Janeiro
Agosto de 2016

Almeida, Vinícius Albuquerque de Almeida

A447e Estudo sobre a viabilidade do uso de reanálise na caracterização do sistema de monção da América do Sul / Vinícius Albuquerque de Almeida Almeida. - Rio de Janeiro, 2016. 96 f.

Orientador: Ana Maria Bueno Nunes.

Coorientador: Edilson Marton.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, 2016.

1. Sistema de Monção da América do Sul. 2. Precipitação. 3. Comparação. 4. Reanálise. I. Marton, Edilson, orient. II. Bueno Nunes, Ana Maria, coorient. III. Título.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA SIGLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3. METODOLOGIA.....	15
4. RESULTADOS.....	22
5. SÍNTESE E CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICE A.....	75
APÊNDICE B.....	83
APÊNDICE C.....	84

RESUMO

Estudo sobre a viabilidade do uso de reanálise na caracterização do sistema de monção da América do Sul

Vinicius Albuquerque de Almeida

August / 2016

Orientadores: Prof. Dra. Ana Maria Bueno Nunes

Prof. Dr. Edilson Marton

A região tropical da América do Sul possui regimes sazonais bem distintos, onde o verão é um período marcado por chuvas mais abundantes e o inverno caracterizado por um período mais seco. Em 1998, Zou e Lau encontraram um padrão de reversão sazonal da direção do vento entre a estação de inverno e a estação de verão, sobreposto ao vento médio anual em baixos níveis, caracterizando o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). Nos últimos anos, a variabilidade espacial e temporal da SMAS tem sido estudada a partir de reanálises globais. Neste contexto, produtos de reanálise cada vez mais refinados estão sendo utilizados para um melhor entendimento dos padrões atmosféricos associados ao SMAS. Nesse sentido, o presente trabalho utilizou o produto SRDAS, que é uma reconstrução da hidroclimatologia regional que está sendo desenvolvida para a América do Sul. SRDAS tem uma componente atmosférica que assimila a precipitação estimada por satélite, servindo como forçante ao modelo de superfície, o que possibilita uma melhor interação solo-atmosfera na região do SMAS. Apesar disso, o objetivo principal deste trabalho é o estudo das características climatológicas e da variabilidade intrassazonal do SMAS, a partir de análises de precipitação, vento e umidade específica provenientes das reanálises do NCEP, R2 e CFSR, e do ECMWF ERA-Interim. Utilizadas como referência devido à base observacional que empregam, as análises de precipitação, CPC, GPCP e CMAP, estabeleceram as características da evolução da precipitação do SMAS ao longo do ano. A comparação destes resultados com as reanálises apontou que o ERA-Interim é o conjunto com características mais próximas dos dados de referência. A análise no núcleo do SMAS apontou que somente os dados do ERA-Interim e CFSR possuem correspondência com os campos de precipitação e fluxo de umidade específica em baixos níveis. O estudo concluiu que embora o ERA-Interim tenha sido o conjunto com os melhores resultados, todas as reanálises apresentaram diferenças significativas de precipitação. Isto mostra o cuidado que deve-se ter ao utilizar esses conjuntos em estudos do SMAS. Os campos do SRDAS mostraram que este conjunto possui melhorias em relação às demais reanálises, como o ciclo anual de precipitação no núcleo do SMAS, a precipitação na região Amazônica, a precipitação na porção oceânica da ZCIT e a precipitação nos Andes, embora com valores subestimados. É importante destacar a importância de pesquisas que estão sendo feitas para a melhoria de análises dinamicamente consistentes, como o desenvolvimento do SRDAS que oferece uma alternativa às reanálises globais em estudos do SAMS.

ABSTRACT

Study on the feasibility of using reanalysis in the characterization of the South American Monsoon System

Vinícius Albuquerque de Almeida

August / 2016

Co-authors: Prof. Dra. Ana Maria Bueno Nunes
Prof. Dr. Edilson Marton

The tropical region of South America has very distinct seasonal regimes, where summer is a period marked by more abundant rains and winter characterized by a drier period. In 1998, Zou and Lau found a reversal in the pattern of the wind direction between the winter and the summer seasons, superimposed on the average annual wind at low levels, which characterizes the South American Monsoon System (SAMS). In recent years, the spatial and temporal variability of SAMS has been studied through global reanalysis. In this context, increasingly refined reanalysis products have been used in the characterization of the atmospheric patterns associated with SAMS. In that sense, this work used SRDAS, the high-resolution South American hydroclimatology reconstruction. SRDAS has an atmospheric component that assimilates satellite-based precipitation estimates, providing a strong forcing to the land-surface model. This forcing allows better land-surface-atmosphere interaction in the SAMS region. Nonetheless, the main goal of this work is the study of the climatological and intraseasonal variability of the SAMS characteristics from precipitation, wind and specific humidity analyses, using the NCEP reanalyses, R2 and CFSR, and the ECMWF ERA-Interim. Because the observational source, the CPC, GPCP and CMAP precipitation analyses provided the reference sets used in establishing the evolution of SAMS precipitation throughout the year. Comparisons with these reference sets showed that ERA-Interim had the best agreement. Analyses in the SAMS core pointed out that only ERA-Interim and CFSR show direct correspondence with the precipitation fields and specific humidity flow at low levels. Although ERA-Interim had the best results in comparison to the reference sets, this study concluded that all reanalysis showed significant differences in precipitation, and for that matter, reanalysis products need to be carefully used in studies of SAMS. Although with lower precipitation values than the global reanalyses, SRDAS showed improved features in the annual cycle of precipitation in the core of SAMS, the Amazon region, the ITCZ oceanic portions and the Andes. It is important to highlight the significance of the efforts that are being made for the improvement of dynamically consistent analyses, such as the development of SRDAS, which may provide an alternative to the global reanalyses in the SAMS studies.

LISTA DE SIGLAS

1DD-GPCP	-	<i>1o x 1o Global Precipitation Climatology Project</i>
4D-Var	-	<i>4-dimensional variational analysis</i>
AB	-	<i>Alta da Bolívia</i>
AS	-	América do Sul
ASAS	-	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CFSR	-	<i>Climate Forecast System Reanalysis</i>
CMAP	-	<i>Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation</i>
CMORPH	-	<i>CPC Morphing Technique</i>
CPC	-	<i>Climate Prediction Center</i>
DOE	-	<i>Department of Energy</i>
ECMWF	-	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ENOS	-	El Niño Oscilação Sul
EOF	-	<i>Empirical Orthogonal Function</i>
ERA-40	-	<i>ECMWF Re-analysis</i>
ERA-Interim	-	<i>ECMWF Re-analysis Interim</i>
GMAO	-	<i>Global Modeling and Assimilation Office</i>
GPCP		<i>Global Precipitation Climatology Project</i>
IPM		Índice de Precipitação da Monção
JBNAS	-	Jato de Baixos Níveis da América do Sul
JRA-25	-	<i>Japanese 25-Year Reanalysis</i>
LBA	-	<i>Large-Scale Biosphere Atmosphere</i>
LISAM	-	<i>Large-Scale Index for South American Monsoon</i>
MERRA	-	<i>NASA Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications</i>
MRI	-	<i>Monsoon Rainfall Index</i>

NASA	-	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCAR	-	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	-	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCEP-1	-	<i>NCEP/NCAR Reanalysis 1</i>
NCEP-2	-	<i>NCEP-DOE Reanalysis 2</i>
NOAA	-	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMJ	-	Oscilação de Madden-Julian
PSA	-	<i>Pacific South America</i>
RSM	-	<i>Regional Spectral Model</i>
SRDAS	-	<i>Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies</i>
SCM	-	Sistema de Convectivo de Mesoescala
SMAS	-	Sistema de Monção da América do Sul
SSBC	-	<i>Selective Scale Bias Correction</i>
TSM	-	Temperatura da Superfície do Mar
UFRJ	-	Universidade Federal do Rio de Janeiro
ZCAS	-	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	-	Zona de Convergência Intertropical

LISTA FIGURAS

Figura 3.1 - Domínio utilizado para a caracterização da circulação atmosférica no verão austral da América do Sul. O retângulo preto representa a região definida como o núcleo do SMAS.....	21
Figura 4.1 - Média (1981-2010) de linha de corrente em 850 hPa e precipitação (sombreado), para DJF. A média do SRDAS foi calculada para o período de 1999 a 2008 devido a disponibilidade dos dados. Núcleo do SMAS representado por um quadrado vermelho.....	23
Figura 4.2 - Média (1981-2010) de linha de corrente em 200 hPa e precipitação (sombreado), para DJF. A média do SRDAS foi calculada para o período de 1999 a 2008 devido a disponibilidade dos dados. Núcleo do SMAS representado por um quadrado vermelho.....	24
Figura 4.3 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CPC.....	26
Figura 4.4 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do GPCP.....	28
Figura 4.5 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CMAP.....	29
Figura 4.6 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do NCEP-2.....	31
Figura 4.7 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do ERA-Interim.....	32

Figura 4.8 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CFSR.....	33
Figura 4.9 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do SRDAS.....	34
Figura 4.10 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do NCEP-2. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.....	38
Figura 4.11 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do ERA-Interim. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.....	39
Figura 4.12 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do CFSR. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.....	40
Figura 4.13 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do SRDAS. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.....	41
Figura 4.14 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência ($\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do NCEP-2.....	44
Figura 4.15 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência ($\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do ERA-Interim.....	45
Figura 4.16 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência ($\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do CFSR.....	46

Figura 4.17 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa e sua divergência ($s^{-1} * 10^5$) a partir de médias diárias do SRDAS.....	47
Figura 4.18 - Climatologia mensal da precipitação (curvas no eixo esquerdo) e divergência do fluxo de umidade em 850 hPa (curvas com quadrados no eixo direito) no núcleo do SMAS para todos os meses do ano, para todos os conjuntos de dados. São exibidas a linha de zero para a divergência do fluxo de umidade em 850 hPa e a linha de 4 mm referente ao limiar de precipitação definido por Gan <i>et al.</i> (2004) como um indicador de início da estação chuvosa no núcleo do SMAS.....	50
Figura 4.19 – Períodos ativos e inativos calculados para os dados do (a) CPC e (b) NCEP-2.....	55
Figura 4.19 (continuação) – Idem para (c) ERA-Interim e (d) CFSR.....	56
Figura 4.19 (continuação) – Idem para (e) SRDAS.....	57
Figura 4.20 – Histograma da duração dos períodos ativos para os dados do (a) CPC, (b) NCEP-2, (c) ERA-Interim, (d) CFSR e (e) SRDAS.....	60
Figura 4.21 – Histograma da duração dos períodos inativos para os dados do (a) CPC, (b) NCEP-2, (c) ERA-Interim, (d) CFSR e (e) SRDAS.....	61
Figura 4.22 – Compostos de fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($x10^{-7}s^{-1}$) dos períodos ativos para os dados do (a) NCEP-2, (b) ERA-Interim, (c) CFSR e (d) SRDAS.....	63
Figura 4.23 – Compostos de fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($x10^{-7}s^{-1}$) dos períodos inativos, em relação ao campo climatológico de DJF, para os dados do (a) NCEP-2, (b) ERA-Interim, (c) CFSR e (d) SRDAS.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Comparação entre as pântadas do início médio da estação úmida no SMAS. As seguintes variáveis são utilizadas: PP - precipitação (LM: LIEBMANN e MARENGO, 2001; G1: GAN <i>et al.</i> , 2004; NR: NIETO-FERREIRA e RICKENBACH, 2011); 850ZWI: índice zonal de vento em 850 hPa; ZWSI: índice zonal de cisalhamento do vento; UVI: índice zonal e meridional de vento em 850 hPa; MWSI: cisalhamento meridional do vento (G2: GAN <i>et al.</i> , 2006); MF: fluxo zonal de umidade atmosférica (RC: RAIA e CAVALCANTI, 2008); LISAM (SC: SILVA e CARVALHO, 2007); PJD: Data de salto de precipitação (Gonz: GONZALEZ <i>et al.</i> , 2007); e RRT: Limiar de taxa de precipitação (LF: LIN e FU, 2004).....	8
Tabela 3.1 - Informações básicas das reanálises utilizadas ao longo do estudo.....	16
Tabela 3.2 - Informações básicas dos dados observacionais de precipitação utilizados.....	17
Tabela 4.1 – Média da climatologia mensal da precipitação para todos os conjuntos de dados.....	52
Tabela 4.2 – Desvio padrão da climatologia mensal da precipitação para todos os conjuntos de dados.....	52

1 INTRODUÇÃO

A região tropical da América do Sul (AS) é caracterizada por um regime chuvoso no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e um regime de inverno (junho, julho e agosto) mais seco (GAN *et al.*, 2004; MARENGO *et al.*, 2001). O entendimento do regime de precipitação desta região é de particular importância, haja vista que os acumulados de chuva observados podem afetar diversos setores da sociedade, como o gerenciamento de recursos hídricos, geração de energia hidroelétrica, agricultura e agronegócio. Além disso, algumas regiões brasileiras, como a Região Sudeste, são fortemente afetadas por enchentes e deslizamentos de terra, principalmente durante o verão (GRIMM, 2003), o que indica que o entendimento dos padrões sazonais de precipitação na AS é importante fator para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas dessas regiões.

Marengo *et al.* (2012) descrevem que no verão (estação úmida) a circulação atmosférica de altos níveis é caracterizada pela existência de uma circulação anticiclônica sobre a Bolívia e um cavado sobre o Atlântico tropical e subtropical, próximo à costa do nordeste brasileiro. As principais características de baixos níveis incluem a baixa térmica do Chaco centrada no norte da Argentina e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Um escoamento de noroeste em baixos níveis a leste dos Andes está presente durante todo o ano, o Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), e transporta umidade do sudoeste da Amazônia até a região da bacia do Rio da Prata (BERBERY e BARROS, 2002). O JBNAS alimenta os sistemas convectivos de mesoescala responsáveis por grandes volumes de precipitação no sudeste da AS (VERA *et al.*, 2006), mas também é associado com as fases da ZCAS (HERDIES *et al.*, 2002).

Outro aspecto importante é relacionado a chuvas extremas, como relatado por Boers *et al.* (2015), que informam que estas totalizam cerca de 50% da precipitação total nos subtrópicos da AS, influenciando significativamente o ciclo hidrológico da região. Contribuições consideráveis são feitas por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), particularmente no norte da Argentina, Paraguai, e sul do Brasil (ZIPSER *et al.*, 2006; SALIO *et al.*, 2007). Estes fenômenos são importantes porque estão associados a deslizamentos e rápidas enchentes, particularmente ao longo da costa leste dos Andes (SCHUSTER *et al.*, 2002; COPPUS e IMESON, 2002; O'HARE e RIVAS, 2005; MOREIRAS, 2005; BOERS *et al.*, 2014a) e também nas áreas urbanas no sudeste do continente (MARENGO *et al.*, 2013a).

Tem sido comum referir-se à esta forte atividade convectiva, intensa precipitação e circulação atmosférica de grande escala, no verão da AS, como o Sistema de Monção da AS (SMAS) (JONES e CARVALHO, 2002).

O SMAS engloba a maior parte da AS, caracterizando-se por grande variabilidade sazonal, em uma região que estende-se desde a Amazônia até a Bacia do Prata, no sudeste do continente. O ciclo de vida e as variações do SMAS são influenciados por muitos fatores, incluindo a variabilidade em diversas escalas de tempo nos oceanos Pacífico e Atlântico adjacentes, a orografia relativa à Cordilheira dos Andes e do centro-oeste brasileiro e complexos processos de superfície envolvidos (MARENGO *et al.*, 2012).

No contexto dos sistemas de monção, uma importante característica é observada na AS relacionada a ocorrência frequente e persistente de ciclos chuvosos e de interrupção de precipitação, por alguns dias, na região da monção, dentro do período da estação de verão. Estes períodos são denominados como períodos ativos e inativos, estando normalmente associados a oscilações intrassazonais (JONES E CARVALHO, 2002; HERDIES *et al.*, 2002; FERREIRA E GAN, 2011). No experimento denominado *Large-Scale Biosphere Atmosphere* (LBA), pesquisadores utilizaram campos de vento em baixos níveis (850 hPa) para identificar períodos ativos (anomalias de vento oeste) e períodos inativos (anomalias de leste) em diversas localidades de Rondônia associados a diferentes características físicas e estruturais de SCM (CIFELLI *et al.*, 2002; PETERSEN *et al.*, 2001; CARVALHO *et al.*, 2002).

Nos últimos anos, diversos estudos das características do SMAS têm sido realizados com base em inúmeros conjuntos de reanálises. Uma preocupação em relação a esses produtos é sobre sua capacidade de representação da precipitação, pois esta variável pode afetar drasticamente o ciclo hidrológico da região, conduzindo a uma representação distanciada da realidade. Estes impactos têm desdobramentos ruins quando as reanálises são utilizadas para estudos específicos (ex: estudos de caso) e como condição inicial para simulações em modelos computacionais.

Segundo Lin *et al.* (2014), embora modelos climáticos sejam ferramentas úteis no estudo da variabilidade e mudança climática, os modelos geralmente apresentam grande viés na simulação da precipitação das regiões de monção. Desta forma, torna-se importante a comparação dos produtos de reanálise com objetivo de entender a capacidade dos mesmos na representação das características gerais do SMAS.

No estudo de monções a precipitação é normalmente uma variável bastante utilizada (WANG *et al.*, 2012; HSU e WANG, 2011), ainda que estes resultados devam ser interpretados cautelosamente, haja vista que existem discrepâncias entre diferentes estimativas provenientes de satélites. Estas diferenças podem comprometer as evidências de tendências nas regiões de estudo (WANG *et al.*, 2013). Considerando a incerteza das análises baseadas puramente na precipitação e a complexidade da dinâmica das monções, estudos têm proposto a utilização de variáveis associadas à circulação (WANG *et al.*, 2013; JONES E CARVALHO, 2002).

É de grande importância a busca de produtos de precipitação cada vez mais refinados. A melhoria desses produtos implica em produtos regionais de maior qualidade, retrospectiva de situações passadas e análise de grandes períodos sem lacunas de dados. Nesse sentido, o presente trabalho busca introduzir a análise de um novo produto em desenvolvimento no departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), *Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies* (SRDAS; Nunes, 2016). SRDAS utiliza a assimilação de precipitação com alta resolução espacial, que é feita através de um modelo regional atmosférico. A precipitação resultante do procedimento de assimilação pelo modelo atmosférico força o modelo de superfície acoplado, o que pode melhorar a interação solo-atmosfera a partir da melhor representação da umidade do solo. Segundo Koster *et al.* (2004), existe um forte acoplamento entre a umidade do solo e a precipitação em regiões de monção.

Considerando a grande influência que o SMAS possui em diversos setores da sociedade, conforme apresentado nas discussões acima, o objetivo geral do trabalho é caracterizar o ciclo sazonal de verão do SMAS utilizando diversos produtos de reanálise. Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar o ciclo anual de precipitação na AS;
- Caracterizar o ciclo anual de precipitação na região central do SMAS;
- Identificar os argumentos dinâmicos e termodinâmicos que impactam nas diferenças encontradas entre a precipitação das reanálises e dados de referência;
- Avaliar o produto SRDAS frente a outros conjuntos de reanálise e em relação a dados de referência, com destaque na circulação atmosférica e precipitação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Capítulo 2 aborda as principais características do SMAS (2.1) e a representatividade atual deste sistema nos conjuntos de reanálises disponíveis (2.2).

2.1 Caracterização do SMAS

Há algumas décadas questionava-se a existência de um sistema de monção sobre a AS. No trabalho de Zhou e Lau (1998), os autores estudaram o estado básico da circulação e a precipitação de verão sobre a AS, onde deram argumentos sólidos para a solução desta questão. Os resultados indicam a existência de um regime de monção de verão induzido por forte aquecimento diabático sobre o planalto localizado na região subtropical da AS. Além disso, os autores mostraram uma perturbação sazonal de baixos níveis no campo de vento, sobreposto a média anual dos ventos alísios. Esta perturbação é caracterizada por uma reversão sazonal da direção do vento entre o inverno (anomalia de leste) e o verão (anomalia de oeste), evidenciando a existência do SMAS.

Segundo Jones e Carvalho (2002), a estação úmida começa com uma intensa atividade convectiva e a precipitação começam no noroeste da AS no final de agosto e marcham progressivamente para sudeste até alcançar o planalto brasileiro. Os picos de precipitação acontecem no núcleo da Amazônia no verão austral (dezembro-fevereiro). A convecção profunda começa a se enfraquecer na Amazônia no começo de março e a estação seca persiste ao longo da maior parte do inverno austral (HOREL *et al.*, 1989; JONES, 1990).

O SMAS é parte do sistema de monção das Américas. Na alta troposfera, o verão é caracterizado por uma circulação anticiclônica sobre a Bolívia e um cavado sobre a parte tropical e subtropical do Atlântico Sul, próximo da costa do nordeste do Brasil. As principais características de baixos níveis incluem a baixa térmica do Chaco centrada na porção norte da Argentina e a ZCAS. Embora presente ao longo do ano, o JBNAS, escoamento de noroeste em baixos níveis a leste dos Andes que estende-se do sudoeste da Amazônia até o sudeste da AS (MARENGO *et al.*, 2012), está entre os sistemas característicos de baixos níveis relevantes para o SMAS, assim como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Raia e Cavalcanti (2008) associaram a intensificação do fluxo de umidade sobre o sudeste do Brasil

com a intensificação do fluxo na ASAS. Destaca-se que as características de verão do SMAS também foram bastante estudadas por Zhou e Lau (1998).

Segundo Marengo *et al.* (2012), o estabelecimento da ZCAS é uma marca importante do estágio maduro da monção sobre a AS. Herdies *et al.* (2002) estudaram as principais características da ZCAS, concluindo que este fenômeno está associado a um fluxo mais intenso de umidade sobre Brasil originado na região tropical da AS. Os autores também identificaram o JBNAS posicionado mais a leste nos períodos de ZCAS. Isto traduz-se em uma maior concentração do fluxo de umidade e convergência mais forte próximo ao sudeste do Brasil. Com isto há uma alimentação da convecção associada à ZCAS.

A variabilidade climática associada ao padrão de dipolo da ZCAS e JBNAS já foi identificada em várias escalas de tempo, desde da escala intrassazonal (NOGUÉS-PAEGLE e MO, 1997) até a escala interdecadal (GRIMM e ZILLI, 2009 e GRIMM, 2010). Uma fase do dipolo é caracterizada pela intensificação da ZCAS e supressão de convecção no sul, enquanto que a outra fase é caracterizada pela supressão da ZCAS e aumento da convecção no subtropical. A intensificação do JBNAS e dos transportes associados de grandes quantidades de umidade da Bacia Amazônica para os subtropicais acompanha a última fase (SILVA e BERBERY, 2006).

Boers *et al.* (2015) estudaram a estação mais importante da monção da AS, entre dezembro e fevereiro, o verão local, encontrando as seguintes características principais:

- i. Deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) implica em intensificação de fluxo de umidade de baixos níveis para o centro do continente da AS; além de ser observado um aquecimento diferencial entre oceano e continente;
- ii. Após cruzar a Amazônia central os ventos alísios são bloqueados pelos Andes sendo forçados a se deslocar para sul. Neste curso não perdem muita umidade porque a precipitação é contrabalançada pela evapotranspiração da floresta tropical;
- iii. Levantamento orográfico na costa leste dos Andes implica em altos acumulados de precipitação;
- iv. Grande variabilidade do fluxo de umidade para os subtropicais com saídas típicas na região central da Argentina (anomalias de norte) até o leste brasileiro (anomalias de oeste, a ZCAS);

- v. A alternância dos dois regimes descritos em IV é normalmente conhecida como dipolo de precipitação na AS e tem sido considerado como o padrão mais importante da variabilidade de precipitação do SMAS;
- vi. Se a componente para sul é particularmente intensa no leste dos Andes bolivianos, estes ventos são normalmente denominados JBNAS, que tem sido relacionado com o desenvolvimento de SCM no sudeste da AS;

2.1.1 Períodos de início e fim do SMAS

O início do SMAS tem sido definido com base em mudanças na precipitação, radiação de onda longa emergente, cobertura de nuvens, campos de escoamento em escala sinótica, parâmetros termodinâmicos, condição de superfície, ou uma combinação destes parâmetros (GAN *et al.*, 2006; GONZALES *et al.*, 2007; SILVA e CARVALHO, 2007; RAIA e CAVALCANTI, 2008; GARCIA e KAYANO, 2009; NIETO-FERREIRA e RICKENBACH, 2011; NIETO-FERREIRA *et al.*, 2011).

A Tabela 2.1 apresenta o resultado da definição do início do SMAS em diferentes trabalhos. Gonzalez *et al.* (2007) aplicaram a técnica de Kousky (1988) a toda a região do SMAS. Estes autores encontram um início adiantado (6 pântadas antes) em relação ao início da monção derivado dos dados da reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (LI e FU, 2004) que utilizaram um limiar de taxa de precipitação. Silva e Carvalho (2007) definiram o índice de grande escala para a monção da AS (LISAM - *Large-Scale Index for South American Monsoon*) para estabelecer o início e fim do SMAS. LISAM é baseado em uma combinação de análises de funções ortogonais empíricas (EOF, em inglês) da precipitação e vários campos de baixos níveis dinâmicos e termodinâmicos relacionados ao início e fim da estação chuvosa da monção. O indicador de cisalhamento do vento zonal de Gan *et al.* (2006) sugere um início e fim adiantados relação ao LISAM. Início e fim propostos por Raia e Cavalcanti (2008) utilizando-se o fluxo de umidade são similares ao encontrado pelo LISAM.

Segundo Marengo *et al.* (2012), diferentes índices podem indicar diferenças sutis na definição do início e fim da monção, mas uma configuração geral pode ser extraída: o desenvolvimento do SMAS durante a primavera austral é caracterizado pelo rápido deslocamento para sul de uma região de intensa convecção do Caribe e noroeste da AS para o

sul da bacia Amazônica e planalto brasileiro em outubro e para o sudeste do Brasil em novembro. No início, a ASAS move-se para leste, refletindo a redução de pressão sobre o continente e a intensidade e direção do vento zonal sobre a região tropical e subtropical. O fluxo de umidade para sul ao leste dos Andes aumenta, levando umidade para a região central e sudeste do Brasil.

Gonzalez *et al.* (2007) sugeriram que o "salto" da precipitação está associado ao primeiro evento sinótico (evento transiente) que produz uma alteração significativa na precipitação da estação chuvosa. As condições associadas à presença de um transiente em uma atmosfera instável permitem o aumento da precipitação para o início da monção.

Raia e Cavalcanti (2008) também encontraram que padrões de bloqueio de baixa frequência (escala intrassazonal) na atmosfera superior ocorrem preferencialmente quando o início da monção é mais tardio do que o normal. Este processo pode estar relacionado à atividade da Oscilação de Madden-Julian (OMJ).

Nieto-Ferreira *et al.* (2011) analisaram as características dos sistemas frontais antes, durante e após o início do período da monção. Os autores identificaram uma forte mudança da estrutura e propagação dos sistemas frontais no período do início da monção ao passarem pela AS. Este comportamento sugere que o início da monção ocorre no momento no qual a primeira frente fria torna-se estacionária ao longo da costa sudeste da AS.

Tabela 2.1 - Comparação entre as pêntricas do início médio da estação úmida no SMAS. As seguintes variáveis são utilizadas: LISAM (SC: SILVA e CARVALHO, 2007); PP - precipitação (LM: LIEBMANN e MARENGO, 2001; G1: GAN *et al.*, 2004; NR: NIETO-FERREIRA e RICKENBACH, 2011); 850ZWI: índice zonal de vento em 850 hPa; ZWSI: índice zonal de cisalhamento do vento; UVI: índice zonal e meridional de vento em 850 hPa; MWSI: cisalhamento meridional do vento (G2: GAN *et al.*, 2006); MF: fluxo zonal de umidade atmosférica (RC: RAIA e CAVALCANTI, 2008); PJD: Data de salto de precipitação (Gonz: GONZALEZ *et al.*, 2007); e RRT: Limiar de taxa de precipitação (LF: LIN e FU, 2004). Adaptada de Marengo *et al.* (2012).

Variável/Estudo	Início
LISAM (SC)	60
PP (LM)	58
PP (G1)	58
PP (NR)	61
850ZWI (G2)	58
ZWSI (G2)	58
UVI (G2)	62
MWSI (G2)	62
MF (RC)	60
PJD (Gonz)	57
RRT (LF)	63

2.1.2 Variabilidade temporal do SMAS

Betts *et al.* (2002) discutiram o ciclo diurno em superfície da temperatura, umidade, nível de condensação por levantamento, temperatura potencial equivalente e fluxos de superfície para regimes de leste e de oeste em Rondônia durante o a estação úmida do LBA, entre janeiro e fevereiro de 1999. Tipicamente, os regimes de oeste estão associados a uma troposfera mais úmida, e convecção com menor desenvolvimento vertical. Já os regimes de leste estão associados atmosferas mais secas com grande desenvolvimento vertical.

Na escala intrassazonal, diversos autores (JONES E CARVALHO, 2002; HERDIES *et al.*, 2002; FERREIRA e GAN, 2011) mostram que o SMAS apresenta períodos ativos e inativos associados a diferentes regimes de precipitação e circulação. Esta variabilidade temporal será melhor abordada na Seção 2.1.2.1 deste trabalho.

Na escala interanual, Marengo *et al.* (2012) definem que a variabilidade do SMAS está associada principalmente ao El Niño Oscilação Sul (ENOS). Na fase quente (fria), precipitação encontra-se abaixo (acima) da média no norte da AS durante o verão e intensificada (reduzida) no sudeste da AS. Robertson e Mechoso (2000) associaram anomalias de temperatura da superfície do mar na região sudoeste do Oceano Atlântico com variabilidade interanual da ZCAS; com a intensificação deste sistema associada à anomalias negativas ao norte de 40°S e positivas ao sul.

Em relação à mudanças climáticas, Chase *et al.* (2003) apresentaram medidas diferentes e independentes da intensidade monçônica aplicadas a todos os principais sistemas de monção tropicais desde 1950 (até 2003). Os quatro sistemas de monção analisados foram: sudeste asiático, oeste africano, leste africano e norte australiano. Os índices examinados foram: (i) divergência em altos níveis; (2) precipitação; e (3) pressão de superfície nos oceanos. Os resultados indicam uma redução consistente na intensidade de todas os quatro maiores sistemas de monção.

Tendências nos extremos de precipitação foram identificadas na região do SMAS, onde a cobertura de dados é maior (MARENGO *et al.*, 2009; RUSTICUCCI *et al.*, 2009; ALEXANDER *et al.*, 2006; e outros), onde foram sugeridos padrões de aumento da frequência e intensidade de precipitação intensa nos últimos 50 ou 60 anos.

2.1.2.1 Variabilidade intrassazonal

A variabilidade intrassazonal, normalmente associada a fenômenos com duração de 10 a 90 dias, é muito importante ao analisar-se o SMAS. Esta variação subsazonal no SMAS pode estar associada à propagação de distúrbios de latitudes médias e também da amplificação da atividade ondulatória no Hemisfério Norte, implicando na intensificação do transporte de umidade de noroeste que cruza o equador na região tropical continental da AS (CARVALHO *et al.*, 2010).

Jones e Carvalho (2002) mostraram a existência de períodos ativos e de quebra do SMAS na escala intrassazonal. Períodos ativos são caracterizados pela intensificação da precipitação e convecção na região central e sudeste do Brasil com supressão de convecção no Altiplano Boliviano e norte da AS. Já os períodos de quebra são caracterizados por padrões inversos de anomalia de circulação em baixos níveis, convecção e precipitação. Segundo os autores, durante períodos ativos (Figura 6 topo disponível em Jones e Carvalho, 2002), são observadas anomalias de oeste do vento em baixos níveis na região da bacia amazônica estendendo-se até o sudeste do Brasil, fechando uma circulação ciclônica anômala na região subtropical da AS. Em contraste a este regime, períodos de quebra (Figura 6 inferior disponível em Jones e Carvalho, 2002) apresentam anomalias de leste, fechando uma circulação anticiclônica na região subtropical, com ventos indo do sudeste do Brasil em direção a bacia amazônica cruzando o equador.

Ferreira e Gan (2011) também estudaram a variabilidade intrassazonal do SMAS, onde identificaram períodos ativos e inativos do SMAS. Nos períodos ativos a precipitação está associada a convergência de vento de noroeste em baixos níveis. O fluxo de umidade apresenta uma convergência mais intensa na região da Bacia Amazônica, sudeste e central do Brasil. Esta convergência estende-se para o oceano Atlântico Sul adjacente, com características similares ao padrão da ZCAS de Herdies *et al.* (2002). Em períodos de quebra, há uma intensificação do vento em 850 hPa associado ao JBNAS com enfraquecimento da convergência do fluxo de umidade sobre o centro-oeste brasileiro. Este padrão apresenta características similares ao padrão no-ZCAS de Herdies *et al.* (2002).

Ainda no trabalho de Ferreira e Gan (2011), os autores concluíram que a diferença da anomalia da circulação atmosférica, durante períodos ativos e de quebra, encontrada em seus estudos, é similar à diferença encontrada entre a estação seca e úmida quando a média anual é removida, como já havia sido identificado por Zhou e Lau (1998). Na opinião destes autores, este resultado confirma a importância do escoamento de noroeste no transporte de umidade da região amazônica e na modulação da convecção durante a estação chuvosa na região de monção da AS.

Herdies *et al.* (2002) estudaram variações intrassazonais em meses de verão na AS e identificaram dois regimes distintos sobre a região de Rondônia, associados a ventos de oeste e ventos de leste influenciando na presença ou ausência da ZCAS. Os autores criaram um esquema conceitual (Figura 8 disponível em Herdies *et al.*, 2002) para apresentar os diferentes

caminhos do fluxo de umidade para os regimes de ocorrência da ZCAS e de sua ausência. Nos regimes de ZCAS (Figura 8 esquerda disponível em Herdies *et al.*, 2002), um fluxo intenso de umidade oriundo do Oceano Atlântico tropical entra na AS e desloca-se para o sudeste brasileiro e para o oceano Atlântico adjacente. Forte convergência ocorre na Amazônia, no centro-oeste e sudeste brasileiro. Já nos regimes de ausência da ZCAS (Figura 8 direita disponível em Herdies *et al.*, 2002), existem dois caminhos principais para o transporte de umidade na AS. O primeiro envolve o transporte para oeste de umidade do Oceano Atlântico equatorial em direção ao Peru e Pacífico equatorial. O segundo envolve o fluxo de umidade do Oceano Atlântico na região central do Brasil e fluxo para sul em direção ao Paraguai e norte da Argentina e para o sudeste brasileiro. Ainda neste estudo, os autores mostraram que os regimes de presença de ZCAS mostram-se mais eficiente do que o regime sem ZCAS no transporte da umidade tropical para as latitudes extratropicais.

Cunningham e Cavalcanti (2006) identificaram dois modos de variabilidade intrassazonal associados à posição da ZCAS:

- modo tropical zonal, associado a OMJ quando a ZCAS desloca-se para norte da sua posição climatológica;
- modo tropical-extra-tropical, associado ao padrão de teleconexão *Pacific South America* (PSA), quando a ZCAS desloca-se para o sul de sua posição climatológica.

2.2 Representatividade do SMAS nas reanálises

Segundo Bosilovich (2012), o conceito de análises retrospectivas, ou reanálises, está associado à ideia de incorporação de registros observacionais de longo período a um sistema de assimilação invariável de forma a produzir conjuntos de dados de qualidade para uma variedade de aplicações, como: variabilidade climática, química e estudo de processos. As reanálises foram originalmente propostas para observações meteorológicas como um método para gerar dados climáticos a partir de observações de tempo (sinóticas). Com o crescimento do número de informações disponíveis de registros de satélite acerca da química da atmosfera, e parâmetros oceânicos e continentais, reanálises foram desenvolvidas para outros tipos de aplicações e também foram criadas reanálises acopladas (ex: oceano-atmosfera). O reprocessamento das análises com um sistema fixo de análise foi idealizado como uma forma de se eliminar as discontinuidades existentes em séries temporais de análise, e destacar um

conjunto de dados global com uma representação mais consistente do clima da Terra. Neste contexto, a primeira geração de reanálises foi desenvolvida consistindo-se das reanálises do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR)* (NCEP-1, KALNAY *et al.*, 1996), o projeto do ERA-15 (GIBSON *et al.*, 1997) desenvolvido pelo ECMWF, e a *Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)* do *National Aeronautics and Space Administration's Goddard Space Flight Center (NASA)* que desenvolveram uma reanálise de 17 anos (SCHUBERT *et al.*, 1993). Com a continuidade das pesquisas e o desenvolvimento em relação à qualidade das observações (ex: NCEP-2, KANAMITSU *et al.*, 2002; ERA-40, UPPALA *et al.*, 2005; e HAIMBERGER, 2007) e em relação aos modelos numéricos e assimilação de dados (DEE e UPPALA, 2009), além do aumento do poder computacional, um novo conjunto de reanálises foi desenvolvido: Japanese 25-Year Reanalysis (JRA-25; ONOGI *et al.*, 2007), NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR; SAHA *et al.*, 2010), ECMWF Interim Reanalysis (ERA-Interim, DEE *et al.*, 2011) e NASA Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA; RIENECKER *et al.*, 2011).

Segundo Dee *et al.* (2011) o desenvolvimento de reanálises é um ramo relativamente novo, com origem na exploração de dados meteorológicos coletados a partir de 1979. Estes dados foram analisados diversas vezes, principalmente visando aprender como fazer melhor uso das observações para inicializar modelos numéricos de previsão. Contudo, logo se percebeu que os conjuntos de dados das reanálises poderiam ser de grande valor para a pesquisa atmosférica. Dados de reanálise fornecem produtos coerentes e completos espacialmente da circulação atmosférica global. Ao contrário das análises arquivadas de modelos operacionais de previsão, as reanálises são produzidas com uma única versão do sistema de assimilação de dados (incluindo o modelo de previsão utilizado) e, desta forma, não afetada em mudanças de método.

Quadro *et al.* (2012) avaliaram o aspecto da representatividade da precipitação na região do SMAS em diversas reanálises, em comparação a alguns produtos de precipitação, principalmente na região onde normalmente é observada a formação da ZCAS. Os resultados apresentados mostraram que as reanálises, de forma geral, representam bem as características gerais do ciclo anual observado nos produtos de precipitação, com destaque para as reanálises do NCEP. Entre todas as reanálises analisadas, a do NCEP CFSR foi a que apresentou o

menor viés para todo o continente, devido ao fato de possuir um modelo acoplado oceano-atmosfera, além de alta resolução espacial e da assimilação de radiâncias.

Lin et al (2014) desenvolveram um estudo para responder as seguintes questões acerca dos sistemas de monção em todo o planeta:

- Quão bem as reanálises podem simular a climatologia, tendência a longo prazo e variabilidade interanual da precipitação das monções nos últimos 30 anos?
- Quão grande é a diferença das simulações de precipitação e circulação atmosférica entre as 5 reanálises (NCEP 2, ERA 40, JRA-25, ERA-Interim e MERRA)?
- Quais componentes do balanço hídrico são dominantes na tendência a longo prazo e na variabilidade interanual da precipitação das monções?

Os autores concluíram que:

- i. Sobre o desempenho das 5 reanálises:
 - a. climatologia: as reanálises reproduzem razoavelmente bem a climatologia da precipitação nos sistemas globais de monção. Na representação dos padrões espaciais climatológicos, a ERA-Interim foi a que apresentou os melhores resultados enquanto a NCEP-2 apresentou os piores, embora a ERA-Interim superestime a precipitação;
 - b. tendência de longo prazo: os dados observados mostram que a precipitação das monções no verão mostram tendências de aumento no Hemisfério Norte, Hemisfério Sul e área global, o que é reproduzido nas reanálises. As reanálises falham apenas na reprodução das tendências na precipitação da monção do norte da África;
 - c. variabilidade interanual: características interanuais da precipitação nos sistemas globais de monção são razoavelmente capturadas pelas 5 reanálises, entre as quais a ERA-Interim é a que apresenta os melhores resultados;

i. Sobre o balanço hídrico:

- a. o contraste entre o verão úmido e o inverno seco na região monçônica global é induzido pela reversão anual do termo de convergência do vento (componente dinâmica) no balanço hídrico. A tendência de longo prazo e a variabilidade interanual da precipitação na região monçônica global é dominada pelo termo da convergência do vento. As componentes dinâmicas do transporte de vapor d'água dominam a variabilidade da precipitação de monção.

3 METODOLOGIA

O Capítulo 3 apresenta os dados (3.1) e metodologias (3.2) utilizados para análise dos objetivos propostos no presente estudo.

3.1 Produtos

Foram utilizados os seguintes conjuntos de reanálise (Tabela 3.1) no estudo:

- i. NCEP–*Department of Energy* (DOE) AMIP-II Reanalysis (NCEP-2; KANAMITSU *et al.*, 2002): análise global a cada 6 horas atualizada de 1979 até o presente, que corrige os erros de processamento da reanálise do NCEP–NCAR (NCEP-1, KALNAY *et al.*, 1996) e utiliza um modelo de previsão e assimilação de dados aperfeiçoados. A NCEP-2 fornece uma representatividade melhor em relação a NCEP-1 de (i) umidade do solo e temperatura próximo à superfície sobre o continente, (ii) balanço de hidrologia na superfície continental, (iii) cobertura de neve, e (iv) fluxos de radiação sobre o oceano;
- ii. ERA-Interim (DEE *et al.*, 2011): projeto concebido como uma ponte entre a reanálise ERA-40, completada em 2002, e gerações futuras de reanálise a serem produzidas no ECMWF. O principal objetivo era resolver problemas de assimilação de dados encontrados no ERA-40, em sua maior parte relacionados ao uso de dados de satélite. Bom progresso foi feito a este respeito, resultando em uma melhor representação do ciclo hidrológico, uma circulação estratosférica mais realística, e melhor consistência temporal em um intervalo de escalas de tempo. A componente principal do ERA-Interim é o sistema de assimilação de dados 4D-Var, que utiliza um modelo de previsão para restringir a evolução do estado da atmosfera a cada janela de análise;
- iii. CFSR: desenvolvida no NCEP, faz parte da nova geração de reanálises globais. É mais completa porque inclui análise tanto do oceano quanto da cobertura de gelo do oceano, e possui maior resolução espacial e temporal. A precisão melhora ao longo do tempo, principalmente sobre o Hemisfério Sul, onde o uso dos dados das radiâncias de satélite tornou-se muito importante. Diversos erros da ingestão de dados de referência das reanálises anteriores foram corrigidos na CFSR;

iv. SRDAS: reconstrução do hidroclima da AS que utiliza uma combinação da assimilação da precipitação (NUNES e ROADS, 2007) de alta resolução do *CPC Morphing Technique* (CMORPH; JOYCE *et al.*, 2004) e uma versão da Correção de Viés por Seleção de Escala (*Scale-Selective Bias Correction - SSBC*, em inglês; KANAMARU e KANAMITSU, 2007) aplicadas a um modelo climático regional. Considerando o sistema de modelagem regional acoplado (modelo atmosférico e de superfície), é esperado que o procedimento de assimilação de precipitação não somente represente uma melhoria nas condições atmosféricas, mas também na hidrologia em superfície. Mais especificamente, o Modelo Espectral Regional (*Regional Spectral Model - RSM*, em inglês; JUANG *et al.*, 1997), com a nova versão do SSBC (KANAMITSU *et al.*, 2010), assimila estimativas de precipitação por satélite. Ao invés de melhorar as análises de precipitação de baixa resolução, apenas com a adição da informação de precipitação e das saídas das reanálises, esta metodologia utiliza análises de precipitação de alta resolução para ajustar a física do modelo.

Tabela 3.1 - Informações básicas das reanálises utilizadas ao longo do estudo.

Fonte	Período utilizado	Horário disponível	Resolução disponível
NCEP-2	1981-2010	00, 06, 12 e 18Z	1,90° x 1,90°
ERA-Interim	1981-2010	00, 06, 12 e 18Z	0,75° x 0,75°
CFSR-1	1981-2010	00, 06, 12 e 18Z	0,30° x 0,30°
SRDAS	1998-2008	00, 06, 12 e 18Z	0,25° x 0,25°

As variáveis utilizadas para os dados de reanálises foram:

- Componente zonal do vento;
- Componente meridional do vento;
- Umidade específica;
- Precipitação diária;

Foram utilizados os seguintes dados de referência de precipitação (Tabela 3.2) no estudo:

- i. CPC: O produto Climate Prediction Center (CPC) é uma análise baseada em dados de precipitação diária de estações pluviométricas construída sobre as áreas continentais de todo o globo. (XIE *et al.* 2007; CHEN *et al.* 2008a; CHEN *et al.* 2008b);
- ii. GPCP: O Global Precipitation Climatology Project (GPCP) é um produto produzido a partir de estimativas computadas por sensores em microondas, infravermelho e sondagens a partir da constelação internacional de satélites de monitoramento de precipitação, e dados de estações (HUFFMAN *et al.* 2001).
- iii. CMAP: O CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) é um produto produzido a partir de 5 tipos de estimativas de satélite e dados de estações (XIE e ARKIN, 1997).

As análises de precipitação do CPC, 1° x 1° GPCP (1DD-GPCP) e CMAP foram utilizadas para a comparação e validação do produto de precipitação das reanálises, haja vista que consideram dados de fontes observacionais e de satélite, já tendo sido utilizado e validado em diversos estudos de precipitação sobre a AS (QUADRO *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2012; MARENGO *et al.*, 2013; LIN *et al.*, 2014; BOERS *et al.*, 2015; entre outros).

Tabela 3.2 - Informações básicas dos dados de referência de precipitação utilizados.

Fonte	Período disponível	Horário disponível (acumulado em 24h)	Resolução disponível
CPC*	1979-presente	00Z	0,5° x 0,5°
GPCP	1996-presente	12Z	1,0° x 1,0°
CMAP	1979-presente	00Z	2,5° x 2,5°

* A partir de 2005 só estão disponíveis os dados em tempo real do CPC que não possuem tratamento de possíveis falhas na coleta dos dados das estações.

3.2 Metodologia

3.2.1 Pré-processamento dos dados

Os dados de circulação e de umidade específica das reanálises foram convertidos para uma grade regular de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. A interpolação dos dados foi feita a partir da função *linterp* do software Grads, que utiliza o método bilinear de interpolação que consiste na interpolação linear dos dados nas direções x e y.

Os dados de precipitação das reanálises e dos dados de referência foram convertidos para uma grade regular de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$. O método de interpolação foi o mesmo utilizados para os dados de circulação, ou seja, o método bilinear. Além disso, foram computados os acumulados de 24h de precipitação para todos os dados. Foram computados os acumulados de 12 às 12Z, com exceção do CPC e CMAP, para os quais o acumulado de 24h está disponível apenas para o horário das 0Z.

3.2.2 Cálculo da climatologia

Uma vez interpolados os dados para grades iguais foram calculadas as climatologias diária, mensal e sazonal para cada uma das variáveis. Considerando uma variável $X(m,n)$ para o n-ésimo dia do m-ésimo ano, então:

temos a climatologia diária (equação 3.1),

$$X_c(n) = \frac{\sum_{m=1}^{30} X(m,n)}{30} \quad (3.1)$$

e a média mensal (equação 3.2),

$$X_i = \frac{\sum_{n=1}^d X_c(n)}{d}, \quad (3.2)$$

onde d é o número de dias do i-ésimo mês

No presente trabalho considerou-se o período de 1981 a 2010 para o cálculo da climatologia dos dados, com exceção do SRDAS para o qual o período considerado foi de 1998 a 2008.

3.2.3 Cálculo de períodos ativos e inativos

Períodos ativos e inativos no núcleo do SMAS foram calculados segundo a metodologia proposta por Ferreira e Gan (2011), a saber:

a) Cálculo da precipitação diária média na área (P) no núcleo do SMAS (60W-50W / 20S-10S) (Figura 3.1) para todo o período de dados;

b) Cálculo do *Monsoon Rainfall Index* (MRI) a partir da diferença entre P e a climatologia diária (equação 3.3):

$$MRI = P - X_c(n) \quad (3.3)$$

c) Cálculo da média e desvio padrão da série completa do MRI:

Para a média de MRI temos (equação 3.4):

$$média = \frac{\sum MRI}{n}, \quad (3.4)$$

onde n é o número total de valores de MRI disponíveis para o cálculo da média.

Para o desvio padrão de MRI temos (equação 3.5):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - média)^2}{n}}, \quad (3.5)$$

onde n é o número total de valores de MRI disponíveis para o cálculo do desvio padrão.

d) Classificação dos períodos:

Para períodos ativos os valores de MRI devem ser superiores a metade do desvio padrão para no mínimo 5 dias. Já para períodos inativos o valor de MRI deve ficar abaixo de menos metade do desvio padrão por no mínimo 5 dias. Os demais eventos que não se enquadrem nesta classificação serão denominados períodos neutros.

3.2.4 Análise dos dados

3.2.4.1 Precipitação na AS

Foram gerados campos mensais a climatologia mensal de precipitação para todos os conjuntos de dados no domínio apresentado na Figura 3.1. A análise destes campos ao longo do ano permite a caracterização do ciclo anual de precipitação para a AS. Além disto, é possível analisar quão bem os dados de precipitação são representados nos conjuntos de reanálise.

3.2.4.2 Precipitação no núcleo do SMAS

Foram geradas séries temporais a partir dos dados de climatologia mensal na região do núcleo do SMAS (retângulo preto da Figura 3.1). O objetivo desta análise foi analisar o quão bem as reanálises representam: (i) o início (fim) do SMAS, normalmente associado a um aumento (diminuição) significativo de precipitação nesta região; e (ii) a intensidade da precipitação nesta região. Importante destacar que esta região funciona como uma ligação entre a precipitação tropical e subtropical, de forma que a boa representação dos conjuntos de dados nesta região é de crucial importância.

3.2.4.3 Dados de circulação e umidade específica

De forma a analisar as possíveis diferenças encontradas nos dados de precipitação das reanálises, em relação aos dados de referência, foram gerados campos de variáveis que possam refletir forçantes dinâmicas para a precipitação, sobre domínio da Figura 3.2. Os campos gerados foram:

- a) Fluxo de umidade e divergência horizontal do fluxo de umidade em baixos níveis (850 hPa);

Considerando u a componente zonal e v a componente meridional do vento \vec{V} , e q a umidade específica, temos qu como a componente zonal e qv como a componente meridional do fluxo de umidade, então a divergência horizontal do fluxo de umidade pode ser escrita da seguinte forma (equação 3.6):

$$\vec{\nabla} \cdot (q\vec{V}) = \frac{\partial(qu)}{\partial x} + \frac{\partial(qv)}{\partial y}. \quad (3.6)$$

b) Divergência horizontal do vento em altos níveis (200 hPa).

O cálculo da divergência de massa foi feito da seguinte forma (equação 3.7):

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}. \quad (3.7)$$

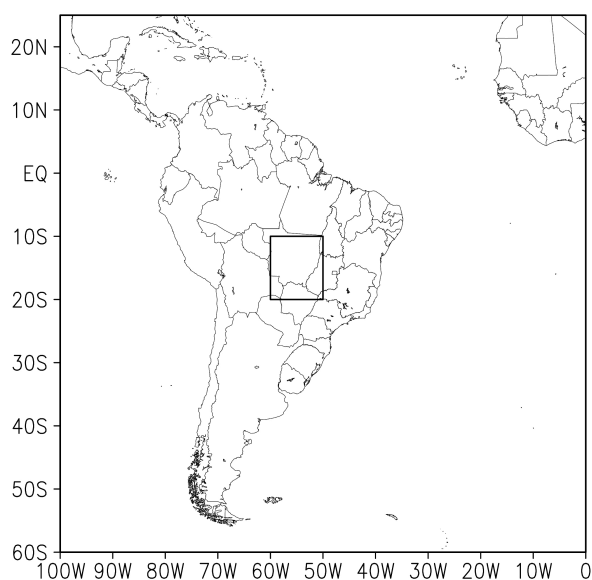


Figura 3.1 - Domínio utilizado para a caracterização da circulação atmosférica no verão austral da AS. O retângulo preto representa a região definida como o núcleo do SMAS.

4 RESULTADOS

O Capítulo 4 apresenta os resultados encontrados a partir da utilização metodologia acima exposta. Os resultados estão subdivididos nas seções climatologia (4.1) e variabilidade intrassazonal (4.2).

4.1 Climatologia

4.1.1 Características gerais

As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam as características gerais de precipitação e circulação no verão da AS, nos meses de verão (DJF), para todos os conjuntos de reanálise, para baixos (850 hPa) e altos níveis (200 hPa), respectivamente.

Em relação a precipitação (Figura 4.1 e 4.2) ressaltam-se as seguintes características:

- Deslocamento para sul da banda de precipitação associada à ZCIT.
- Precipitação continental predominantemente com orientação noroeste-sudeste da região Amzônica ao sudeste brasileiro.
- Precipitação mais intensa na região sudeste da região Amazônica ao norte da região do núcleo do SMAS.
- Pouca precipitação sobre a região Amazônica no dado do NCEP-2 com concentração sobre o nordeste brasileiro.

Em baixos níveis (Figura 4.1) ressaltam-se as seguintes características:

- No continente o fluxo é predominantemente de oeste responsável pelo transporte de umidade da região Amazônica para latitudes subtropicais e de latitudes médias, através do núcleo do SMAS.
- CFSR e SRDAS apresentam uma região com circulação anticiclônica sobre a região do Uruguai.

Em altos níveis (Figura 4.2) ressaltam-se as seguintes características:

- Alta da Bolívia com centro a leste do núcleo do SMAS.
- Cavado no litoral do nordeste brasileiro.

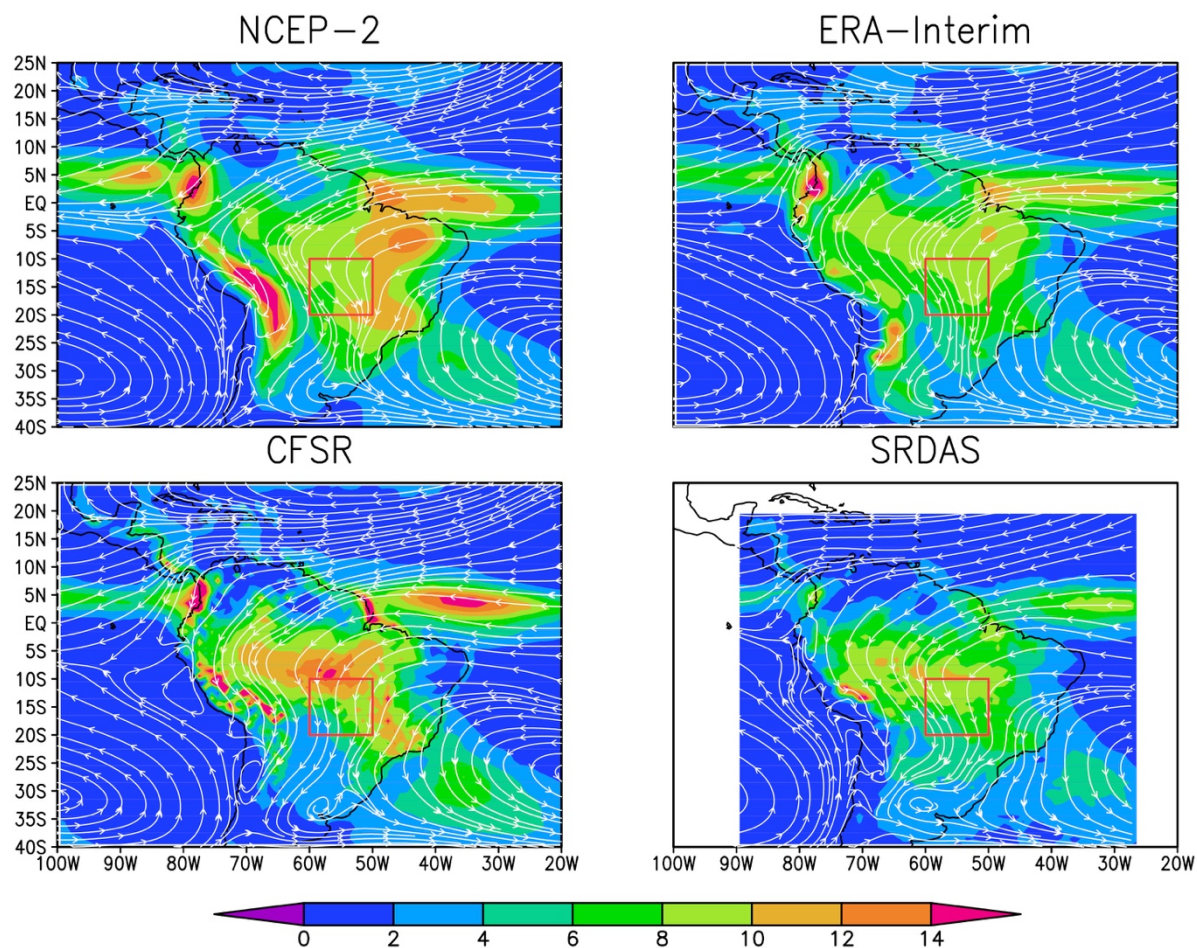


Figura 4.1 - Média (1981-2010) de linha de corrente em 850 hPa e precipitação (sombreado), para DJF. A média do SRDAS foi calculada para o período de 1999 a 2008 devido a disponibilidade dos dados. Núcleo do SMAS representado por um quadrado vermelho.

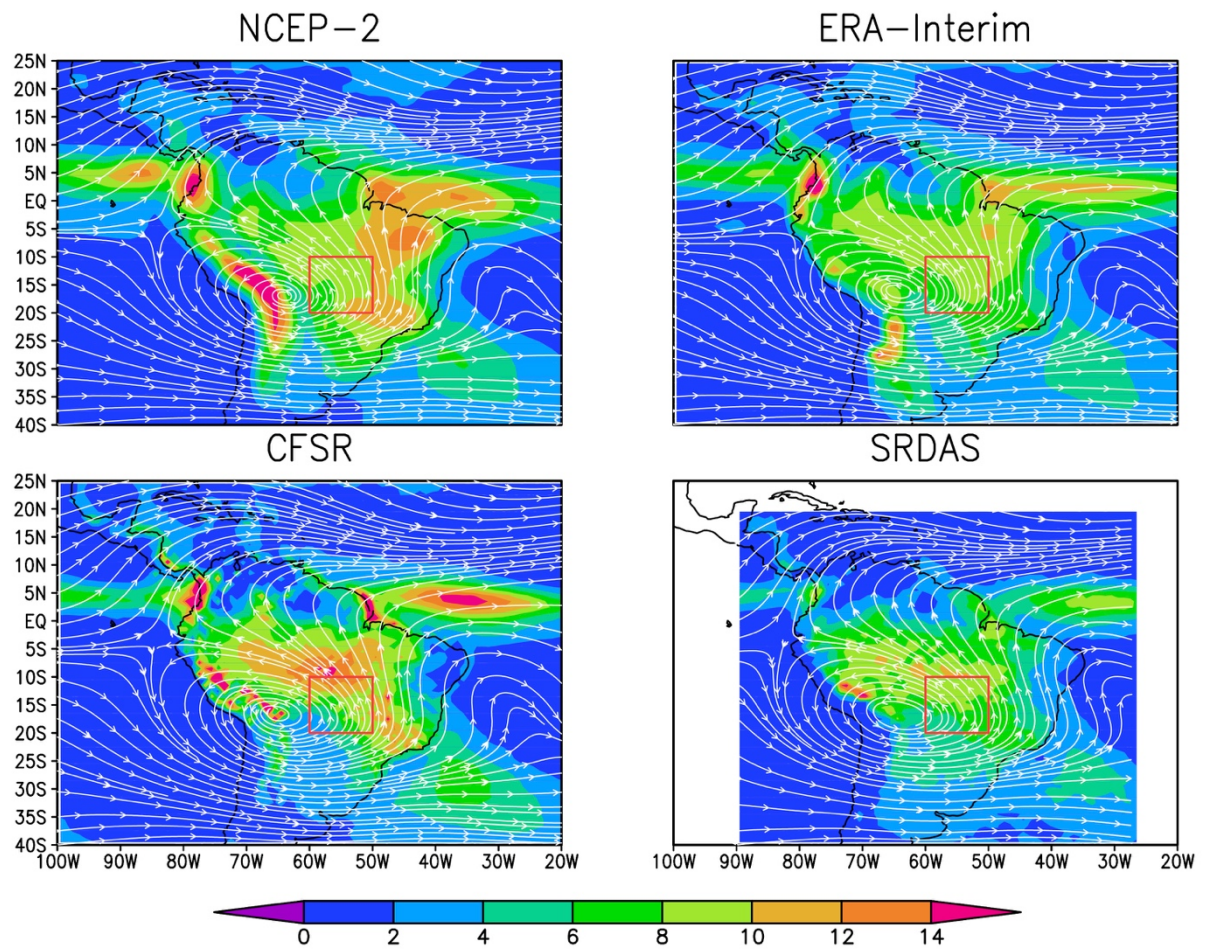


Figura 4.2 - Média (1981-2010) de linha de corrente em 200 hPa e precipitação (sombreado), para DJF. A média do SRDAS foi calculada para o período de 1999 a 2008 devido a disponibilidade dos dados. Núcleo do SMAS representado por um quadrado vermelho.

4.1.2 Precipitação

A Figura 4.3 apresenta a distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) da precipitação diária na AS para os dados do CPC. Este período foi escolhido por compreender o início e fim do período chuvoso do SMAS, onde normalmente são observados os maiores acumulados de precipitação. Em outubro nota-se uma banda de precipitação com valores entre 4 e 8 mm dia⁻¹ conectando o extremo noroeste da AS com o centro-sul do Brasil, além de porções do sul do Paraguai e nordeste da Argentina. Na climatologia deste mês nota-se que os maiores acumulados de precipitação se restringem predominantemente à Colômbia, posicionamento relacionado à posição mais ao norte da ZCIT. A partir de novembro, com o deslocamento para sul da ZCIT, existe uma marcha progressiva dos núcleos mais intensos de precipitação em direção ao sudeste do Brasil, estabelecendo a banda de precipitação associada a ZCAS. Esta banda atinge a sua máxima intensidade no mês de janeiro, com núcleos com precipitação diária entre 10 e 15 mm dia⁻¹. A partir de fevereiro nota-se a perda da configuração desta banda de precipitação, o que está associado ao fim do verão e ao consequente deslocamento para norte da ZCIT. Importante notar que a conexão entre a precipitação do noroeste da AS e a região da Bacia do Prata permanece evidente durante todo o período, embora mais fraca do que a conexão relacionada à região de atuação da ZCAS. A precipitação nessa primeira região está normalmente associada aos sistemas convectivos de mesoescala e aos sistemas frontais que no verão não costumam avançar muito para norte em decorrência de um ambiente baroclínico menos favorável comparado ao inverno.

Ainda na Figura 4.3 é importante notar a região delimitada pelo quadrado na cor vermelha (abrangendo grande parte do Estado de Mato Grosso), definida por Gan *et al.* (2004) como o núcleo do SMAS. A importância desta região está associada ao fato dela representar uma ligação entre a precipitação tropical com a precipitação em latitudes mais altas (regiões subtropical e de latitudes médias). Note que a posição climatológica da ZCAS reside nesta região. Além disso, nota-se que o começo e fim do período mais ativo da monção estão associados a um aumento e a uma diminuição da intensidade do núcleo precipitação desta região, respectivamente.

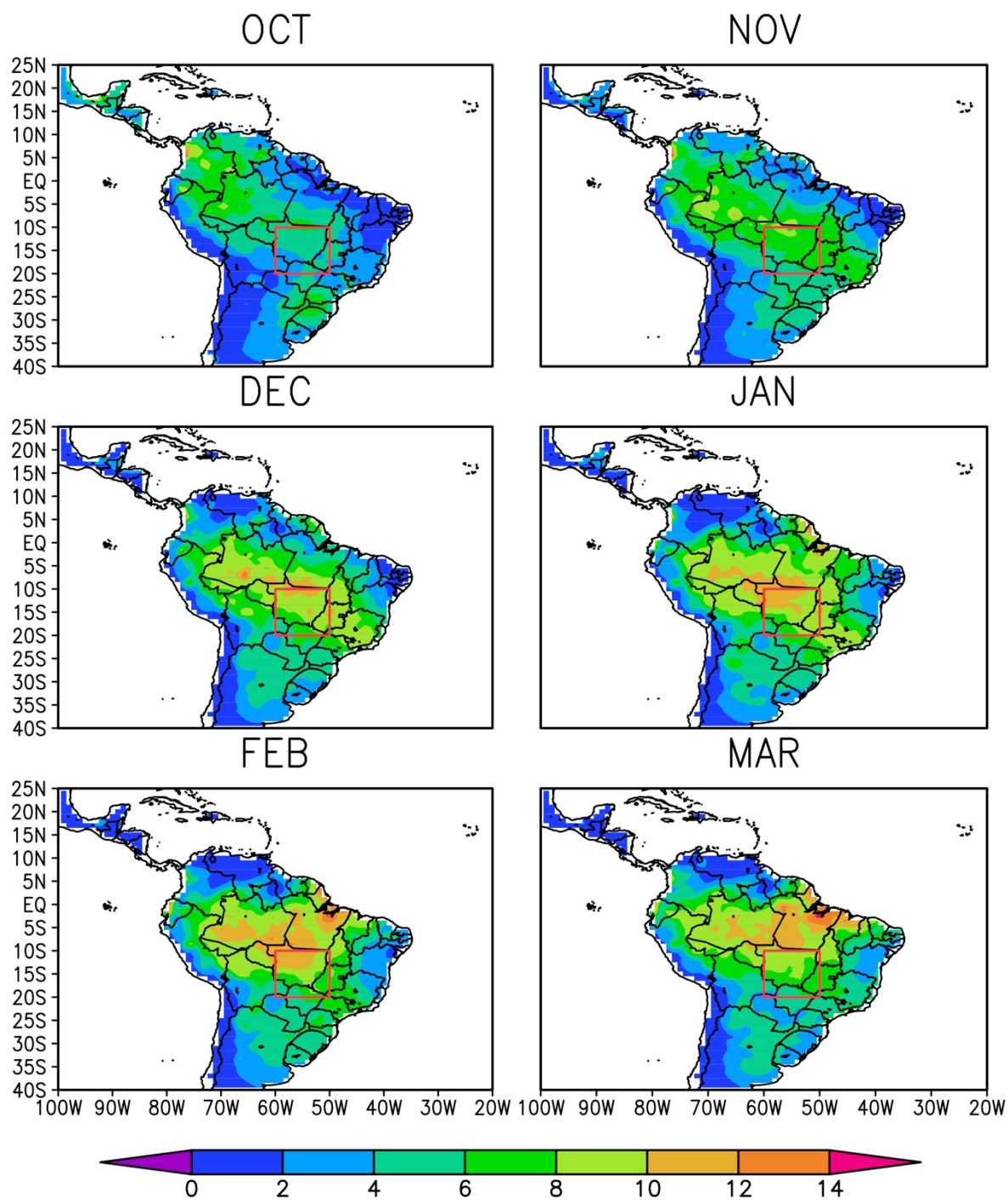


Figura 4.3 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CPC para o período de 1981 a 2010.

A Figura 4.4 apresenta a climatologia mensal de precipitação, calculada a partir dos dados do GPCP. Como pode ser observado, existe uma total correspondência dos padrões de precipitação continental entre outubro e março em relação aos dados do CPC, com exceção dos dados oceânicos que não estão disponíveis neste último. Como pontos mais importantes pode-se destacar:

- Núcleos mais intensos de precipitação na Região Amazônica surgem no mês de dezembro sobre a região Amazônica;
- Em janeiro há o estabelecimento de uma banda de precipitação conectando a região Amazônica com a Região Sudeste do Brasil e oceano Atlântico sul;
- Em fevereiro há um aumento de intensidade do núcleo de precipitação da Amazônia com perda da configuração da banda de precipitação até a região sudeste;

A Figura 4.5 apresenta a climatologia mensal de precipitação, calculada a partir dos dados do CMAP. Assim como observado nos dados do GPCP, há uma boa correspondência destes dados com os dados do CPC. Contudo, vale-se destacar algumas diferenças encontradas:

- Núcleo mais intenso de precipitação sobre a Amazônia aparece bem estabelecido somente em fevereiro;
- Valores de precipitação parecem inferiores tanto aos dados do CPC quanto GPCP;

Os dados do GPCP e CMAP foram utilizados como fontes adicionais (ou alternativas) aos dados do CPC, haja vista que estes últimos podem estar contaminados pelos dados em tempo real (2006 a 2010) que foram utilizados. Além disso, pelo fato dos dados do CMAP serem utilizados na assimilação dos dados das reanálises do NCEP (NCEP-2 e CFSR), faz-se importante sua análise na interpretação dos resultados posteriormente exibidos para as reanálises.

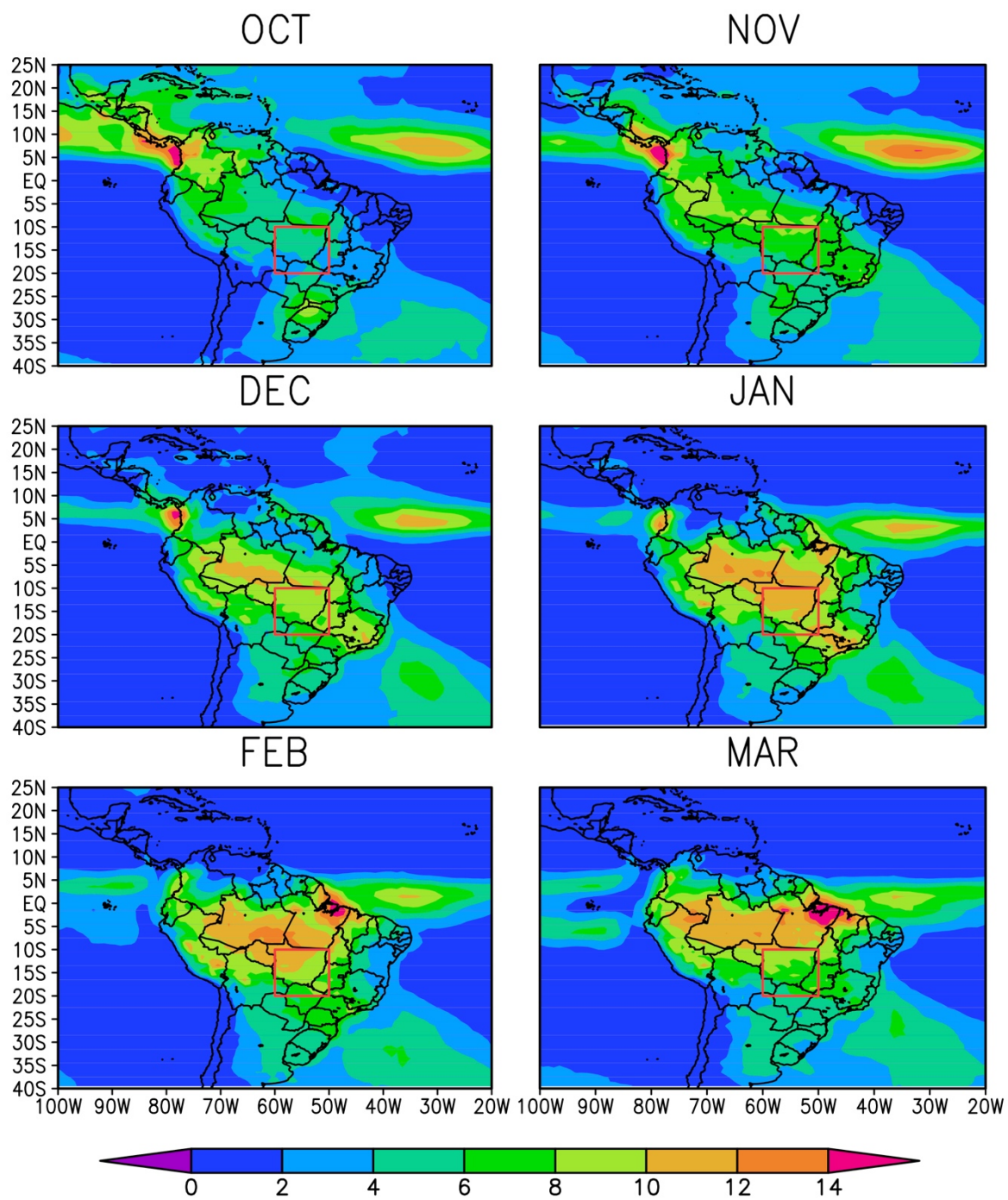


Figura 4.4 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do GPCP para o período de 1981 a 2010.

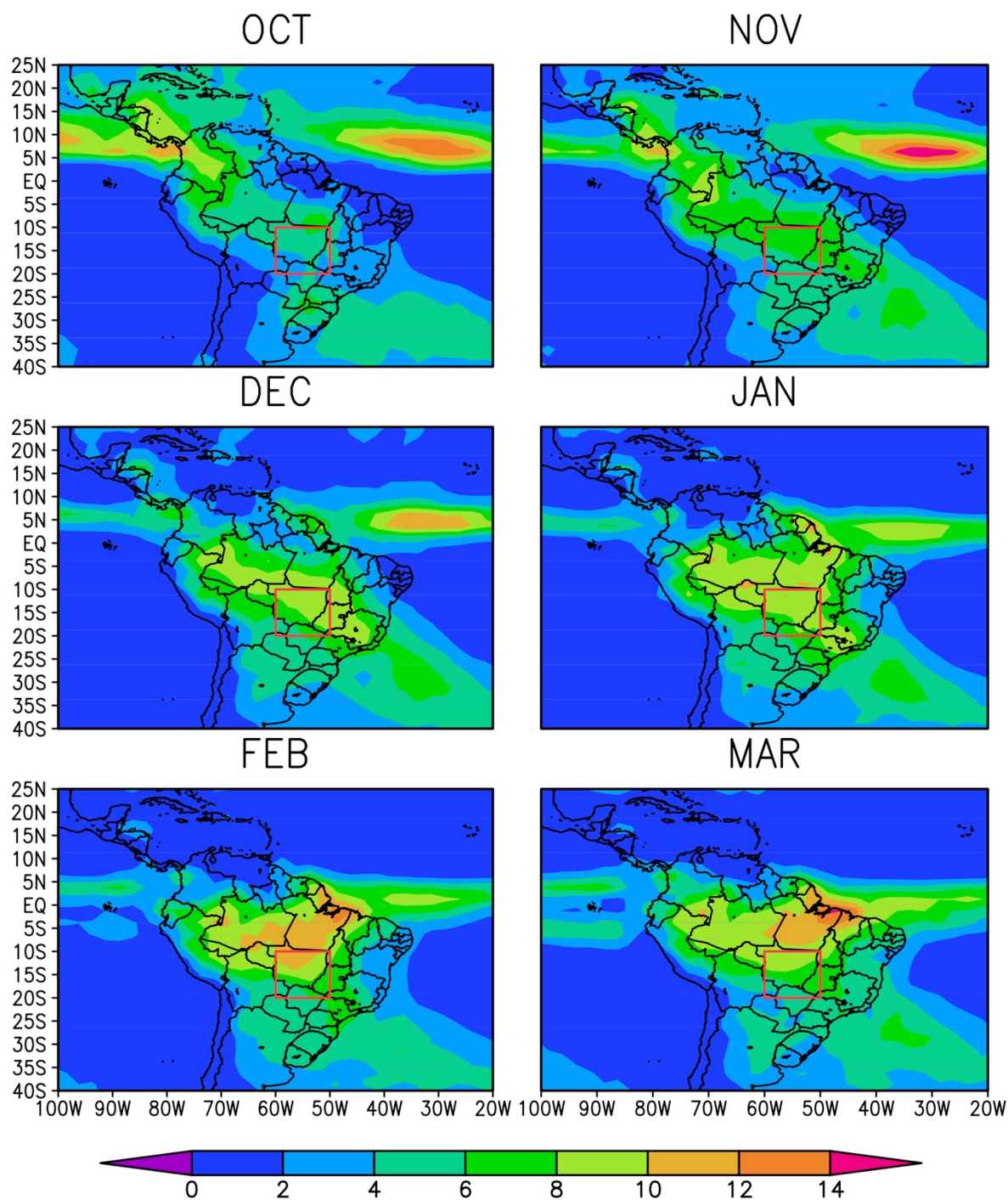


Figura 4.5 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CMAP para o período de 1981 a 2010.

As Figuras 4.6 a 4.9 apresentam a climatologia mensal de precipitação para os dados das reanálises do NCEP-2, ERA-Interim, CFSR-1 e SRDAS, respectivamente. Os resultados para o NCEP-2 (Figura 4.6) mostram que diferentemente do observado nos dados de referência, não há um claro deslocamento da precipitação da porção noroeste da AS em direção ao sudeste brasileiro. A partir de novembro surgem dois núcleos no continente, sendo um situado na região nordeste-sudeste do Brasil e outro situado ao longo da costa leste dos Andes. Não se observa o alinhamento característico da ZCAS conectando a bacia amazônica e o centro-oeste e sudeste do Brasil. Estes resultados evidenciam a dificuldade desta reanálise de produzir os máximos de precipitação na Amazônia e no núcleo do SMAS.

Os campos relativos à climatologia dos dados do ERA-Interim (Figura 4.7) possuem uma característica interessante. Embora os valores de precipitação sejam subestimados em relação aos dados de referência e das demais reanálises, fica evidente a semelhança do padrão espacial se comparados aos dados do CPC e GPCP. Note que fica evidente o ciclo anual da precipitação: i) há o deslocamento para sul da precipitação a partir de outubro; ii) estabelecimento da banda de precipitação associada ao padrão ZCAS em novembro; iii) manutenção do padrão ZCAS até janeiro; iv) retraimento das zonas de precipitação mais intensas entre fevereiro e março.

Nos dados do CFSR-1 (Figura 4.8), além de ser possível captar a evolução da distribuição espacial da precipitação ao longo do período, estes dados conseguem melhorar a reprodução da sua intensidade e o posicionamento dos principais núcleos. Note, contudo, que se observa um atraso nestes dados em relação ao CPC. A precipitação mais intensa no núcleo do SMAS aparece somente em dezembro quando nos dados de referência a mesma já é observada em novembro. Nota-se também, em novembro, a existência de um núcleo de precipitação mais intensa na Região Sudeste do Brasil que não é observada nos dados de referência. Outro ponto importante de se destacar é que estes dados melhoram a representação da precipitação sobre o leste dos Andes, o que se apresentava como um problema nos dados do NCEP-2 e ERA-Interim.

Nos dados do SRDAS (Figura 4.9) pode-se notar que a precipitação na região da ZCAS possui fase madura em janeiro de acordo com os dados observados, embora os dados de precipitação pareçam subestimados ao longo de todo o período. A componente oceânica da ZCIT aparece com intensidade similar à dos dados observados, comportamento único se analisados os demais dados de reanálise.

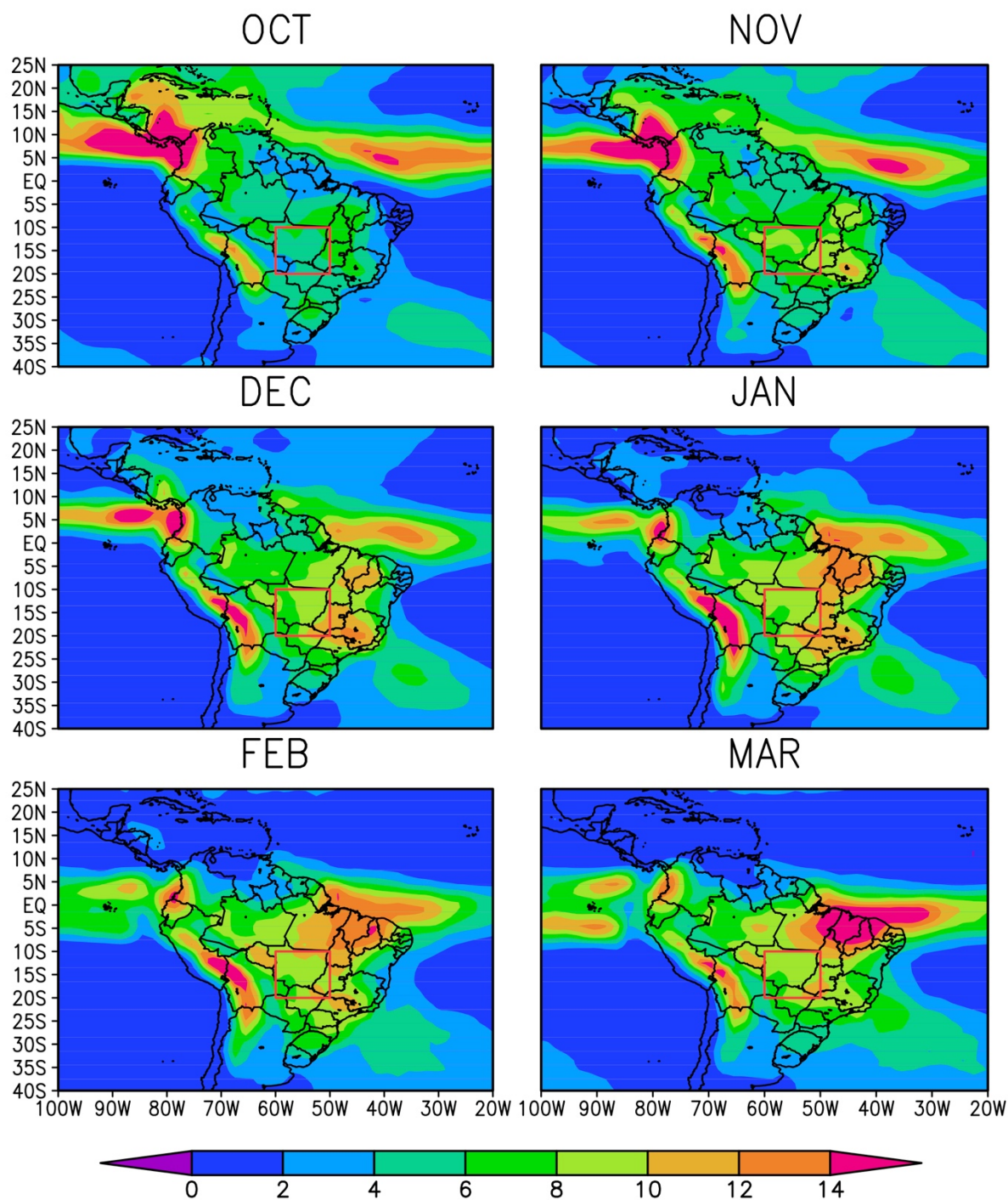


Figura 4.6 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do NCEP-2 para o período de 1981 a 2010.

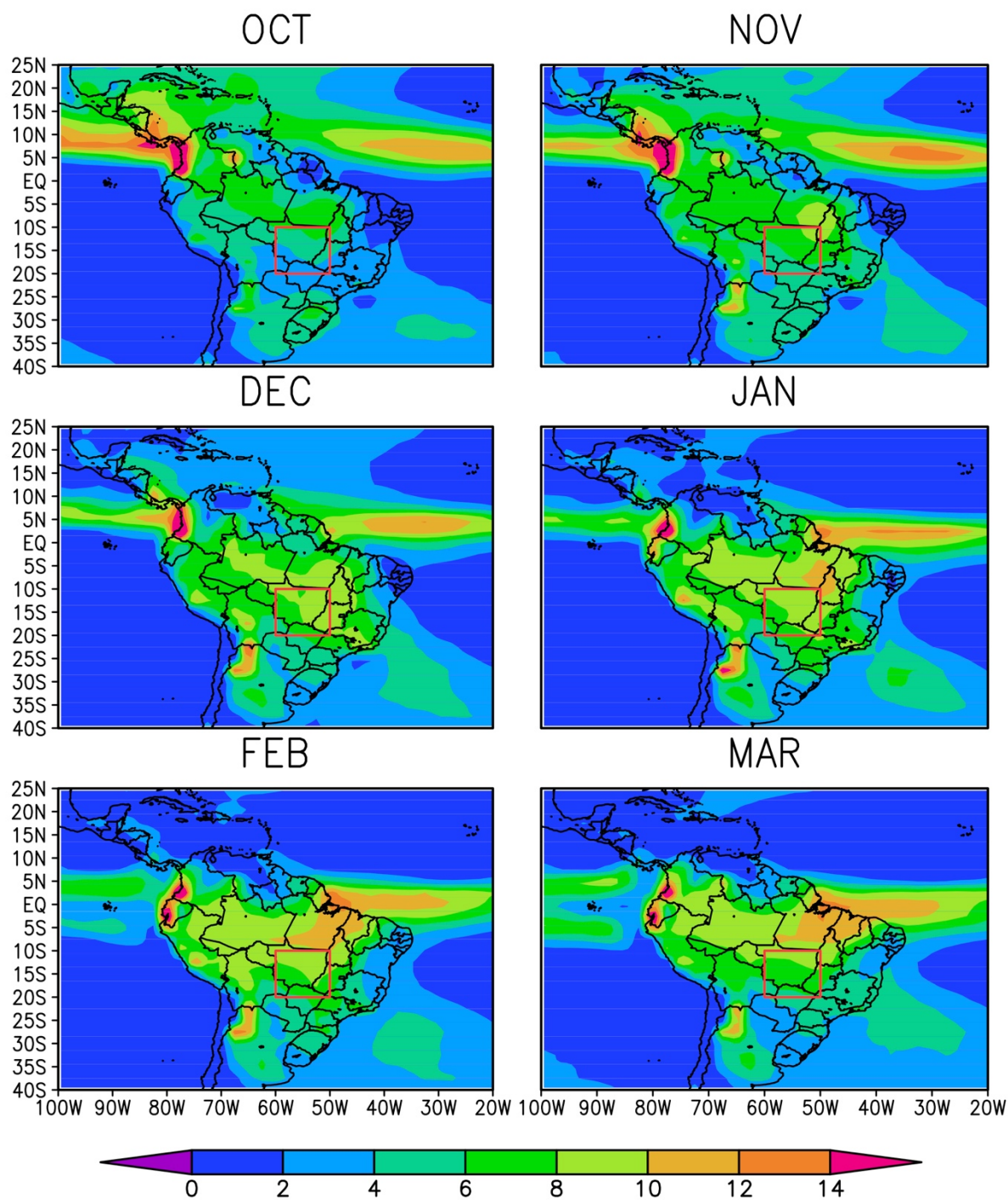


Figura 4.7 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do ERA-Interim para o período de 1981 a 2010.

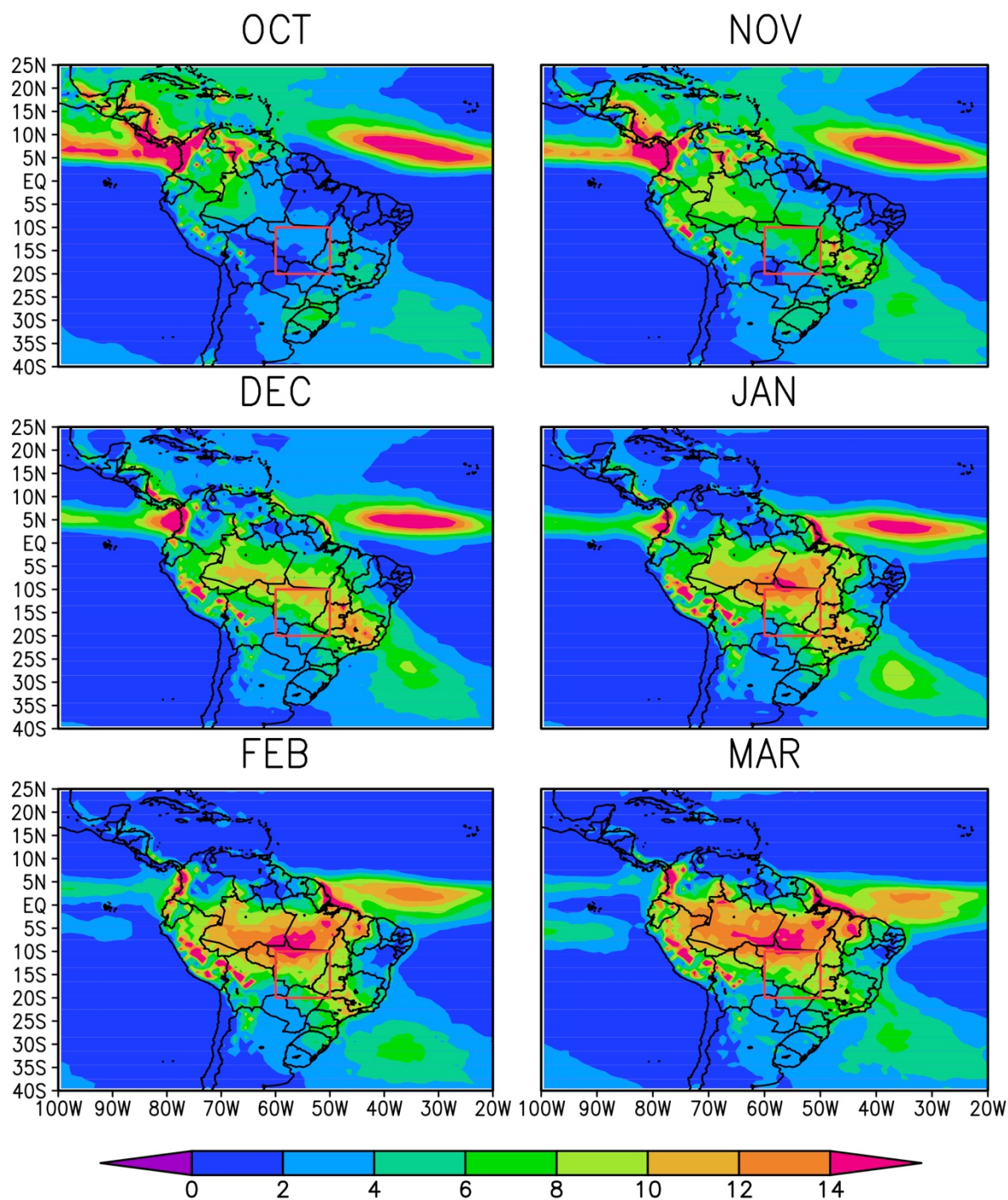


Figura 4.8 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do CFSR para o período de 1981 a 2010.

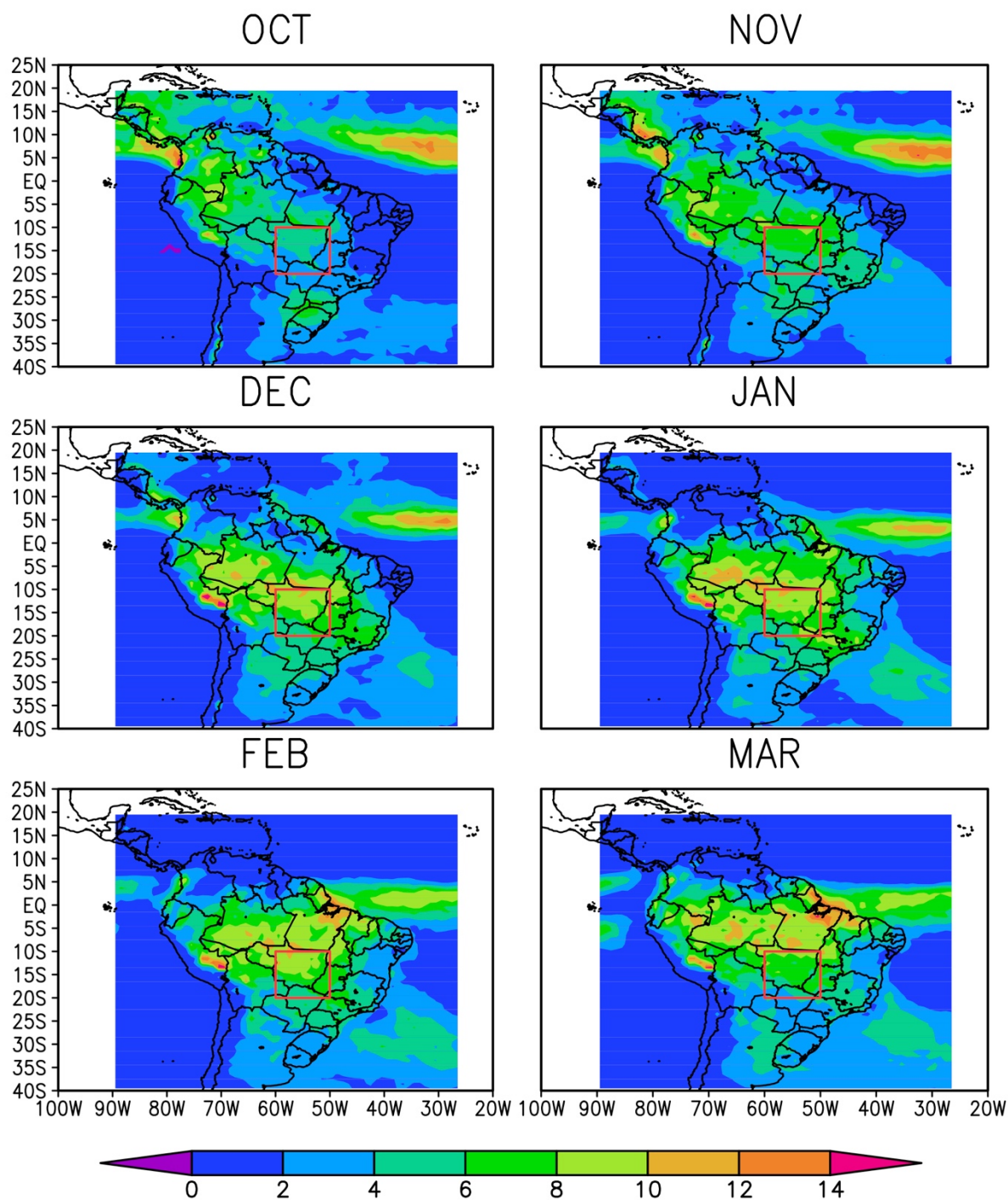


Figura 4.9 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) calculada a partir dos dados de precipitação diária (mm dia^{-1}) do SRDAS para o período de 1998 a 2008.

4.1.3 Fluxo de umidade em 850 hPa

As Figuras 4.10 a 4.13 apresentam a distribuição espacial da climatologia mensal do fluxo de umidade específica em 850 hPa e sua divergência para os dados da reanálise do NCEP-2, ERA-Interim, CFSR-1 e SRDAS, respectivamente. A partir da análise destes campos pode-se entender um pouco melhor as diferenças observadas no campo de precipitação em relação aos dados de referência.

Importante notar que os campos de fluxo de umidade específica estão normalmente bem correlacionados com a convecção na região pelo fato de existir uma forte relação de causa e efeito entre os mesmos. Regiões convergência (divergência) do fluxo de umidade específica em baixos níveis estão normalmente relacionados a convecção (ausência de convecção).

As Figuras 4.10 a 4.13 também apresentam a componente zonal do vento (destacada somente por valores positivos nas figuras) na região de estudo. Do ponto de vista médio (climatologia, como nas figuras analisadas), a presença dessa componente zonal no núcleo do SMAS (caixinha destacada) indica um caminho de ligação nos baixos níveis entre a região amazônica e o núcleo da monção, similar ao escomento de baixos níveis em um evento ZCAS. Dessa forma, é possível destacar em quais meses do período da monção de verão esse vínculo entre a Amazônia e o núcleo do SMAS fica mais evidente. Esta variável atmosférica é frequentemente utilizada na identificação de períodos ativos e inativos do SMAS e seu valor positivo (componente zonal de oeste) está relacionada a períodos ativos de precipitação, enquanto seu valor negativo (componente zonal de leste) está relacionada a períodos inativos. Estes períodos serão melhor abordados na Seção 4.2 deste trabalho.

A análise dos campos de baixos níveis permite a identificação de algumas características dos dados das reanálises, a saber:

- NCEP-2 (Figura 4.10):
 - Convergência continental e oceânica conectadas entre novembro e janeiro;
 - Pouca convergência sobre região Amazônica, coerente com os próprios valores reduzidos de precipitação nesta região (Figura 4.6);
 - Componente zonal do vento no continente mais intensa em dezembro;
 - Maior penetração da convergência no núcleo do SMAS em dezembro;
 - Maior intensidade da convergência continental em dezembro;

- Em fevereiro, tanto a componente zonal quanto a convergência permanecem presentes no núcleo;
- Componente zonal ainda presente no núcleo em março;
- ERA-Interim (Figura 4.11):
 - Convergência continental e oceânica conectadas somente entre dezembro e fevereiro;
 - Componente zonal do vento no continente mais intensa em janeiro;
 - Maior penetração da convergência no núcleo do SMAS em janeiro;
 - Maior intensidade da convergência continental em janeiro;
 - Em fevereiro, embora a convergência persista no núcleo do SMAS, a componente zonal nesta região está mais fraca, coincidente com a diminuição da precipitação nesta região (Figura 4.7);
- CFSR (Figura 4.12):
 - Convergência continental e oceânica conectadas entre novembro e fevereiro;
 - Componente zonal do vento no continente mais intensa em janeiro, coincidente com o estabelecimento da banda de precipitação entre a região amazônica e o sudoeste do oceano Atlântico (Figura 4.8);
 - Maior penetração da convergência no núcleo do SMAS em fevereiro, coincidente com o máximo de precipitação observada nesta região (Figura 4.8);
 - Maior intensidade da convergência continental em fevereiro;
 - Somente em março rompe-se a convergência continental e oceânica e também observa-se que a componente zonal não está mais presente no núcleo. Nota-se que ainda em março há a manutenção de forte precipitação na região continental (Figura 4.8);
- SRDAS (Figura 4.13):
 - Convergência continental e oceânica conectadas entre novembro e março;
 - Componente zonal mais intensa em dezembro, quando há um aumento da precipitação nesta região (Figura 4.9), embora presente no núcleo durante todo o período;
 - Convergência continental presente no núcleo durante todo o período,

embora mais intensa em janeiro;

- Maior convergência continental em fevereiro, embora presente no núcleo durante todo o período;
- Diminuição da convergência continental em março, coincidente com a diminuição da precipitação no núcleo do SMAS (Figura 4.9);

Ao se comparar os campos de fluxo de umidade entre NCEP-2 e CFSR, nota-se que existe convergência desses fluxos nos dois conjuntos de dados nos meses outubro e novembro, porém apenas o NCEP-2 destaca a presença da componente zonal de oeste do vento nesses meses. Esse resultado sugere que o escoamento de oeste nos campos do CFSR não tem participação efetiva na convergência do fluxo de umidade no núcleo do SMAS no início da monção. Por outro lado, nos dados do NCEP-2 esse escoamento de oeste em 850 hPa está presente em todo o período chuvoso da monção (outubro a março) e com maior intensidade em dezembro e janeiro. É possível verificar, também, que existe um padrão similar entre NCEP-2 e SRDAS, sendo o núcleo do SMAS em ambos marcados pela atuação desse escoamento de oeste em todos os meses analisados (outubro a março). Para o ERA-Interim essa influência da componente zonal do vento é pouco efetiva no início da monção (outubro e novembro), atingindo a máxima intensidade no ápice do período chuvoso (dezembro e janeiro) nesses dois conjuntos de dados (NCEP-2 e SRDAS) e praticamente inexistente nos meses de fevereiro e março, também para os dois conjuntos.

Importante destacar que embora os dados do SRDAS não estejam disponíveis para todo o período climatológico considerado (1981 a 2010), as comparações feitas na mesma janela amostral do SRDAS (1999 a 2008) não apresentaram diferenças significativas em relação a comparação com o período de 30 anos dos demais conjuntos.

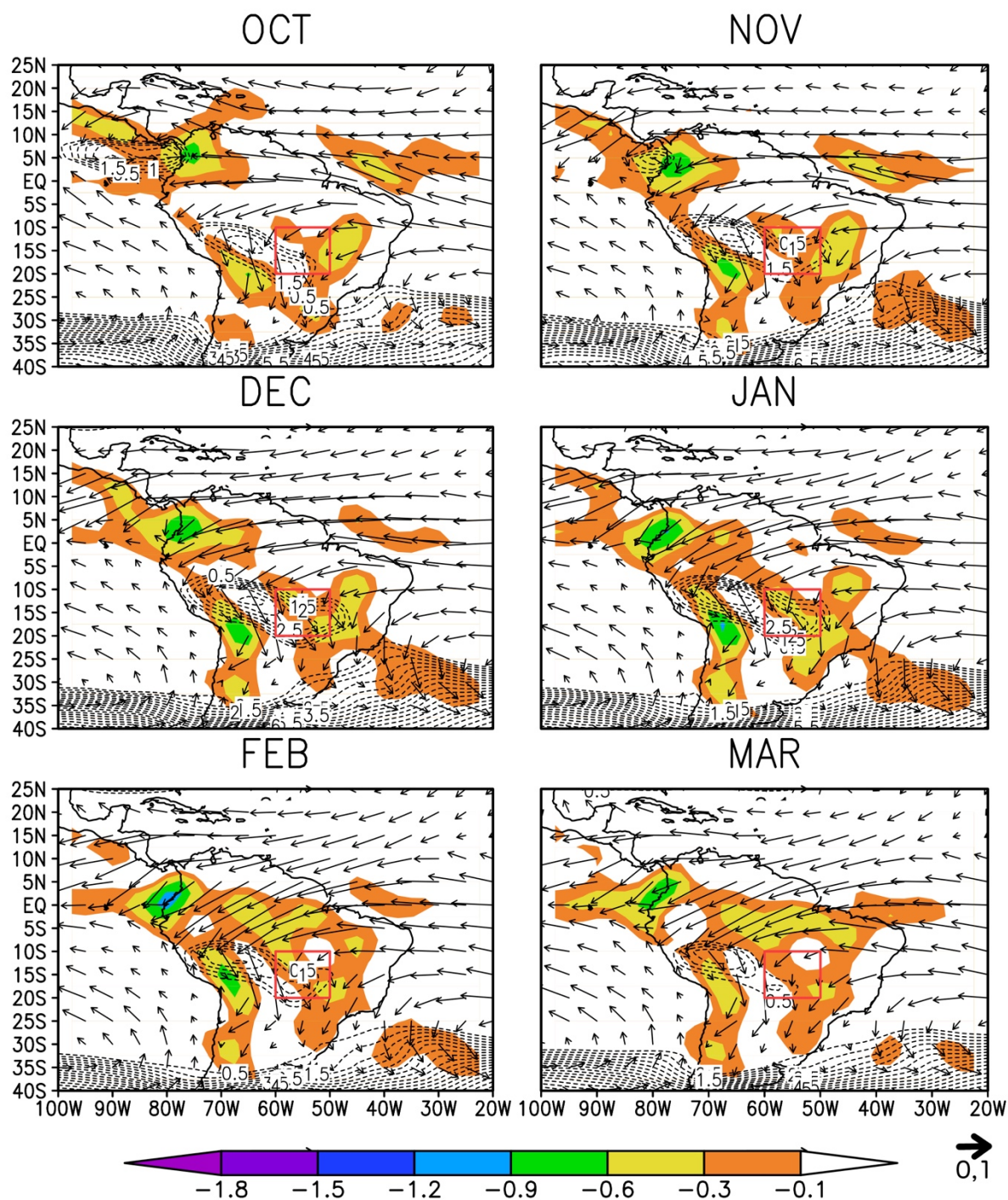


Figura 4.10 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (vetor) (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do NCEP-2 para o período de 1981 a 2010. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.

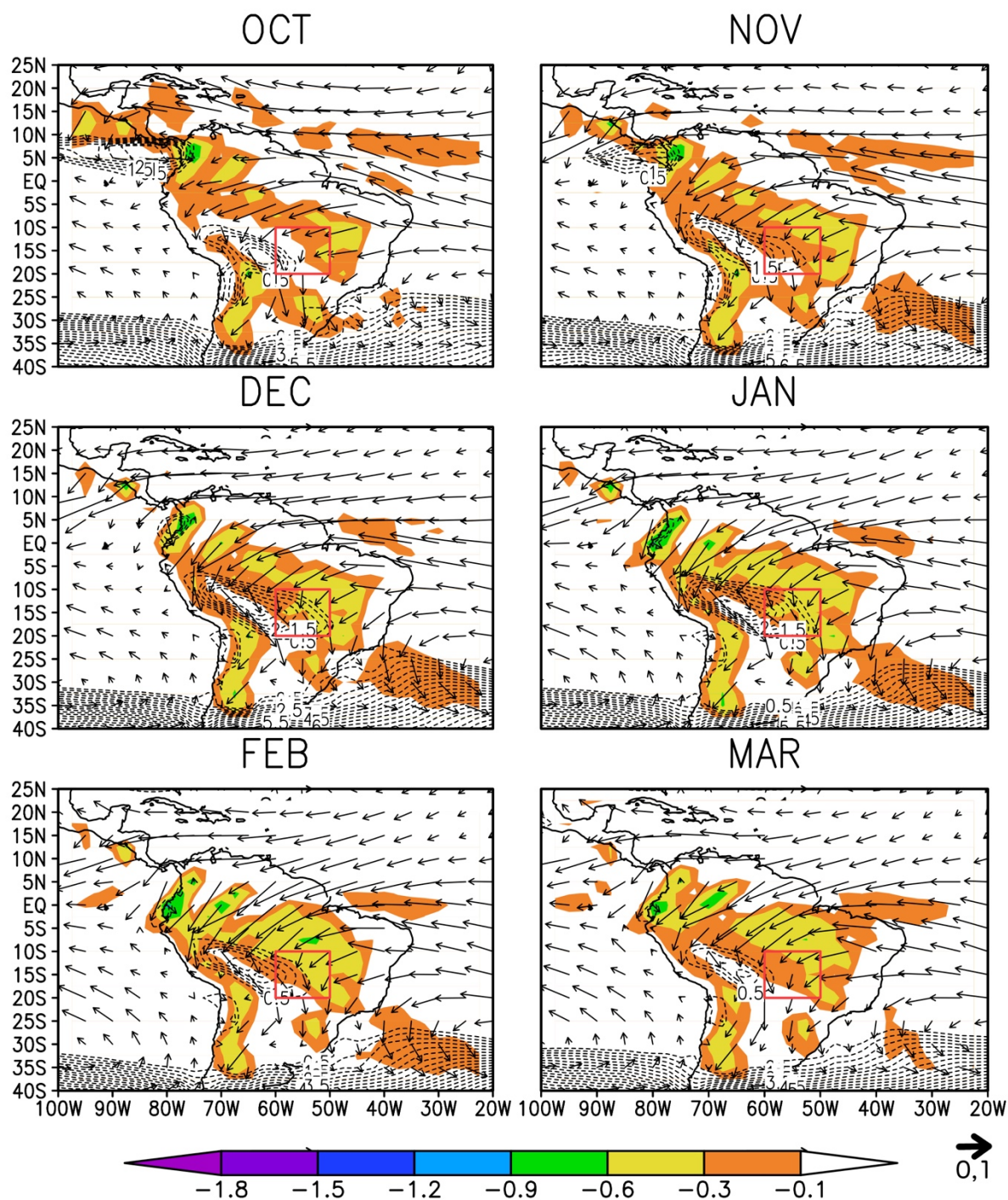


Figura 4.11 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (vetor) (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do ERA-Interim para o período de 1981 a 2010. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.

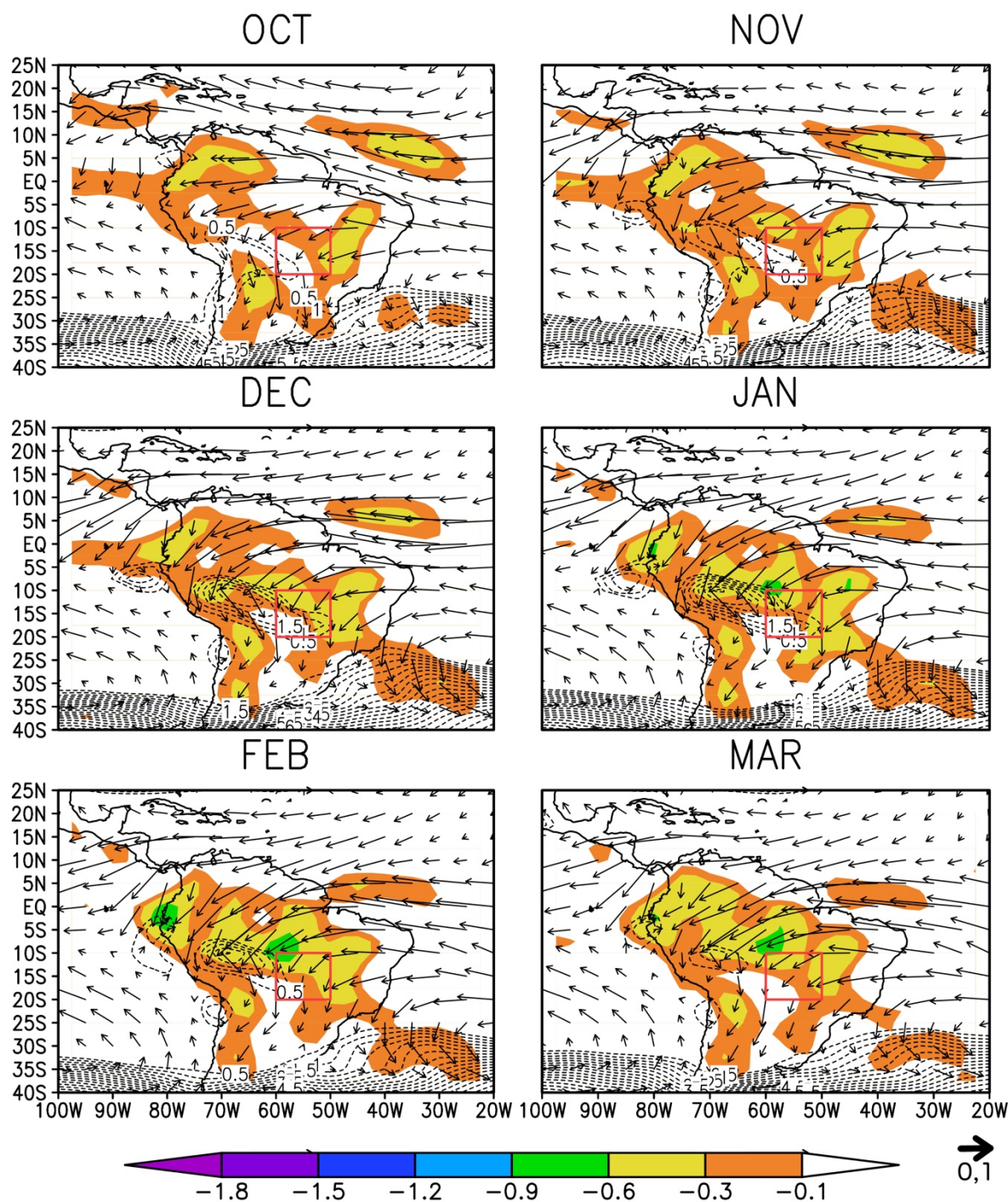


Figura 4.12 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (vetor) (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$) a partir de médias diárias do CFSR para o período de 1981 a 2010. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.

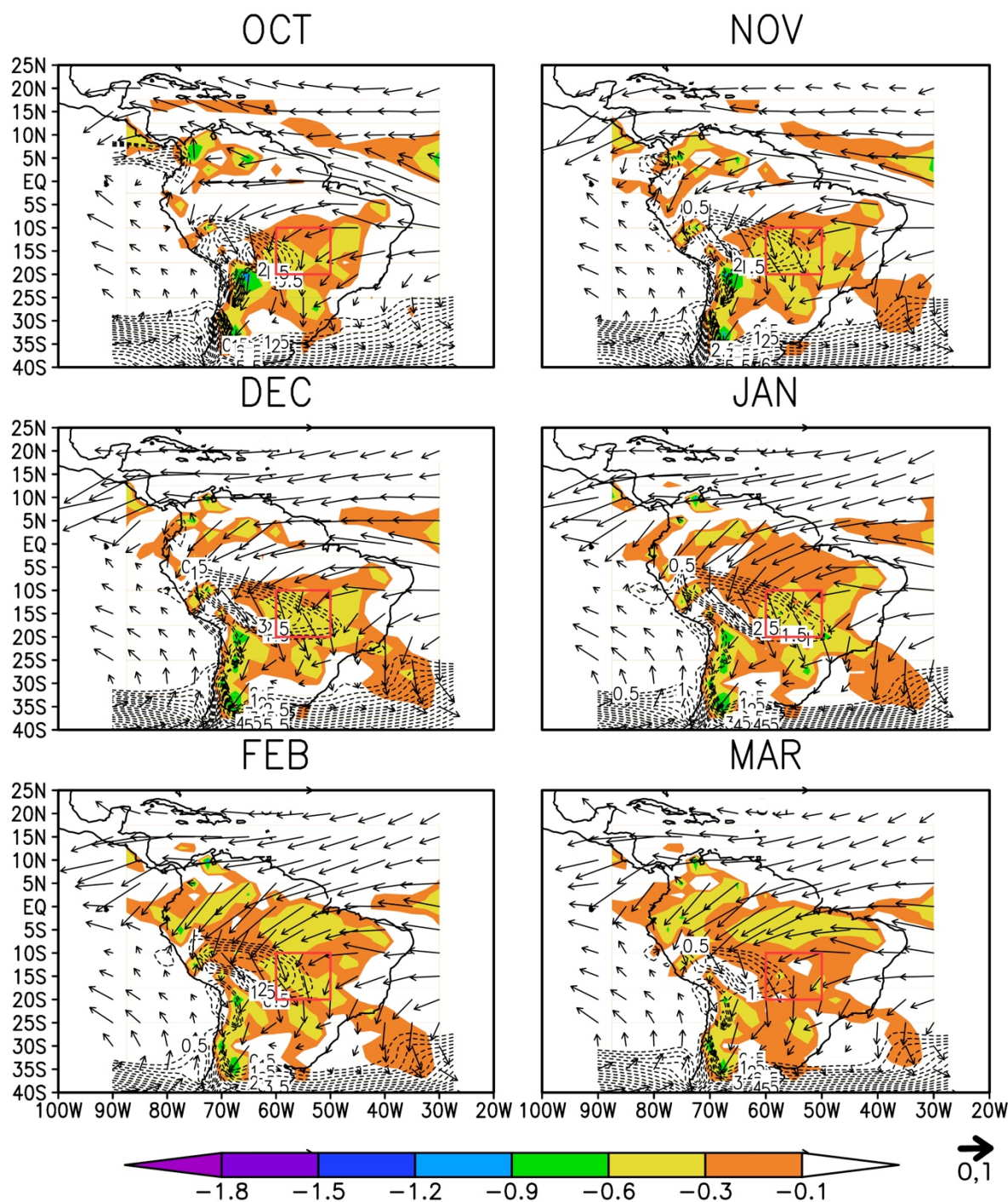


Figura 4.13 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do fluxo de umidade específica (vetor) (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do SRDAS para o período de 1999 a 2008.. Componente zonal de oeste do vento destacada em linhas tracejadas.

4.1.4 Vento e divergência em 200 hPa

As Figuras 4.14 a 4.17 apresentam a distribuição espacial da climatologia mensal do vento em 200 hPa e sua divergência para os dados da reanálise do NCEP-2, ERA-Interim, CFSR-1 e SRDAS, respectivamente. Importante notar que a divergência em altos níveis implica, devido a lei de conservação de massa, que existe convergência em baixos níveis, favorecendo o movimento convectivo que permite a formação de nuvens e, conseqüentemente, precipitação.

De forma geral, podem-se apontar as seguintes características comuns entre os campos apresentados:

- Núcleo da Alta da Bolívia (AB) próximo ao núcleo do SMAS entre dezembro e março;
- Núcleo da AB mais ao sul em janeiro;
- Cavado próximo ao nordeste brasileiro melhor configurado entre janeiro e fevereiro;

Além disso, algumas características particulares de cada um dos conjuntos de reanálise podem ser identificadas:

- NCEP-2 (Figura 4.14)
 - Valores mais intensos de divergência entre todos os dados de reanálise;
 - Pouca divergência sobre Amazônia, coincidente com a pouca convergência em baixos níveis (Figura 4.10) e pouca precipitação (Figura 4.6);
 - Divergência sobre os Andes (intensa entre novembro e março) e nordeste brasileiro (intensa entre janeiro e março), coincidente com os grandes volumes de precipitação (Figura 4.6) nestas regiões;
 - Em janeiro, mês de ocorrência da fase chuvosa mais intensa, componente predominante de sul no núcleo do SMAS;
- ERA-Interim (Figura 4.15)
 - Divergência na região de atuação da ZCAS mais intensa em dezembro, coincidente com o estabelecimento da banda de precipitação conectando a Amazônia e sudeste brasileiro (Figura 4.7);
 - Em janeiro, mês de ocorrência da fase chuvosa mais intensa, componente predominante de sul no núcleo do SMAS;

- CFSR (Figura 4.16)
 - Divergência em toda banda da região da ZCAS a partir de novembro a março, coincidente com a banda de precipitação observada nesta região ao longo deste mesmo período (Figura 4.8);
 - Em janeiro, mês de ocorrência da fase chuvosa mais intensa, componente predominante de sudeste no núcleo do SMAS;
- SRDAS (Figura 4.17)
 - Valores de divergência similares aos do ERA-Interim;
 - Divergência na banda da região da ZCAS mais intensa em dezembro, coincidente com o estabelecimento da banda de precipitação entre região Amazônica e sudeste brasileiro (Figura 4.9);
 - Em janeiro, mês de ocorrência da fase chuvosa mais intensa, componente predominante de sudeste no núcleo do SMAS;
 - Novamente é importante destacar que embora os dados do SRDAS não estejam disponíveis para todo o período climatológico considerado (1981 a 2010), as comparações feitas na mesma janela amostral do SRDAS (1999 a 2008) não apresentaram diferenças significativas em relação a comparação com o período de 30 anos dos demais conjuntos.

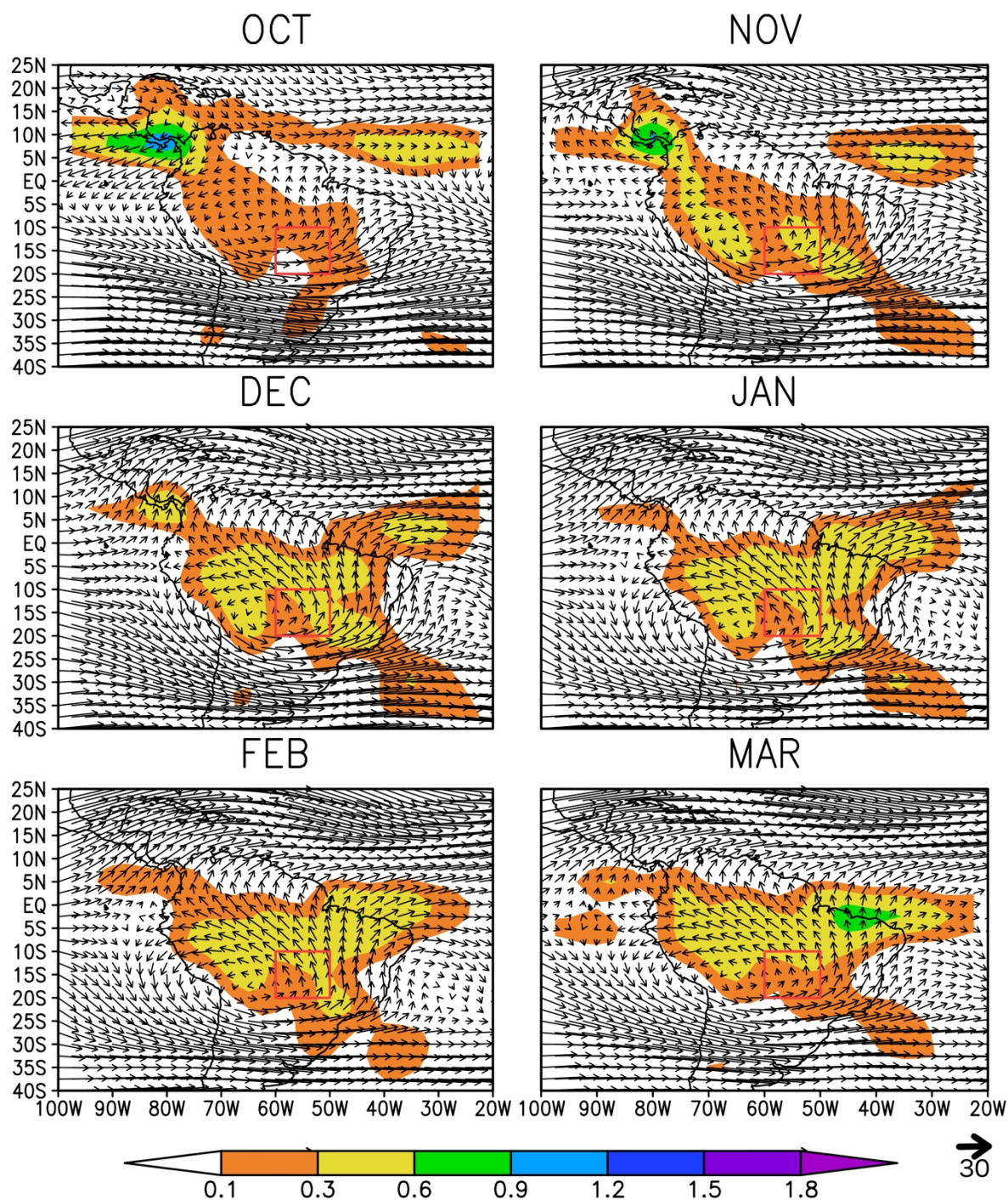


Figura 4.14 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (vetor) (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) a partir de médias diárias do NCEP-2 para o período de 1981 a 2010.

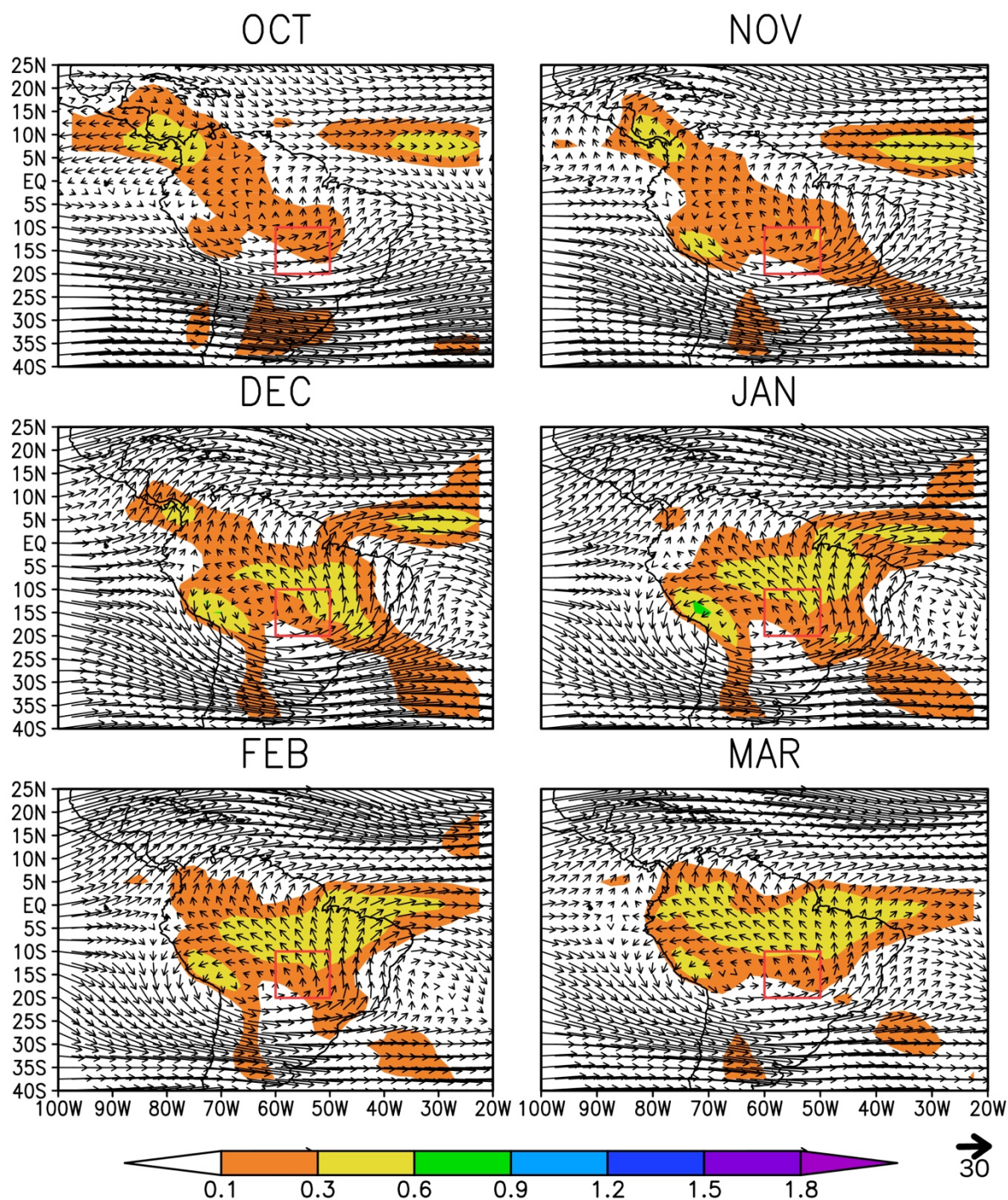


Figura 4.15 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do para o período de 1981 a 2010a partir de médias diárias do ERA-Interim para o período de 1981 a 2010.

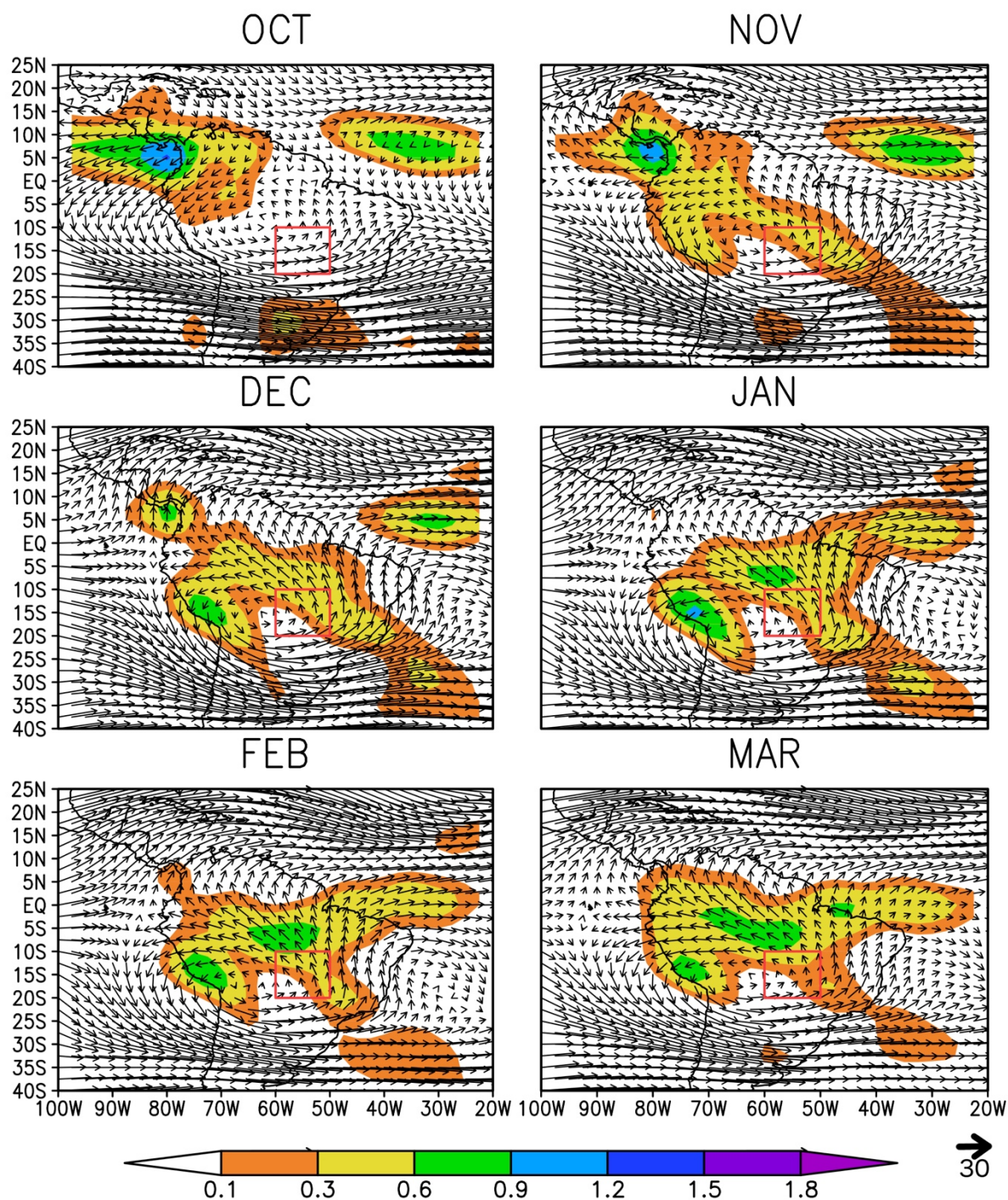


Figura 4.16 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (vetor) (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) a partir de médias diárias do CFSR para o período de 1981 a 2010.

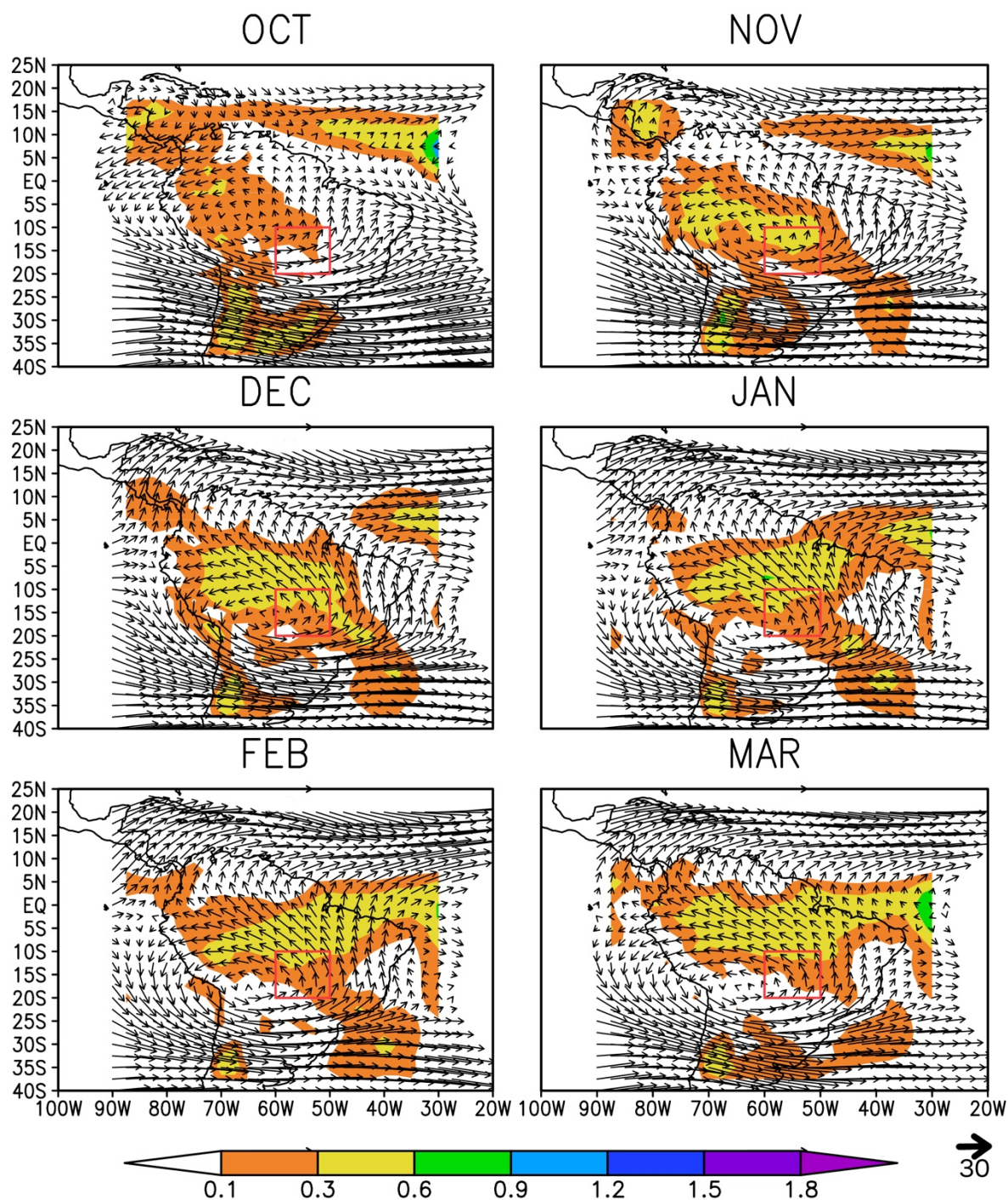


Figura 4.17 - Distribuição espacial da climatologia mensal (outubro a março) do vento (vetor) (m s^{-1}) em 200 hPa e sua divergência (colorido) ($\times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) a partir de médias diárias do SRDAS para o período de 1999 a 2008.

4.1.5 Núcleo do SMAS

A Figura 4.18 apresenta, para o núcleo do SMAS, a distribuição anual da climatologia mensal da precipitação diária (eixo esquerdo), para todos os conjuntos de dados (observação e reanálise), e divergência do fluxo de umidade em 850 hPa (eixo direito), somente para os dados da reanálise. Também foram adicionadas a linha de zero referente à divergência do fluxo de umidade e a linha de precipitação de 4 mm / dia definida por Gan *et al.* (2004) como um limiar para o início do período chuvoso no núcleo do SMAS.

Os dados de referência de precipitação possuem boa correspondência ao longo do ano com valores relativamente maiores para o GPCP nos meses de janeiro e fevereiro e menores para o CMAP no mesmo período, em relação ao CPC. Nota-se que todos os conjuntos para precipitação observada concordam com o máximo de precipitação no mês de janeiro. O início do período chuvoso, aqui definido como precipitação superior a 4 mm (GAN *et al.*, 2004), ocorre no início do mês de outubro (próximo à pentada 55), um pouco adiantado em relação à média dos estudos apresentados no Capítulo 2 (Tabela 2.1) que ocorre aproximadamente na pentada 59. Note que esta diferença está provavelmente associada a diferença de metodologia de definição do início da monção e também pelo fato de que na Figura 4.18 estão sendo analisados valores médios ao longo do mês e não a série diária de precipitação. Em relação ao fim do período chuvoso, quando a precipitação cai abaixo dos 4 mm, ocorre no começo de abril (próximo à pentada 19), também adiantada em relação ao valor médio encontrado por Gan *et al.* (2004) em torno da pentada 22.

Os dados das reanálises apresentam resultados distintos. A curva do NCEP-2 apresenta valores superiores aos dados observados entre setembro e novembro, além de apresentar valores também superiores nos meses de fevereiro e março. Estes resultados evidenciam um início adiantado e um fim atrasado do período mais ativo do SMAS. Durante os meses de dezembro e janeiro os acumulados são similares aos dados do CPC. Os dados do ERA-Interim apresentam um ciclo muito similar aos dados observados; destacando-se que esta foi a única das reanálises analisadas a apresentar o máximo de precipitação em janeiro. Contudo, a intensidade da precipitação se encontra subestimada no período entre dezembro e fevereiro em relação aos dados do CPC e GPCP, embora com valores próximos aos dados do CMAP. A análise da curva de precipitação do CFSR-1 evidencia um deslocamento de fase em relação aos demais dados. Alguns aspectos desta curva são dignos de nota: i) o aumento da

precipitação nesta região começa em setembro, quando o aumento nos demais conjuntos de dados inicia-se em agosto; ii) o máximo de precipitação ocorre em fevereiro, quando a dos demais conjuntos é em janeiro; e iii) a diminuição da precipitação ocorre a partir de março, quando nos demais dados, com exceção do NCEP-2, acontece a partir de fevereiro. Os dados de precipitação do SRDAS aparecem em fase com os dados observados e ERA-Interim, embora subestimados em relação a todos os demais. Como apresentado anteriormente, embora os dados do SRDAS não estejam disponíveis para todo o período climatológico considerado (1981 a 2010), as comparações feitas na mesma janela amostral do SRDAS (1999 a 2008) não apresentaram diferenças significativas em relação a comparação com o período de 30 anos dos demais conjuntos (não mostrado).

Em relação ao início e fim do período chuvoso no núcleo do SMAS, destacam-se as seguintes características:

- NCEP-2 possui o início mais cedo de todos os dados analisados, ainda no mês de setembro;
- CFSR possui o início mais tardio de todos os dados analisados, na segunda quinzena do mês de outubro (após a pentada 58);
- ERA-Interim e SRDAS possuem início similar ao dos dados observados;
- O fim de período chuvoso mais adiantado acontece no SRDAS, antes da pentada 19 (começo de abril);
- ERA-Interim e CFSR possuem fins similares, um pouco atrasados em relação aos dados observados, na primeira quinzena de abril (entre pentadas 19 e 21);
- O NCEP-2 é o conjunto que possui o fim mais tardio, próximo a pentada 21 (meados de abril);

A Figura 4.18 ainda destaca os mecanismos dinâmicos da precipitação gerada pelas reanálises, mecanismos aqui representados pela divergência do fluxo de umidade em 850 hPa. Note que a dinâmica do NCEP-2 não parece bem correlacionada com seu padrão de precipitação. Esta falta de correção pode estar associada ao processo de assimilação deste modelo já que não há um ajuste de seu perfil termodinâmico à precipitação assimilada. Os dados do ERA-Interim e CFSR apresentam boa correlação entre o padrão de divergência do fluxo de umidade e de suas próprias curvas de precipitação. No SRDAS, embora a precipitação esteja em fase com a dos dados observados, a curva de divergência aparece

adiantada, com máximo de convergência do fluxo ocorrendo em dezembro, diferentemente de todos os outros conjuntos de reanálise. Esse descompasso temporal entre a convergência do fluxo de umidade em 850 hPa e a própria precipitação gerada no SRDAS também revela algum desajuste entre a dinâmica do modelo e sua respectiva precipitação no local avaliado.

A Figura 4.18 permite a identificação de características muito importantes dos conjuntos de reanálises considerados no presente trabalho. Os resultados da análise mostram que todos os conjuntos, sem exceção, possuem algum tipo de deficiência para a reprodução da precipitação observada no núcleo do SMAS. Estas deficiências podem estar associadas às características da construção da reanálise, tais como: condição inicial, condição de contorno, modelo utilizado, parametrizações, metodologia para assimilação de dados, etc.

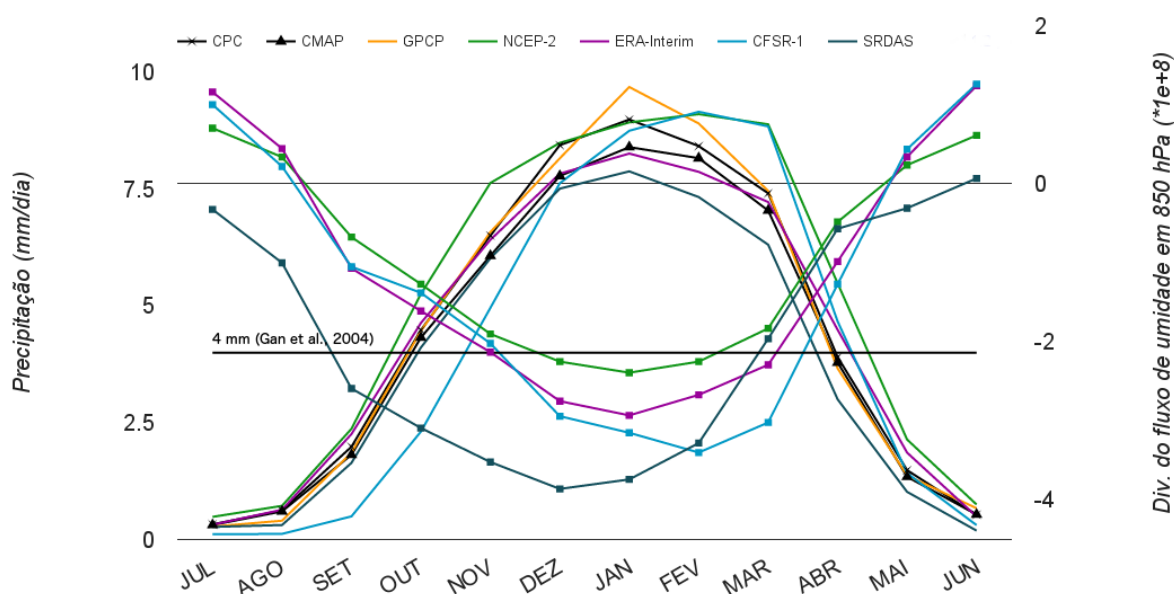


Figura 4.18 - Climatologia mensal da precipitação (curvas no eixo esquerdo) e divergência do fluxo de umidade em 850 hPa (curvas com quadrados no eixo direito) no núcleo do SMAS para todos os meses do ano, para todos os conjuntos de dados. São exibidas a linha de zero para a divergência do fluxo de umidade em 850 hPa e a linha de 4 mm referente ao limiar de precipitação definido por Gan *et al.* (2004) como um indicador de início da estação chuvosa no núcleo do SMAS.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam, respectivamente, os valores das médias e desvios padrões dos dados observados e reanálises no núcleo do SMAS. Conforme já observado na

Figura 4.18, em relação às reanálises, somente os dados do ERA-Interim e SRDAS conseguem reproduzir os máximos de precipitação em janeiro. Tanto os dados do NCEP-2 quanto do CFSR colocam o máximo de precipitação em fevereiro. Nos meses de verão (DJF) os dados do SRDAS apresentam-se inferiores a todos os demais conjuntos analisados. Nota-se também que os dados do SRDAS são, de forma geral, os que apresentam os menores valores de desvio padrão ao longo de todo o período. Este comportamento está provavelmente associado ao fato de terem sido utilizados somente 10 anos destes dados.

Tabela 4.1 – Média no núcleo do SMAS da climatologia mensal da precipitação para todos os conjuntos de dados.

Mês	CPC	GPCP	CMAP	NCEP-2	ERA-Int	CFSR	SRDAS
1	8,99	9,69	8,40	8,93	8,26	8,75	7,88
2	8,41	8,90	8,16	9,10	7,87	9,16	7,33
3	7,41	7,46	7,04	8,89	7,22	8,84	6,31
4	3,90	3,66	3,79	5,48	4,49	4,67	3,00
5	1,48	1,37	1,34	2,14	1,86	1,42	1,02
6	0,53	0,67	0,54	0,75	0,49	0,31	0,19
7	0,32	0,28	0,31	0,48	0,32	0,11	0,27
8	0,62	0,40	0,60	0,72	0,64	0,12	0,31
9	1,99	1,86	1,81	2,37	2,26	0,49	1,64
10	4,48	4,46	4,32	5,26	4,64	2,31	4,11
11	6,51	6,58	6,07	7,63	6,42	4,96	6,02
12	8,44	8,16	7,78	8,49	7,83	7,63	7,51

Tabela 4.2 – Desvio padrão da climatologia mensal da precipitação no núcleo do SMAS para todos os conjuntos de dados.

Mês	CPC	GPCP	CMAP	NCEP-2	ERA-Int	CFSR	SRDAS
1	1,63	1,80	1,76	1,66	1,16	2,21	1,48
2	1,61	1,89	2,04	2,04	1,28	2,16	1,63
3	1,36	1,78	1,49	1,96	0,92	2,36	1,32
4	0,98	1,17	1,15	1,80	0,94	1,74	0,92
5	0,66	0,67	0,62	1,00	0,64	0,71	0,49
6	0,50	0,74	0,54	0,61	0,40	0,30	0,16
7	0,30	0,24	0,26	0,39	0,26	0,14	0,24
8	0,59	0,37	0,58	0,84	0,61	0,18	0,23
9	0,96	0,75	0,92	1,54	1,06	0,75	0,79
10	0,75	0,92	0,77	2,07	1,20	1,63	0,93
11	1,01	0,85	1,03	2,29	1,17	2,45	0,99
12	1,28	1,25	1,27	2,14	1,30	2,58	0,76

4.2 Variabilidade intrassazonal

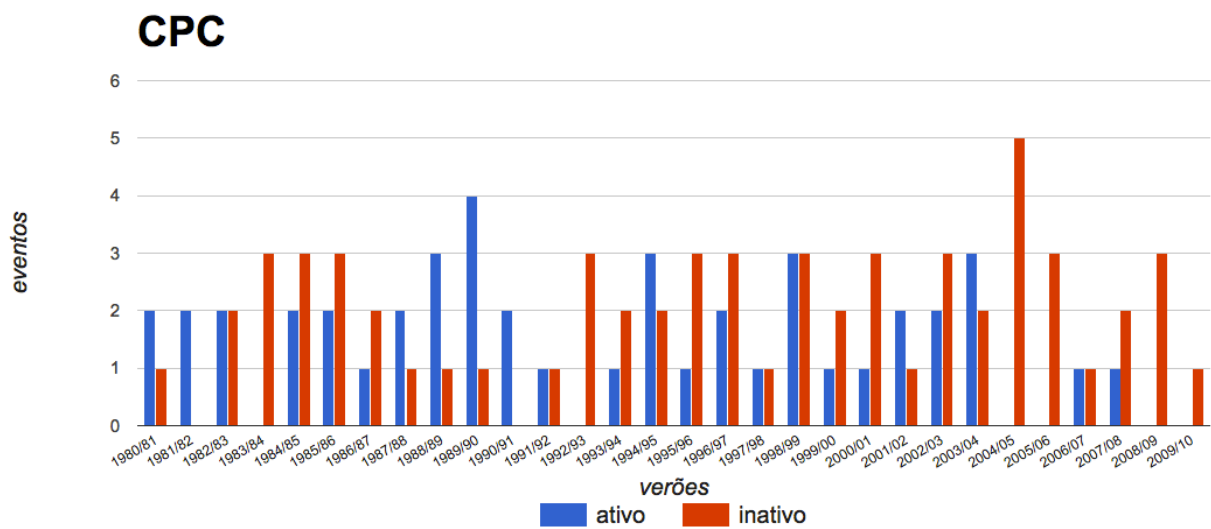
Nas Figuras 4.1 a 4.18 buscou-se descrever as características climatológicas do SMAS e sua representatividade nos conjuntos de reanálises analisados. Além disso, no final da Seção 2.1 foram abordadas algumas características dinâmicas e de precipitação no núcleo do SMAS e as diferenças de representação destes padrões nos conjuntos de dados estudados. Conforme apresentado no Capítulo 2 a partir de diversos trabalhos, nesta região observa-se uma variabilidade na escala intrassazonal caracterizada pela existência de períodos ativos e inativos de precipitação.

Desta forma, nesta na Seção 4.2 pretende-se fazer uma discussão sobre as características desta variabilidade nos conjuntos de reanálise em comparação com os dados observados, aqui representados pelos dados do CPC. Pelo fato dos demais dados observados (GPCP, CMAP) apresentarem semelhança aos dados do CPC (ver Figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.18) entende-se que a utilização dos dados do CPC é suficiente para comparação dos dados das reanálises. No APÊNDICE A encontram-se detalhados os períodos ativos e inativos determinados para todos os conjuntos de dados, para todos os anos disponíveis. Além disso, no APÊNDICE B são detalhados os quantitativos de períodos ativos e inativos encontrados para todos os conjuntos de dados, para todos os anos disponíveis.

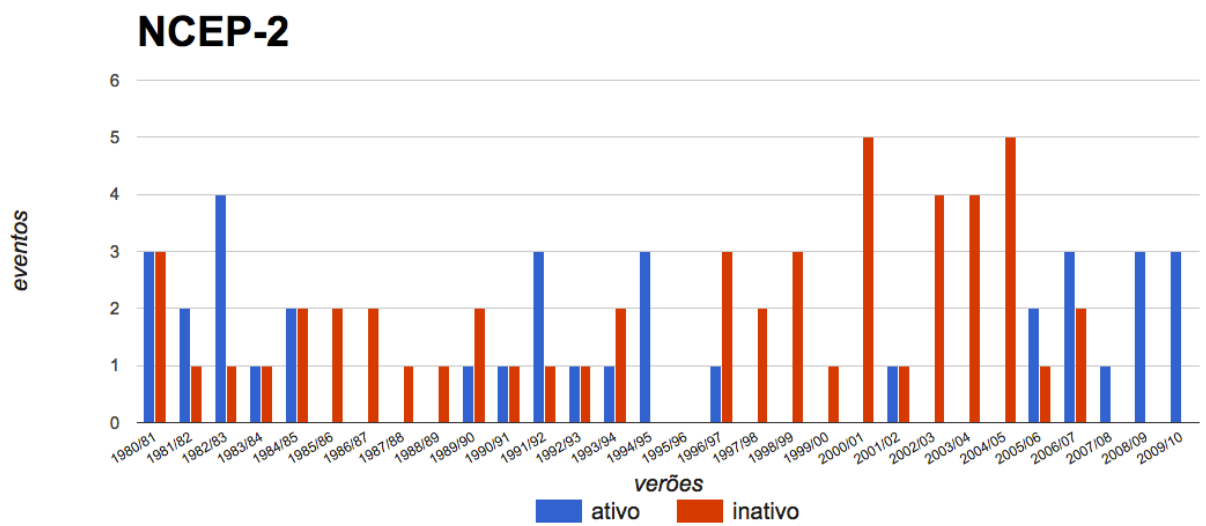
A Figura 4.19 apresenta a quantidade de períodos ativos e inativos nos verões dos anos disponíveis para cada um dos dados (CPC e reanálises). Em relação ao CPC, os períodos ativos e inativos estão bem distribuídos na série temporal dos verões, porém existe predomínio de períodos inativos nos últimos 6 verões. Esse padrão no final da série acontece de forma oposta em todas as reanálises, reforçando os períodos ativos nos últimos verões, exceto para o SRDAS que se apresenta de forma semelhante ao CPC. Para o NCEP-2 existe um claro predomínio de períodos inativos em dois momentos da série, sendo o primeiro com 5 verões consecutivos entre 1985-86 a 1989-90 e o segundo ainda mais extenso com 9 verões consecutivos entre 1996-97 a 2004-05. Aspecto similar também pode ser verificado para o CFSR, porém com maior destaque entre 2000-01 a 2004-05, com 5 verões consecutivos. Essa comparação entre os conjuntos de dados revelam grandes diferenças na identificação de períodos ativos e inativos em relação ao CPC. Uma análise visual da Figura (4.19) permite-nos inferir a presença de um ciclo decadal na série do NCEP-2 e ciclos menores de aproximadamente 5 anos sobrepostos, principalmente no NCEP-2 e no CFSR. No ERA-

Interim esses ciclos não são tão evidentes e no SRDAS o tamanho da série temporal é relativamente curta para esse tipo de análise visual.

A diferença entre os resultados das reanálises e CPC para períodos ativos e inativos (detalhada para cada verão no APÊNDICE C) aponta que todos os dados tendem a subestimar em média a quantidade de períodos ativos e inativos encontrada nos dados do CPC. Vale ressaltar que dentre os conjuntos o que apresenta menor diferença média de períodos ativos em relação ao CPC é o ERA-Interim (-0,1) e em relação aos períodos inativos o CFSR é o que apresenta o menor valor (-0,2). Vale ressaltar que o SRDAS é o conjunto que apresenta as maiores diferenças médias de -0,6 e -0,9 para períodos ativos e inativos, respectivamente. Esta diferença pode estar associada ao fato de estarem disponíveis apenas 10 anos de dados para este conjunto enquanto 30 anos estão disponíveis para os demais.

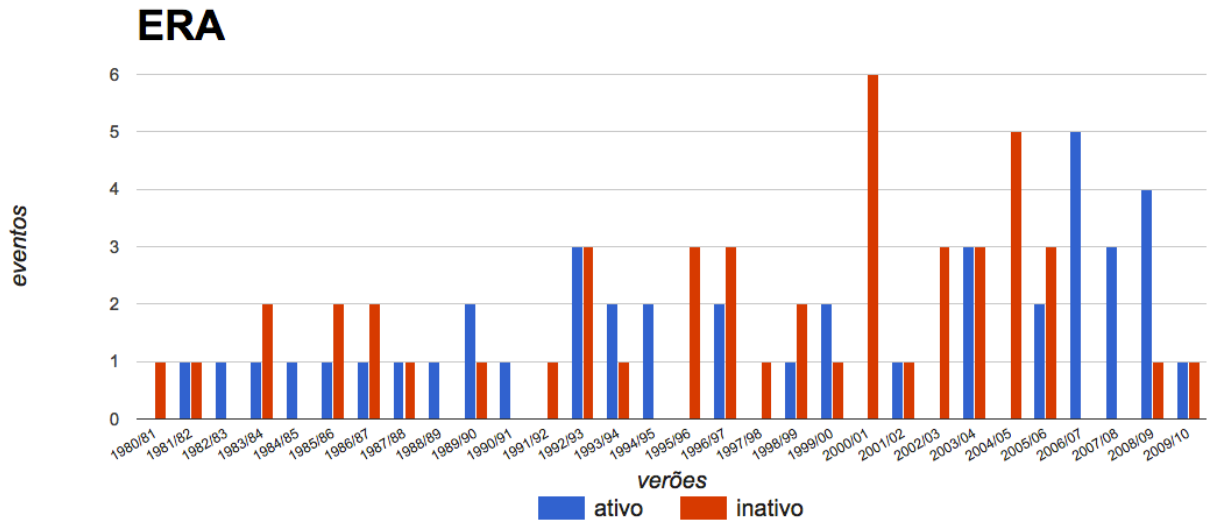


(a)

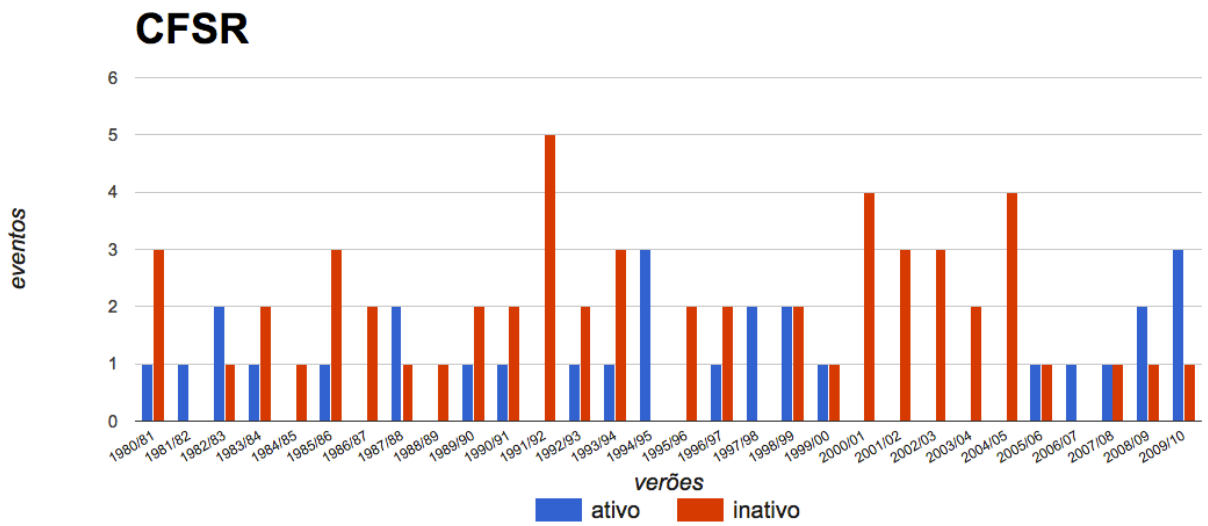


(b)

Figura 4.19 – Períodos ativos e inativos calculados para os dados do (a) CPC e (b) NCEP-2.

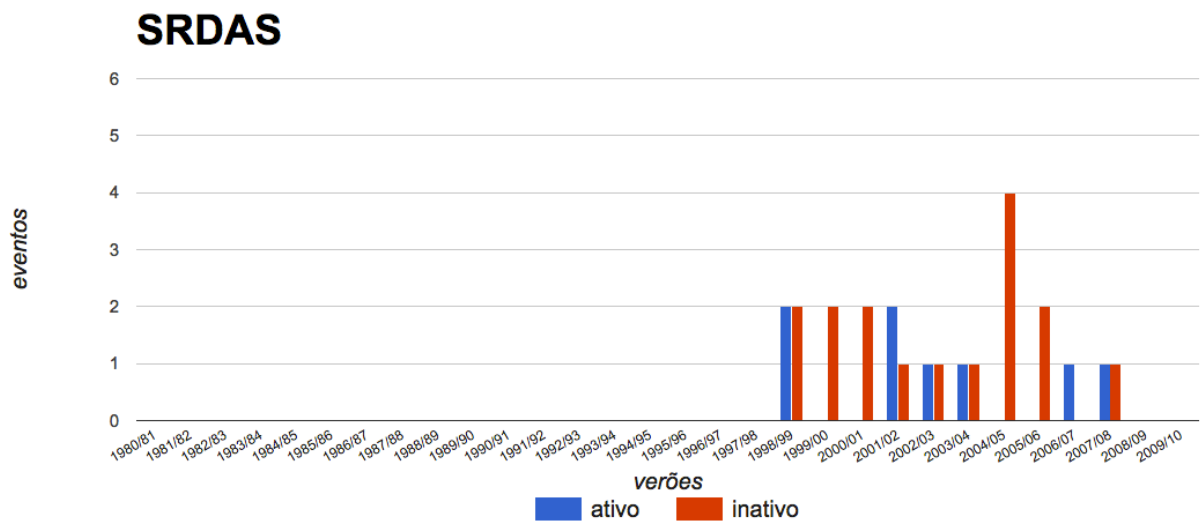


(c)



(d)

Figura 4.19 (continuação) – Idem para (c) ERA-Interim e (d) CFSR.



(e)

Figura 4.19 (continuação) – Idem para (e) SRDAS.

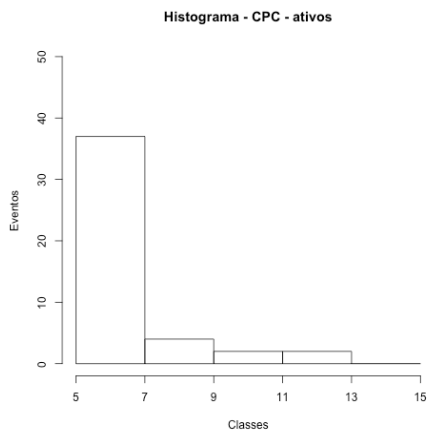
As Figuras 4.20 e 4.21 apresentam os histogramas da duração de períodos ativos e inativos, respectivamente, para todos os conjuntos de dados. De forma geral, todos os conjuntos de reanálise conseguem reproduzir o máximo de eventos ativos e inativos com duração entre 5 e 7 dias, conforme observado nos dados do CPC. Ressalta-se que os períodos ativos e inativos são assim classificados apenas quando estes matêm suas características por um período mínimo de 5 dias consecutivos, de acordo com Ferreira e Gan (2011).

Todavia, algumas características particulares de cada um dos dados podem ser destacadas:

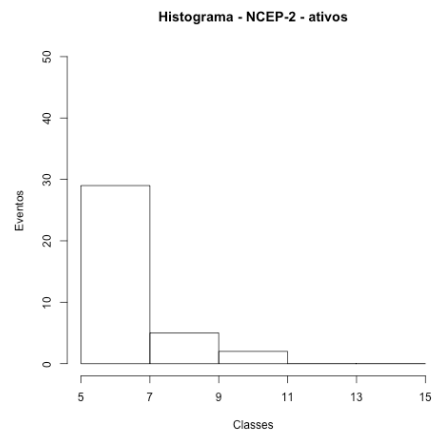
- NCEP-2 (Figuras 4.20b e 4.21b):
 - Subestima a quantidade de períodos ativos com duração entre 5 e 7 dias;
 - Não consegue reproduzir os períodos ativos com duração de 11 a 13 dias;
 - Subestima a quantidade de períodos inativos com duração entre 5 e 7 dias;
 - Apresenta períodos inativos mais longos do que no CPC, com duração de 15 a 20 dias;
- ERA-Interim (Figuras 4.20c e 4.21c):
 - Histograma de períodos ativos muito parecido com o do CPC;
 - Tende a superestimar a ocorrência de períodos ativos mais longos, com duração de 11 a 13 dias;
 - Subestima a ocorrência de períodos inativos curtos, com duração entre 5 e 7 dias;
 - Observados períodos inativos mais longos, com duração entre 15 a 20 dias, que não aparecem no histograma do CPC;
- CFSR (Figuras 4.20d e 4.21d):
 - Subestima a ocorrência de períodos ativos curtos, com duração entre 5 e 7 dias;
 - Não consegue reproduzir os períodos ativos com duração de 9 a 11 dias;
 - Subestima a ocorrência de períodos inativos curtos, com duração entre 5 e 7 dias;
 - Nota-se superestima de períodos inativos com duração de 9 e 15 dias;
 - Observados períodos inativos mais longos, com duração de 15 a 20, 20 a 25 e até 30 a 35 dias;

- SRDAS (Figuras 4.20e e 4.21e):
 - Períodos ativos com duração entre 5 e 9 dias são subestimados em relação ao CPC, mas vale ressaltar que só existem 10 anos de dados deste conjunto enquanto estão disponíveis 30 para os dados do CPC;
 - Não são observados períodos ativos com duração superior a 9 dias;
 - Assim como observado para os períodos ativos, os períodos inativos são subestimados e não foram identificados períodos inativos com duração superior a 9 dias;

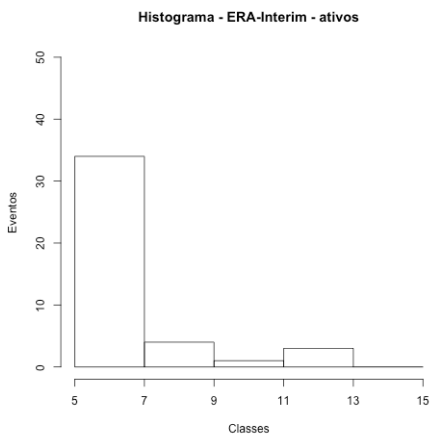
Nesta Seção (4.2) ficou claro que a identificação de períodos ativos/inativos é fortemente dependente do conjunto de dados utilizado. Esse resultado causa impacto direto na análise intrassazonal da monção ao se utilizar a precipitação no núcleo do SMAS como parâmetro de definição de tais períodos ativos/inativos. Essa é uma constatação já esperada devido a dificuldade dos modelos atmosféricos em reproduzir com acurácia o respectivo campo de precipitação. Entretanto, os resultados da Seção (4.2) quantificam esses desvios e apontam para conjuntos de dados que possuem maior ou menor dificuldade em reproduzir respostas similares às obtidas com a utilização da precipitação do CPC, aqui considerada como referência de um produto observacional.



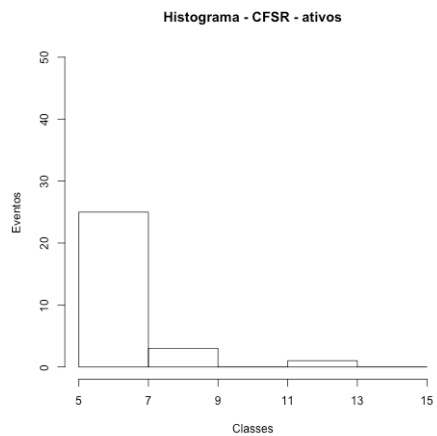
(a)



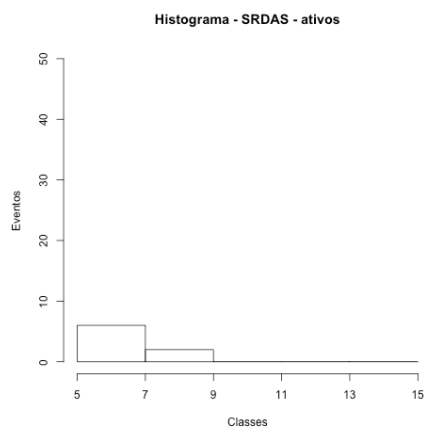
(b)



(c)

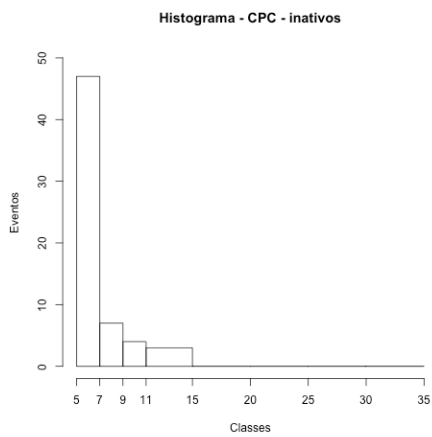


(d)

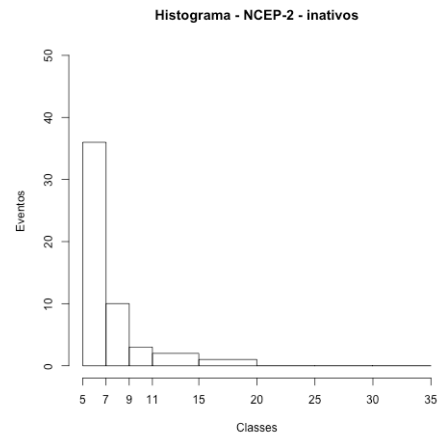


(e)

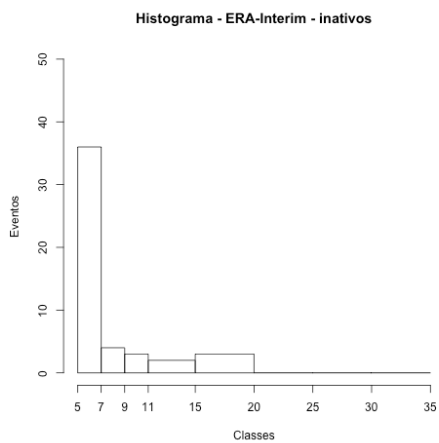
Figura 4.20 – Histograma da duração dos períodos ativos para os dados do (a) CPC, (b) NCEP-2, (c) ERA-Interim, (d) CFSR e (e) SRDAS.



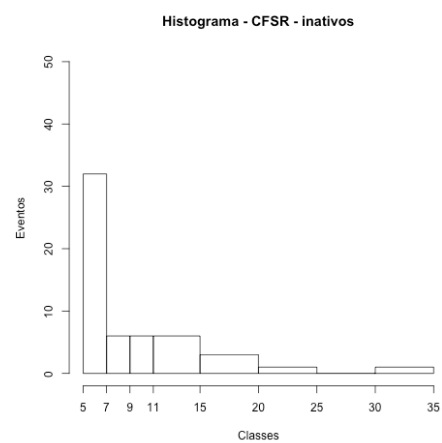
(a)



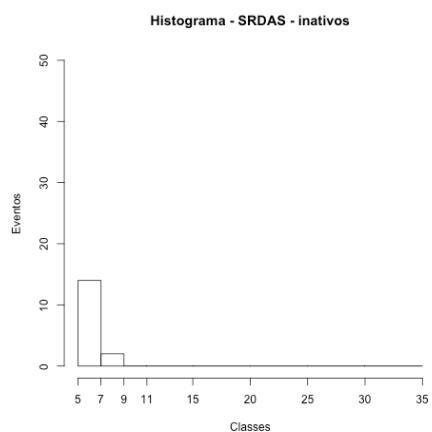
(b)



(c)



(d)



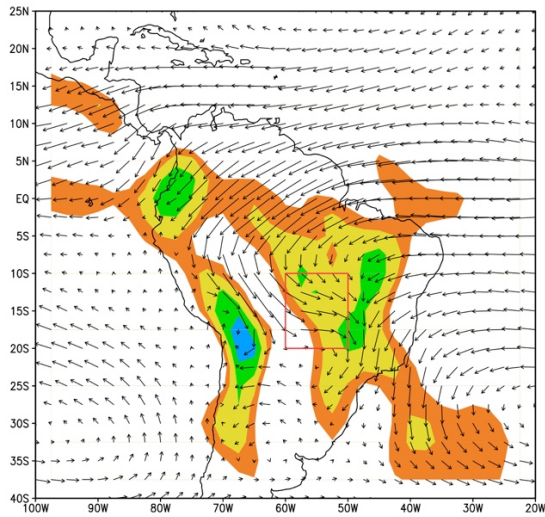
(e)

Figura 4.21 – Histograma da duração dos períodos inativos para os dados do (a) CPC, (b) NCEP-2, (c) ERA-Interim, (d) CFSR e (e) SRDAS.

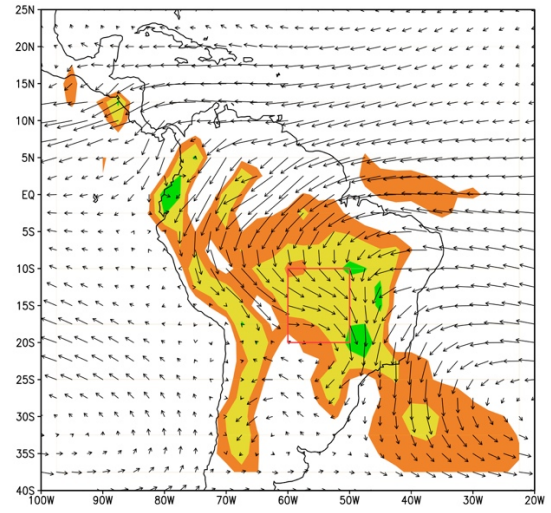
As Figuras 4.22 e 4.23 apresentam os compostos de fluxo de umidade específica em 850 hPa e sua divergência para todas as reanálises, para os períodos ativos e inativos, respectivamente.

A análise dos compostos ativos (Figura 4.22) mostra que todos os conjuntos de dados conseguem reproduzir o escoamento predominantemente de oeste no núcleo do SMAS durante os períodos ativos. Vale ressaltar que o fluxo de umidade em 850 hPa é direcionado para a Região Sudeste, com padrão similar ao da ZCAS como já havia sido demonstrado por Herdies *et al.* (2002). Ressalta-se que o CFSR (Figura 4.22c) e SRDAS (Figura 4.22d) são os únicos que conseguem reproduzir os núcleos mais intensos de convergência do núcleo do SMAS e a orientação predominantemente de noroeste do vento, associado ao padrão ZCAS.

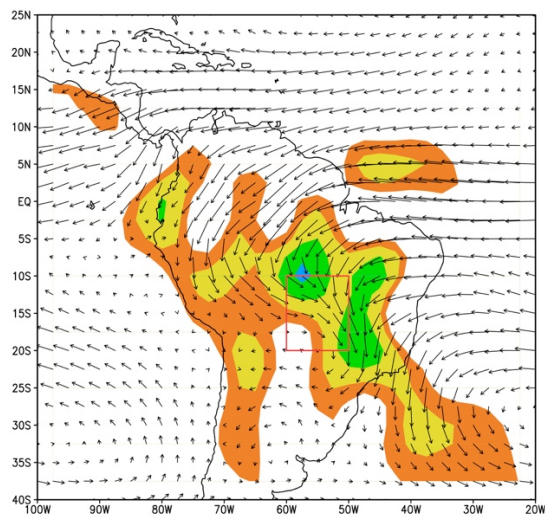
A análise dos compostos inativos (Figura 4.23) mostra que no núcleo do SMAS o sentido da componente zonal do escoamento é predominantemente de leste, para todos os conjuntos de dados, em oposição aos compostos ativos para os quais o sentido é predominantemente de oeste. Nestes compostos observa-se que o fluxo de umidade específica em 850 hPa divide-se entre o norte da Argentina e o sul do Brasil, com padrão similar ao não-ZCAS como já havia sido demonstrado por Herdies *et al.* (2002). Importante ressaltar que o SRDAS (Figura 4.23d) é o conjunto que melhor reproduz estes dois núcleos de convergência do fluxo de umidade em 850 hPa. O escoamento a leste dos Andes desde a Amazônia até o norte da Argentina ocorre numa região propícia à formação dos jatos de baixos níveis, propiciando o surgimento de SCM nos períodos inativos. A divergência do fluxo de umidade também destaca essa conexão entre o sul da Amazônia e a região de formação desses SCMs, principalmente para o SRDAS (Figura 4.23d).



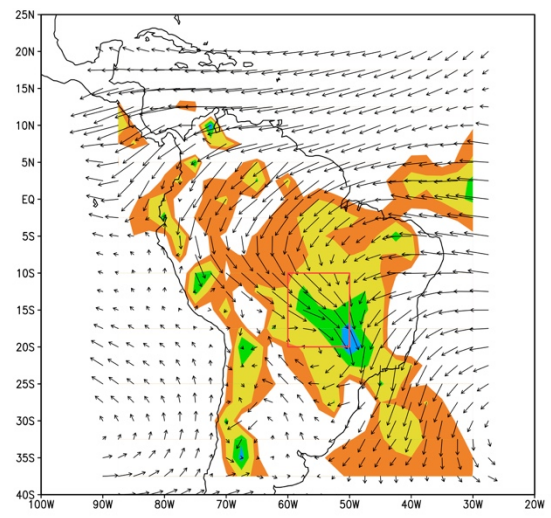
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.22 – Compostos de fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7}\text{s}^{-1}$) dos períodos ativos para os dados do (a) NCEP-2, (b) ERA-Interim, (c) CFSR e (d) SRDAS.

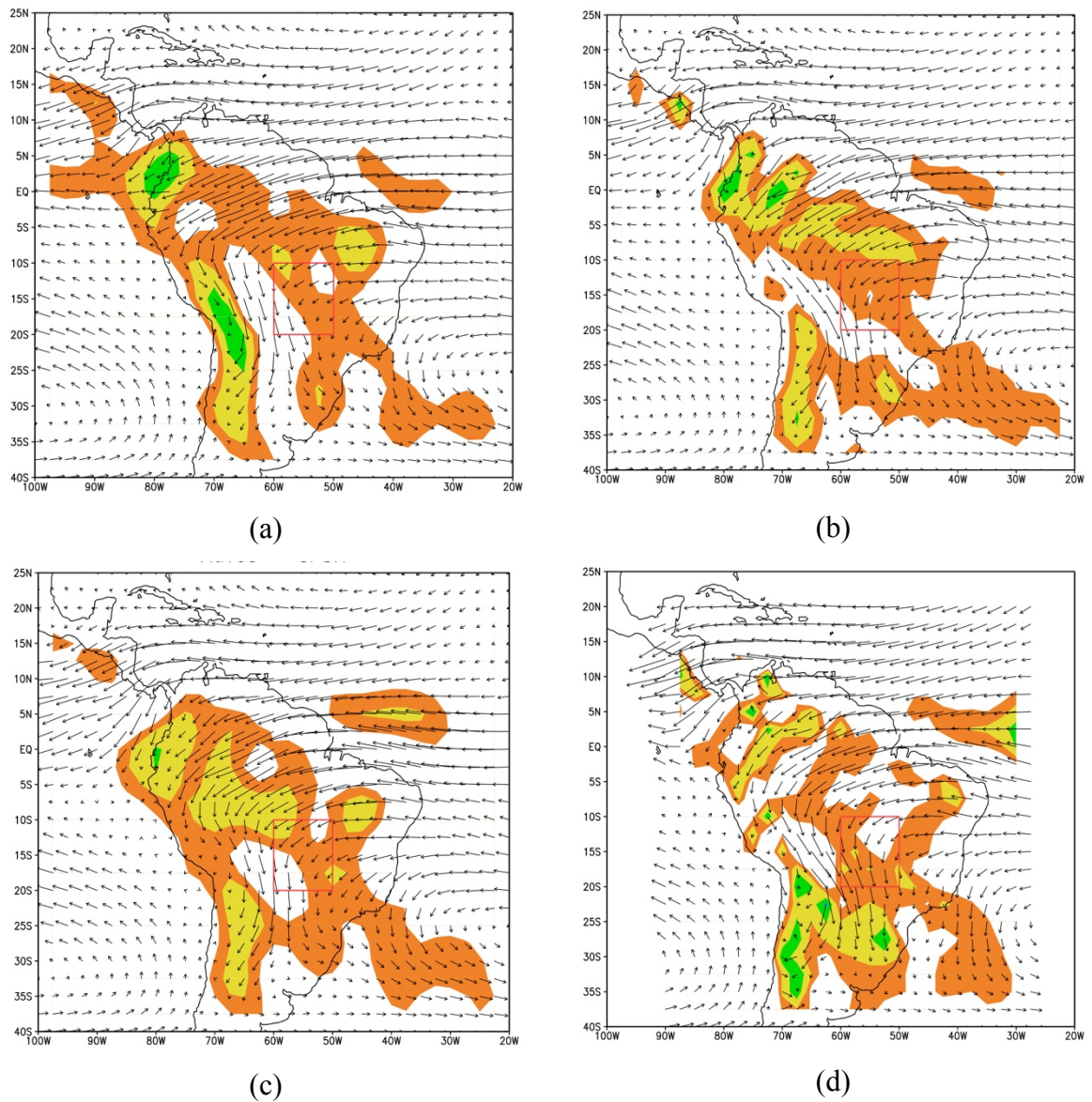


Figura 4.23 – Compostos de fluxo de umidade específica (ms^{-1}) em 850 hPa e sua divergência ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) dos períodos inativos, em relação ao campo climatológico de DJF, para os dados do (a) NCEP-2, (b) ERA-Interim, (c) CFSR e (d) SRDAS.

5 SÍNTESE E CONCLUSÕES

O presente trabalho estuda as características climatológicas e da variabilidade intrassazonal do SMAS a partir de dados de precipitação, vento e umidade específica. São utilizados neste estudo os dados de precipitação observados, estimados por satélites e de reanálises. Também das reanálises são extraídos os dados de vento (850 e 200 hPa) e de umidade específica (850 hPa).

5.1 Síntese dos Resultados

A partir da análise dos dados do CPC, GPCP e CMAP, podem ser estabelecidas as seguintes características da evolução da precipitação do SMAS ao longo do ano:

- Deslocamento para sul da ZCIT a partir de outubro;
- Em novembro estabelece-se a banda de precipitação com orientação noroeste-sudeste na região de atuação da ZCAS;
- Maior intensidade da banda da ZCAS em janeiro;
- Perda da configuração da banda da ZCAS em fevereiro;
- Núcleo do SMAS associado à conexão da precipitação tropical e subtropical;

A comparação dos dados de precipitação observados e estimados por satélite com os dados de precipitação dos conjuntos de reanálise permitiu a identificação das seguintes características:

- Melhor resultado a partir dos dados do ERA-Interim, com a mesma evolução temporal dos campos climatológicos em relação aos dados de referência, embora subestimados;
- No NCEP-2 há pouca precipitação na Amazônia, além de terem sido observados dois núcleos no Nordeste e Andes;
- Nos dados do CFSR nota-se um atraso do aparecimento da precipitação no núcleo do SMAS, embora haja uma melhor representação espacial da precipitação nos Andes;
- Os dados do SRDAS estão em fase com os dados de referência, embora subestimados;

A análise dos dados no núcleo do SMAS, tanto de precipitação quanto da divergência do fluxo de umidade em 850 hPa, apontam que somente os dados do ERA-Interim e CFSR-1 possuem concordância entre a precipitação e a forçante dinâmica. Contudo, somente o ERA-Interim consegue exibir uma curva de precipitação coerente com a dos dados de referência, com máximo em janeiro, embora subestimada. Desta forma, o ERA-Interim foi o conjunto com os melhores resultados entre as reanálises, como também já havia sido encontrado no estudo de Lin *et al.* (2014). As principais características observadas deste conjunto para o SMAS foram:

- Baixos níveis:
 - Conexão da convergência continental e oceânica entre dezembro e fevereiro;
 - Componente zonal do vento e convergência do fluxo de umidade no núcleo do SMAS apresentam valores máximos no mês de janeiro;
- Altos níveis:
 - Núcleo da AB próximo ao núcleo do SMAS entre dezembro e março;
 - Núcleo da AB mais ao sul em janeiro;
 - Cavado do nordeste melhor configurado entre janeiro e fevereiro;
 - Estabelecimento da banda de precipitação conectando a Amazônia e sudeste do Brasil associada a divergência do vento em altos níveis;
- Início:
 - Início da fase chuvosa ($\text{prec} > 4 \text{ mm}$) no começo de outubro, o que é um pouco adiantado em relação aos trabalhos da literatura (Tabela 2.1) que apontam o começo da fase chuvosa em meados para o final de outubro;
 - Fim da fase chuvosa ($\text{prec} < 4 \text{ mm}$) no começo de abril, o que também é um pouco antecipado em relação ao trabalho de Gan *et al.* (2004) que encontrou um fim médio da fase chuvosa em meados de abril (~18 de abril);

5.2 Conclusões

De forma geral, o estudo permitiu a identificação das principais características do SMAS a partir dos dados de precipitação observados e como estes padrões são reproduzidos pelos conjuntos de reanálise. O ERA-Interim foi o conjunto com os melhores resultados no

núcleo do SMAS, embora seus dados de precipitação sejam subestimados. Os dados do NCEP-2, CFSR e SRDAS também possuem diferenças significativas em relação aos dados de referência (CPC, GPCP e CMAP) o que aponta o certo cuidado ao se utilizar estes dados em estudos no núcleo do SMAS. Embora normalmente os dados de precipitação das reanálises não sejam amplamente utilizados na literatura vale ressaltar que também os campos dinâmicos e termodinâmicos, que são largamente utilizados, possuem divergências entre os próprios dados de reanálise. Além disso, divergências encontradas entre autores para o início, fim e duração da estação chuvosa do SMAS podem ser devido às características dos dados utilizados (ex: modelo, condições iniciais e de contorno, modelo de assimilação de dados), além de diferenças nas metodologias empregadas.

Os dados da nova reanálise apresentada, o SRDAS, mostraram que este conjunto possui melhorias em relação às demais reanálises, como o ciclo anual de precipitação no núcleo do SMAS, a precipitação na região Amazônica, a precipitação na porção oceânica da ZCIT e a precipitação nos Andes, embora estes dados ainda apareçam subestimados. Um ponto negativo dos resultados para este conjunto foi para a divergência do fluxo de umidade em 850 hPa no núcleo do SMAS, pois aparentemente a precipitação deste conjunto não parece estar diretamente associada a essa forçante dinâmica, e sim estar associada ao efeito do sistema de assimilação de dados. Do ponto de vista dos fluxos de umidade em 850 hPa, o SRDAS apresentou ótimo desempenho, estabelecendo de forma coerente a conexão entre a Amazônia e o sudeste brasileiro ao longo da região de atuação da ZCAS durante períodos ativos e destacando a convergência desses fluxos na região de formação de sistemas convectivos de mesoescala (norte da Argentina e sul do Brasil) durante períodos inativos.

É importante destacar a importância de pesquisas como a que está sendo feita para o SRDAS que, embora ainda apresente alguns pontos a serem trabalhados, mostra um avanço importante no estudo do SMAS e é um produto desenvolvido predominantemente no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HEYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation.** *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D5), 2006.
- BERBERY, E. H.; BARROS, V. R. 2002. **The hydrologic cycle of the La Plata basin in South America.** *Journal of Hydrometeorology*, 3, 630–645, 2002.
- BETTS, A. K.; FUENTES, D.; GARSTANG, M.; BALL, J. H. **Surface diurnal cycle and boundary layer structure over Rondônia during the rainy season.** *Journal of Geophysical Research*, 107, 2002. DOI: 10.1029/2000JD000158.
- BOERS, N.; BOOKHAGEN B.; BARBOSA, H. M. J.; MARWAN, N.; KURTHS, J.; MARENGO, J. A. **Prediction of extreme floods in the eastern central Andes based on a complex network approach.** *Nat. Commun.*, 5, 5199, 2014a.
- _____; _____; MARENGO, J.; MARKWAN, N.; VON STORCH, J. S.; KURTHS J. **Extreme Rainfall of the South American Monsoon System: A Dataset Comparison Using Complex Networks.** *J. Climate*, 28, 1031-1056, 2015.
- BOSILOVICH, M. G. **After Two Decades of Retrospective-Analysis: What's Next?** *GEWEX News*, 22, 1, 3-4, 2012.
- CARVALHO, L. M.; JONES, C.; POSADAS, A. N. D.; QUIROZ, R.; BOOKHAGEN, B.; LIEBMANN, B. **Precipitation Characteristics of the South American Monsoon System Derived from Multiple Datasets.** *J. Climate*, 25, 4600-4620, 2012.
- _____; _____; SILVA DIAS, M. A. F. **Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in the tropical South America during TRMM-LBA campaign.** *J. Geophys. Res.*, 2002.
- _____; _____; SILVA, A. E.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, P. **The South American Monsoon System and the 1970s climate transition.** *International Journal of Climatology*, 2010.

- CHASE, T. N.; KNAFF, J. A.; PIELKE, P. A. Sr.; KALNAY, E. **Changes in global monsoon circulation since 1950.** *Natural Hazards*, 29, 229-254, 2003.
- CHEN, M., W. SHI, P. XIE, V. B. S. SILVA, V. E. KOUSKY, R. WAYNE HIGGINGS, J. E. JANOWIAK. **Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation.** *J. Geophys. Res.* 113, 2008, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
- _____, P. XIE, co-autores. **CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipitation.** Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August, 2008.
- CIFFELI, R.; PETERSEN, W. A.; CAREY, L. D.; RUTLEDGE, S. A. **Radar observations of kinematics, microphysical, and precipitation characteristics of two MCSs in TRMM-LBA.** *Journal of Geophysical Research*, 107, 2002.
- COPPUS, R.; IMENSON, A. C. **Extreme events controlling erosion and sediment transport in a semi-arid sub-Andean valley.** *Earth Surf. Processes Landforms*, 27, 1365-1375, 2002.
- CUNNINGHAN, C. C.; CAVALCANTI, I. F. A. **Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone.** *International Journal of Climatology*, 26(9), 1165-1180, 2006.
- DEE, D. P.; UPPALA, S. **Variational bias correction of satellite radiance data in the ERA-Interim reanalysis.** *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 135, 1830-1841, 2009.
- _____; and coauthors. **The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system.** *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 553-597, 2011.
- FERREIRA, S. A.; GAN, M. A. **Intraseasonal variability in the South American monsoon system.** *Atmos. Sci. Let.*, 12, 253-260, 2011.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKY, C. F. **The South America Monsoon Circulation and its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil.** *Journal of Climate*, 17, 47-66, 2004.
- GAN, M. A.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. **South American monsoon indices.** *Atmospheric Science Letters*, 6, 219-223, 2006.
- GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. **Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation.** *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 361-372, 2009.

- GIBSON, J. K.; KALLBERG, P.; UPPALA, S.; NOMURA, A.; HERNANDEZ, A.; SERRANO, E. **ERA Description**. *ECMWF Reanalysis Final Report Series*, 1, 1997.
- GONZALEZ, M.; VERA, C.; LIEBMANN, B.; MARENGO, J.; KOUSKY, V.; ALLURED, D. **The nature of the rainfall onset over central South America**. *Atmósfera*, 20(4), 379-396, 2007.
- GRIMM A. M. **Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change**. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2010.
- _____; ZILLI, M. T. **Interannual variability and seasonal evolution of summer monsoon in South America**. *Journal of Climate*, 22, 2257-2275, 2009.
- _____. **The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences**. *Journal of Climate*, 16, 263–280, 2003.
- HAIMBERGER, L. **Homogenization of Radiosonde Temperature Time Series Using Innovation Statistics**. *J. Climate*, 20, 1377-1403, 2007.
- HERDIES, D. L.; DA SILVA, A.; SILVA DIAS, M.A.F.; NIETO-FERREIRA, R. **The Moisture Budget of the Bimodal Pattern of the Summer Circulation over South America**. *Journal of Geophysical Research*, Washington-DC, v. 107, n. D20, p. 42-1-42-10, 2002.
- HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. **An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas**. *J. Climate*, 2, 1388-1403, 1989.
- HSU, P. L. T.; WANG, B. **Trends in global monsoon area and precipitation over the past 30 years**. *Geophys Res Lett*, 38, 2011.
- HUFFMAN, G. J., R. F. ADLER, M. MORRISSEY, D. BOLVIN, S. CURTIS, R. JOYCE, B. MCGAVOCK, J. SUSSKIND. **Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations**. *J. Hydrometeor.*, 2, 36-50, 2001.
- JONES, C. **An investigation of low-frequency variability of the large-scale circulation over South America**. M. S. thesis, Department of Meteorology, University of Utah, 108 pp, 1990.
- _____.; CARVALHO, L. M. V. **Active and break phases in the South American Monsoon System**. *Journal of Climate*, 15, 905-914, 2002.

- JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XIE P. **CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution**, *J. Hydrometeor.*, 5, 487–503, 2004.
- JUANG, H.-M. H.; HONG, S.-Y.; KANAMITSU, M. **The NCEP Regional Spectral Model: An Update**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2125-2143, 1997.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; and coauthors. **The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471, 1996.
- KANAMARU, H.; KANAMITSU, M. **Scale-selective bias correction in a downscaling of global analysis using a regional model**. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 334-350, 2007.
- KANAMITSU, M. K.; YOSHIMURA, K. YHANG, Y.-B.; HONG, S.-Y. **Errors of interannual variability and trend in dynamical downscaling of reanalysis**. *J. Geophys. Res.*, 115, D17115, 2010.
- _____.; EBISUZAKI, W.; WOOLEN, J.; and coauthors. **NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2)**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1631-1643, 2002.
- KOSTER, R. D.; DIRMEYER, P. A.; GUO, Z.; BONAN, G.; CHAN, E.; COX, P.; GORDON, C. T.; KANAE, S.; KOWALCZYK, E.; LAWRENCE, D.; LIU, P.; LU, C. -H.; MALYSHEV, S.; MCAVANEY, B.; MITCHELL, K.; MOCKO, D.; OKI, T.; OLESON, K.; PITMAN, A.; SUD, Y. C.; TAYLOR, C. M.; VERSEGHY, D.; VASIC, R.; XUE, Y.; YAMADA, T. **Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation**. *Science*, v. 305, p. 1138–1140, 2004.
- KOUSKY, V. E. **Petad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3, 217--231, 1988.
- LI, W.; FU, R. **Transition of the large-scale atmospheric and land surface conditions from the dry to the wet season over Amazonia as diagnosed by the ECMWF Re-Analysis**. *J. Climate*, 17, 2637-2651, 2004.
- LIN, R.; ZHOU, T.; QIAN, Y. **Evaluation of Global Monsoon Precipitation Changes based on Five Reanalysis Datasets**. *J. Climate*, 27, 1271-1289, 2014.
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system**. *International Journal of Climatology*, 15, 2241-2255, 2009a.

- _____ ; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. **Review Recent developments on the South American Monsoon System.** *Int. J. Climatol.*, 32, 1-21, 2012.
- _____ ; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. **Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin.** *J. Climate*, 14, 833-852, 2001.
- _____ ; VALVERDE, M.; OBREGON, G. **Observed and projected changes in rainfall extremes in the metropolitan area of São Paulo.** *Climate Res.*, 57, 61-72, 2013a.
- MOREIRAS, S. M. **Climatic effect of ENSO associated with landslides occurrence in the central Andes, Mendoza Province, Argentina.** *Landslides*, 2, 53-59, 2005.
- NIETO-FERREIRA, R.; RICKENBACH, T. M. **Regionality of monsoon onset in South America: a three-stage conceptual model.** *International Journal of Climatology*, 31, 1309-1321, 2011.
- NIETO-FERREIRA, R.; RICKENBACH, T. M.; WRIGHT, E. W. **The role of cold fronts in the onset of the monsoon season in the South Atlantic convergence zone.** *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 908-922, 2011.
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. **Alternating wet and dry conditions over South America during summer.** *Monthly Weather Review*, 125, 279-291, 1997.
- NUNES, A. M. B. **Satellite-enhanced dynamical downscaling for the analysis of extreme events.** *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 10617–10636, 2016.
- _____ ; ROADS, J. **Influence of precipitation assimilation on a regional climate model's surface water and energy budgets.** *J. Hydrometeor.*, 8, 642-664, 2007a.
- O'HARE, G.; RIVAS, S. **The landslide hazard and human vulnerability in La Paz City, Bolivia.** *Geogr. J.*, 171, 239-258, 2005.
- ONOGI, K.; and coauthors. **JRA-25 Reanalysis.** *J. Met. Soc. Japan*, 85, 369-432, 2007.
- PETERSEN, W. A.; NESBITT, S. W.; BLAKESLEE, R. J.; HEIN, P.; CIFELLI, R.; RUTLEDGE, S. A. **TRMM observations of intraseasonal variability in convective regimes over the Amazon.** *J. Climate*, 2001.

- QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. **Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27, 2, 152-162, 2012.
- RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. **The Life Cycle of the South American Monsoon System.** *J. Climate*, 21, 6227-6246, 2008.
- RIENECKER, M. R.; and coauthors. **NASA's Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications. MERRA.** *J. Climate*, 24(14), 3624-3648, 2011.
- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. **Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone.** *Monthly Weather Review*, 128, 2947-2957, 2000.
- RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.; PENALBA, O.; RENOM, M. **An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability.** *Climate Change*, 2009.
- SAHA, S. et al. **The NCEP Climate Forecast System Reanalysis.** *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015-1057, 2010.
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. **Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet.** *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1290-1309, 2007.
- SCHUSTER, R. L.; SALCEDO, D. A.; VALENZUELA, L. **Overview of catastrophic landslides of South America in the twentieth century.** *Catastrophic Landslides: Effects, Occurrence, and Mechanisms*, S. G. Evans e J. V. DeGraff, Eds., Reviews in Engineering Geology, Geological Society of America, 15, 1-33, 2002.
- SHUBERT, S. D.; ROOD, R. B.; PFAENDTNER, J. **An assimilated data set for earth-science applications.** *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 2331-2342, 1993.
- SILVA DIAS, V. B. S.; BERBERY, E. H. **Intense rainfall events affecting the La Plata basin.** *Journal of Hydrometeorology*, 7, 769-787, 2006.
- SILVA, A. E.; CARVALHO, L. M. V. **Large-scale index for South America Monsoon (LISAM).** *Atmospheric Science Letters*, 8, 51-57, 2007.
- UPPALA, S. M.; KALLBERG, P. W.; SIMMONS, A. J.; and coauthors. **The ERA-40 re-analysis.** *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131 Part B, 2961-3012, 2005.
- VERA, C. et al. **Toward a unified view of the American monsoon systems.** *J. Climate*, 19, 4977-5000, 2006.

- WANG, B.; LIU, J.; KIM, H.-J.; WEBSTER, P. J.; YIM, S. Y. **Recent change of the global monsoon precipitation (1979-2008)**. *Climate Dyn.*, 39, 1123-1135, 2012.
- _____; _____; _____; _____; _____; XIANG, B. **Northern Hemisphere summer monsoon intensified by mega-El Niño/southern oscillation and Atlantic multidecadal oscillation**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. v. 110, 14, 5347-5352, 2013.
- XIE, P.; ARKIN, P. A. **Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558, 1997.
- XIE, P., A. YATAGAI, M. CHEN, T. HAYASAKA, Y. FUKUSHIMA, C. LIU, and S. YANG. **A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia**. *J. Hydrometeorol.*, 8, 607. 626, 2007.
- ZIPSER, E. J.; LIU, C.; CECIL, D. J.; NESBITT, S. W.; YORTY, D. P. **Where are the most intense thunderstorms on Earth?**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 1057-1071, 2006.
- ZHOU, J.; LAU. **Does a monsoon climate exist over South America?** *J. Climate*, 11, 1020-1040, 1998.

APÊNDICE A – Datas dos períodos ativos e inativos

CPC

verão	ativos	inativos	períodos ativos	períodos inativos
1980/81	2	1	19 a 23/12/1980 - 5d 12 a 17/1/1981 - 6d	6 a 10/1/1981 - 5d
1981/82	2	0	21 a 28/1/1982 - 8d 31/1 a 4/2/1982 - 5d	
1982/83	2	2	12 a 17/1/1983 - 6d 29/1 a 3/2/1983 - 6d	16 a 20/2/1983 - 5d 24 a 28/2/1983 - 5d
1983/84	0	3		4 a 8/1/1984 - 5d 12 a 19/1/1984 - 8d 27/1 a 3/2/1984 - 8d
1984/85	2	3	14 a 19/1/1985 - 6d 22 a 26/1/1985 - 5d	19 a 23/12/1984 - 5d 5 a 11/2/1985 - 7d 18 a 22/2/1985 - 5d
1985/86	2	3	14 a 20/1/1986 - 7d 17 a 21/2/1986 - 5d	1 a 11/12/1985 - 11d 26 a 30/1/1986 - 5d 22 a 28/2/1986 - 7d
1986/87	1	2	21 a 26/1/1987 - 6d	5 a 11/12/1986 - 7d 6 a 12/1/1987 - 7d
1987/88	2	1	6 a 10/2/1998 - 5d 17 a 21/2/1998 - 5d	15 a 21/1/1998 - 7d
1988/89	3	1	22 a 26/12/1988 - 5d 4 a 10/1/1989 - 7d 8 a 13/2/89 - 6d	29/12/88 a 3/1/1989 - 6d
1989/90	4	1	1 a 12/1989 - 12d 15 a 19/12/1989 - 5d 27 a 31/12/1989 - 5d 23 a 28/2/1990 - 6d	20 a 27/1/1990 - 8d
1990/91	2	0	12 a 17/1/1991 - 6d 5 a 9/2/1991 - 5d	
1991/92	1	1	12 a 18/1/92 - 7d	1 a 7/1/92 - 7d
1992/93	0	3		1 a 6/1/93 - 6d 14 a 19/1/93 - 6d 25/1 a 1/2/93 - 8d
1993/94	1	2	19 a 26/12/93 - 8d	1 a 5/12/93 - 5d 16 a 20/2/94 - 5d
1994/95	3	2	20 a 29/12/94 - 10d 31/12/94 a 9/1/95 - 10d	11 a 16/12/94 - 6d 12 a 17/1/95 - 6d

			2 a 8/2/95 - 7d	
1995/96	1	3	8 a 13/12/95 - 6d	22/1 a 1/2/96 - 11d 8 a 12/2/96 - 5d 14 a 20/2/96 - 7d
1996/97	2	3	30/12/96 a 4/1/97 - 6d 27 a 31/1/97 - 5d	4 a 11/12/96 - 8d 13 a 17/12/1996 - 5d 7 a 14/2/97 - 8d
1997/98	1	1	20 a 26/2/98 - 7d	30/12/97 a 11/1/98 - 13d
1998/99	3	3	1 a 5/12/98 - 5d 3 a 8/1/99 - 6d 23 a 27/2/99 - 5d	12 a 17/12/98 - 6d 18 a 28/1/99 - 11d 9 a 18/2/99 - 10d
1999/00	1	2	9 a 14/2/00 - 6d	11 a 17/1/00 - 7d 31/1 a 4/2/00 - 5d
2000/01	1	3	13 a 17/12/00 - 5d	18 a 23/12/00 - 6d 26 a 30/12/00 - 5d 18 a 22/1/01 - 5d
2001/02	2	1	8 a 12/1/02 - 5d 19 a 23/2/02 - 5d	20/1 a 2/2/02 - 14d
2002/03	2	3	11 a 15/12/02 - 5d 15 a 22/1/03 - 8d	21 a 25/12/02 - 5d 8 a 12/1/03 - 5d 8 a 13/2/03 - 6d
2003/04	3	2	22 a 26/1/04 - 5d 30/1 a 11/2/04 - 13d 20 a 24/2/04 - 5d	11 a 16/12/03 - 6d 18 a 22/12/03 - 5d
2004/05	0	5		1 a 6/12/04 - 6d 11 a 16/12/04 - 6d 6 a 11/1/05 - 6d 5 a 9/2/05 - 5d 14 a 26/2/05 - 13d
2005/06	0	3		14 a 18/1/06 - 5d 20 a 27/1/06 - 8d 3 a 8/2/06 - 6d
2006/07	1	1	3 a 7/2/07 - 5d	9 a 13/1/07 - 5d
2007/08	1	2	27/1 a 4/2/08 - 9d	12 a 18/12/07 - 7d 26 a 31/12/07 - 6d
2008/09	0	3		30/12/08 a 3/1/09 - 5d 10 a 15/1/09 - 6d 19 a 23/2/09 - 5d
2009/10	0	1		1 a 6/2/10 - 6d

NCEP-2

verão	ativos	inativos	períodos ativos	períodos inativos
1980/81	3	3	19 a 24/12/1980 - 6d 26 a 30/12/1980 - 5d 14 a 18/1/1981 - 5d	6 a 10/1/1981 - 5d 5 a 9/2/1981 - 5d 11 a 19/2/1981 - 9d
1981/82	2	1	30/12/81 a 4/1/82 - 6d 18 a 24/1/1982 - 7d	22 a 27/2/1982 - 6d
1982/83	4	1	2 a 10/12/1982 - 9d 19 a 23/12/1982 - 5d 17 a 21/1/1983 - 5d 31/1 a 4/2/1983 - 5d	18 a 22/2/1983 - 5d
1983/84	1	1	1 a 6/12/1983 - 6d	31/1 a 4/2/1984 - 5d
1984/85	2	2	22 a 26/1/1985 - 5d 23 a 28/2/1985 - 6d	27/1 a 1/2/1985 - 6d 5 a 11/2/1985 - 7d
1985/86	0	2		5 a 12/12/1985 - 8d 29/12 a 4/1/1986 - 7d
1986/87	0	2		17 a 23/12/1986 - 7d 23 a 27/2/1987 - 5d
1987/88	0	1		29/1 a 2/2/1988 - 5d
1988/89	0	1		27 a 31/12/1988 - 5d
1989/90	1	2	23 a 30/12/1989 - 8d	21 a 27/1/1990 - 7d 30/1 a 5/2/1990 - 7d
1990/91	1	1	2 a 8/2/1991 - 7d	15 a 19/2/1991 - 5d
1991/92	3	1	16 a 20/1/1992 - 5d 12 a 18/2/1992 - 7d 20 a 24/2/1992 - 5d	7 a 13/12/1991 - 7d
1992/93	1	1	15 a 23/2/1993 - 9d	6 a 13/2/1993 - 8d
1993/94	1	2	9 a 14/2/1994 - 6d	10 a 18/1/1994 - 9d 21 a 28/1/1994 - 8d
1994/95	3	0	7 a 11/12/1994 - 5d 25 a 31/12/1994 - 7d 5 a 12/1/1995 - 8d	
1995/96	0	0		
1996/97	1	3	27/1 a 1/2/1997 - 6d	6 a 11/12/1996 - 6d 16 a 24/12/1996 - 9d 17 a 21/2/1997 - 5d
1997/98	0	2		24 a 30/12/1997 - 7d 1 a 8/1/1998 - 8d
1998/99	0	3		17 a 24/12/1998 - 8d 17 a 22/1/1999 - 6d 12 a 19/2/1999 - 8d
1999/00	0	1		30/1 a 8/2/2000 - 10d

2000/01	0	5		18 a 22/12/2000 - 5d 25 a 31/12/2000 - 7d 6 a 15/1/2001 - 10d 26/1 a 7/2/2001 - 13d 10 a 16/2/2001 - 7d
2001/02	1	1	3 a 8/2/2002 - 6d	23 a 29/1/2002 - 7d
2002/03	0	4		2 a 7/12/2002 - 6d 21 a 25/12/2002 - 5d 4 a 14/1/2003 - 11d 2 a 13/2/2003 - 12d
2003/04	0	4		7 a 11/12/2003 - 5d 13 a 18/12/2003 - 6d 20 a 25/12/2003 - 6d 12 a 17/2/2004 - 6d
2004/05	0	5		5 a 10/12/2004 - 6d 12 a 16/12/2004 - 5d 27 a 31/12/2004 - 5d 4 a 9/2/2005 - 6d 19 a 25/2/2005 - 7d
2005/06	2	1	10 a 18/12/2005 - 9d 27/12 a 1/1/2006 - 6d	14 a 29/1/2006 - 16d
2006/07	3	2	11 a 15/12/2006 - 5d 28 a 2/2/2007 - 6d 13 a 17/2/2007 - 5d	21 a 28/12/2006 - 8d 22 a 26/1/2007 - 5d
2007/08	1	0	28/1 a 7/2/2008 - 11d	
2008/09	3	0	11 a 17/12/2008 - 7d 22 a 31/12/2008 - 10d 12 a 17/2/2009 - 6d	
2009/10	3	0	4 a 8/12/2009 - 5d 25 a 31/1/2010 - 7d 24 a 28/2/2010 - 5d	

ERA-Interim

verão	ativos	inativos	períodos ativos	períodos inativos
1980/81	0	1		14 a 18/2/1981 - 5d
1981/82	1	1	20 a 25/1/1982 - 6d	9 - 14/2/1982 - 6d
1982/83	1	0	7 a 11/2/1983 - 5d	
1983/84	1	2	5 a 9/12/1983 - 5d	13 a 17/1/1984 - 5d 30/1 a 3/2/1984 - 5d

1984/85	1	0	22 a 28/1/1985 - 7d	
1985/86	1	2	15 a 19/1/1986 - 5d	6 a 10/12/1985 - 5d 23 a 28/2/1986 - 6d
1986/87	1	2	23 a 27/12/1986 - 5d	6 a 10/1/1987 - 5d 22 a 26/2/1987 - 5d
1987/88	1	1	23 a 28/2/1988 - 6d	23 a 27/12/1987 - 5d
1988/89	1	0	8 a 12/2/1989 - 5d	
1989/90	2	1	4 a 9/12/1989 - 6d 5 a 12/1/1990 - 8d	20 a 27/1/1990 - 8d
1990/91	1	0	12 a 16/1/1991 - 5d	
1991/92	0	1		8 a 13/12/1991 - 6d
1992/93	3	3	5 a 11/12/1992 - 7d 11 a 18/2/1993 - 8d 20 a 24/2/1993 - 5d	1 a 7/1/1993 - 7d 14 a 18/1/1993 - 5d 27 a 31/1/1993 - 5d
1993/94	2	1	20 a 26/12/1993 - 7d 6 a 10/1/1994 - 5d	16 a 20/2/1994 - 5d
1994/95	2	0	21/12/94 a 1/1/95 - 12d 3 a 7/2/1995 - 5d	
1995/96	0	3		20 a 24/12/95 - 5d 23/1 a 2/2/96 - 11d 9 a 14/2/96 - 6d
1996/97	2	3	16 a 25/1/97 - 10d 27 a 31/1/97 - 5d	4 a 11/12/96 - 8d 14 a 23/12/96 - 10d 9 a 14/1/97 - 6d
1997/98	0	1		21/12/97 a 8/1/98 - 19d
1998/99	1	2	23 a 28/2/99 - 6d	19 a 25/1/99 - 7d 13 a 18/2/99 - 6d
1999/00	2	1	3 a 7/12/99 - 5d 30/12/99 a 3/1/00 - 5d	31/1 a 6/2/00 - 7d
2000/01	0	6		18 a 24/12/00 - 7d 26 a 30/12/00 - 5d 6 a 11/1/01 - 6d 15 a 22/1/01 - 8d 3 a 8/2/01 - 6d 10 a 15/2/01 - 6d
2001/02	1	1	4 a 8/2/02 - 5d	21/1 a 2/2/02 - 13d
2002/03	0	3		1 a 7/12/02 - 7d 20 a 26/12/02 - 7d 2 a 13/2/03 - 12d
2003/04	3	3	20 a 26/1/04 - 7d 6 a 10/2/04 - 5d	1 a 5/12/03 - 5d 11 a 16/12/03 - 6d

			20 a 24/2/04 - 5d	21 a 25/12/03 - 5d
2004/05	0	5		1 a 17/12/04 - 17d 26/12/04 a 1/1/05 - 7d 6 a 10/1/05 - 5d 12 a 16/1/05 - 5d 4 a 23/2/05 - 20d
2005/06	2	3	11 a 17/12/05 - 7d 10 a 14/2/06 - 5d	22 a 26/12/05 - 5d 14 a 20/1/06 - 7d 22 a 29/1/06 - 8d
2006/07	5	0	1 a 5/12/06 - 5d 11 a 17/12/06 - 7d 29/12/06 a 2/1/07 - 5d 13 a 17/1/07 - 5d 29/1 a 10/2/07 - 13d	
2007/08	3	0	1 a 5/12/07 - 5d 23/1 a 4/2/08 - 13d 22 a 26/2/08 - 5d	
2008/09	4	1	13 a 18/12/07 - 6d 20 a 27/12/08 - 8d 25 a 29/1/09 - 5d 12 a 18/2/09 - 7d	5 a 15/1/09 - 11d
2009/10	1	1	3 a 10/12/09 - 8d	1 a 5/2/10 - 5d

CFSR

verão	ativos	inativos	períodos ativos	períodos inativos
1980/81	1	3	19 a 23/12/1980 - 5d	5 a 10/1/81 - 6d 4 a 8/2/81 - 5d 19 a 28/2/81 - 14d
1981/82	1	0	21 a 25/1/82 - 5d	
1982/83	2	1	29/1 a 4/2/83 - 7d 6 a 10/2/83 - 5d	16 a 20/2/83 - 5d
1983/84	1	2	23 a 27/12/83 - 5d	15 a 19/1/84 - 5d 30/1 a 5/2/84 - 7d
1984/85	0	1		3 a 10/2/85 - 8d
1985/86	1	3	14 a 18/1/86 - 5d	5 a 14/12/85 - 10d 21 a 27/1/86 - 7d 21 a 27/2/86 - 7d
1986/87	0	2		4 a 10/1/87 - 7d 21 a 25/2/87 - 5d
1987/88	2	1	15 a 19/12/87 - 5d 17 a 21/2/88 - 5d	17 a 21/1/88 - 5d

1988/89	0	1		28/12 3/1/89 - 7d
1989/90	1	2	15 a 19/12/89 - 5d	21 a 25/12/89 - 5d 22 a 27/1/90 - 6d
1990/91	1	2	12 a 17/1/91 - 6d	1 a 6/12/90 - 6d 17 a 21/12/90 - 5d
1991/92	0	5		2 a 11/12/91 - 10d 17 a 21/12/91 - 5d 24 a 29/12/91 - 6d 4 a 12/1/92 - 9d 25/1 a 3/2/92 - 10d
1992/93	1	2	14 a 18/2/93 - 5d	1 a 7/1/93 - 7d 26/1 a 1/2/93 - 7d
1993/94	1	3	21 a 25/12/93 - 5d	1 a 5/12/93 - 5d 12 a 18/1/94 - 7d 16 a 21/2/94 - 6d
1994/95	3	0	5 a 10/12/94 - 6d 5 a 12/1/95 - 8d 1 a 6/2/95 - 6d	
1995/96	0	2		21 a 27/12/95 - 7d 25/1 a 2/2/96 - 9d
1996/97	1	2	16 a 22/1/97 - 7d	7 a 12/12/96 - 6d 14 a 22/12/96 - 9d
1997/98	2	0	15 a 19/12/97 - 5d 20 a 26/2/98 - 7d	
1998/99	2	2	1 a 6/12/98 - 6d 3 a 8/1/99 - 6d	19 a 31/1/99 - 13d 12 a 20/2/99 - 9d
1999/00	1	1	17 a 22/2/00 - 6d	31/1 a 5/2/00 - 6d
2000/01	0	4		1 a 12/12/00 - 12d 17/12/00 a 3/1/01 - 18d 15/1 a 15/2/01 - 32d 22 a 28/2/01 - 7d
2001/02	0	3		12 a 19/12/01 - 8d 22/1 a 5/2/02 - 15d 12 a 16/2/02 - 5d
2002/03	0	3		1 a 11/12/02 - 11d 5 a 15/1/03 - 11d 3 a 14/2/03 - 12d
2003/04	0	2		7 a 28/12/03 - 22d 7 a 12/1/04 - 6d
2004/05	0	4		1 a 16/12/04 - 16d 6 a 10/1/05 - 5d 4 a 18/2/05 - 15d 20 a 25/2/05 - 6d

2005/06	1	1	3 a 8/1/06 - 6d	14/1 a 1/2/06 - 19d
2006/07	1	0	1 a 6/2/07 - 6d	
2007/08	1	1	21/1 a 1/2/08 - 12d	29/12 a 3/1/08 - 6d
2008/09	2	1	22 a 30/12/08 - 9d 13 a 18/2/09 - 6d	6 a 16/1/09 - 11d
2009/10	3	1	2 a 8/12/09 - 7d 7 a 13/1/10 - 7d 9 a 17/2/10 - 9d	2 a 6/2/10 - 5d

SRDAS

verão	ativos	inativos	períodos ativos	períodos inativos
1998/99	2	2	1 a 5/12/98 - 5d 23 a 27/2/99 - 5d	25 a 29/12/98 - 5d 6 a 12/2/99 - 7d
1999/00	0	2		11 a 17/1/00 - 7d 23 a 27/2/00 - 5d
2000/01	0	2		26 a 30/12/00 - 5d 31/1 a 4/2/01 - 5d
2001/02	2	1	6 a 11/1/02 - 6d 5 a 9/2/02 - 5d	21 a 27/1/02 - 7d
2002/03	1	1	15 a 19/01/03 - 5d	21 a 25/12/02 - 5d
2003/04	1	1	31/1 a 8/2/04 - 9d	11 a 16/12/03 - 6d
2004/05	0	4		11 a 15/12/04 - 5d 2 a 9/2/05 - 8d 12/2 a 18/2/05 - 7d 20 a 24/2/05 - 5d
2005/06	0	2		14 a 18/1/06 - 5d 20 a 27/1/06 - 8d
2006/07	1	0	29/1 a 5/2/07 - 8d	
2007/08	1	1	25 a 30/1/08 - 6d	4 a 9/2/08 - 6d

APÊNDICE B – Tabela da quantidade de períodos ativos e inativos. Os campos preenchidos com N/A indicam os verões para os quais os dados não estavam disponíveis.

	CPC	NCEP-2	ERA-Interim	CFSR	SRDAS	CPC	NCEP-2	ERA-Interim	CFSR	SRDAS
verão	ativo	ativo	ativo	ativo	ativo	inativo	inativo	inativo	inativo	inativo
1980/81	2	3	0	1	N/A	1	3	1	3	N/A
1981/82	2	2	1	1	N/A	0	1	1	0	N/A
1982/83	2	4	1	2	N/A	2	1	0	1	N/A
1983/84	0	1	1	1	N/A	3	1	2	2	N/A
1984/85	2	2	1	0	N/A	3	2	0	1	N/A
1985/86	2	0	1	1	N/A	3	2	2	3	N/A
1986/87	1	0	1	0	N/A	2	2	2	2	N/A
1987/88	2	0	1	2	N/A	1	1	1	1	N/A
1988/89	3	0	1	0	N/A	1	1	0	1	N/A
1989/90	4	1	2	1	N/A	1	2	1	2	N/A
1990/91	2	1	1	1	N/A	0	1	0	2	N/A
1991/92	1	3	0	0	N/A	1	1	1	5	N/A
1992/93	0	1	3	1	N/A	3	1	3	2	N/A
1993/94	1	1	2	1	N/A	2	2	1	3	N/A
1994/95	3	3	2	3	N/A	2	0	0	0	N/A
1995/96	1	0	0	0	N/A	3	0	3	2	N/A
1996/97	2	1	2	1	N/A	3	3	3	2	N/A
1997/98	1	0	0	2	N/A	1	2	1	0	N/A
1998/99	3	0	1	2	2	3	3	2	2	2
1999/00	1	0	2	1	0	2	1	1	1	2
2000/01	1	0	0	0	0	3	5	6	4	2
2001/02	2	1	1	0	2	1	1	1	3	1
2002/03	2	0	0	0	1	3	4	3	3	1
2003/04	3	0	3	0	1	2	4	3	2	1
2004/05	0	0	0	0	0	5	5	5	4	4
2005/06	0	2	2	1	0	3	1	3	1	2
2006/07	1	3	5	1	1	1	2	0	0	0
2007/08	1	1	3	1	1	2	0	0	1	1
2008/09	0	3	4	2	N/A	3	0	1	1	N/A
2009/10	0	3	1	3	N/A	1	0	1	1	N/A
Total	45	36	42	29	8	61	52	48	55	16

APÊNDICE C – Tabela da diferença de períodos ativos e inativos entre reanálise e CPC. Valor positivo (negativo) indica superestimativa (subestimativa) em relação a quantidade de períodos detectados pelo CPC. Os campos preenchidos com N/A indicam os verões para os quais os dados não estavam disponíveis.

verão	diferença de ativos				diferença de inativos			
	NCEP-2	ERA-Interim	CFSR	SRDAS	NCEP-2	ERA-Interim	CFSR	SRDAS
1980/81	1	-2	-1	N/A	2	0	2	N/A
1981/82	0	-1	-1	N/A	1	1	0	N/A
1982/83	2	-1	0	N/A	-1	-2	-1	N/A
1983/84	1	1	1	N/A	-2	-1	-1	N/A
1984/85	0	-1	-2	N/A	-1	-3	-2	N/A
1985/86	-2	-1	-1	N/A	-1	-1	0	N/A
1986/87	-1	0	-1	N/A	0	0	0	N/A
1987/88	-2	-1	0	N/A	0	0	0	N/A
1988/89	-3	-2	-3	N/A	0	-1	0	N/A
1989/90	-3	-2	-3	N/A	1	0	1	N/A
1990/91	-1	-1	-1	N/A	1	0	2	N/A
1991/92	2	-1	-1	N/A	0	0	4	N/A
1992/93	1	3	1	N/A	-2	0	-1	N/A
1993/94	0	1	0	N/A	0	-1	1	N/A
1994/95	0	-1	0	N/A	-2	-2	-2	N/A
1995/96	-1	-1	-1	N/A	-3	0	-1	N/A
1996/97	-1	0	-1	N/A	0	0	-1	N/A
1997/98	-1	-1	1	N/A	1	0	-1	N/A
1998/99	-3	-2	-1	-1	0	-1	-1	-1
1999/00	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	0
2000/01	-1	-1	-1	-1	2	3	1	-1
2001/02	-1	-1	-2	0	0	0	2	0
2002/03	-2	-2	-2	-1	1	0	0	-2
2003/04	-3	0	-3	-2	2	1	0	-1
2004/05	0	0	0	0	0	0	-1	-1
2005/06	2	2	1	0	-2	0	-2	-1
2006/07	2	4	0	0	1	-1	-1	-1
2007/08	0	2	0	0	-2	-2	-1	-1
2008/09	3	4	2	N/A	-3	-2	-2	N/A
2009/10	3	1	3	N/A	-1	0	0	N/A