



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2014/02.09.23.27-TDI

**ESTUDO DE PRECURSORES DO ESTABELECIMENTO
DA ESTAÇÃO CHUVOSA NO SUDESTE E CENTRO
OESTE DO BRASIL**

Danielson Jorge Delgado Neves

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Meteorolo-
gia, orientada pelo Dr. José Anto-
nio Aravéquia, aprovada em 27 de
fevereiro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FNAGJL>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2014/02.09.23.27-TDI

**ESTUDO DE PRECURSORES DO ESTABELECIMENTO
DA ESTAÇÃO CHUVOSA NO SUDESTE E CENTRO
OESTE DO BRASIL**

Danielson Jorge Delgado Neves

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Meteorolo-
gia, orientada pelo Dr. José Anto-
nio Aravéquia, aprovada em 27 de
fevereiro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FNAGJL>>

INPE
São José dos Campos
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Neves, Danielson Jorge Delgado.

N414e Estudo de precursores do estabelecimento da estação chuvosa
no Sudeste e Centro Oeste do Brasil / Danielson Jorge Delgado
Neves. – São José dos Campos : INPE, 2014.
xxvi + 98 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2014/02.09.23.27-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.
Orientador : Dr. José Antonio Aravéquia.

1. água precipitável. 2. chuva. 3. vento. 4. estação chuvosa.
5. fluxos de calor. I.Título.

CDU 551.577



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

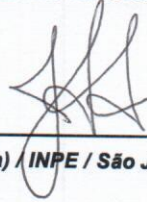
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia

Dr. Dirceu Luis Herdies



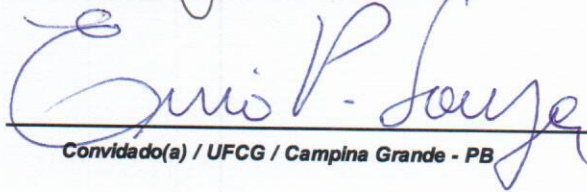
Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. José Antonio Aravéquia



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Enio Pereira de Souza



Convidado(a) / UFCG / Campina Grande - PB

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Danielson Jorge Delgado Neves**

São José dos Campos, 27 de Fevereiro de 2014

“Mas tu não a deves esquecer.”

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas.”

Antoine de Saint-Exupéry
O Pequeno Príncipe

À minha família!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade que me concede de a cada dia crescer na Fé, no conhecimento e na sabedoria que advêm únicos e exclusivamente d'Ele.

Agradeço à minha mãe Natália Dos Santos Delgado e ao meu pai José António Neves dos Santos por terem me trazido a esse mundo, cuidado de mim, formando-me nesse homem que hoje sou. Agradeço a meus irmãos e irmã pela força, encorajamento e companheirismo de sempre.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. José António Aravéquia pela disponibilidade em me orientar, por sugerir o tema, por todo suporte técnico e científico a mim concedido para a condução desta pesquisa.

Aos membros da banca, cumprimentos especiais e meu muito obrigado por terem aceitado o convite, pela avaliação, comentários, críticas e sugestões que com certeza enriquecem e vêm acrescentar muito ao trabalho.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Meteorologia do INPE, muito obrigado pelos conhecimentos transferidos, pela dedicação e disposição para realizar pesquisas e produção de conhecimento de ponta para toda a comunidade acadêmica. Às secretárias da PGMET, Luana e Suzimara pelos serviços prestados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter concedido a bolsa de mestrado que permitiu a condução desta pesquisa.

Ao Dr. José Roberto Rozante pela preciosa ajuda e conhecimento transferido com os programas computacionais e por estar sempre disponível para quaisquer dúvidas. Também por disponibilizar o acesso aos dados do MERGE.

Ao Sr. Bob Dattore do NCEP/NCAR por ceder os dados CFSR usados neste trabalho.

À minha namorada Nizely Costa pela presença constante, mesmo longe, incentivando o meu progresso.

Aos colegas de turma e amigos que durante a realização do mestrado me ajudaram de alguma forma, seja com sugestões, scripts, conversas científicas, passeios e momentos de diversão. Em especial à Fabíola Souza, Julliana Freire, Lais Alves, Jenny Asencio, Bianca Maske, Aline Bilhalva, José Dias, Graziela Luzia e Helena Azevedo.

RESUMO

A estação chuvosa nas regiões Centro Oeste e Sudeste do Brasil é o objeto de estudo da presente pesquisa que foca na caracterização das condições atmosféricas nos instantes que precedem e acompanham o início das chuvas nessas regiões. São usados dados de reanálise (*Climate Forecast System Reanalysis - CFSR*) em que uma série de variáveis (água precipitável, vento, umidade específica, fluxos de calor latente e sensível) é estudada visando à compreensão de suas evoluções ao longo do ano e em especial nos instantes do estabelecimento da estação chuvosa. O objetivo é encontrar algum padrão no comportamento das variáveis analisadas, que possa ser caracterizado como precursor e permita a identificação antecipada da ocorrência das chuvas. É adotada nesse estudo, a metodologia proposta por Zeng e Lu (2004), baseada no campo de umidade e caracterizado pelo conteúdo de água precipitável em que este é normalizado e gerado um índice (NPWI) que serve como uma forma global, objetiva e padronizada para identificar regiões de monção ao redor do globo e aqui é usada como critério para identificar o início da estação chuvosa. Segundo a literatura a estação chuvosa na área de estudo inicia durante a primavera entre os meses de setembro e novembro. Os resultados encontrados indicam datas entre outubro e novembro, ocorrendo primeiramente nos estados do Centro Oeste e posteriormente nos estados do Sudeste à medida que a umidade é canalizada para essas regiões. A metodologia se mostra útil principalmente para fins de monitoramento das condições de umidade, pois valores de água precipitável acima do limiar do NPWI indicam pelo menos uma condição favorável (necessária, mas não suficiente) para o início da estação chuvosa. O disparo para o início da estação chuvosa é dado por mecanismos dinâmicos de levantamento, tais como sistemas frontais transientes com ciclones associados no oceano Atlântico propagando na direção sudoeste-nordeste, que instabilizam a atmosfera e canalizam a esteira de umidade na direção de sua propagação, levando chuvas normalmente desde a região sul de São Paulo e Mato Grosso do Sul até o norte de Minas Gerais e se estendendo até sobre parte das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Como precursor da estação chuvosa são apresentados os ventos no nível de 850 hPa soprando do oceano Atlântico para a bacia Amazônica e desta em direção à área de estudo e nesse contexto os resultados mostram que o vento começa a ter componente meridional de norte dominante, na área sobre os estados da Amazônia e do Pará entre os meses de agosto e setembro, fortalecendo o transporte de umidade para a região de estudo. Também foram observados picos na intensidade do vento meridional antecedendo a ocorrência das datas de início da estação chuvosa. Durante a estação seca são observados altos valores do fluxo de calor sensível e conseqüentemente baixos valores do fluxo de calor latente. Como resultado do início da estação chuvosa nota-se uma alteração nos fluxos de calor à superfície, com o fluxo de calor latente se igualando ao fluxo de calor sensível no início da estação chuvosa e posteriormente se inverte a configuração observada na previamente na estação seca, com os fluxos de calor latente dominando em consequência da maior disponibilidade de chuvas e umidade a ser evaporada. Os valores de água precipitável variam entre 30 mm e 40 mm na região de estudo no início da estação chuvosa, com os maiores valores próximos a regiões litorâneas e próximas a região Amazônica nomeadamente no estado do Mato Grosso. Valores máximos de água

precipitável no pico da estação chuvosa se aproximaram de 50 mm, por vezes ultrapassando esse valor em algumas áreas.

STUDY OF PRECURSORS OF THE ESTABLISHMENT OF THE RAINY SEASON IN THE SOUTHEAST AND MIDWEST OF BRAZIL

ABSTRACT

The rainy season in the West-Central and Southeastern regions of Brazil is the object of study of this research focusing on the characterization of atmospheric conditions in moments that precedes and accompany the onset of the rains in these regions. Reanalysis data are used (Climate Forecast System Reanalysis - CFSR) in which a number of variables (precipitable water, wind, specific humidity, pressure, latent and sensible heat fluxes) are studied in order to understand their evolutions along the year and especially in the moment of the establishment of the rainy season. The objective is to find some pattern in the behavior of the analyzed variables that can be characterized as a precursor and allow early identification of the occurrence of rainfall. It is adopted in this study the methodology proposed by Zeng and Lu (2004), based on the moisture field and characterized by the content of precipitable water in which it is normalized and generated an index (NPWI) that serves as a comprehensive, objective and standardized way to identify monsoon regions around the globe and here is used as a criterion to identify the onset of the rainy season. According to the literature the rainy season starts in the study area during the spring between the months of September and November. Results suggest dates between October and November, occurring primarily in the West-Central and later in the Southeastern states as the humidity is channeled to these regions. The methodology proves to be useful primarily for monitoring moisture conditions, since values of precipitable water above the NPWI threshold indicates at least a favorable condition (necessary but not sufficient) for the beginning of the rainy season. The trigger for the onset of the rainy season is given by dynamic lifting mechanisms such as transient frontal systems associated with cyclones in the Atlantic Ocean propagating in the southwest-northeast direction, which unstabilizes the atmosphere and channels the moisture track in its direction of propagation, leading rains usually from the southern region of São Paulo and Mato Grosso do Sul to the north of Minas Gerais and extending up to over part of the North and Northeast regions of Brazil. As a precursor of the rainy season are presented the winds at 850 hPa blowing from the Atlantic Ocean to the Amazon basin and then toward the field of study and in this context results show that the wind begins to have a dominant north meridional component, in the area over the Amazonian and Pará states between the months of August and September, strengthening the moisture transport to the study region. Peaks in the intensity of the meridional wind were also observed preceding the occurrence of the onset dates of the rainy season. During the dry season it is observed high values of sensible heat flux and hence low values of latent heat flux. As a result of the onset of the rainy season it is noticed a change in surface's heat fluxes with the latent heat flux equaling the sensible heat flux at the beginning of the rainy season and subsequently reverses the configuration previously observed in the dry season, with latent heat flux dominating as a result of increased availability of rainfall and moisture to be evaporated.

The precipitable water values range from 30 mm to 40 mm in the study region at the onset of the rainy season with the highest values near coastal regions and near the Amazon region particularly in the state of Mato Grosso. Maximum values of precipitable water at the peak of the rainy season approached 50 mm, sometimes surpassing this value in some areas.

LISTA DE FIGURAS

		<u>Pag.</u>
Figura 1.1	Imagens do satélite GOES 12, no canal do vapor de água sobre a América do Sul para as 18:00 UTC dos dias: (a) 25 de agosto; (b) 30 de agosto; (c) 25 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.....	05
Figura 3.1	Localização da área de estudo (quadrado verde) enfocando as regiões sudeste e centro oeste do Brasil e das áreas para estudo do vento (quadrados azuis).....	23
Figura 3.2	(a) Média diária no período de 10 anos de água precipitável sobre Bombay, Índia (linha fina) e sobre o sul do Arizona, EUA (linha grossa). (b) O ciclo anual correspondente do índice normalizado de água precipitável como definido pela equação (6). Fonte: Zeng e Lu (2004).....	28
Figura 3.3	Média diária da temperatura do ponto de orvalho e do NPWI próximo a El Centro - Califórnia para a no ano 2006. Fonte: Means (2013).....	29
Figura 3.4	Climatologia do acumulado anômalo de precipitação: a) diária (LIEBMANN e MARENGO, 2001) b) pântadal para (BOMBARDI e CARVALHO, 2008) para regiões da Amazônia.....	31
Figura 4.1	Quadro comparativo das datas do onset indicado pelas metodologias utilizadas (A) Acumulado de Liebmann para chuva, (B) Acumulado de Liebmann para água precipitável, (C) Índice Normalizado de Água Precipitável, (D) Chuva.....	35
Figura 4.2	Dia Juliano do início da estação chuvosa com diferentes critérios de persistência: 2 dias (A); 3 dias (B); 4 dias (C) e 5 dias (D).....	37
Figura 4.3	Dia Juliano (DJ) médio do início da estação chuvosa.....	38
Figura 4.4	Desvio padrão associado ao dia Juliano (DJ) do início da estação chuvosa.....	39
Figura 4.5	Evolução dos últimos El Niño (a) La Niña (b) na região do Niño 3. Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/	40
Figura 4.6	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2000.....	41
Figura 4.7	Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2000/2001.....	42

Figura 4.8	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 17 de outubro, (b)16 de novembro e (c) 16 de dezembro de 2000.....	42
Figura 4.9	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2001.....	43
Figura 4.10	Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2001/2002.....	44
Figura 4.11	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 17 de outubro, (b)16 de novembro e (c) 16 de dezembro de 2001.....	44
Figura 4.12	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2002.....	45
Figura 4.13	Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2002/2003.....	46
Figura 4.14	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 06 de novembro, (b)16 de novembro e (c) 26 de novembro de 2002.....	46
Figura 4.15	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2003.....	47
Figura 4.16	Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2003/2004.....	48
Figura 4.17	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 07 de outubro, (b) 06 de novembro e (c) 16 de novembro de 2003.....	48
Figura 4.18	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2004.....	49
Figura 4.19	Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2004/2005.....	50
Figura 4.20	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 06 de outubro, (b)16 de outubro e (c) 26 de outubro de 2004.....	50
Figura 4.21	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2005.....	51
Figura 4.22	Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2005/2006.....	52
Figura 4.23	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 27 de setembro, (b)17 de outubro e (c) 06 de novembro de 2005.....	52
Figura 4.24	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2006.....	53
Figura 4.25	Campos atmosféricos do dia 27 de setembro de (a) circulação em 200	

	hPa – linhas de corrente e Índice de instabilidade Cape – sombreado; (b) vento em 850 hPa – vetor, vento meridional sul maior que 10 m/s – sombreado, Pressão ao nível médio do mar – isolinha (c) convergência de umidade em 850 hPa e (d) Chuva.....	54
Figura 4.26	Idem Figura 4.25 para o dia 07 de outubro.....	55
Figura 4.27	Idem Figura 4.25 para o dia 17 de outubro.....	56
Figura 4.28	Análises sinóticas sobre a América do Sul para os dias (a) 17 de outubro e (b) 02 de novembro de 2006.....	56
Figura 4.29	Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2006/2007.....	57
Figura 4.30	Fluxos de calor sensível (SH) e de calor latente (LE) no (a) Centro Oeste e no (b) Sudeste do Brasil para a estação chuvosa 2006/2007.....	59
Figura 4.31	Variação da água precipitável (PW) e do índice normalizado de água precipitável (NPWI) no (a) Centro Oeste e no (b) Sudeste do Brasil para a estação chuvosa 2006/2007.....	60
Figura 4.32	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2007.....	61
Figura 4.33	Idem Figura 4.25, para o dia 17 de outubro de 2007.....	62
Figura 4.34	Idem Figura 4.25, para o dia 27 de outubro de 2007.....	63
Figura 4.35	Idem a Figura 4.25 para o dia 26 de novembro.....	64
Figura 4.36	Análises sinóticas para os dias (a) 17 de outubro, (b) 27 de outubro, (c) 06 de novembro, (d) 27 de novembro.....	65
Figura 4.37	Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2007/2008.....	66
Figura 4.38	Idem a figura 4.30 para a estação chuvosa 2007/2008.....	67
Figura 4.39	Idem a figura 4.31 para a estação chuvosa 2007/2008.....	69
Figura 4.40	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2008.....	70
Figura 4.41	Idem Figura 4.25, para o dia 06 de outubro de 2008.....	71
Figura 4.42	Idem Figura 4.25, para o dia 26 de outubro de 2008.....	72
Figura 4.43	Idem Figura 25, para o dia 05 de novembro de 2008.....	73
Figura 4.44	Análises sinóticas para os dias (a) 06 de outubro, (b) 26 de outubro, (c) 05 de novembro, (d) 15 de novembro.....	74
Figura 4.45	Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2008/2009.....	75
Figura 4.46	Idem a figura 4.30 para a estação chuvosa 2008/2009.....	76
Figura 4.47	Idem a figura 4.31 para a estação chuvosa 2008/2009.....	78

Figura 4.48	Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2009.....	79
Figura 4.49	Varição anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2009/2010.....	80
Figura 4.50	Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 17 de setembro, (b) 07 de outubro e (c) 27 de outubro de 2009.....	80

LISTA DE TABELAS

	<u>Pag.</u>
Tabela 1 Principais datas do início da estação chuvosa	81
Tabela A.1 Calendário de Dia Juliano para anos não bissextos: 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2009.....	97
Tabela A.2 Calendário de Dia Juliano para anos bissextos: 2000, 2004 e 2008.....	98

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANMRC	- Centro Australiano de Pesquisas Numéricas em Meteorologia
CAPE	- Energia Potencial Convectiva Disponível
CDC	- Centro de Diagnóstico do Clima
CFSR	- Sistema de Reanálises para Previsão de Clima
CFSR	- Sistema de Reanálises de Previsão Climática
CIRES	- Instituto Cooperativo para Pesquisas em Ciências Ambientais
CISL	- Laboratório de Sistemas de Computação e Informação
CLIVAR	- Habilidade da previsão da Variabilidade Climática
CPTEC	- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DAS	- Sistema de Assimilação de dados
GPT	- Grupo de Previsão do Tempo
ECMWF	- Centro Europeu de Previsão de Médio Prazo do Tempo
ENOS	- El Niño/La Niña - Oscilação Sul
GEOS	- Sistema Observacional Terrestre Goddard
GLA	- Laboratório Atmosférico Goddard
GOES	- Servidor de Satélite Geoestacionário
GrADS	- Sistema de Visualização e Análise em pontos de Grade
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JBN	- Jatos de Baixos Níveis
LBA	- Experimento Atmosférico e Biosférico de Grande Escala na Amazônia
NASA	- Administração Nacional da Aeronáutica Espacial
NCAR	- Centro Nacional Pesquisas Atmosféricas
NCEP	- Centro Nacional de Previsão Ambiental
NCL	- Nível de Convecção Livre
NE	- Nível de Equilíbrio
NEB	- Nordeste do Brasil
NOAA	- Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NWPI	- Índice Normalizado de Água Precipitável
OMJ	- Oscilação de Madden e Julian
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
ROLE	- Radiação de Onda Longa Emergente
SAMS	- Sistema de Monção da América do Sul
SCM	- Sistemas Convectivos de Mesoescala
SF	- Sistemas Frontais
TIROS	- Satélite Televisivo de Observação Infravermelha
TOVS	- Sondador Operacional Vertical do Satélite TIROS
TRMM	- Missão de Medição de Chuvas Tropicais
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VAMOS	- Variabilidade dos Sistemas de Monção Americanos
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

- WETAMC** - Campanha de Mesoescala Atmosférica na Estação Úmida
- WRCP** - Programa Mundial de Pesquisa Climática
- ZCAS** - Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT** - Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCPS** - Zona de Convergência do Pacífico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

W	- Água Precipitável (mm ou Kg/m ²)
G	- Aceleração da gravidade (m/s ²)
Q	- Umidade Específica (g/Kg)
P	- Pressão Atmosférica (mb ou hPa)
U	- Velocidade do Vento (m/s)
T	- Temperatura do ar (°C ou °K)
Td	- Temperatura do Ponto de Orvalho (°C ou °K)
Tp	- Temperatura da Parcela (°C ou °K)
Ta	- Temperatura do Ambiente (°C ou °K)
c_p	- Calor Específico à Pressão Constante
ρ	- Densidade do ar
C_{DH}	- Coeficiente de transferência aerodinâmica para a temperatura
C_{DE}	- Coeficiente de transferência aerodinâmica para a umidade
L	- Calor Latente de Vaporização
z_r	- Nível de altitude de referência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	Objetivos.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
2.1	Estudos envolvendo dados de umidade.....	09
2.2	Estudos sobre estação chuvosa/monção.....	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1	Área de estudo.....	23
3.2	Descrição dos dados.....	24
3.3	Metodologias.....	27
3.3.1	Índice Normalizado de Água Precipitável.....	27
3.3.2	Climatologia do Acumulado de Precipitação.....	30
3.3.3	Convergência de Umidade	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Metodologia de Zeng e Lu versus Metodologia de Liebmann e Marengo.....	34
4.2	Datas de início da estação chuvosa com diferentes critérios de persistência.....	36
4.3	Análise das estações chuvosas compreendidas entre 2000 e 2010.....	40
4.3.1	Estação chuvosa 2000/2001.....	41
4.3.2	Estação chuvosa 2001/2002.....	43
4.3.3	Estação chuvosa 2002/2003.....	45
4.3.4	Estação chuvosa 2003/2004.....	47
4.3.5	Estação chuvosa 2004/2005.....	49
4.3.6	Estação chuvosa 2005/2006.....	51
4.3.7	Estação chuvosa 2006/2007 – El Niño.....	53
4.3.8	Estação chuvosa 2007/2008 – La Niña.....	61
4.3.9	Estação chuvosa 2008/2009.....	70
4.3.10	Estação chuvosa 2009/2010.....	79
5	CONCLUSÕES.....	85

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
APENDICE A	97

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais que se encontra dividido em cinco regiões, nomeadamente a região Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul, com climas variando entre equatorial, tropical e temperado, caracterizados por diferentes regimes pluviométricos.

A região Centro Oeste, constituída pelo Distrito Federal e pelos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, em conjunto com a região Sudeste, composta pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo são as áreas de estudo da presente pesquisa. Essas duas regiões são caracterizadas por terem um regime de chuvas demarcado e bastante sensível a alterações. Portanto, atrasos no início das chuvas podem comprometer várias atividades que dependem diretamente do regime pluviométrico, ou seja, de quando e quanto se tem de chuva. Na área de estudo além de intensas atividades agrícolas e pecuaristas, concentram-se grandes indústrias e metrópoles caracterizadas por altas densidades populacionais, o que se traduz numa demanda enorme por água e energia elétrica, sendo esta última gerada principalmente através de usinas hidrelétricas que para funcionarem em pleno também necessitam de água das chuvas. Portanto, é importante um contínuo monitoramento das condições de tempo e clima que podem influenciar no regime de chuvas e conseqüentemente afetar toda a cadeia de atividades econômicas e sociais, que conduzem a manutenção da vida.

Os principais fenômenos meteorológicos causadores de chuva nessas regiões são os Sistemas Frontais (SF), Ciclones Extratropicais, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), além de sistemas decorrentes da circulação e convecção local. Estes sistemas atuam em diferentes estações do ano, mas o maior volume da precipitação se concentra nos meses referentes à primavera e verão, período denominado na literatura de estação chuvosa ou monção.

Não há uma definição sobre a data exata de início da estação chuvosa nestas regiões, pois existe uma variabilidade sazonal e interanual na ocorrência das chuvas, modulada

por fenômenos de grande escala como El Niño/La Niña – Oscilação Sul (ENOS), anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico e Oscilação de Madden e Jullian (OMJ). A estes condicionantes se junta à proximidade da região Centro Oeste com a Amazônia, recebendo umidade e influências dos sistemas de precipitação que lá se formam enquanto a região sudeste detém uma grande extensão costeira recebendo umidade do oceano Atlântico de forma direta, ou seja, a maritimidade também influencia nos totais precipitados. Mais informações sobre os sistemas atmosféricos e o clima dessas regiões podem ser consultadas no livro Tempo e Clima no Brasil (CAVALCANTI et al., 2009 – Cap. 15 e 16).

A estação chuvosa e sua componente maior, o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), têm sido amplamente estudados e debatidos na literatura ao longo dos anos, por vários pesquisadores utilizando diferentes metodologias e no geral concordam que o início da estação chuvosa particularmente nas regiões Sudeste e Centro Oeste do Brasil, áreas do presente estudo, ocorre entre os meses de setembro e novembro e o final da estação acontece entre abril e maio. Estes estudos consistiram num monitoramento das condições atmosféricas durante um determinado intervalo de tempo que permitisse detectar variações sazonais do valor precipitado e baseado em séries climatológicas, caracterizar algumas variáveis (por ex.: chuva, radiação de onda longa emergente, vento em baixos níveis, água precipitável e fluxo de vapor de água) às quais foram atribuídos valores limiares, com o objetivo de servirem como índices que permitam a identificação das condições que configuram o início e fim da estação chuvosa (ALVES et al., 2005; CARVALHO et al., 2012; GAN; MOSCATI, 2003; GAN et al., 2004; GAN et al., 2006; GARCIA; KAYANO, 2013; LIEBMAN et al., 2007; MARENGO et al., 2001).

Uma variável bastante analisada por vários autores é a radiação de onda longa emergente (ROLE) e nesse contexto destaca-se o trabalho produzido por Kousky (1988), que apresentou uma climatologia de pênaldas (média de cinco dias) de ROLE, compreendendo o período de janeiro de 1979 a dezembro de 1987, para a América do Sul usando uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Estabeleceu limiares de ROLE (abaixo e acima de 240 Wm^{-2}) para os quais se pode esperar ou não convecção profunda, e sugeriu um critério objetivo para obter as datas aproximadas de início e fim da estação chuvosa,

bem como a sua duração: o início (fim) da estação chuvosa ocorre quando a ROLE climatológica estiver abaixo (acima) de 240 Wm^{-2} numa determinada pântada, desde que 10 das 12 pântadas anteriores tivessem ROLE acima (abaixo) de 240 Wm^{-2} , e após essa determinada pântada de início (fim), deve-se ter pelo menos 10 das 12 pântadas posteriores com ROLE abaixo(acima) de 240 Wm^{-2} .

Kousky (1988) determinou com isso que geralmente o início da estação chuvosa na América do Sul, começa a se configurar no final de agosto quando se observam baixos valores de ROLE (menor que 240 Wm^{-2}) próximo ao oeste do Brasil e leste da Bolívia que se deslocam de noroeste para sudeste e se fundem com regiões de baixa ROLE do sul e leste do Brasil, formando uma banda orientada de noroeste-sudeste de nuvens convectivas (baixos valores de ROLE) que Casarin e Kousky (1986) citado por Kousky (1988) chamaram de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Na área objeto do presente estudo, segundo o critério de Kousky, as chuvas têm início no mês de setembro (pântadas 51-54) em Mato Grosso e se deslocam para sudeste em direção a São Paulo. Com a ZCAS se enfraquecendo já em finais de fevereiro início de março, a estação chuvosa vai caminhando para o seu fim que acontece nas pântadas 15-21 entre a metade de março e a metade de abril. O fim da estação chuvosa e consequente início da estação seca ocorrem de sudeste para noroeste e em maio uma grande área do Brasil já se encontra na estação seca. Este critério nunca foi atendido no extremo noroeste (nordeste) do Brasil, pois os valores de ROLE estavam quase sempre abaixo (acima) do limiar 240 Wm^{-2} .

Vários autores seguiram utilizando a metodologia proposta por Kousky (1988) para estudos de monção na América do Sul e não só, no entanto esse método introduz uma superestimativa na quantidade de chuva, devido ao fato de nuvens que não provocam chuva (ex. cirrus), interferirem na quantidade de radiação de onda longa emergente que chega ao sensor do satélite, muitas vezes com valores abaixo desse limiar de 240 Wm^{-2} , que não necessariamente significaria chuva, ou seja, o método não é perfeito.

Liebmann et al. (1998) afirmam que a climatologia de ROLE é útil para monitorar a variabilidade interanual e para fornecer uma visão geral da distribuição de convecção

tropical profunda ao longo do ano, porém dá apenas uma aproximação grosseira das datas de início e fim da estação chuvosa tropical e nem sempre representa adequadamente a precipitação.

É importante ter a informação antecipada, de quando irá começar e terminar a estação chuvosa e nesse contexto, os meteorologistas utilizam-se do conhecimento teórico das ciências atmosféricas, aliado a experiência operacional e ao uso de modelos numéricos de clima para fazer essa previsão, e repassar aos principais usuários. No entanto não é algo trivial, principalmente nas regiões foco do presente estudo, pois segundo Marengo et. al., (2001) no relatório sobre o início da estação chuvosa nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e sul do Nordeste do Brasil, afetados pela crise de energia em 2001, prever com antecedência e alto grau de acerto, quando ocorre o início e fim das chuvas nessas regiões não é tarefa fácil. Estas regiões apresentam baixa previsibilidade climática devido ao seu posicionamento geográfico, o que lhes confere um clima com caráter de transição entre duas regiões de climas bem definidos como são o Nordeste e o Sul do Brasil. Segundo os mesmos, a previsão sazonal de clima é difícil e os índices de acerto dos modelos climáticos ainda são baixos para essas regiões. Tal fato é reconhecido tanto pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) quanto pelos centros meteorológicos mundiais a exemplo do “*National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*” (NCEP/NCAR), “*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*” (ECMWF), Instituto Max Planck entre outros, portanto fazer uma previsão da data de início da estação chuvosa nessas regiões de baixa previsibilidade é um alvo difícil de atingir.

Variáveis de umidade como água precipitável e convergência de umidade, podem revelar bastante sobre a definição da estação chuvosa, pois partindo do princípio físico que para a formação de nuvens de chuva deve haver disponibilidade de umidade em forma de vapor, convergência de massa em baixos níveis e conseqüente movimento ascendente, se de antemão a configuração dos campos de umidade e estabilidade atmosférica forem favoráveis, pode-se antever as condições propícias para a convecção.

A Figura 1.1 mostra um exemplo da evolução do conteúdo de umidade sobre a atmosfera da América do Sul, da estação seca (a) e (b) para a estação úmida (c) e (d), através de imagens do satélite GOES 12 no canal do vapor de água obtidas do banco de imagens da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do CPTEC/INPE. É visível pela imagem (a) pouca disponibilidade de umidade sobre todo o Brasil, característico da estação seca. Na imagem (b) já é possível notar um aumento no conteúdo de umidade e alguma atividade convectiva na bacia Amazônica que se estende mais tarde por quase toda a região de estudo como pode ser visto em (c) e (d), já dentro da estação chuvosa de acordo com a literatura.

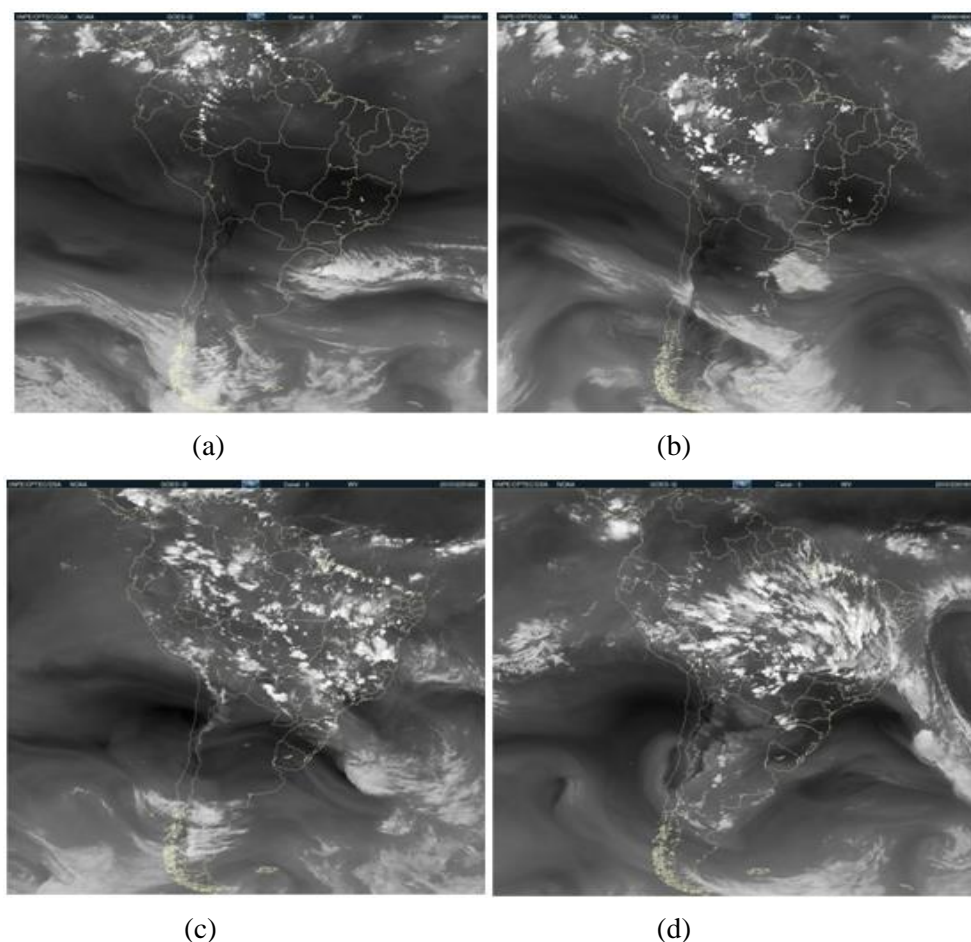


Figura 1.1 – Imagens do satélite GOES 12, no canal do vapor de água sobre a América do Sul para as 18:00 UTC dos dias: (a) 25 de agosto; (b) 30 de agosto; (c) 25 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.

A variável água precipitável é definida pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) como a quantidade de água que poderia ser obtida se todo o vapor de água contido numa determinada coluna atmosférica se condensasse e precipitasse. Será uma das variáveis a ser estudada como um dos precursores da estação chuvosa, visto que de acordo com Rosen et. al., (1979), o vapor de água tem um forte impacto na energética da atmosfera através da liberação de calor latente e também por interações radiativas, além de seu fluxo constituir um ramo importante do ciclo hidrológico global, de tal forma que flutuações nesse fluxo se relacionam diretamente a episódios de cheias ou secas.

Nos últimos anos a evolução tecnológica, em termos de modelos computacionais, dados observados, numéricos e de sensoriamento remoto, aliados ao aperfeiçoamento do conhecimento teórico, têm permitido que pesquisas envolvendo as variáveis de umidade, se tornem mais robustas, atendendo a um leque maior de exigências. Portanto com esta pesquisa anseia-se responder alguns questionamentos de forma a beneficiar os setores da sociedade diretamente envolvidos com o tema.

1.1. Objetivos

Contribuir para a discussão sobre o início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste do Brasil, estudando o comportamento de algumas variáveis que podem atuar como precursores das chuvas, procurando indícios para a identificação antecipada do início da estação chuvosa. Especificamente pretende-se:

- a) Obter as datas do início da estação chuvosa e avaliar nesse instante a configuração dos campos de umidade.
- b) Verificar a existência de padrões de circulação nos campos de vento em baixos níveis, no campo de pressão ao nível médio do mar e nos fluxos de calor sensível (SH) e fluxos de calor latente (LE) nos dias que antecedem o início da estação chuvosa.
- c) Obter os limiares para a água precipitável
- d) Verificar os prováveis intervenientes no atraso ou adiantamento da estação chuvosa.

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos. O primeiro apresenta uma introdução à temática desse estudo, com informações sobre as áreas geográficas abrangidas e sistemas atmosféricos neles atuantes. O segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura que abrange desde os primeiros estudos envolvendo a variável água precipitável aos mais recentes estudos sobre o Sistema de Monção da América do Sul, enfatizando os aspectos do início da estação chuvosa. No terceiro capítulo apresenta-se a descrição dos dados que são utilizados e das metodologias adotadas. No quarto capítulo são apresentados os resultados da comparação das duas metodologias utilizadas e depois de escolhido a metodologia principal que fornece as datas de início da estação chuvosa é analisado e discutido o comportamento de algumas variáveis. No quinto e último capítulo apresentam-se as conclusões obtidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta alguns estudos encontrados na literatura sobre o tema em questão que serão divididos em dois tópicos:

2.1- o primeiro apresenta um breve histórico de trabalhos em que foram usados dados de umidade e como foi a evolução ao longo do tempo dos estudos envolvendo essa variável.

2.2- o segundo revisando estudos que foram conduzidos nos últimos anos sobre o início, duração e fim da estação chuvosa ou monção ao redor do globo com um enfoque maior sobre a América do Sul e em especial sobre os Estados das regiões Centro Oeste e Sudeste do Brasil.

2.1. Estudos envolvendo dados de umidade

Com a disponibilidade de medições de variáveis como pressão, temperatura, umidade e vento nos diferentes níveis da atmosfera, através de radiossondagens no final da década de 1930, vários cientistas começaram a estudar o comportamento do conteúdo de vapor de água na atmosfera, seu respectivo transporte e como eles influenciavam o balanço de água na superfície, em diferentes partes do globo (CAVALCANTI, E. P. 2001).

Benton e Estoque (1954) avaliaram os padrões mensais e sazonais do fluxo de umidade, usando dados de radiossondas para a América do Norte e constataram que existe uma estreita relação entre esses padrões e a distribuição da precipitação durante o ano estudado de 1949. Eles computaram estatisticamente o transporte de vapor de água considerando por um lado o transporte associado aos campos médios tridimensionais do vento e da umidade específica e por outro lado o transporte associado aos vórtices turbulentos ocorridos durante o período, visto que segundo os autores, os vórtices representam uma porção significativa do transporte total de vapor, sobretudo na direção meridional. Para atestar a acurácia das estimativas da transferência de vapor de água

integrada, compararam os campos de divergência dessa variável (convergência=chuva; divergência=seca) com medidas de escoamento superficial e estimativas de evapotranspiração respectivamente. Usaram ainda esses campos de divergência de vapor de água em conjunto com a equação da continuidade de massa para a substância água, para computar a evapotranspiração sobre o continente Norte-Americano, e concluíram que este no verão (inverno) se comporta como fonte (sumidouro) de umidade.

Peixoto (1959), citado por Cavalcanti (2001), realizou estudos referentes às observações com radiossondagens de 12 meses do ano de 1950, no continente Norte-Americano, e observou que valores muito baixos do fluxo de vapor de água nunca apareceram associados a valores elevados de precipitação, e que valores elevados do fluxo de vapor de água constituem uma condição necessária, mas não suficiente, para a ocorrência de chuvas em uma região. Isso parece óbvio, mas é importante frisar, pois garante uma base documentada na literatura para a condução do estudo da umidade como um possível indicador do início e fim da estação chuvosa.

Rosen et. al., (1979) utilizaram informações de umidade específica e vento de aproximadamente 800 estações de radiossonda, distribuídas sobre o Hemisfério Norte e parte tropical do Hemisfério Sul (0° - 10° S) para estudar as variações anuais dos campos de transporte de vapor de água atmosférico durante o período de 1958 a 1963. A água precipitável não apresentou variações marcantes de ano para ano, porém se observou que, em geral existe tendência do conteúdo de vapor de água decrescer do equador para o polo e a quebra dessa simetria zonal relaciona-se com a distribuição de terra e oceano no hemisfério. A influência da topografia na água precipitável é mais evidente em conjunto com as áreas secas que prevalecem sobre os desertos e regiões elevadas da atmosfera. Analisando os fluxos zonais e meridionais de vapor de água os autores puderam constatar, apesar das variações de ano para ano, características relacionadas aos campos médios do vento e umidade específica em baixos níveis, com fluxos de leste na região tropical e acima de 60° N e de oeste na região de latitudes médias, além das configurações dos sistemas semipermanentes de alta pressão nos

subtrópicos, distúrbios baroclínicos nas latitudes médias e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Howart (1983) estudou as variações sazonais dos campos médios de água precipitável e fluxos zonal e meridional do vapor integrado verticalmente, sobre o Hemisfério Sul no período de 1973 a 1978. Devido à cobertura deficiente de estações de radiossondagens e má qualidade dos dados observados nesse hemisfério, limitantes na execução de mais estudos sobre o transporte de vapor de água, o autor recorreu a dados do modelo numérico do “*Australian Numerical Meteorological Research Center*” (ANMRC), cujos valores de umidade e vento estavam dispostos em pontos de grade para quatro níveis de pressão entre 1000 e 500 hPa. Com isso ele conseguiu identificar efeitos topográficos e diminuição quantitativa das variáveis analisadas, evidenciada sobre a Cordilheira dos Andes e regiões desérticas da África. Os sistemas semipermanentes de alta pressão presentes nos oceanos Atlântico e Pacífico Sul, também apareceram bem destacados nos campos de transporte de vapor de água. E por fim observou que as maiores diferenças de intensidade entre as duas variáveis ocorrem no verão e no inverno com valores mais altos no verão.

Devido à cobertura espacial de estações de radiossondagem deficiente e ao advento de modelos e satélites meteorológicos, os cientistas recorreram a estes últimos, muitas vezes combinando os dados de ambos, para tentar preencher a lacuna deixada pela falta de dados de ar superior abrangendo principalmente o Hemisfério Sul. Nesse contexto, usando tecnologia de satélite Wittmeyer e Harr (1994) estimaram o conteúdo de água precipitável para o globo terrestre num período compreendido entre 1983 a 1989, baseado nas informações de radiância obtidas através do satélite de órbita polar da série NOAA “*National Oceanic and Atmospheric Administration*” tendo a bordo o sistema de sondagem “*TIROS Operational Vertical Sounder*” (TOVS), o qual permite a obtenção de perfis verticais de temperatura e umidade do ar para a atmosfera. Eles afirmam que os campos de água precipitável obtido através do TOVS são climatologicamente consistentes com estudos prévios baseados em informações de radiossondas e que representam adequadamente a variabilidade espacial e temporal do conteúdo de vapor de água. Como limitações no estudo de vapor de água com satélite referem-se à

obtenção dos fluxos, devido à complexidade e imprecisão na obtenção da direção e intensidade do vento em diferentes níveis de pressão, principalmente na região tropical.

Por sua vez Salathé et. al., (1995) usaram também observações do TOVS para analisar a distribuição de umidade na alta atmosfera (400-200 hPa) e compararam com informações do modelo global “*Goddard Laboratory for Atmospheres*” – GLA da “*National Aeronautics Space Administration*” – NASA para um período entre 1979 a 1988. Avaliaram a climatologia do ciclo sazonal de temperatura de emissão da camada de 400 a 200 hPa, observada pelo TOVS e fornecida pelo modelo e observaram boa correspondência. Concluíram também que os campos de umidade simulados apresentaram sucesso em reproduzir os fatores de grande escala e sua sazonalidade, mas produzem fraco contraste entre regiões muito secas e muito úmidas, superestimando a umidade em regiões áridas.

Rao et. al., (1996) utilizando análises do ECMWF para o período de 1985 a 1989, dados pluviométricos de chuva (1958-1978) e dados observados de temperatura do ponto de orvalho para Manaus e Brasília, estudaram a variação anual da precipitação sobre o Brasil, as características da circulação atmosférica e da variação anual do vapor de água sobre a América do Sul destacando as configurações observadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro, representativos de cada trimestre do ano. Ressaltaram a necessidade de um ajuste de massa para eliminar possíveis erros devido a truncamentos na avaliação da divergência por diferenças finitas. Afirmam que uma vasta região no Brasil central é caracterizada por um regime de verão chuvoso com um período de seis meses (setembro a fevereiro) recebendo 70% ou mais do acumulado anual e inverno seco. Os resultados deste estudo permitiu-lhes observar que a transição de inverno para verão se dá acompanhado de uma mudança repentina nas características da umidade atmosférica com o Oceano Atlântico Sul fornecendo vapor de água para a Amazônia e que a ocorrência de transporte de vapor de água de noroeste para o sudeste verificado no Brasil Central, tem como fonte a bacia amazônica.

Rao et. al., (1998) utilizando reanálises do NCEP analisaram a variação interanual do transporte de vapor de água e do balanço de umidade nos trópicos para dois anos

contrastantes (1987 e 1988) considerados anos de El Niño e La Niña respectivamente e os relacionaram a circulação de Walker. Avaliaram a qualidade das reanálises e a habilidade destas para capturar áreas de precipitação associadas à ZCIT, ZCAS, Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) a qual foi satisfatória. No entanto a variabilidade sazonal não foi bem representada. Observaram que sobre o Pacífico Oeste as diferenças no transporte de umidade (verticalmente integrado) entre os períodos de El Niño e La Niña estava associada a diferenças na convergência de umidade. Já com relação à circulação de Walker foi observado que as maiores diferenças na precipitação no Pacífico Oeste, entre os dois períodos, estava relacionada às diferenças na convergência do fluxo de umidade, demonstrando o papel importante da convergência de umidade nessa região. Enquanto na região Amazônica a evapotranspiração aparentava ter um papel mais importante na precipitação local.

Cavalcanti (2001), na tentativa de estudar o conteúdo e transporte de água na atmosfera sobre a região Nordeste do Brasil (NEB), utilizando somente informações convencionais de ar superior, obtidas através de radiossondagens, deparou-se com problemas no tocante a somente um horário de observação, séries temporais com muitas falhas e uma distribuição espacial irregular dos dados. Como alternativa a esses problemas, resolveu usar dados de reanálises oriundos de modelos numéricos globais, pois estes além de apresentarem uma consistência física e dinâmica imposta pelos modelos contêm informações obtidas por outros meios não convencionais disponíveis e que tentam suprir a deficiência em áreas sem ou com pouca medição, citando como exemplo as sondagens remotas do TOVS.

2.2. Estudos sobre estação chuvosa/monção

O tema monção na América do Sul tem levantado discussões e tem sido motivo de vários estudos nos últimos anos, visto que até o final da década de 1980 não se admitia a existência de um sistema de monção de verão na América do Sul, pois segundo princípios definidos por Khomorov (1957) e complementados por Ramage (1971) para a identificação das regiões de monção sobre o globo e aceitas na época pela comunidade meteorológica mundial, o continente Sul-Americano não possuía monção (ZHOU e LAU, 1998).

Esses princípios ditavam que numa região de monção tem-se:

- a) reversão sazonal do vento em baixos níveis
- b) contraste térmico entre continente e oceano adjacente
- c) Aumento considerável nas taxas a precipitação

A teoria de que a América do Sul não possuía um regime de monção foi justificado por Ramage (1971) citado por Zhou e Lau (1998) tendo como argumento o formato afunilado do continente Sul-Americano se estreitando no sentido equador-latitudes médias, o que limitaria as áreas onde altas polares ou baixas térmicas poderiam se formar, além de uma contínua ressurgência das águas do Pacífico na costa oeste do continente, que mantêm as temperaturas superficiais do mar mais baixas que a temperatura do ar no continente ao longo de todo o ano. Ou seja, não há contraste térmico nem reversão dos ventos. Mas, Rao e Erdogan (1989) ao evidenciarem o impacto térmico do altiplano da Bolívia e Peru, trouxeram à tona a contribuição dos fluxos de calor sensível e latente como resposta ao aquecimento no verão, demonstrando que esses fluxos são mais intensos do que no altiplano do Tibete (região das clássicas monções da Índia), e posteriormente Zhou e Lau (1998) conseguiram demonstrar a reversão dos ventos em baixos níveis ao retirarem a contribuição dos campos médios anuais sobre as análises sazonais de vento, e reacenderam a discussão sobre a existência de um sistema de monção na América do Sul.

Marengo et al. (2001) investigaram as datas de início e fim da estação chuvosa na bacia Amazônica Brasileira, usando dados de chuva de várias estações no período compreendido entre 1979 a 1996. Indicam que a variação nas datas de ocorrência da estação das chuvas está correlacionada com anomalias TSM do Atlântico e Pacífico e o Índice de Oscilação Sul. Águas superficiais do mar quentes na posição média da ZCIT no Pacífico Equatorial leste e frias no Atlântico tropical sul interferem na data de início da estação chuvosa na área central da bacia amazônica de forma a atrasar o início das chuvas. Do ponto de vista físico, águas mais quentes no Pacífico equatorial (El Niño) favorecem a grande evaporação e convecção na região, com quebra da circulação da célula de Walker e movimento subsidente na região central da bacia Amazônica. Em conjunto com águas superficiais do Atlântico tropical sul mais frias tem-se menos evaporação e conseqüente menos disponibilidade de umidade a ser advectada do oceano para o continente. Esses dois fatores juntos contribuem para o atraso e qualidade da estação chuvosa. Águas quentes no Atlântico tropical têm o efeito contrário, adiantam o início e atrasam o fim da estação chuvosa. Afirmam que, no geral, a estação chuvosa avança em direção ao sudeste da bacia Amazônica na metade de outubro, e alcança por último o norte, próximo à foz do Rio Amazonas em dezembro, enquanto a data de término da estação das chuvas ocorre mais cedo no sudeste chegando à parte central da bacia em junho e progredindo em direção ao norte, mas com retirada mais lenta. As datas médias de início da estação chuvosa, definidas a partir dos dados de chuva, estão qualitativamente de acordo com as datas definidas a partir dos dados de ROLE e corroboram os resultados do estudo de Kousky (1988).

Herdies et. al., (2002) estudaram as variações na precipitação dos meses de Janeiro e Fevereiro durante a estação chuvosa do ano de 1999 para a América do Sul e observaram dois regimes distintos de ventos nos baixos níveis troposféricos (de oeste e de leste) em Rondônia durante experimentos de campo do “Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign” (WETAMC) componente do “Large-Scale Atmosphere-Biosphere Experiment in Amazônia” (LBA) e do “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM), e constataram que ventos de oeste (leste) estavam associados a forte (fraca) atividade convectiva na ZCAS. Eles então dividiram o período de estudo em dois

regimes com e sem ZCAS, para análises separadas. Os ventos foram diretamente relacionados à intensidade e posicionamento dos jatos de baixos níveis (JBN), pois soprando de oeste durante os eventos de ZCAS, fortalecem o jato canalizando a umidade recebida do oceano Atlântico e reciclada sobre a Amazônia, para o sudeste do Brasil, já nos eventos sem ZCAS os ventos sopram de leste e o JBN é enfraquecido e deslocado para oeste, próximo ao leste da cordilheira dos Andes desviando o transporte de umidade para o Paraguai, norte da Argentina e sul do Brasil – Bacia do Prata. Isto é, durante a estação chuvosa ou monção estudada os autores observaram períodos chuvosos (secos), caracterizados por Ferreira e Gan (2011) como períodos ativos (inativos) da monção, associados à presença (ausência) da ZCAS. Dados numéricos do fluxo umidade integrado verticalmente, umidade específica e vento sobre a América do Sul obtidos da versão dois do sistema de assimilação de dados “Goddard Earth Observing System” (GEOS-2) do “National Aeronautic and Space Administration/Data Assimilation Office” (NASA/DAO), combinados com observações de radiossondagens da rede ABRACOS permitiram observar forte (fraca) convergência de umidade ocorrendo sobre a bacia Amazônica nos períodos com (sem) ZCAS, com divergência (convergência) sobre o sul do Brasil, norte da Argentina e Paraguai. Demonstraram que o transporte de umidade dos trópicos para os extra-trópicos na América do Sul é mais eficiente na presença da ZCAS. Dados diários de ROLE do “National Oceanic and Atmospheric Administration/Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (Climate Diagnostic Center)” - NOAA/CIRES (CDC) foram utilizados como indicadores de convecção tropical.

Gan e Moscati (2003) procuraram estudar as características da circulação atmosférica sobre a América Sul durante a estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste do Brasil, além de analisar as alterações do comportamento dessa circulação durante os períodos secos e de intensa precipitação. Utilizaram dois critérios para delimitar a estação chuvosa:

- a) o início (fim) ocorre a partir da primeira ocorrência de vento de oeste (leste) em 850 hPa sobre a longitude de 60° W e na faixa de latitude entre 10° e 20° S, ao

mesmo tempo em que a taxa de precipitação for maior (menor) que 4 mmd^{-1} durante o período e em pelo menos 75% das 8 pântadas subsequentes.

- b) o Índice-v – critério baseado no cisalhamento vertical do vento meridional em 40°W e 10°S (Índice-v = $v_{200}(40^\circ\text{W}, 10^\circ\text{S}) - v_{850}(40^\circ\text{W}, 10^\circ\text{S})$). Assim, a estação chuvosa inicia (termina) quando o Índice-v for maior (menor) ou igual a um limiar em pelo menos 75% das oito pântadas subsequentes. Utilizaram dois limiares, 0 e 4 ms^{-1} .

Pelo primeiro critério verificaram que o início da estação chuvosa ocorreu na pântada centrada em 04 de novembro e o seu término na pântada centrada em 03 de abril, totalizando 30 pântadas. O segundo critério, segundo os autores, bastante utilizado para identificar a estação chuvosa na Ásia, é baseado em condições dinâmicas da atmosfera e mostrou que a condição dinâmica associada ao cisalhamento vertical do vento meridional é importante para a precipitação na região Centro-Oeste. Observaram que o índice-v assume valores negativos durante a estação seca e valores positivos durante a estação chuvosa que ocorreu de 15 de setembro a 04 de março. Aplicando o critério para o limiar de 4 ms^{-1} a estação chuvosa foi de 30 e outubro a 04 de março. Contudo os autores ressaltam que esse critério precisa ser testado para outros anos, visando verificar se ele é um bom indicador das datas do início e do término da estação chuvosa, ou apenas um indicador da qualidade da estação chuvosa. Influências da Oscilação Madden e Julian (OMJ) foram observadas através de períodos secos e chuvosos, durante o intervalo de tempo estudado, com índices negativos da OMJ influenciando positivamente (favorável à precipitação) nos períodos chuvosos e índices positivos da OMJ influenciando negativamente (desfavorável à precipitação) no período seco.

A região Centro-Oeste também foi área de estudo de Gan et. al., (2004) quando estes relacionaram circulação atmosférica da monção da América do Sul com a precipitação sobre essa região. Para essa investigação consideraram um período de 21 anos (julho 1979 a junho 2000) e usaram dados de reanálise NCEP/NCAR pentadais de ROLE, dados pentadais e diários de precipitação dispostos em pontos de grade e campos médios diários de temperatura do ar, umidade específica e vento. Utilizaram o primeiro critério da metodologia encontrada em Gan e Moscati (2003) citado anteriormente para

delimitar a estação chuvosa e descrever a evolução temporal dos campos atmosféricos associados, para cada ano entre 1979-80 a 1996-97. Encontraram que, em média a estação chuvosa iniciou em 15 de outubro e terminou em 18 de abril com uma duração de 38 pentadas e desvio padrão de 03 pentadas. O início da estação chuvosa foi precedido de um período em que a temperatura do ar alcançou o seu máximo sazonal, desencadeando a desestabilização da atmosfera, e de um aumento na umidade específica, esta última favorecida pelo fluxo de umidade da Amazônia. Foram observados em cada estação chuvosa estudada, períodos anômalos secos e chuvosos que também foram associados aos fluxos de leste e oeste respectivamente, que atuam no posicionamento dos jatos de baixos níveis como em Herdies et. al., (2002). Os resultados obtidos da análise do ciclo sazonal dos campos de vento e circulação da atmosfera mostraram que somente o vento zonal apresenta reversão da direção levando os autores à conclusão de que a monção da América do Sul é diferente da monção da Índia. De forma geral os resultados encontrados levam a conclusões semelhantes a algumas observadas em outros trabalhos, alguns já citados, sobre o mecanismo de avanço da estação chuvosa ilustrada através de compostos de ROLE, o transporte de umidade pelos ventos em baixos níveis, circulação de altos níveis, além das características anômalas da circulação atmosférica que atrasam ou adiantam as estações e acompanham episódios extremos de chuvas e secas durante o pico da estação chuvosa (OMJ, VCAN, SF, etc.).

Alves et. al., (2005) estudaram o início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil, na qual observaram os padrões atmosféricos e oceânicos associados dominantes e sua variabilidade interanual a partir de dados de chuva, circulação em baixos níveis, radiação de onda longa e temperatura da superfície do mar para um período entre 1968-97. Utilizaram diferentes critérios e limiares que permitiram definir a data média de início da estação chuvosa centrada na pentada 57 (08-12 de outubro) com um desvio padrão de ± 2 pentadas. Associaram a variabilidade interanual do início da estação chuvosa com anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico Equatorial, onde águas quentes (El-Niño) adiantam o início da estação e águas frias (La Niña) atrasam, mas ressaltam que essa variabilidade encontra-se dentro do limite do

desvio padrão e não aparenta ser tão forte como em outras regiões tropicais a exemplo da região da Fóz da Amazônia como em Marengo et al. (2001). Os autores sugerem que fatores de caráter local, como a umidade do solo, parecem ter um efeito importante não só no início como na qualidade da estação chuvosa, o que dispensaria o intenso transporte de umidade da Amazônia, como na região da ZCAS em Minas Gerais e no Centro Oeste do Brasil onde a estação chuvosa começa mais tarde (Dezembro).

Raia e Cavalcanti (2008) fizeram uma caracterização do ciclo de vida do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), com um critério baseado no fluxo de umidade atmosférica sobre a região núcleo da monção, para identificar as datas climatológicas de início (fim de outubro) e fim (fim de março) da monção. O ciclo de vida da monção desempenha um papel importante na distribuição e duração da estação chuvosa nas regiões oeste da Amazônia, Centro Oeste e Sudeste do Brasil, afetadas pelo regime de monção. Influências da alta subtropical do Atlântico Sul, o fluxo de umidade de noroeste (a leste dos Andes), a variação na intensidade do vento zonal de leste e o movimento vertical sobre o continente, a expansão/redução da Alta da Bolívia são avaliados em detalhe. Ressaltaram a contribuição das cristas (cavados) de baixa frequência com variabilidade intrasazonal para o estabelecimento de condições que atrasem (antecipem) a monção, além da atuação dos sistemas frontais contribuindo para a redução da pressão atmosférica a superfície, para mudanças na direção do vento e aumento da umidade do solo antecedendo o início da monção.

Carvalho et. al., (2011) examinaram o transporte de umidade em escala intrasazonal sobre o continente e sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante o sistema de monção de verão da América do Sul. Foram usadas análises combinadas de funções ortogonais empíricas aplicados a dados de chuva, umidade específica, temperatura do ar e componentes zonal e meridional do vento em 850 hPa. O primeiro modo da função foi usado como um índice de grande escala para o SMAS (LISAM) e o segundo modo da função caracterizou a ZCAS. Concluíram que eventos úmidos do LISAM eram observados juntamente com a amplificação de atividades ondulatórias no hemisfério norte e com o aumento no transporte de umidade de noroeste cruzando o equador sobre a parte tropical da América do Sul. Já a ZCAS se encontrava mais intensa

na presença de transporte de umidade das latitudes extratropicais do hemisfério sul. Eventos úmidos contemplando em simultâneo tanto a ZCAS como a LISAM estavam associados com o transporte de umidade cruzando o equador em conjunto com o transporte de umidade a partir do Sudoeste do Atlântico Tropical.

Vera et. al., (2006) e mais recentemente Marengo et. al., (2012) revisaram os progressos feitos até as respectivas datas das publicações, na compreensão dos sistemas de monção das Américas em virtude de experimentos com monções sobre América do Norte e do Sul, levados a cabo por pesquisadores integrantes do programa internacional de pesquisa “*World Climate Research Programme/Climate Variability and Predictability/Variability of the American Monsoon Systems*” (WCRP/CLIVAR/VAMOS) e identificaram alguns desafios que deveriam ser foco de pesquisas futuras para melhorar a previsão climática de estações chuvosas. Discorreram sobre as estruturas principais (o início, desenvolvimento e ciclo de vida) dos sistemas de monção, sua variabilidade diurna, de mesoescala e sinótica, além da variabilidade intra-sazonal, interanual e inter-decenal. Destacaram a vulnerabilidade das regiões sujeitas a sistemas de monção com relação à variabilidade climática de longo prazo e as mudanças climáticas, considerando diferentes cenários. Os processos de superfície terrestre, os aerossóis (queimadas, poluição, poeira), além das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) têm se mostrado importantes no processo de início das chuvas, ou seja, são muitas variáveis a se ter em conta o que esbarra na necessidade de se ter mais e melhores dados observados e avanços na modelagem para que se possa prever o início, de forma qualitativa e quantitativa da estação chuvosa ou monção nestas regiões.

Silva (2012) avaliou a influência dos fluxos de calor latente e sensível em superfície sobre a região Centro Oeste do Brasil durante o início e final da estação chuvosa. Usou dados de reanálise Era-Interim aos quais aplicou o método de pântadas sobre as médias espaciais calculadas para região de estudo para várias variáveis, entre as quais precipitação (de 1989 a 2010) e estabeleceu o início (fim) da estação chuvosa para o dia em que os campos de precipitação foram maior (menor) que o limiar médio anual de 2 mm/dia por 75% das oito pântadas subsequentes. Observou que nas pântadas que antecedem o início da estação chuvosa a atmosfera começa a se desestabilizar através

do elevado aquecimento diurno nas baixas camadas, o que intensifica os movimentos atmosféricos e propaga a umidade e o calor superficial para altos níveis da atmosfera e dá espaço para o desenvolvimento das células convectivas associadas ao início da estação chuvosa. Ou seja, os fluxos de calor sensível estão associados ao período que antecede o início da estação chuvosa e auxiliam no processo de instabilização atmosférica, já os fluxos de calor latente são responsáveis pela manutenção da convecção depois do início da estação chuvosa.

Jones et. al., (2012) destacaram o SMAS como o aspecto climático mais importante da América do Sul caracterizado por uma pronunciada sazonalidade na precipitação. Nesse estudo foi investigada a habilidade para capturar as datas de início e fim, duração e amplitude do SMAS através de previsões probabilísticas utilizando a segunda versão do sistema de previsão climática no NCEP (CFSRv2), abrangendo o período de 1982-2009. As datas de início e fim além da duração e amplitude do SMAS foram caracterizadas a partir de um índice simples baseado na função ortogonal empírica das anomalias de precipitação, aplicado tanto a dados observados como às previsões. Concluíram que o modelo CFSv2 possui habilidade para prever variações sazonais no SMAS e que as probabilidades probabilísticas das datas de início e fim do SMAS tem uma melhoria de 16.5 % e 43.3% respectivamente sobre as previsões climatológicas.

Tem-se feito alguns avanços na compreensão e caracterização das condições atmosféricas que antecedem, acompanham e sucedem a estação chuvosa, além das forçantes oceânicas e resultantes de ações antrópicas que afetam a qualidade da estação. Ultimamente os esforços têm-se concentrado na modelagem e simulação da estação chuvosa na América do Sul (LIEBMAN et. al., 2007) e projeção de cenários climáticos futuros num regime de mudanças climáticas [BOMBARDI e CARVALHO (2008); JONES e CARVALHO (2013)].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo está compreendida entre os paralelos 25°S e 9°S e os meridianos 61°W e 39°W, englobando as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil foco do presente estudo, parte sul das regiões Norte e Nordeste e o extremo norte da região Sul do Brasil, como indicado na Figura 3.1. O período de estudo compreende 10 anos, variando de Julho de 2000 a Julho de 2010 de forma a abranger 10 estações chuvosas.

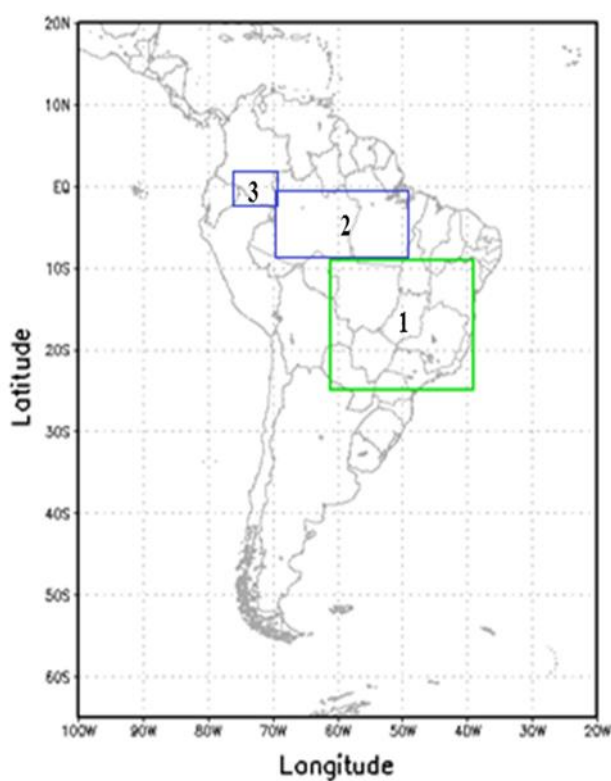


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (quadrado verde: 1) enfocando as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e das áreas para estudo do vento (quadrados azuis: 2 e 3).

Serão utilizadas as áreas correspondentes aos quadrados azuis para análises da componente meridional do vento ao longo dos anos e com especial atenção para os instantes próximos ao início da estação chuvosa.

3.2. Descrição dos Dados

Para levar a cabo o presente estudo será usada uma gama de dados de reanálise e especial ênfase será dada ao campo de umidade, pois a informação referente às datas de início da estação chuvosa que se pretende obter será derivada principalmente da variável água precipitável que é definida matematicamente da seguinte forma:

$$W = \frac{1}{g} \int_{P_{top}}^{P_{sup}} q dp \quad (1)$$

Em que “W” é água precipitável, “g” é aceleração de gravidade, “q” é umidade específica, “P_{sup}” é a pressão atmosférica na superfície e “P_{top}” é a pressão atmosférica no topo da atmosfera. Ou seja “W” é quantidade de água líquida que seria obtida se toda a umidade (integrada da superfície ao topo da atmosfera) fosse condensada sobre um determinado ponto.

As unidades típicas são tanto em termos de densidade de massa aérea (Kg m⁻²) como também em termos de profundidade de água líquida que cobriria o solo caso todo o vapor de água se condensasse (mm). Como consequência da densidade da água as medidas de água precipitável tanto em Kg m⁻² como em milímetro têm o mesmo valor numérico. Os valores atuais de água precipitável variam numa faixa de poucos milímetros em condições extremamente secas a 75 mm ou mais em locais como próximos a ciclones tropicais ou sobre corpos de água aquecidos. A média global de água precipitável fica em torno de 25 mm (MEANS, 2011).

As variáveis, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente são resultantes da interação do saldo de radiação solar com a superfície terrestre e são originados dependendo do teor de umidade da mesma. Superfícies secas e sem vegetação sob a ação da radiação solar se aquecem e propagam esse aquecimento à atmosfera adjacente (baixos níveis), enquanto que superfícies úmidas e/ou vegetadas utilizam essa radiação para evaporar a água contida nelas e/ou fazer transpirar a vegetação e dessa forma

transferir verticalmente calor e massa dos baixos níveis para os médios e altos níveis da atmosfera.

Juntamente com o fluxo de calor no solo (ou água) constituem o balanço de energia:

$$R = FCS + FCL + FSO \quad (2)$$

Em que R é o saldo de radiação, FCS é o Fluxo de Calor Sensível, FCL é o Fluxo de Calor Latente e FSO é o fluxo de Calor no Solo.

Segundo Hartmann (1994) o fluxo de calor sensível relaciona-se com a velocidade média do vento e as temperaturas da superfície e do ar na respectiva altitude:

$$FCS = c_p \rho C_{DH} U_r (T_s - T_a(z_r)) \quad (3)$$

enquanto o fluxo de calor latente pode ser relacionado à diferença de umidade específica entre a superfície e a atmosfera na respectiva altitude:

$$FCL = L \rho C_{DE} U_r (q_s - q_a(z_r)) \quad (4)$$

Em que ρ é a densidade do ar, c_p é o calor específico à pressão constante, L é calor latente de vaporização, C_{DH} e C_{DE} são coeficientes de transferência aerodinâmica para temperatura e umidade respetivamente, U_r é proporcional a média do vento em um nível padrão, T é a temperatura, q é a umidade específica e os subscritos s e a são referentes aos valores de temperatura e umidade para a superfície e para o ar respetivamente, num determinado nível de referência.

O índice Cape é obtido tradicionalmente a partir de diagramas termodinâmicos, extraídos de radiossondagens da atmosfera. Entre as várias formulações disponíveis para esse índice apresenta-se:

$$CAPE = \int_{NCL}^{NE} g \frac{T_p - T_a}{T_a} dz \quad (5)$$

Em que NCL se refere ao nível de convecção livre, NE ao nível de equilíbrio ou empuxo neutro, g é a aceleração da gravidade T_p é a temperatura da parcela, T_a é a temperatura do ambiente e dz é a espessura da camada entre dois níveis. CAPE significa Energia Potencial Convectiva Disponível e é uma medida da fluabilidade das parcelas de ar, integrada do nível de convecção livre ao nível de equilíbrio, e está diretamente relacionada à instabilidade condicional da atmosfera (SANTOS e SILVA et al. (2011)).

Valores críticos para os índices são apresentados a seguir. No entanto como foram calculados para os Estados Unidos, podem não ser tão representativos para a região de estudo. Segundo Wallace e Hobbs (2006), valores do CAPE variando entre:

- a) 0 a 1000 JKg⁻¹ são consideradas marginais para convecção profunda
- b) 1000 a 2500 JKg⁻¹ dão suporte adequado para moderada convecção
- c) 2500 a 4000 JKg⁻¹ dão suporte adequado para forte convecção
- d) Acima de 4000 JKg⁻¹ dão indicativos de potencial para convecção extrema.

Serão usados dados de reanálise do tipo “Climate Forcast System Reanalysis” (CFSR) gerados pelo “National Centers for Enviromental Prediction” (NCEP). Estas reanálises apresentam o acoplamento do oceano com atmosfera durante a geração do campo de “*first guess*” de 6h, um modelo interativo de gelo marinho e assimilação de dados de radiação de satélite durante todo o período. Ressalta-se a alta resolução espectral (T382L64) do modelo atmosférico e das melhorias nos sistemas de assimilação de dados nos últimos anos que permitiram a geração dessas reanálises com uma resolução espacial (0,5°lat x 0,5°lon), vertical (37 níveis de pressão para a atmosfera e 40 níveis para o oceano) e temporal (horário) sem precedentes (SAHA et al, 2010). Pretende-se usar dados diários de água precipitável, umidade específica, vento zonal e meridional, fluxos de calor (sensível e latente) à superfície, pressão atmosférica ao nível médio de mar e índice de instabilidade CAPE. Esses dados são disponibilizados pelo “*Research Data Archive/National Center for Atmospheric Research/Computational and*

Information Systems Laboratory” (RDA/NCAR/CISL) e serão visualizados e manipulados usando-se o Grid Analysis and Display System (GrADS).

Dados de precipitação do MERGE serão usados para verificar o início da estação chuvosa. O MERGE é um produto desenvolvido por Rozante et. al., (2010) que interpola observações de precipitação à superfície com dados estimados via sensoriamento remoto (TRMM) para a América do Sul.

3.3. Metodologias

3.3.1. Índice Normalizado de Água Precipitável – NPWI (do inglês – Normalized Precipitable Water Index)

A metodologia que se pretende usar para avaliar a estação chuvosa através dos dados de água precipitável será baseada no estudo de Zeng e Lu (2004), que utilizaram um índice normalizado de água precipitável (NPWI) como critério objetivo de aplicação global para definir as datas de início e fim das monções. Esse índice foi usado também recentemente por Means (2013) com dados de água precipitável obtidos por GPS para diagnosticar a presença da monção norte americana nos estados de Califórnia e Nevada.

É descrito pela seguinte formulação:

$$NPWI = \frac{PW - PW_{min}}{PW_{max} - PW_{min}} \quad (6)$$

Em que PW (do inglês - *Precipitable Water*) é água precipitável diária, PW_{max} e PW_{min} são os valores máximos e mínimos da média diária de água precipitável, no intervalo de anos considerados, em cada ponto de grade.

Zeng e Lu (2004), afirmam que um aumento (decréscimo) abrupto na quantidade de vapor de água é uma das características associadas ao início (fim) da monção e propõe

que no primeiro dia em que esse índice for superior (inferior) ao limiar de 0,618 por mais de três dias consecutivos têm-se o início (fim) da monção. Esse limiar foi obtido após a comparação entre datas de início e término da monção baseadas em dados locais de precipitação para diversas regiões e em diferentes anos, nos quais os autores observaram que o início e fim da monção sempre correspondiam a um ciclo anual mais ou menos fixo de água precipitável, mesmo com os valores máximos e mínimos variando de região para região.

Na Figura 3.2 é mostrada a variação mensal média de 10 anos de dados de água precipitável (a) e NPWI (b) sobre Bombay na Índia (linha fina) e sobre o sul do Arizona nos EUA (linha grossa), evidenciando diferenças significativas nos valores máximos de água precipitável entre as duas regiões, logo limiares bastante diferentes marcando o início da monção. No entanto estes limiares de água precipitável, em ambos locais correspondem a um valor similar do índice normalizado de água precipitável (NPWI).

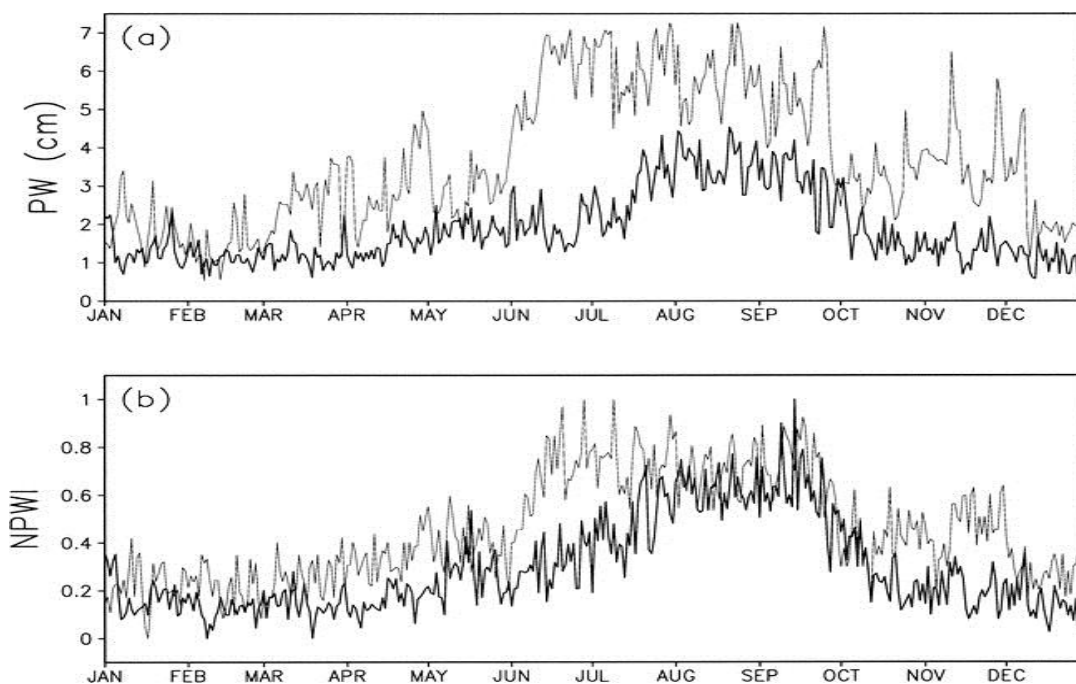


Figura 3.2 – (a) Média diária no período de 10 anos de água precipitável sobre Bombay, Índia (linha fina) e sobre o sul do Arizona, EUA (linha grossa). (b) O ciclo anual correspondente do índice normalizado de água precipitável como definido pela equação (6).

Fonte: Zeng e Lu (2004)

Encontraram que um valor limiar do índice entre 0.6-0.63 era adequado e pelo fato da razão áurea (0.618) se encaixar dentro desse intervalo e estar presente em vários padrões naturais de crescimento, inclusive talvez a evolução das monções, foi escolhido como o limiar a se adotar na metodologia.

No entanto a quantidade de água precipitável depende da elevação do ponto de observação, visto que regiões com elevadas altitudes apresentam uma coluna atmosférica menor e conseqüentemente menos vapor de água sobre elas. Ou seja, o fator orográfico é um limitante no uso da variável água precipitável para monitorar o início das chuvas, mas com o uso do índice segundo Means (2013) retira-se a dependência da água precipitável com relação à localização geográfica e elevação das superfícies, visto que se normaliza o intervalo de variação para valores entre zero (podendo ser negativo para dias excepcionalmente secos) e em torno de um (podendo exceder em dias em que ultrapasse o máximo climatológico).

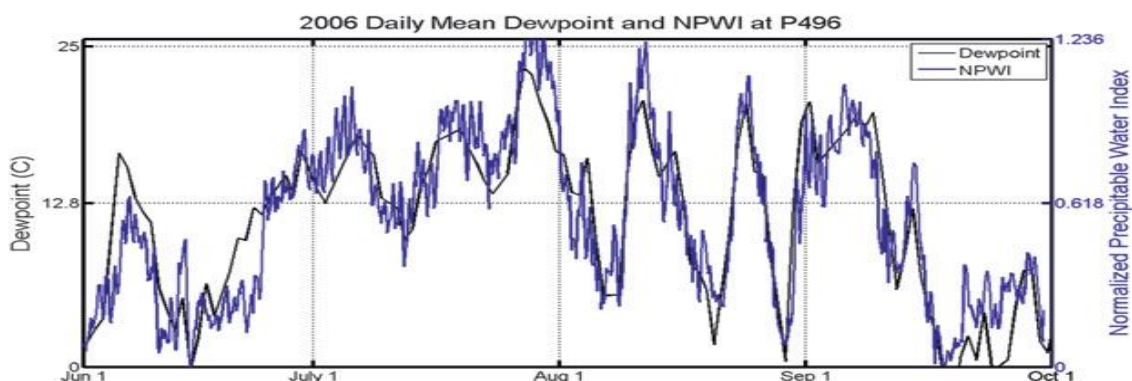


Figura 3.3 – Média diária da temperatura do ponto de orvalho e do NPWI próximo a El Centro-Califórnia para o ano 2006.
Fonte: Means (2013).

Na Figura 3.3 mostra-se o comportamento da temperatura do ponto de orvalho e do índice normalizado de água precipitável entre Junho e Outubro (período chuvoso) do ano de 2006, em El Centro na Califórnia, extraído de Means (2013), para ilustrar a eficácia do NPWI, na definição das datas de início e fim da monção, pois este apresenta resultados similares aos da temperatura do ponto de orvalho usada pelo Serviço Meteorológico Nacional Americano no Arizona como critério para definir a data de início da monção: o primeiro dia em que a temperatura do ponto de orvalho próximo à

superfície for maior que 13°C por três dias consecutivos. Apesar de serem medidas de quantidades um tanto ou quanto diferentes, com frequências de amostragens diferentes e em lugares relativamente diferentes as curvas são muito semelhantes e isso mostra que NPWI é uma medida apropriada para quantificar a atividade de monção (MEANS, 2013).

3.3.2 Climatologia do Acumulado de Precipitação

Pretende-se testar a metodologia de Zeng e Lu (2004), para a região de estudo e comparar seus resultados com os que serão obtidos da aplicação da metodologia adaptada de Liebmann e Marengo (2001), para a precipitação, na qual é computada para cada ponto de grade a quantidade acumulada de precipitação A:

$$A(\text{diário}) = \sum_{n=1}^{\text{dia}} R(n) - \bar{R} \tag{7}$$

Em que $R(n)$ é a precipitação média do dia “n” e \bar{R} é a média diária climatológica (ou de um ano em particular). O dia inicial (n=1) é tomado durante a estação seca para cada ponto de grade em que se observa a mínima precipitação diária, como garantia para não se perder a data de início das chuvas. Para cada região de interesse a estação chuvosa é considerada como sendo o período durante o qual precipitação excede a média anual climatológica, então no instante em que se observa uma inclinação positiva (negativa) na curva descrita por “A” tem-se o início (fim) da estação chuvosa. A vantagem desse método que foi designado pelos autores de “local” é que depende apenas da climatologia da área de interesse. Este método foi usado em Liebmann et al. (2007) e de forma adaptada no estudo de Bombardi e Carvalho (2008).

Na Figura 3.4 (a), mostra-se a aplicação do método de Liebmann e Marengo (2001) para diferentes regiões da Amazônia e é possível observar diferentes datas de início (fim) da estação chuvosa, no instante em que as curvas adquirem inclinação positiva (negativa).

A Figura 3.4 (b), também mostra um exemplo da aplicação do mesmo método, mas de forma adaptada por Bombardi e Carvalho (2008), na qual a curva denominada por S (linha tracejada) é o acumulado pântadal de precipitação, S (linha sólida) é o acumulado pântadal filtrado para suavizar os ruídos inerentes a própria precipitação (média móvel de três pontos passada 40 vezes) e dS/dt (linha pontilhada) é a derivada temporal do acumulado pântadal filtrado. As curvas são mostradas em função do tempo e da anomalia de precipitação acumulada (mm/pêntada). Mudanças na inclinação de S (dS/dt) definem o início ($dS/dt > 0$) e fim ($dS/dt < 0$) da estação chuvosa.

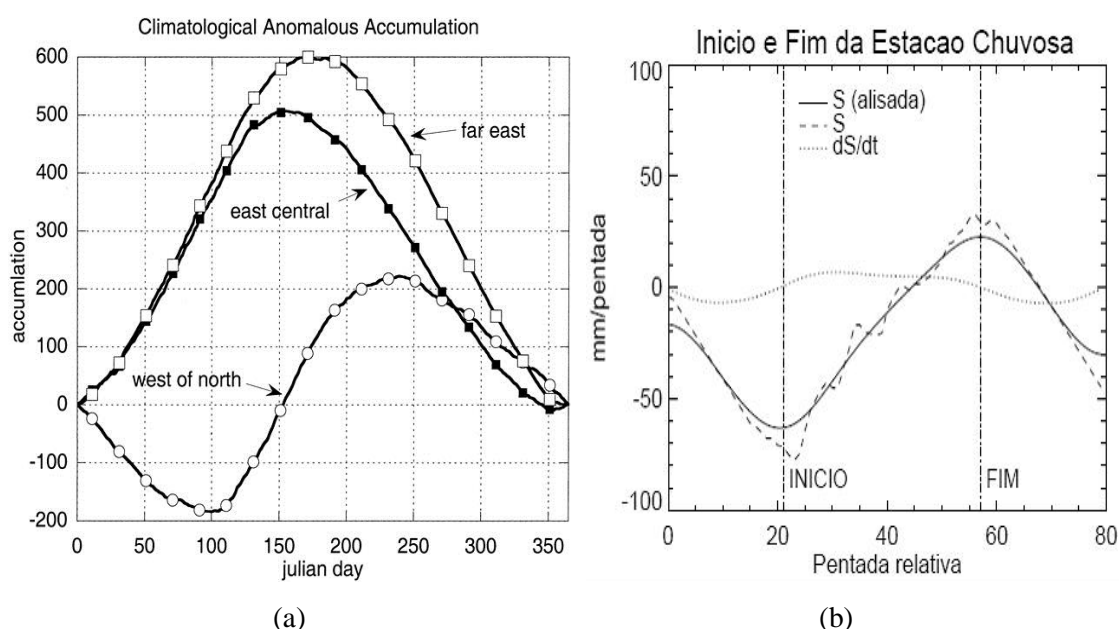


Figura 3.4 – Climatologia do acumulado anômalo de precipitação: a) diária (LIEBMANN e MARENGO, 2001) b) pântadal para (BOMBARDI e CARVALHO, 2008) para regiões da Amazônia.

3.3.3 Convergência de Umidade

O transporte de umidade do oceano Atlântico e da bacia amazônica para a área de estudo será obtido através do cálculo divergência do fluxo de umidade no nível de 850 hPa, seguindo a formulação presente no estudo de Quadro et al (2012):

$$DIVFU = \nabla \cdot (q\vec{V}_H) \quad (8)$$

Em que $q\vec{V}_H$ é o fluxo de umidade atmosférica em $\text{Kg.m}^{-1}\text{s}^{-1}$, q é a umidade específica do ar e $\vec{V}_H = Vx\vec{i} + Vy\vec{j}$ é o vento horizontal nas componentes zonal ($Vx\vec{i}$) e meridional ($Vy\vec{j}$). Os valores negativos indicam convergência de umidade.

Este campo será avaliado em composição com os campos de pressão ao nível médio do mar, e vento em 850 hPa nas datas de estabelecimento de algumas estações chuvosas. Possíveis influências de sistemas meteorológicos no atraso ou adiantamento do início da estação chuvosa serão procuradas, com o auxílio de produtos operacionais de tempo e clima do CPTEC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. - Metodologia de Zeng e Lu versus Metodologia de Liebmann e Marengo.

Para obter as datas de início da estação chuvosa foram utilizadas duas metodologias, o Índice Normalizado de Água Precipitável (NPWI) de Zeng e Lu (2004) e o Acumulado de Chuva de Liebmann e Marengo (2001). Os resultados obtidos por ambas as metodologias foram avaliados e, somente uma delas foi usada como metodologia principal. O método de Liebmann e Marengo (2001) foi usado por alguns autores para identificar a estação chuvosa em varias regiões no Brasil e, inclusive é o método em uso pelo grupo de previsão climática do CPTEC para monitoramento da estação chuvosa em todo o país. Como a ênfase deste estudo é dada a variável umidade, a metodologia de Zeng e Lu (2004) se coloca como um método a ser testado nas regiões em estudo.

Através da Figura 4.1 é possível visualizar a evolução temporal ao longo da estação chuvosa 2006/2007 num ponto centrado na área de estudo (15°S; 50°W) dos seguintes parâmetros e metodologias testadas:

- a) acumulado de chuva pela metodologia de Liebmann e Marengo (2001)
- b) acumulado de água precipitável consistindo de uma adaptação da metodologia de Liebmann e Marengo para a variável água precipitável com o intuito de verificar se esta variável consegue identificar o início da estação chuvosa através da referida metodologia.
- c) índice normalizado de água precipitável pela metodologia de Zeng e Lu (2004)
- d) chuva

A variável chuva é mostrada apenas para comprovar o acerto das metodologias e é visível o aumento/decrécimo nos valores precipitados após o instante indicado pelas metodologias como sendo o início/fim da estação chuvosa destacadas pelas linhas verticais em azul na Figura 4.1.

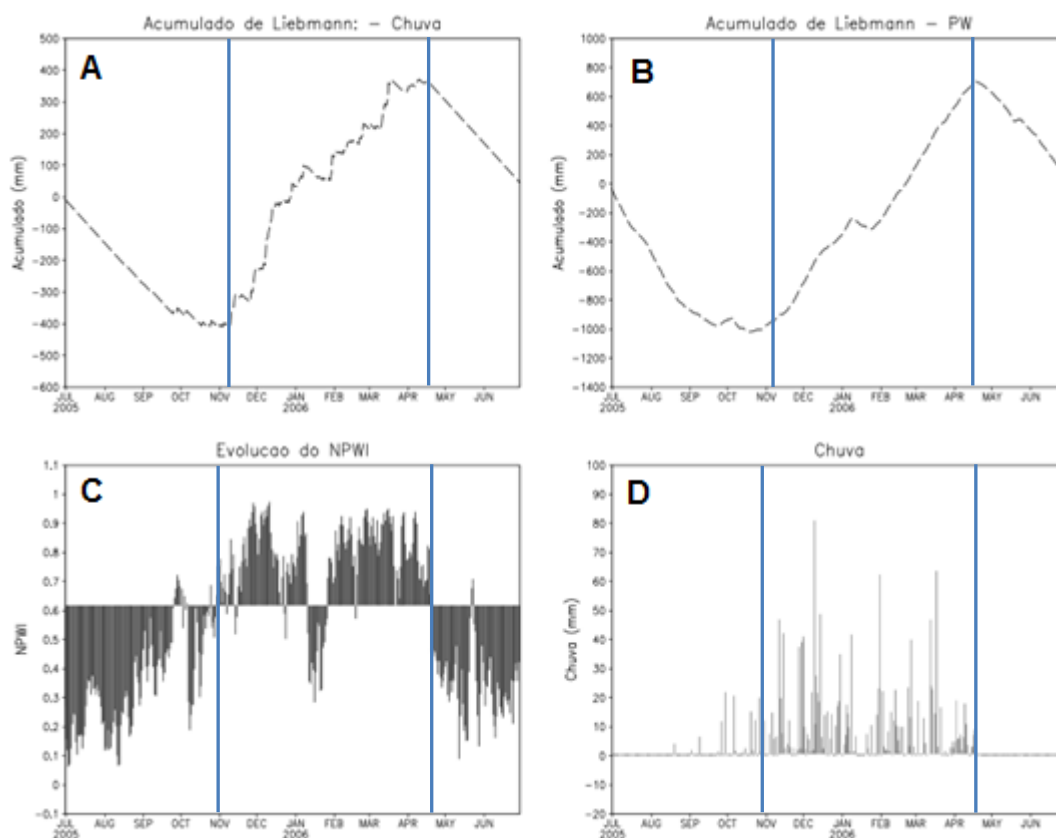


Figura 4.1 – Quadro comparativo das datas do onset indicado pelas metodologias utilizadas (A) Acumulado de Liebmann para chuva, (B) Acumulado de Liebmann para água precipitável, (C) Índice Normalizado de Água Precipitável, (D) Chuva.

O acumulado de Liebmann para água precipitável apresenta um comportamento semelhante com a variável chuva observada, porém sua curva é mais suavizada como se tivesse aplicado um filtro, mas o caso é que a variável água precipitável possui valores numéricos maiores que a chuva observada e, mesmo em situações de estiagem ainda são maiores que zero, pelo que a aplicação na metodologia de Liebmann e Marengo (2001) não apresenta tanto ruído como a variável chuva.

As datas apontadas para o início da estação chuvosa no ponto localizado no estado de Goiás, pelas duas metodologias usadas nesse estudo mostraram-se próximas e coerentes com o que apresenta a literatura. Desta forma o índice normalizado de água precipitável de Zeng e Lu (2004) mostrou-se válido para ser empregado como metodologia principal para identificar a atuação da monção através do campo de umidade.

4.2 Datas de início da estação chuvosa com diferentes critérios de persistência.

A metodologia escolhida para o presente estudo dita um critério de persistência do NPWI acima do limiar de 0.618 por três dias consecutivos para ter configurado o início da estação chuvosa em regiões de monção. Foram testados outros valores desse critério de persistência para verificar a validade desse período para a região de estudo, visto que os sistemas atmosféricos que atuam durante a estação chuvosa na área de estudo têm um período de manutenção diversificado.

A Figura 4.2 apresenta o dia Juliano de início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil para o ano 2004, variando o critério de persistência de 2, 3, 4 e 5 dias com NPWI acima do limiar. Quando o critério de persistência é de dois dias, um aumento no teor de umidade nesse período decorrente da atuação de sistemas transientes ou instabilidades locais podem levar à falsa informação de início da estação chuvosa. Porém com o critério de três dias, estabelecido pela metodologia original, esses falsos inícios são filtrados.

O sistema meteorológico que domina a estação chuvosa na região de estudo é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e este possui um período mínimo de persistência de quatro dias, desta forma esse critério pode servir para ter a real posição da atuação da ZCAS e seu deslocamento dentro da área de estudo. Com o critério de cinco dias fica mais evidente o posicionamento da ZCAS, no entanto detectam-se regiões em que esse critério não é definido, apresentadas no mapa como áreas em branco. No presente mapa as áreas indefinidas encontram-se fora do domínio do nosso estudo, mas foram plotados os mesmos mapas para os outros anos estudados (Figuras não mostradas) que apresentam áreas de indefinição dentro do domínio de estudo.

Dia Juliano para o Onset em 2004

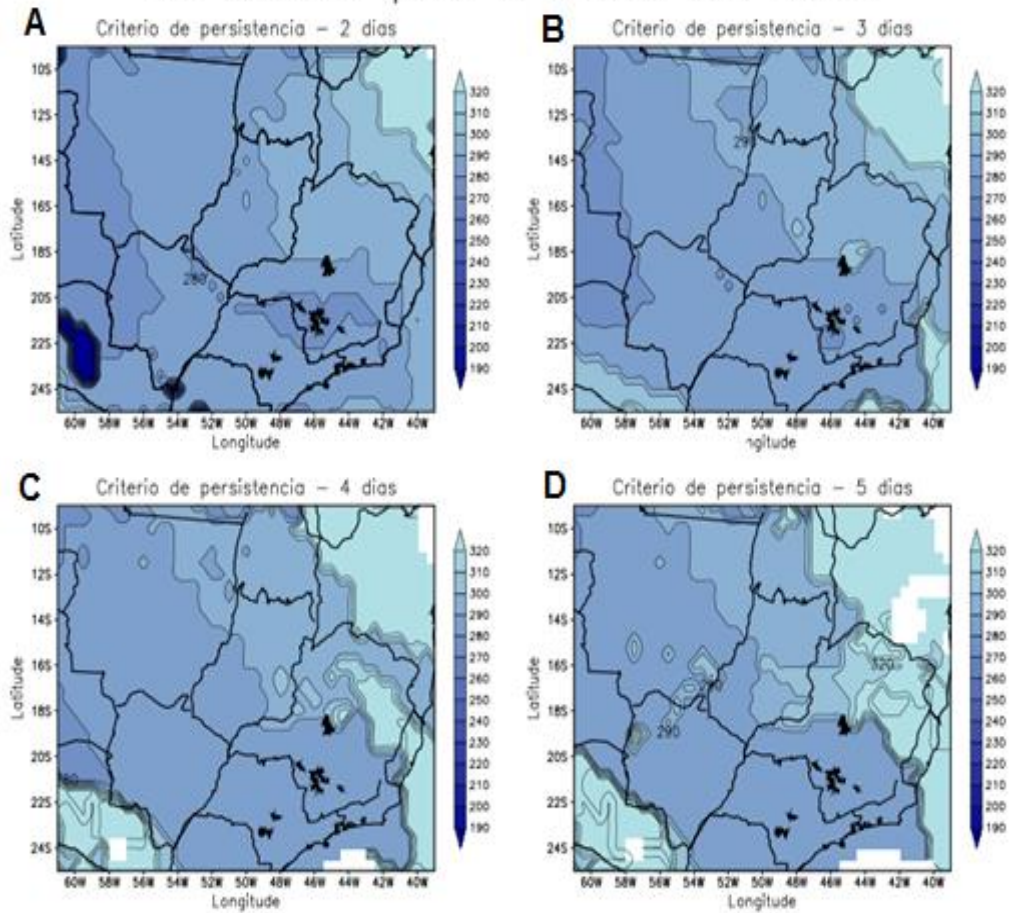


Figura 4.2 – Dia Juliano do início da estação chuvosa com diferentes critérios de persistência: 2 dias (A); 3 dias (B); 4 dias (C) e 5 dias (D).

Após verificar a validade da metodologia de Zeng e Lu (2004), foi feita a adaptação do critério de persistência para quatro dias. Aplicando-se a metodologia foram calculadas as datas de início da estação chuvosa em dia Juliano, para cada ano de 2000 a 2010 e foi calculada a média e o desvio padrão dos dias Julianos referentes ao início da estação chuvosa que são apresentados nas figuras 4.3 e 4.4, respectivamente. O Dia Juliano (DJ) médio de início da estação chuvosa no período estudado varia entre 275 e 300 correspondente ao período entre 07 e 27 de outubro, com um deslocamento de noroeste (pelos estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul) para sudeste (pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo) onde DJ varia de 290 a 310 correspondendo ao período entre 17 de outubro a 06 de novembro.

Esse deslocamento evidenciado na Figura 4.3 traduz bem o comportamento médio do início da estação chuvosa associada ao transporte de umidade da bacia Amazônica em meados de setembro/outubro em direção ao sudeste do Brasil característico do fenômeno denominado por alguns pesquisadores como rios voadores.

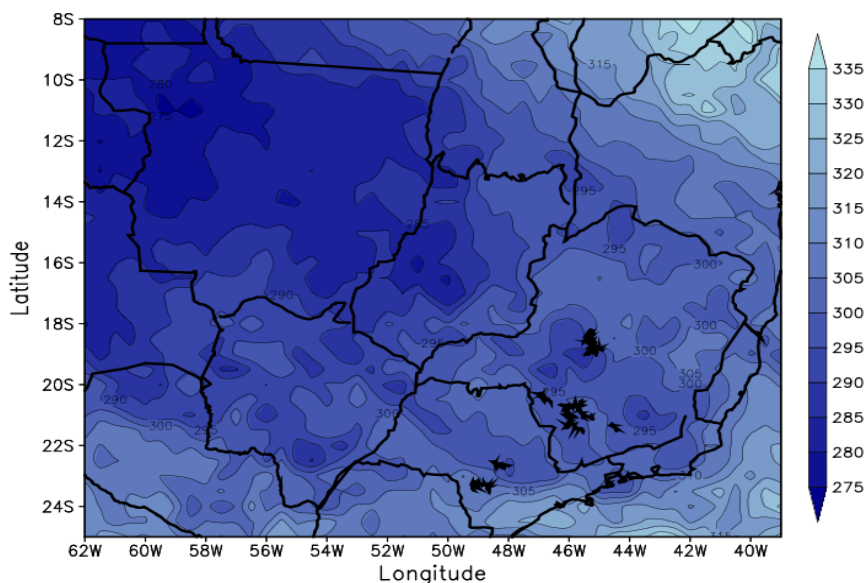


Figura 4.3 – Dia Juliano (DJ) médio do início da estação chuvosa.

O desvio padrão (Figura 4.4) associado ao início da estação chuvosa varia de ± 15 a ± 35 dias, superior ao desvio padrão mostrado no estudo de Alves et. al., (2005) que encontrou um desvio padrão de ± 2 pênadas, equivalente a 10 dias para a região Sudeste e também superior ao valor encontrado no estudo de Gan et. al., (2004) de ± 3 pênadas equivalente a 15 dias para a região Centro-Oeste. Com relação à data média de início da estação chuvosa os resultados encontrados estão mais coerentes com os encontrados nos estudos citados anteriormente.

A diferença observada entre o desvio padrão encontrado neste estudo e os encontrados nos estudos citados podem ser atribuídos ao fato do período analisado neste estudo, dez anos, ser inferior ao que foi analisado pelos outros autores.

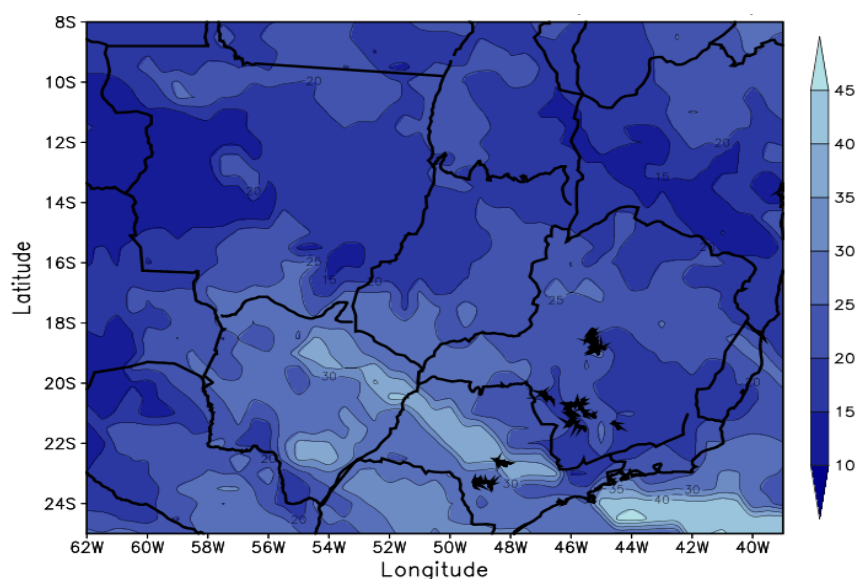


Figura 4.4 – Desvio padrão associado ao dia Juliano (DJ) do início da estação chuvosa.

Eventos locais ou sistemas transientes podem aumentar o conteúdo de umidade em determinada região, contribuindo para que o limiar do NPWI seja atingido, induzindo assim a conclusão aparente de que a estação chuvosa nessa região teve seu início. Além disso, eventos de ENOS ou alterações na TSM do Atlântico na costa da região Sudeste podem causar atraso ou adiantamento da estação chuvosa em determinados anos. A ocorrência desses fatos leva a uma variação maior nas datas de início das estações chuvosas, o que se reflete no desvio padrão.

Na próxima Seção serão apresentados os mapas com as datas em Dias Julianos de cada estação chuvosa entre os anos 2000 a 2010, consistindo de dez estações chuvosas. Os respectivos dias gregorianos podem ser consultados nas Tabelas 1 e 2 que se encontram no Anexo A.

4.3 Análises das estações chuvosas compreendidas entre 2000 e 2010

Da aplicação da metodologia de Zeng e Lu (2004) com critério de persistência de quatro dias, foram plotadas os gráficos para cada ano com as datas de início da estação chuvosa no período estudado. Através da análise dos gráficos, nota-se que não há uma estação chuvosa igual à outra, mas todas aparentam uma propagação das datas na direção noroeste sudeste iniciando primeiro sobre a região Centro-Oeste e posteriormente na região Sudeste, com uma oscilação entre nordeste-sudoeste.

De acordo com Alves et. al., (2005), eventos de El Niño (La Niña) aparentam demarcar o início adiantado (atrasado) da estação chuvosa na Região Sudeste. No entanto esses adiantamentos (atrasos) mostram-se dentro dos limites do desvio padrão. No período analisado ocorreram El Niños e La Niñas de variadas amplitudes como, por exemplo, nos anos 2002/2003, 2004/2005, 2006/2007 e 2000/2001, 2007/2008 respectivamente indicados pela Figura 4.5.

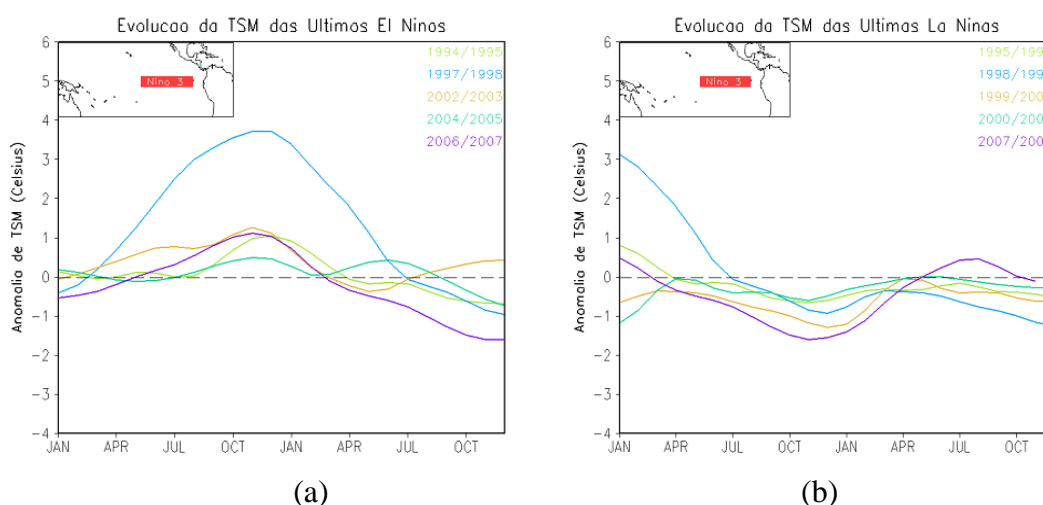


Figura 4.5 – Evolução dos últimos El Niño (a) La Niña (b) na região do Niño 3.

Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/>

A temperatura da superfície do mar no Atlântico Sul próximo à costa do Sudeste também deve influenciar no tempo de início da estação chuvosa, assim como presença de sistemas frontais ou ciclones estacionários sobre o litoral da região Sudeste que podem canalizar a umidade sobre o continente para o oceano ativando a convecção sobre a região da ZCAS. Foram consultadas as análises sinóticas confeccionadas pelo

Grupo de Previsão de Tempo (GPT) e disponíveis na biblioteca do CPTEC (não apresentadas aqui) para verificar a presença de sistemas atmosféricos acompanhando o onset.

4.3.1 Estação chuvosa 2000/2001

A estação chuvosa 2000/2001, Figura 4.6, foi caracterizada pela presença moderada do fenômeno La Niña e iniciou no dia 05 de novembro (DJ=310) no estado do Mato Grosso, norte de Goiás, centro e norte de Minas Gerais e no estado de Espírito Santo, posteriormente no dia 15 de novembro (DJ=320) nos estados de Rio de Janeiro e sul de Minas Gerais. As datas de início da estação chuvosa parecem se deslocar no sentido nordeste-sudoeste semelhante à oscilação da ZCAS. No dia 05 de dezembro (DJ=340) a estação chuvosa inicia na porção sul do Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul, sul de Goiás e norte de São Paulo chegando por fim no dia 15 de dezembro (DJ=350) às porções sul de Mato Grosso do Sul e sul de São Paulo. Pequenos núcleos de dia Juliano igual a 260 correspondentes ao dia 16 de setembro são observados sobre Minas Gerais e Goiás, sugerindo acumulados de umidade relacionados à convecção local.

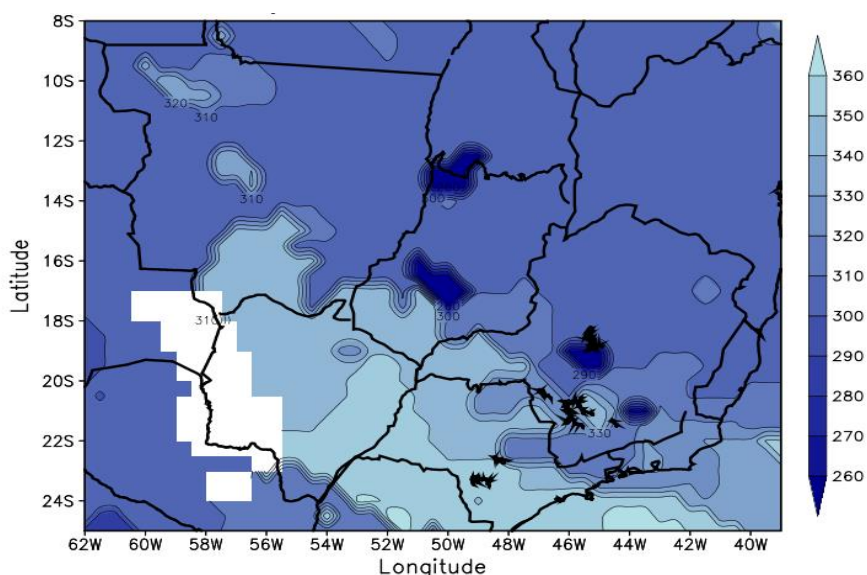


Figura 4.6 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2000.

Pela Figura 4.7 observa-se uma reversão do vento meridional (de sul para norte) ocorrendo entre os meses de agosto e setembro inicialmente com baixos valores de velocidade do vento na região norte do Brasil. Em meados de Novembro, próximo ao início da estação chuvosa os valores do vento ficam em torno de 3 m/s na região norte do Brasil e ultrapassam os 6 m/s no canal no norte da América do Sul. As datas do início da estação chuvosa estão indicadas na Figura 4.7 pelas setas vermelhas.

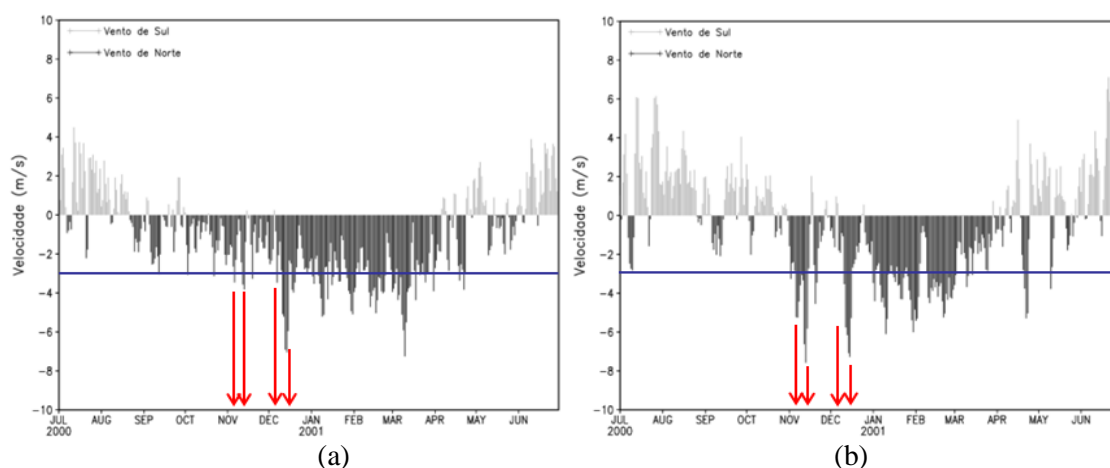


Figura 4.7 – Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2000/2001.

Picos de velocidade na componente meridional do vento sugerem um transporte intenso de umidade principalmente nas datas em que ocorre o início da estação chuvosa, associadas à presença de alguns sistemas frontais no oeste do Atlântico Sul (Figura 4.8).

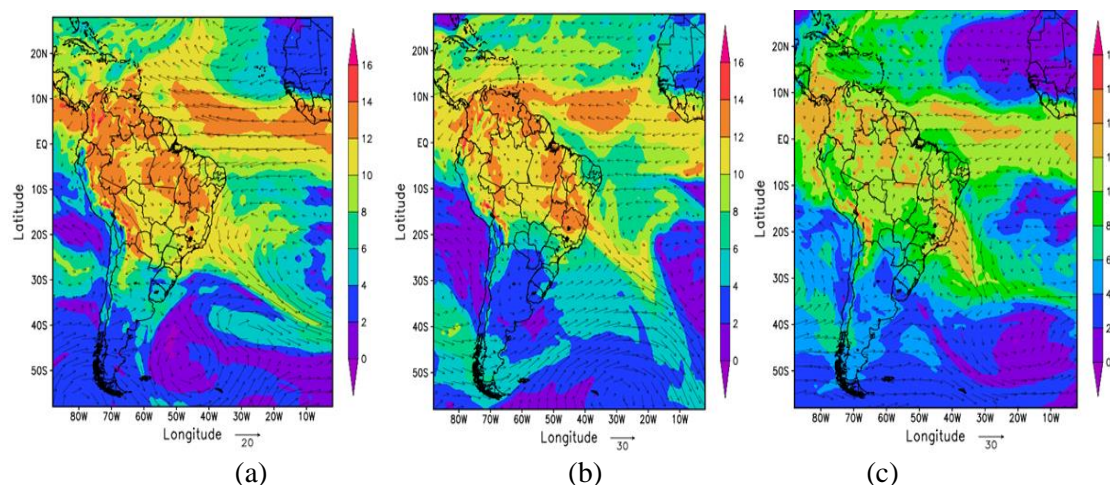


Figura 4.8 – Umidade específica em g/kg (sombreado) e vento em m/s (vetor) em 850 hPa nos dias (a) 17 de outubro, (b) 16 de novembro e (c) 16 de dezembro de 2000.

4.3.2 Estação chuvosa 2001/2002

Em 2001/2002, Figura 4.9, nota-se alguns núcleos no centro de Minas Gerais e Goiás com valores do dia Juliano igual a 270, equivalente ao dia 27 de setembro, no entanto a estação chuvosa inicia realmente em grande parte de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais apenas vinte dias mais tarde (DJ=290) no dia 17 de outubro e desloca-se um pouco mais para o sul abrangendo o sul de Mato Grosso, leste de Minas Gerais e norte do Espírito Santo no dia 06 de novembro (DJ=310). Mato Grosso do Sul, sul de Minas Gerais, sul de Goiás, sul de Espírito Santo, o estado do Rio de Janeiro e norte de São Paulo iniciam o seu período chuvoso no dia 16 de novembro (DJ=320). Por fim a porção sul de São Paulo e o extremo oeste de Mato Grosso do Sul experimentam esse início do dia 16 de dezembro (DJ=350).

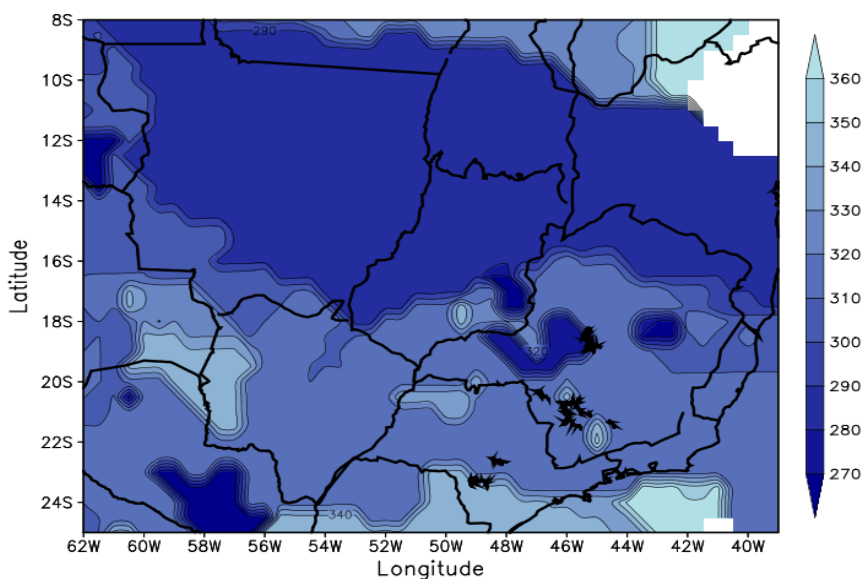


Figura 4.9 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2001.

A reversão da componente meridional do vento nesse ano ocorreu em torno do mês de setembro sobre o Pará e a Amazônia (Figura 4.10 (a)) e de forma mais clara sobre o norte da América do Sul (Figura 4.10 (b)) na metade do mês de outubro coincidindo com o início da estação chuvosa em algumas áreas da região de estudo, como descrito anteriormente.

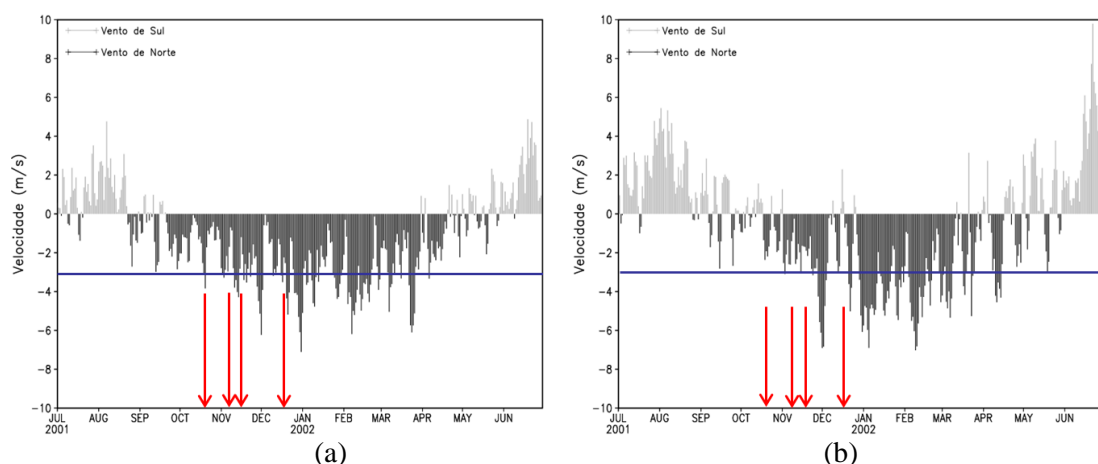


Figura 4.10 – Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2001/2002.

Próximo ao dia 17 de outubro nota-se um aumento na velocidade do vento (4 m/s) pela Figura 4.10 (a), que coincide com o aumento da umidade específica sobre os estados do Centro Oeste (Figura 4.11 (a)), o que culmina com a primeira ocorrência da estação chuvosa sobre a região. O mesmo se nota nos dias 16 de novembro e 16 de dezembro com umidade específica atingindo valores entre 10 e 14 g/Kg também na região Sudeste. Ressalta-se a presença de circulações ciclônicas no oeste do oceano Atlântico Sul.

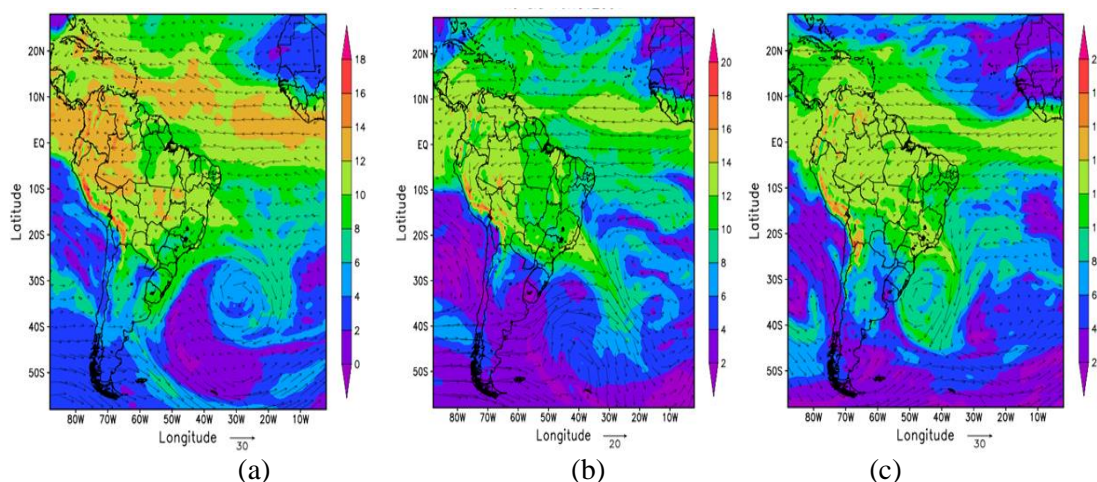


Figura 4.11 – Umidade específica em g/kg (sombreado) e vento em m/s (vetor) no nível de 850 hPa nos dias (a) 17 de outubro, (b) 16 de novembro e (c) 16 de dezembro de 2001.

4.3.3 Estação chuvosa 2002/2003

A estação chuvosa 2002/2003, Figura 4.12, foi marcada com a presença moderada do fenômeno El Niño (Figura 4.5). No mês de setembro pequenas áreas com valores de NPWI acima do limiar podem ser vistas a partir do dia 07 de Setembro (DJ=250) no noroeste de Mato Grosso e no sul do Mato Grosso do Sul. Nota-se a expansão de isolinhas de início da estação chuvosa de setembro (DJ=270) a outubro (DJ=300) a partir do Estado de Rondônia em direção ao oeste de Mato Grosso e posteriormente essa expansão se confirma como uma banda de umidade que atinge todo o Estado de Mato Grosso, Goiás e noroeste de Minas Gerais no dia 06 de novembro (DJ=310). No dia 16 de novembro (DJ=320) o índice de umidade atinge valores que dão início a estação chuvosa nos Estados de Mato Grosso, sul de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e norte de São Paulo e por fim no dia 26 de novembro (DJ=330) a porção sul de São Paulo, norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo completam o quadro do início da estação chuvosa desse ano.

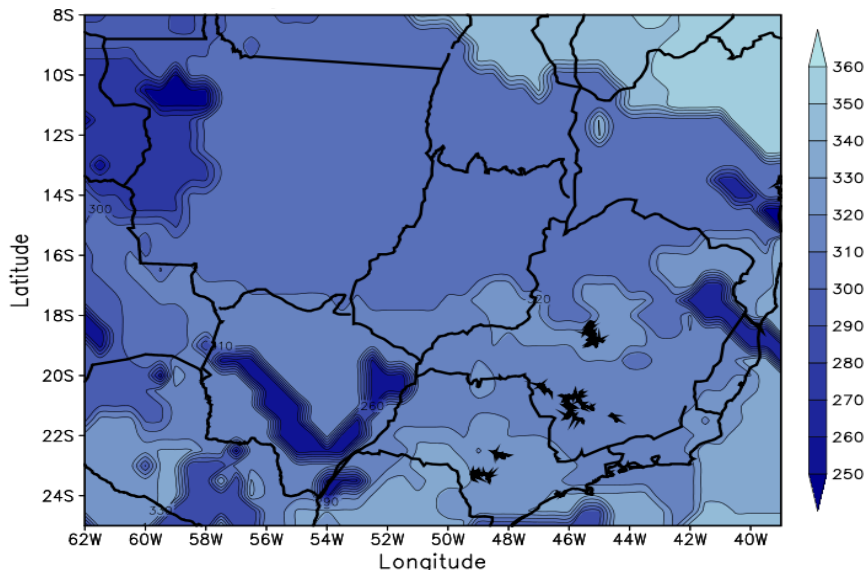


Figura 4.12 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2002.

A reversão do vento meridional (Figura 4.13) nesse ano ocorreu um pouco mais tarde, próxima ao mês de outubro na região norte do Brasil e mais cedo na área ao norte da América do Sul, em meados de setembro, mas com baixa intensidade.

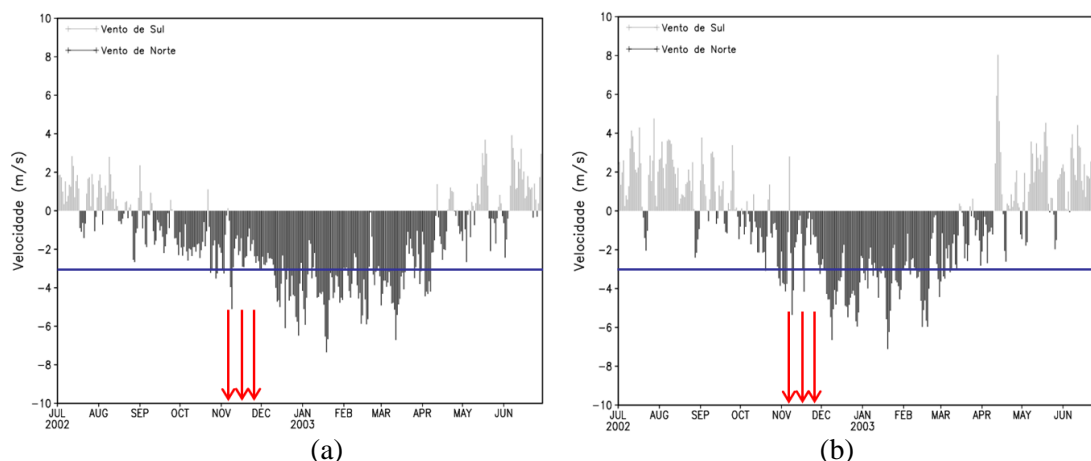


Figura 4.13 – Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2002/2003.

Foi somente próximo ao mês de novembro que ocorreu o primeiro pico de intensidade do vento superior a 3 m/s canalizando umidade da bacia Amazônica para o Centro Oeste e Sudeste do Brasil. Análises sinóticas do GPT mostram um sistema frontal atuando do litoral do Espírito Santo até Mato Grosso (provável ZCAS) no dia 06 de novembro, outro sistema frontal atuando no litoral de São Paulo e Rio de Janeiro nos dias 16 de e 26 de novembro que podem ser localizados através das áreas de convergência de vento e altos valores de umidade mostrados na Figura 4.14.

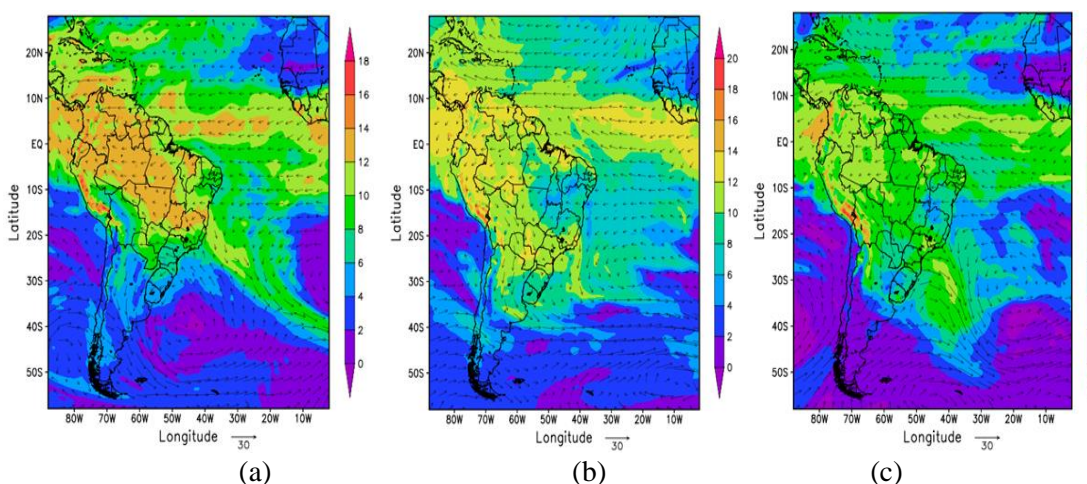


Figura 4.14 – Umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 06 de novembro, (b) 16 de novembro e (c) 26 de novembro de 2002.

4.3.4 Estação chuvosa 2003/2004

A Figura 4.15 mostra as datas de início da estação chuvosa de 2003/2004, onde no dia 27 de setembro (DJ=270) já se notavam áreas com NPWI acima do limiar se estendendo de Rondônia e da Amazônia sobre o Mato Grosso e uma pequena área sobre o Rio de Janeiro e Minas Gerais, que pode estar associada a um sistema frontal no oceano. Em 07 de outubro (DJ=280) se observa que todo o estado de Mato Grosso foi tomado pela área de umidade que vinha se propagando a partir da região norte do País, em seguida atingindo o sul de Mato Grosso, sul de Goiás e norte de Mato Grosso do Sul em até 17 de outubro (DJ=290). Nos dias que se seguem entre novembro e dezembro a estação chuvosa tem o seu início no restante da área de estudo: até 06 de novembro (DJ=310) na parte norte de Goiás e norte de Minas Gerais; até 16 de novembro (DJ=320) no sul de Minas Gerais; até 26 de novembro (DJ=330) no sul do Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo; por fim dia 06 de dezembro (DJ=340) no norte do Espírito Santo e no norte de São Paulo.

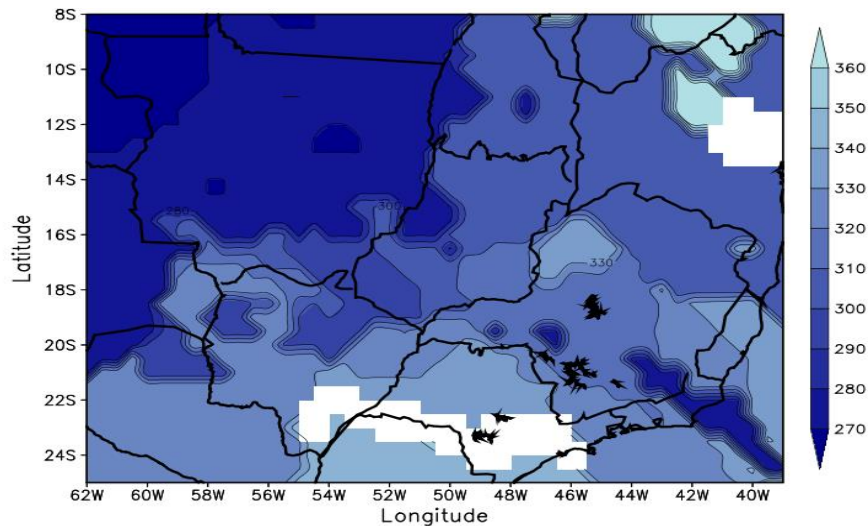


Figura 4.15 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2003.

A componente meridional do vento reverte-se no início de setembro e aumenta gradualmente de intensidade (Figura 4.16(a)).

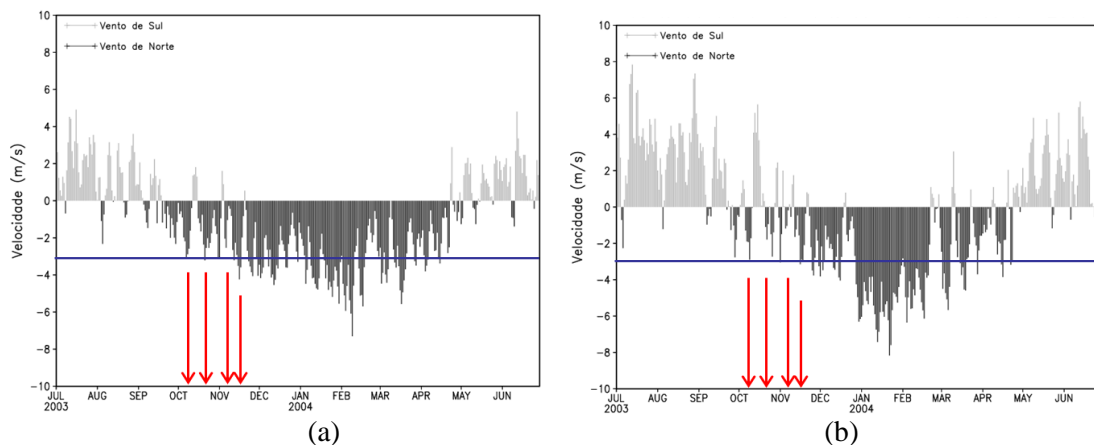


Figura 4.16 – Variação anual da média de área do vento meridional em 850 hPa na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2003/2004.

No dia 07 de outubro o vento sopra de nordeste na região norte com umidade sendo transportada do oceano para a Bacia Amazônica (Figura 4.17 (a)) e registra-se um sistema frontal atuando no litoral do Rio de Janeiro, interior de Minas Gerais e São Paulo de acordo com registros nas análises sinóticas do GPT. No dia 06 de novembro tem registro de um Sistema Frontal no oceano, em estágio de dissipação com ramo frio na altura de Alagoas até o Pará canalizando a umidade para a região Nordeste, norte do Sudeste e norte do Centro-Oeste (Figura 4.17 (b)). No dia 14 de novembro registrou-se outro sistema frontal atuando no litoral do Rio de Janeiro, passando por Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso (provável ZCAS). No dia 16 de novembro observa-se valores de umidade entre 10 e 12 g/Kg em quase toda região estudada.

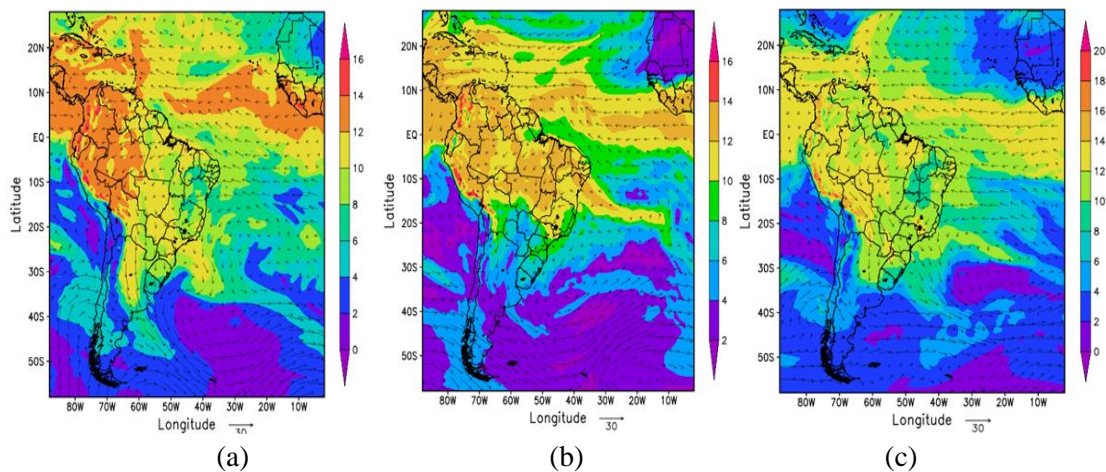


Figura 4.17 – Campos de umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 07 de outubro, (b) 06 de novembro e (c) 16 de novembro de 2003.

4.3.5 Estação chuvosa 2004/2005

A estação chuvosa 2004/2005, Figura 4.18, apresentou um formato bem definido com uma área em torno da região Centro Oeste com isolinhas de DJ=280 correspondente a 06 de outubro que sugere disponibilidade de umidade na região norte do Brasil para transporte para a área de estudo o que parece ocorrer até o dia 16 de outubro onde uma extensa área preenchida com isolinhas de dia Juliano de até DJ=290 se estende sobre o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, sul de Goiás, São Paulo, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Um padrão de umidade que remete a ZCAS. O ano de 2004/2005 foi considerado um ano de El Niño fraco (Figura 4.5), mas ainda assim é notável um início adiantado da estação chuvosa comparado aos anos anteriores, pois antes do final do mês de outubro as porções norte de Mato Grosso, norte de Goiás e norte de Minas Gerais já se encontravam também dentro da estação chuvosa, completando o quadro. Apenas uma pequena área do Espírito Santo e leste de Minas Gerais que destoam, tendo seu início mais tarde no dia 25 de novembro (DJ=330).

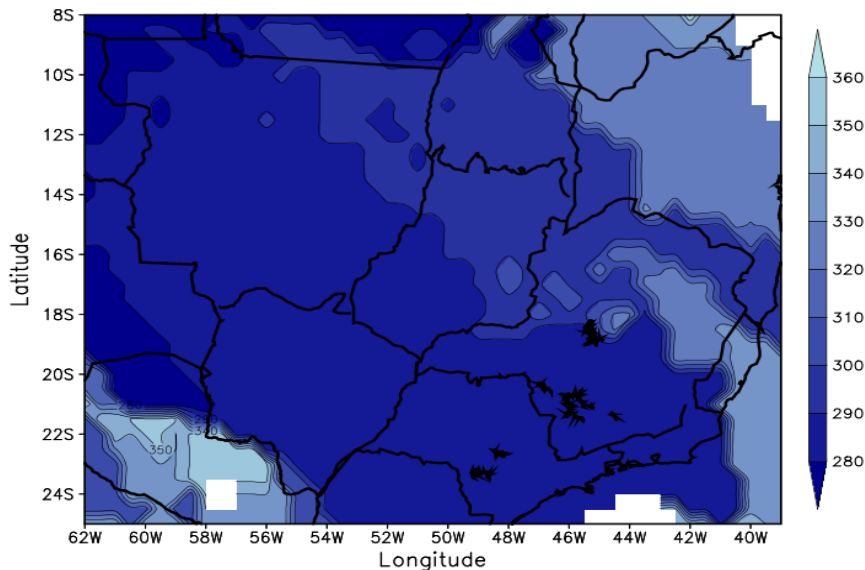


Figura 4.18 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2004.

A reversão do vento ocorre de forma definitiva e acompanhada por um pico de intensidade em meados de outubro (Figura 4.19 (a)) onde no dia 06 registrou-se a passagem de um sistema frontal no oceano Atlântico Sul, com ramo frio no litoral da

BA e interior de MG. Nesse dia valores altos de umidade se concentraram na região Norte e litoral da região Nordeste (Figura 4.20 (a)).

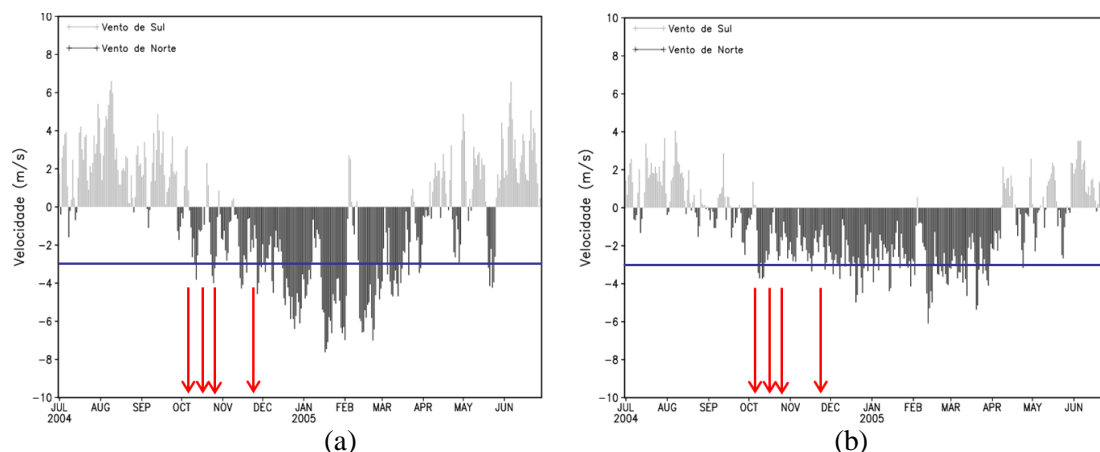


Figura 4.19 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2004/2005.

No dia 16 registrou-se um sistema frontal atuando no sul do Atlântico Sul com ramo frio na altura do Uruguai e já se via um aumento da umidade em toda a área de estudo (Figura 4.20 (b)). No dia 26 a área de estudo estava tomada pela umidade com valores entre 10 a 14 g/Kg (Figura 4.20 (c)) e registrou-se um sistema frontal atuando no oceano Atlântico Sul com ramo estacionário no litoral do Rio de Janeiro.

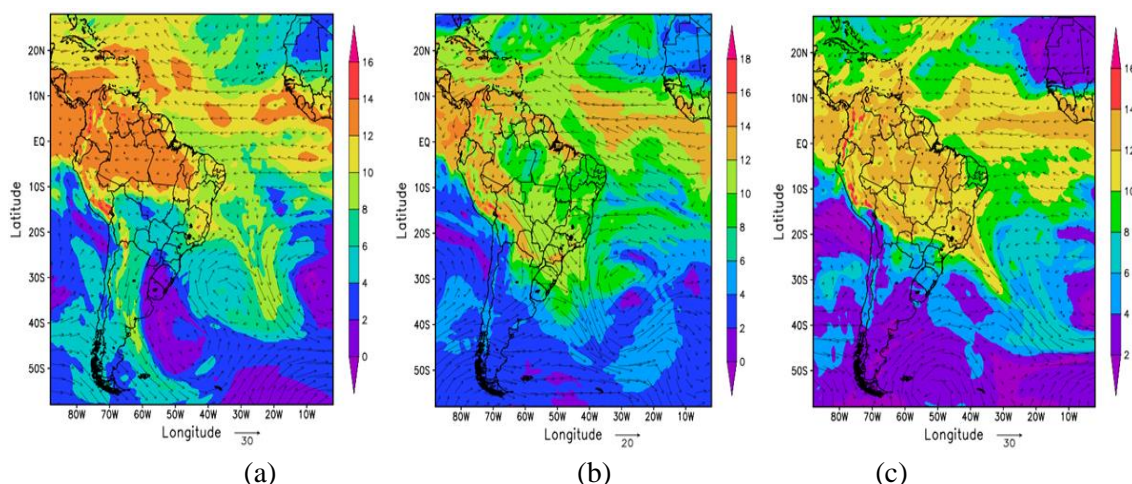


Figura 4.20 – Campos de umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 06 de Outubro, (b) 16 de Outubro e (c) 26 de Outubro de 2004.

4.3.6 Estação chuvosa 2005/2006

A Figura 4.21 apresenta os dias de início da estação chuvosa para o ano de 2005/2006, onde se vê que em 27 de setembro (DJ=270) o estado de Mato Grosso e sudoeste de Goiás se encontram dentro da estação chuvosa, seguindo-se áreas do sul de Mato Grosso do Sul e do sul de São Paulo em 07 de outubro (DJ=280), oeste de Mato Grosso do Sul e centro sul de São Paulo entre 07 e 17 de outubro (DJ=280 a DJ=290). Áreas do norte de São Paulo, Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo têm seu início a 27 de outubro e norte de Minas Gerais, norte de Goiás e norte de Espírito Santo em 06 de novembro (DJ=310).

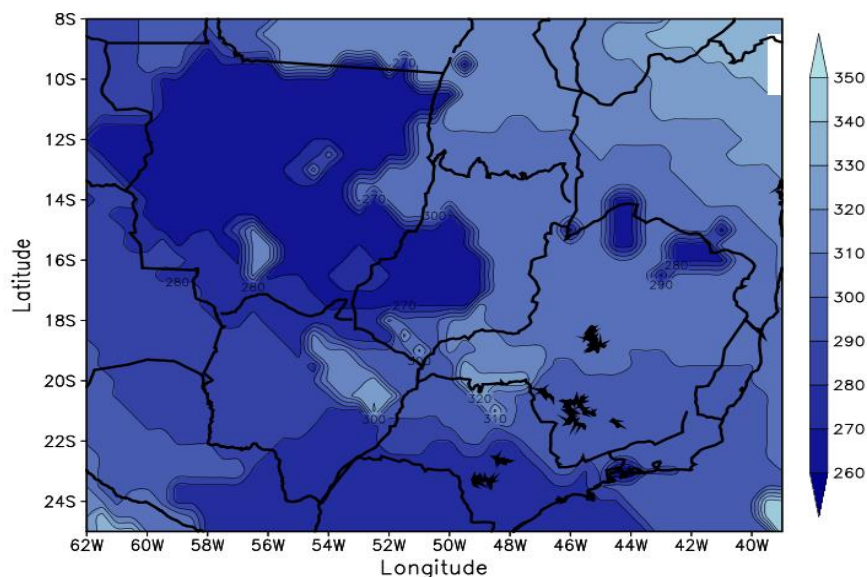


Figura 4.21 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2005.

A reversão do vento se mantém no padrão de ocorrência no mês de setembro no norte do Brasil dando início ao transporte de umidade, com pouca intensidade, mas crescente ao longo do mês de outubro e acompanhando os picos de intensidade do vento próximo aos meses de novembro e dezembro como pode ser visto tanto no norte do Brasil quanto no norte da América do Sul (Figura 4.22 (a) e (b)).

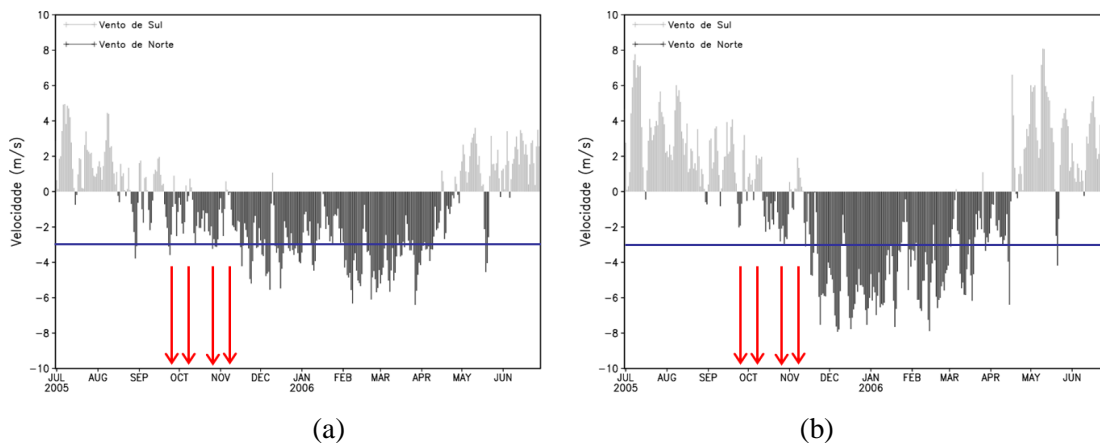


Figura 4.22 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2005/2006.

Análises sinóticas indicam que no dia 06 de outubro um sistema frontal atuava sobre o oceano com ramo estacionário no litoral do Paraná e interior do Mato Grosso do Sul. No dia 17 de outubro nota-se que o transporte de umidade se encontra deslocado para o oeste na Bolívia, Paraguai e Mato Grosso do Sul ficando os estados do Sudeste com baixos índices de umidade (Figura 4.23 (b)). No dia 06 de novembro é visível um aumento no campo de umidade específica na região Sudeste (Figura 4.23 (c)).

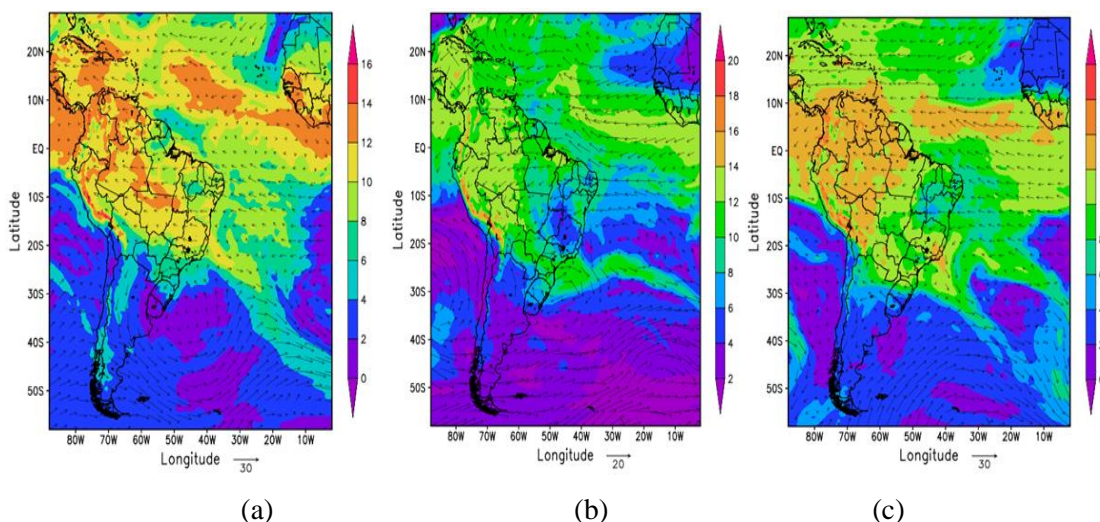


Figura 4.23 – Campos de umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 27 de setembro, (b) 17 de outubro e (c) 06 de novembro de 2005.

Os próximos três anos serão analisados com particular atenção para os fatores que podem ter intervindo nas características da estação chuvosa, analisando um ano de El

Niño (2006/2007), um ano de La Niña (2007/2008) e um ano normal (2008/2009) através de dados de vento em baixos níveis, circulação de altos níveis, índice de instabilidade (Cape), convergência de umidade, chuva, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível.

4.3.7 Estação chuvosa 2006/2007 – El Niño

Segundo a Figura 4.24, a estação chuvosa 2006/2007 iniciou no dia 27 de setembro (DJ=270), relativamente cedo e bem definida com uma extensa área úmida abrangendo todo o Mato Grosso, grande parte de Goiás, o centro norte de Minas Gerais e o norte de Espírito Santo. As análises sinóticas confeccionadas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) e disponíveis na biblioteca do CPTEC (Figura 4.28) indicam que nesse dia e nos dias anteriores constatou-se a presença de um sistema frontal associado a um forte ciclone extratropical no Atlântico Sul (47°S; 22°W), com isóbara central em torno de 968 hPa no dia 24 de setembro. Seu ramo frio se estendeu do Atlântico Sul passando sobre o estado de São Paulo e Mato Grosso indo até o Paraguai, canalizando a umidade existente na região pré-frontal e organizando a convecção na área de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais o que é visível na análise através da condição de céu encoberto nas estações meteorológicas de superfície dessas áreas.

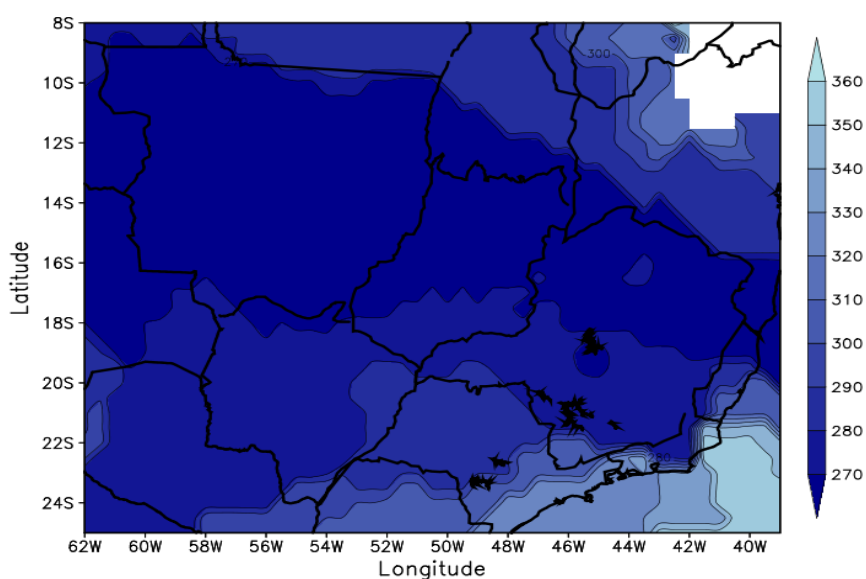


Figura 4.24 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2006.

Na Figura 4.25 (c) podem-se visualizar áreas de convergência de umidade principalmente nos estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul. Nos dias que se seguiram, a frente ficou estacionária entre Mato Grosso do Sul e Minas Gerais estando no dia 27 somente sobre o oceano na altura da Bahia, mas parte da área citada permaneceu com condição de chuva como pode ser visto da Figura 4.25 (d). A parte sul da área de estudo (São Paulo e Mato Grosso do Sul) esteve sob a ação da alta pós-frontal com a isóbara central de 1036 hPa permanecendo com condição de céu claro. O transporte de umidade da bacia Amazônica para a área de estudo pode ser inferido pela presença de ventos no nível de 850 hPa superiores a 10 m/s (Figura 4.25 (b)) na região entre o sul da Bolívia e o norte do Paraguai, sugerindo possível atuação nesse dia do Jato de Baixos Níveis (JBN) (Salio et al., 2002).

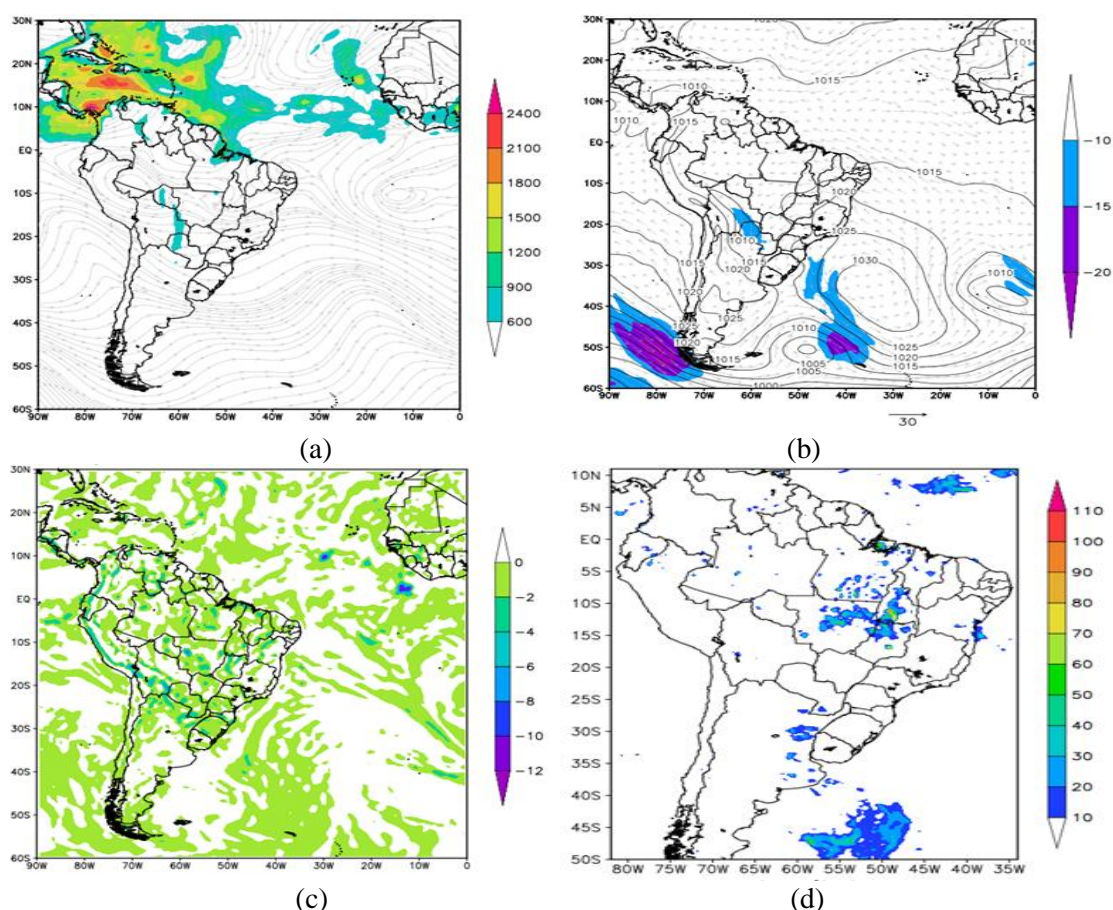


Figura 4.25 – Campos atmosféricos do dia 27 de setembro de (a) circulação em 200 hPa – linhas de corrente e Índice de instabilidade Cape – sombreado; (b) vento em 850 hPa – vetor, vento meridional sul maior que 10 m/s – sombreado, Pressão ao nível médio do mar – isolinha (c) convergência de umidade em 850 hPa e (d) Chuva.

A circulação associada à alta pós-frontal intensa impulsiona os ventos oceânicos em direção ao Nordeste e Norte do Brasil realimentando o fluxo de umidade já estabelecido.

Num intervalo de dez dias o canal de umidade se expande para o centro sul de Minas Gerais, Sul de Goiás e Mato Grosso do Sul e no dia 07 de outubro (DJ=280), nas análises sinóticas do CPTEC, é registrado a passagem de um sistema frontal no Atlântico Sul, na altura do Rio Grande do Sul que estendeu seu ramo frio até o litoral de São Paulo. Em toda a área de estudo tem-se a indicação de céu encoberto o que pode ser certificado também pela convergência de umidade observada pela Figura 4.26 (c). Até 17 de outubro (DJ=290) grande parte de São Paulo foi contemplada com esse campo de umidade acima do limiar com a presença de outro sistema frontal no seu litoral alinhado com a ZCAS que se estendeu do Acre e Rondônia até o litoral de São Paulo, persistindo por quatro dias.

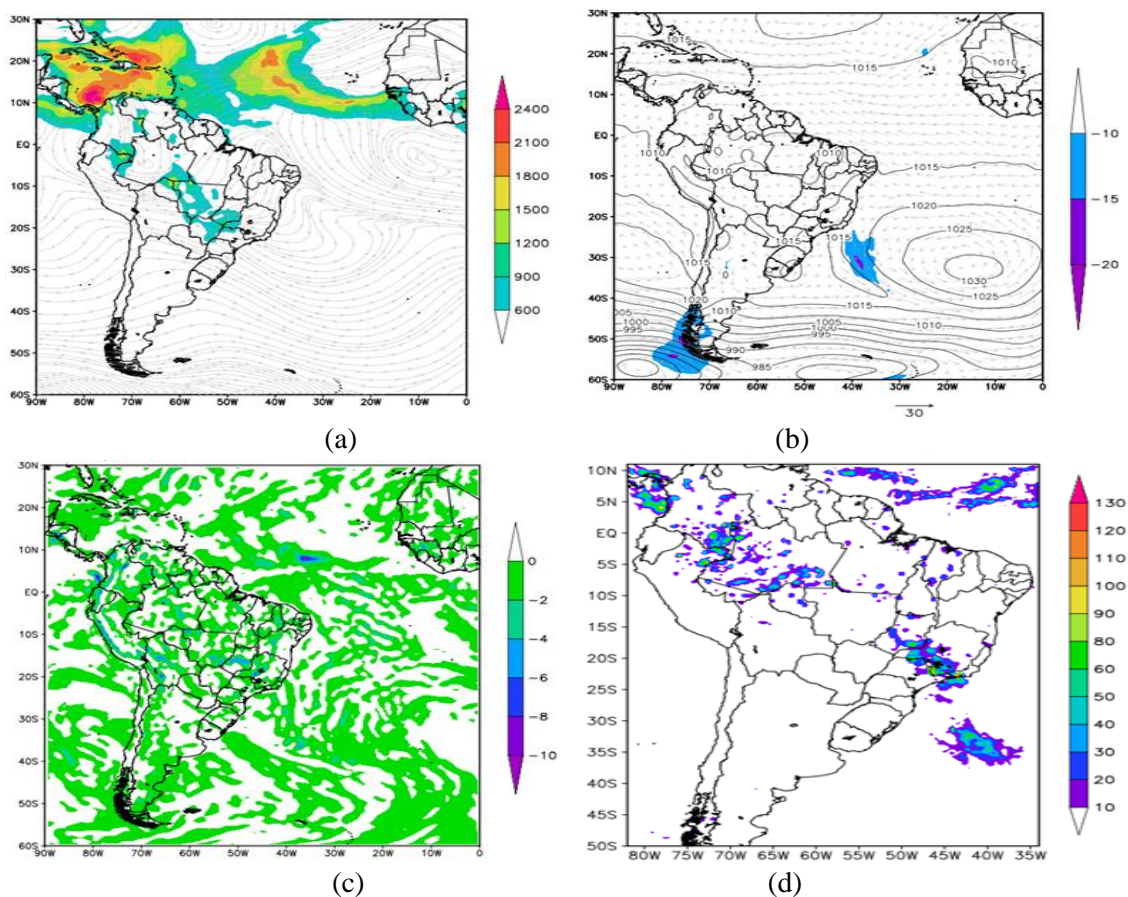


Figura 4.26 – Idem Figura 4.25 para o dia 07 de outubro.

Após esse período de início da estação chuvosa as condições de umidade mantiveram-se elevadas e a passagem de alguns sistemas transientes ativaram a ZCAS, o que pode ser observado nas Figuras 4.27 e 4.28.

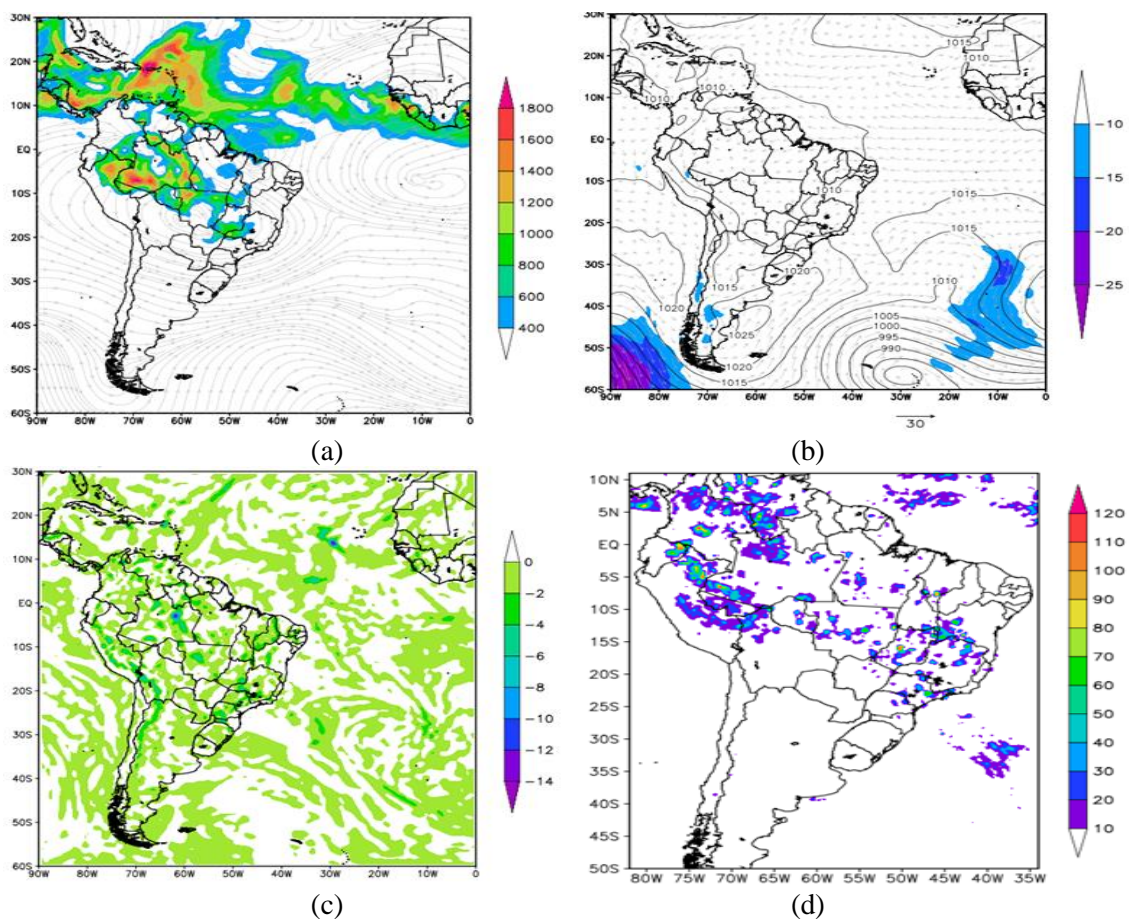


Figura 4.27 – Idem Figura 4.25 para o dia 17 de outubro.

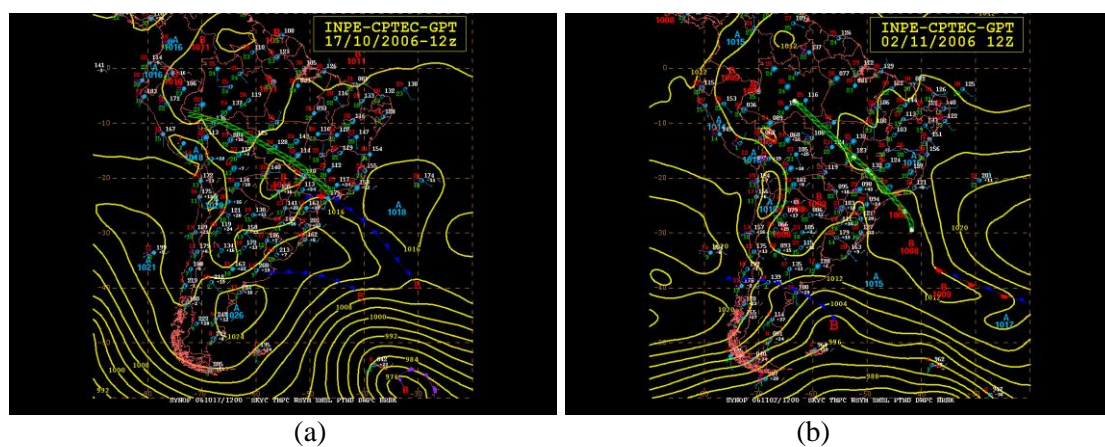


Figura 4.28 – Análises sinóticas sobre a América do Sul para os dias (a) 17 de outubro e (b) 02 de novembro de 2006.

O transporte de umidade da bacia Amazônica para latitudes mais altas da América do Sul ocorre quando o vento na sua componente meridional sopra de norte e pela Figura 4.29 é possível visualizar uma reversão na variação anual da média de área do vento meridional na região norte do Brasil (Figura 4.29 (a)) compreendendo os estados do Pará e da Amazônia (10°S : 0°, 70°W : 50°W), e no norte da América do Sul (Figura 4.29 (b)) compreendendo o sul da planície do Orinoco onde é formado um corredor entre o planalto das Guianas e a cordilheira Oriental entre a Colômbia e a Venezuela (2°S : 2°N, 77°W : 68°W). O objetivo ao selecionar essas duas áreas foi monitorar a reversão do vento meridional de norte para sul, pois quando isso acontece favorece um transporte maior de umidade.

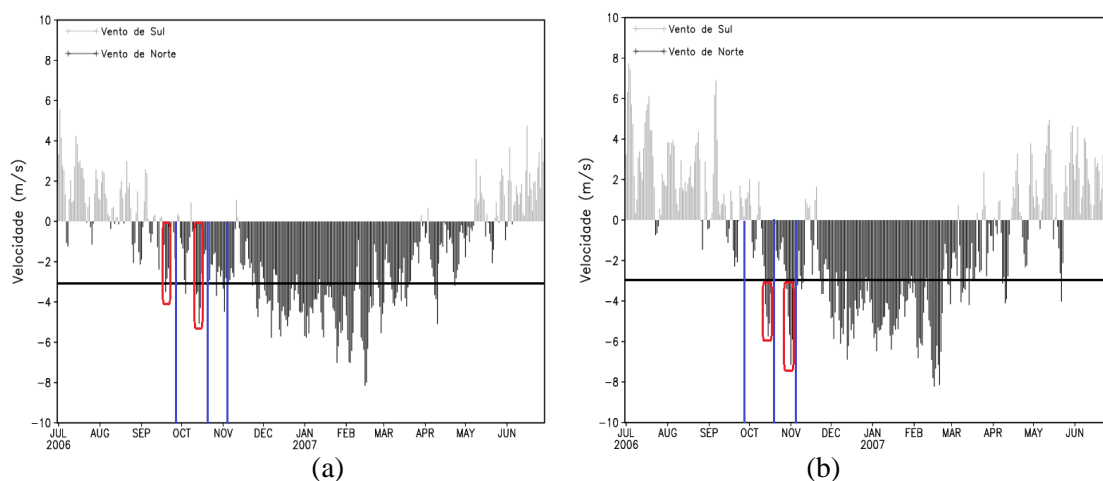


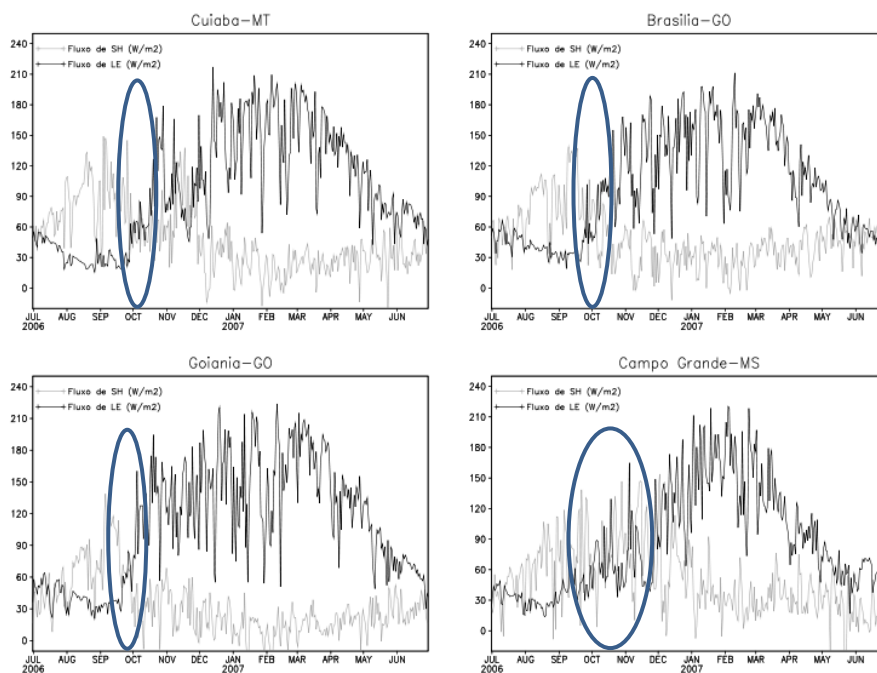
Figura 4.29 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2006/2007.

É de ressaltar que durante a estação seca os ventos possuem componente meridional de sul e durante o mês de setembro essa componente tem sua direção revertida para sopraem de norte e pouco antes de se observarem as primeiras ocorrências de ZCAS em Outubro e Novembro observam-se picos de velocidade nas duas regiões. Isso sugere que esses picos conduzam uma maior quantidade de umidade à região de estudo que aumentam os índices de água precipitável e quando da interação com sistemas frontais ativam a chuva na ZCAS. Um limiar de 3 m/s foi convencionado para que a partir do qual ocorra um transporte considerável de umidade para a área de estudo, baseado na ocorrência da ZCAS.

Como resultado do transporte de umidade, os índices de calor à superfície sofrem alterações, refletindo em determinados casos condições típicas do início da estação chuvosa. Para exemplificar é apresentada na figura 4.30 a variação no período 2006/2007 do fluxo de calor sensível e do fluxo de calor latente à superfície. As curvas representam a média de área ($2^\circ \times 2^\circ$) centrada na capital de cada estado da área estudada. É bem nítida nos estados do Centro-Oeste uma transição da estação seca para a estação chuvosa quando o fluxo de calor sensível diminui e dá lugar a um aumento no fluxo de calor latente. A data em que ocorre essa transição é coerente com as datas de início da estação chuvosa, obtidas através da metodologia de Zeng e Lu (2004). Já nas capitais do Sudeste, principalmente nas capitais litorâneas essa característica não é tão nítida principalmente pelo fato dessas cidades estarem próximas ao mar o que faz com que a disponibilidade de umidade seja maior e o fluxo de calor latente seja sempre superior ao fluxo de calor sensível. Ainda assim é visível um pequeno aumento (diminuição) no fluxo de calor latente (sensível) nessas áreas conforme se adentra na estação chuvosa.

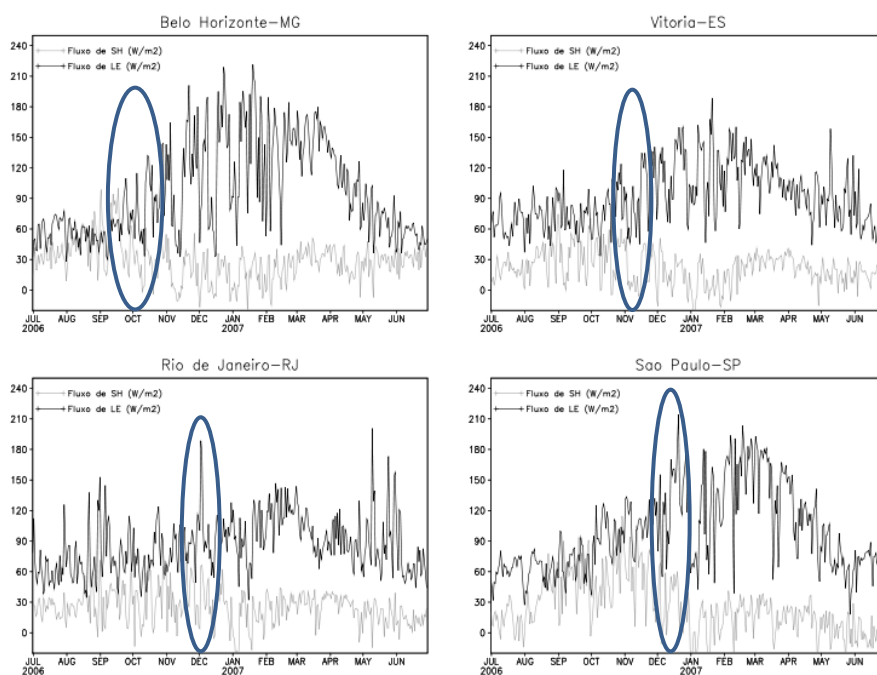
Há um pequeno intervalo entre 60 e 90 W/m^2 no qual ocorre essa transição nos fluxos de calor que como será visto nos anos seguintes, apesar de ser recorrente, não pode ser usado como regra ou padrão precursor da estação chuvosa, e sim como indicativo, pois essa mudança acontece apenas no instante do início da estação chuvosa, quando a esteira de umidade é canalizada para a região de estudo. Uma informação que pode ser de utilidade como indicativo precursor do início da estação chuvosa é a reversão do vento meridional observada na Figura 4.29 no presente ano e também observada nos anos anteriores.

Fluxos de LE e SH no CO do Brasil



(a)

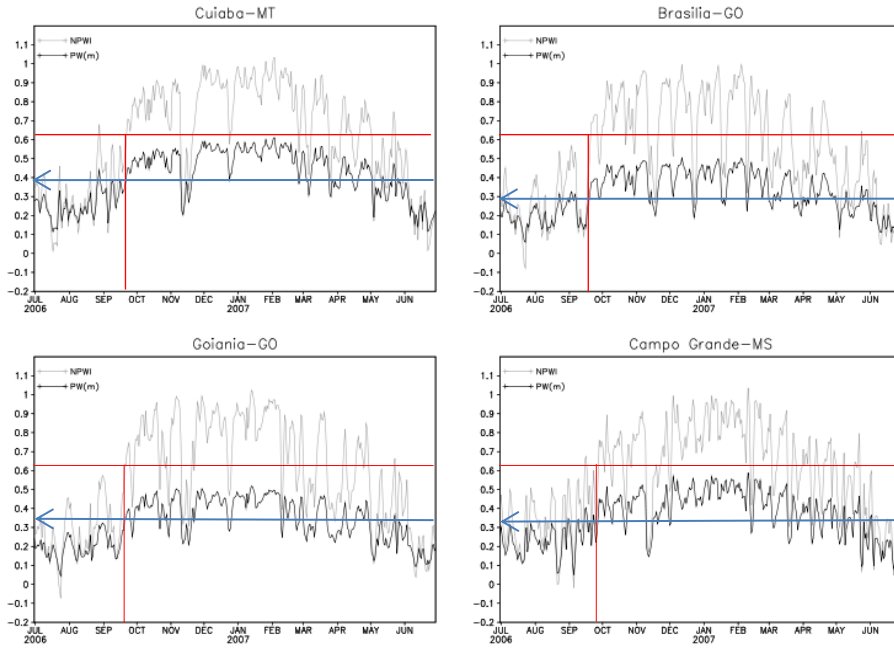
Fluxos de LE e SH no SE do Brasil



(b)

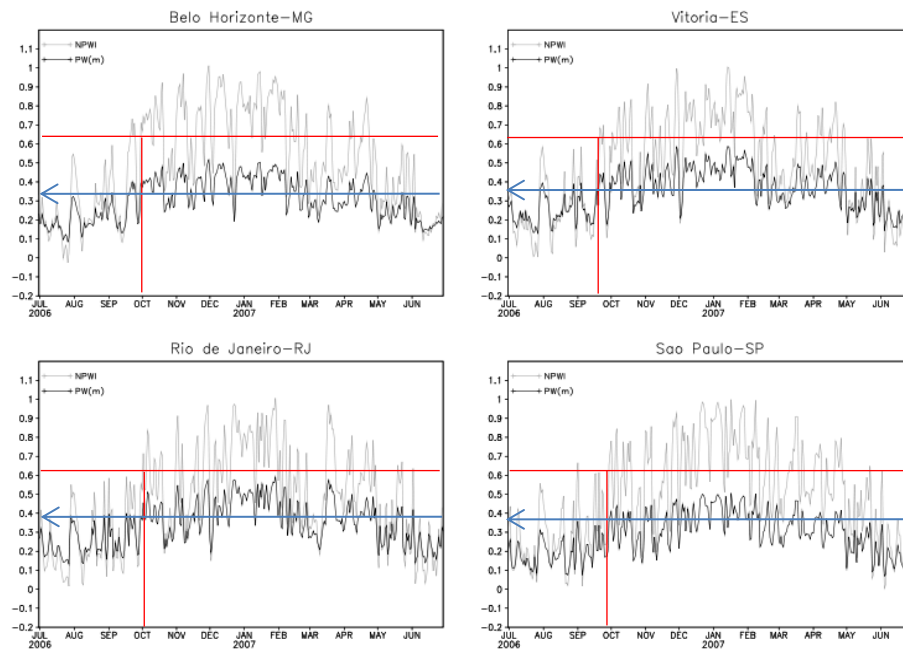
Figura 4.30 – Fluxos de calor sensível (SH) e de calor latente (LE) no (a) Centro Oeste e no (b) Sudeste do Brasil para a estação chuvosa 2006/2007.

Limiares de PW no CO do Brasil



(a)

Limiares de PW no SE do Brasil



(b)

Figura 4.31 – Variação da água precipitável (PW) e do índice normalizado de água precipitável (NPWI) no (a) Centro Oeste e no (b) Sudeste do Brasil para a estação chuvosa 2006/2007.

Não há um valor igual de água precipitável para todos os lugares da área de estudo, pelo contrário, cada região tem sua particularidade com relação à quantidade de água precipitável que possui no início da estação chuvosa. Este teor varia em torno de 40 mm para Cuiabá - MT, 30 mm para Brasília – GO, 35 mm para Goiânia – GO e 33 mm para Campo Grande na região Centro Oeste. Os valores de água precipitável no Sudeste variam em torno de 33 mm em Belo Horizonte – MG, 36 mm em Vitória – ES, 39 mm no Rio de Janeiro – RJ e 38 mm em São Paulo – SP. Durante a estação chuvosa esses valores podem aumentar até próximo a 40 mm e em situações de pico da estação atingir 50 mm em algumas regiões.

4.3.8 Estação chuvosa 2007/2008 – La Niña

Observa-se pela Figura 4.32 uma banda bem definida de início de estação chuvosa, no dia 17 de outubro (DJ=290), abrangendo os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo e o sul do Rio de Janeiro. Aparentemente essa banda já vinha se propagando da região norte como indica a pequena área com DJ=280, correspondendo a 07 de outubro, sobre Rondônia, Amazônia e o extremo noroeste de Mato Grosso.

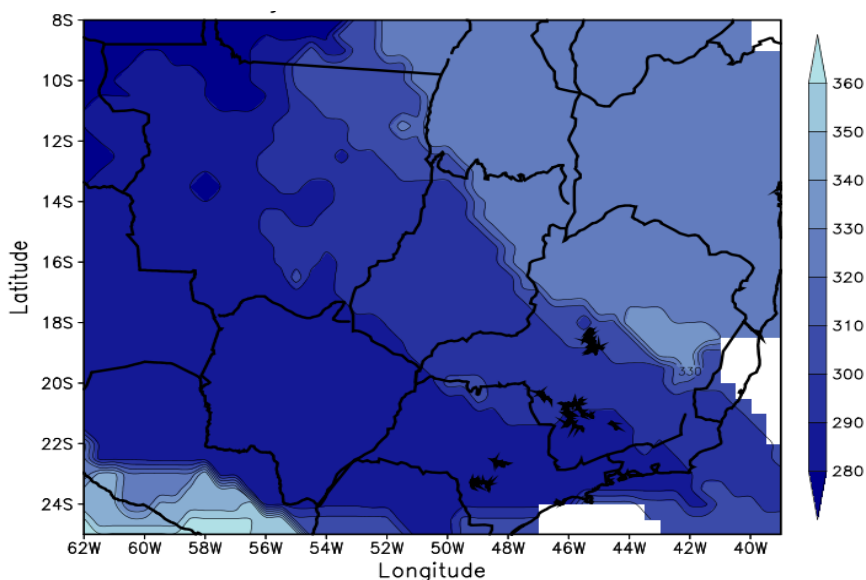


Figura 4.32 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2007.

Análises sinóticas do dia 17 de outubro indicam a presença de um sistema frontal com ramo frio sobre São Paulo e Mato Grosso do Sul que pode ter organizado e canalizado a umidade para a porção sudoeste da área de estudo. Pela Figura 4.33 observam-se áreas de relativa instabilidade na Amazônia (a) ventos fracos, mas com componente meridional de norte (b), alguma convergência de umidade sobre Amazônia que se estende para Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais (c) e chuva concentrada sobre a Amazônia e sobre o Atlântico Sul (d) unidas por uma tênue faixa.

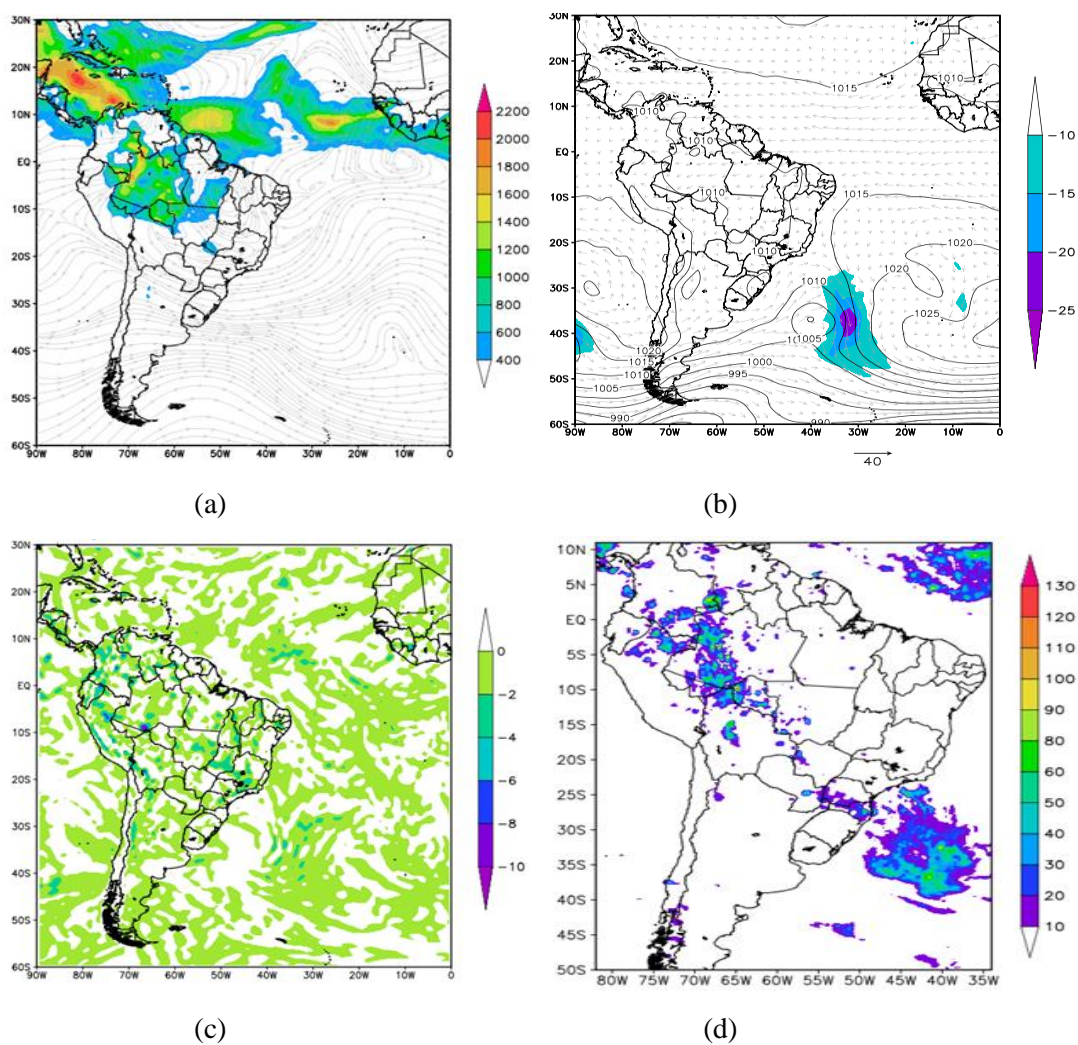


Figura 4.33 – Idem Figura 4.25, para o dia 17 de outubro de 2007.

O sistema frontal que atuava sobre o litoral de São Paulo se afastou em direção ao oceano nos dias que se seguiram e no dia 24 de outubro o ramo estacionário de outro sistema frontal também sobre o oceano interage com a umidade continental e se forma a ZCAS que persiste até o dia 26 de outubro.

No dia 27 de outubro não há registro nas análises da presença da ZCAS, mas segundo a Figura 4.32 a umidade atinge valores acima do limiar do NPWI nesse dia (DJ=300) no sudeste de Mato Grosso, norte de São Paulo, sul de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo.

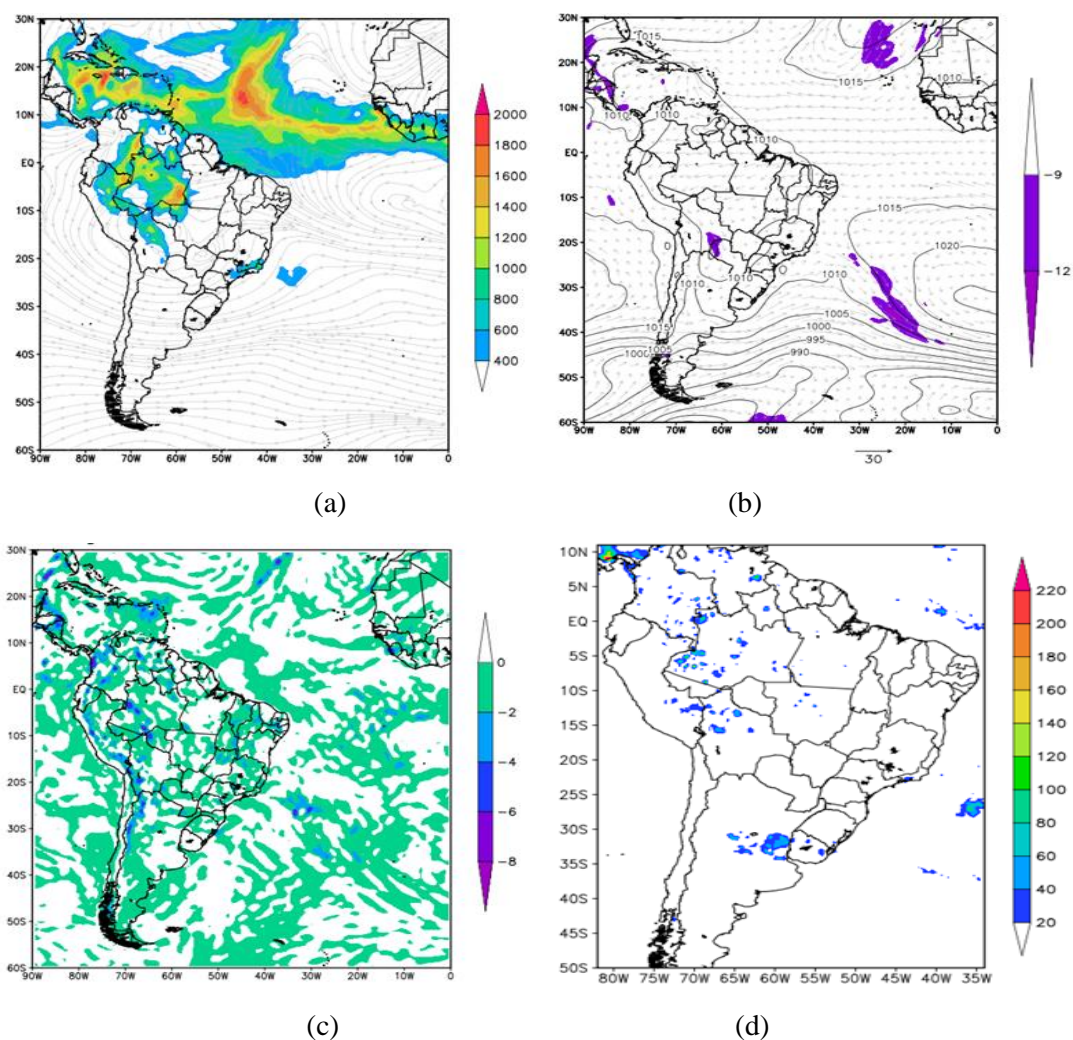


Figura 4.34 – Idem Figura 4.25, para o dia 27 de outubro de 2007.

Apesar de encontrar as datas em que o NPWI esteve acima do limiar atendendo o critério de persistência, na região de estudo não foram registrados até então acumulados significativos de chuva. Pela Figura 4.34 é visível algumas áreas com alguma instabilidade (a), com convergência de umidade (b) sobre a Amazônia, vento em 850 hPa na região do jato de baixos níveis com velocidade entre 9 e 12 m/s, mas pouco ou nada de chuva na região de estudo.

Entre o dia 06 e 16 de novembro (DJ=310 a DJ=320) a banda de umidade se expande para nordeste (Figura 4.32), impulsionada por constantes sistemas frontais que passaram sobre o Atlântico Sul nesse período de acordo com as análises sinóticas (Figura 4.36).

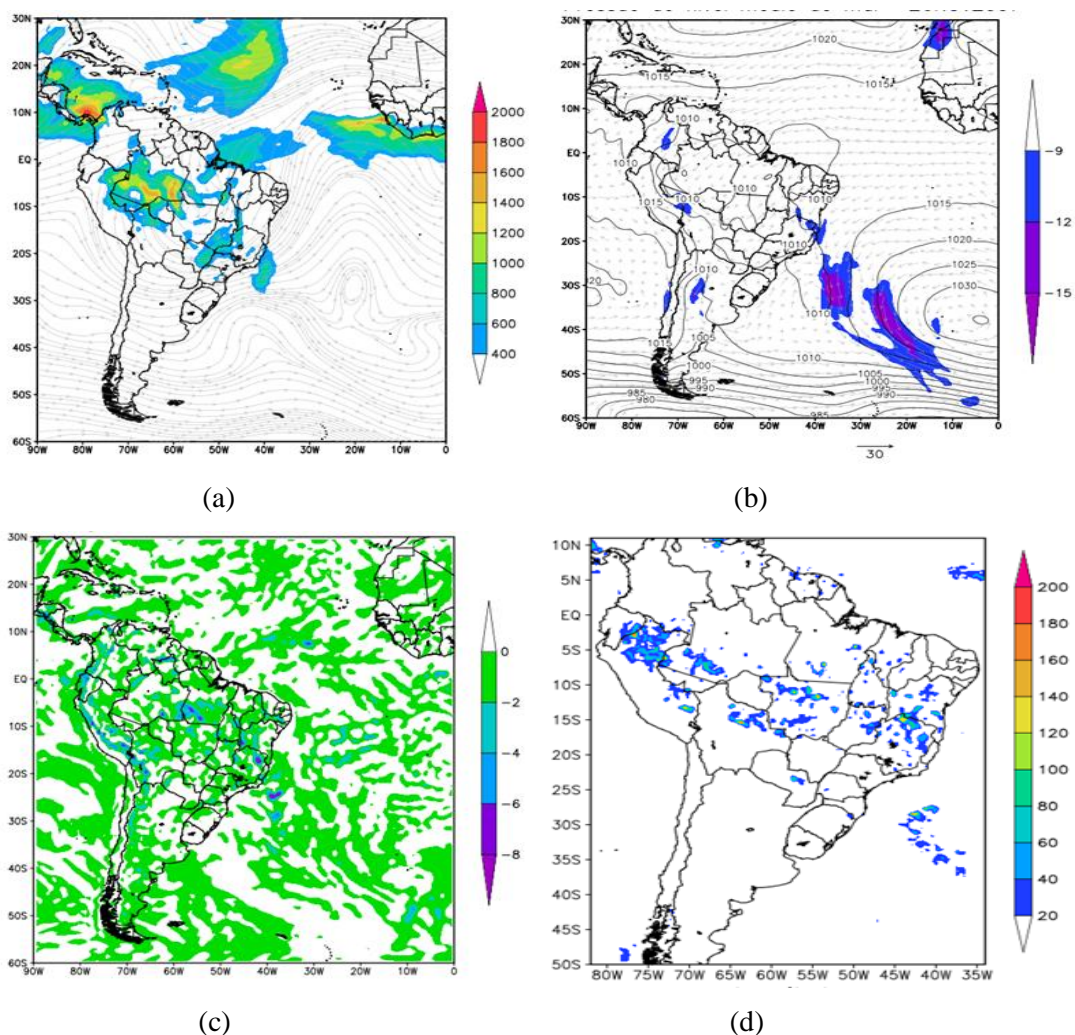


Figura 4.35– Idem a Figura 4.25 para o dia 26 de novembro.

No dia 26 de novembro (DJ=330) o nordeste de Goiás e o norte de Minas são contemplados com chuvas como pode se ver pela Figura 4.35 (d). Não foi observado nenhum sistema sinótico específico atuando nessas regiões nesse dia, mas pode se notar pela Figura 4.35, algumas instabilidades (a), convergência de umidade (c) e ventos oceânicos (b) impulsionados pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o litoral brasileiro atingindo até áreas da região norte alimentando o fluxo de umidade.

A Figura 4.36 mostra as análises sinóticas para os dias comentados acima e é possível observar que no dia 27 de novembro a ZCAS estava ativa, isto é houve persistência do canal de umidade por mais de 4 dias na região de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.

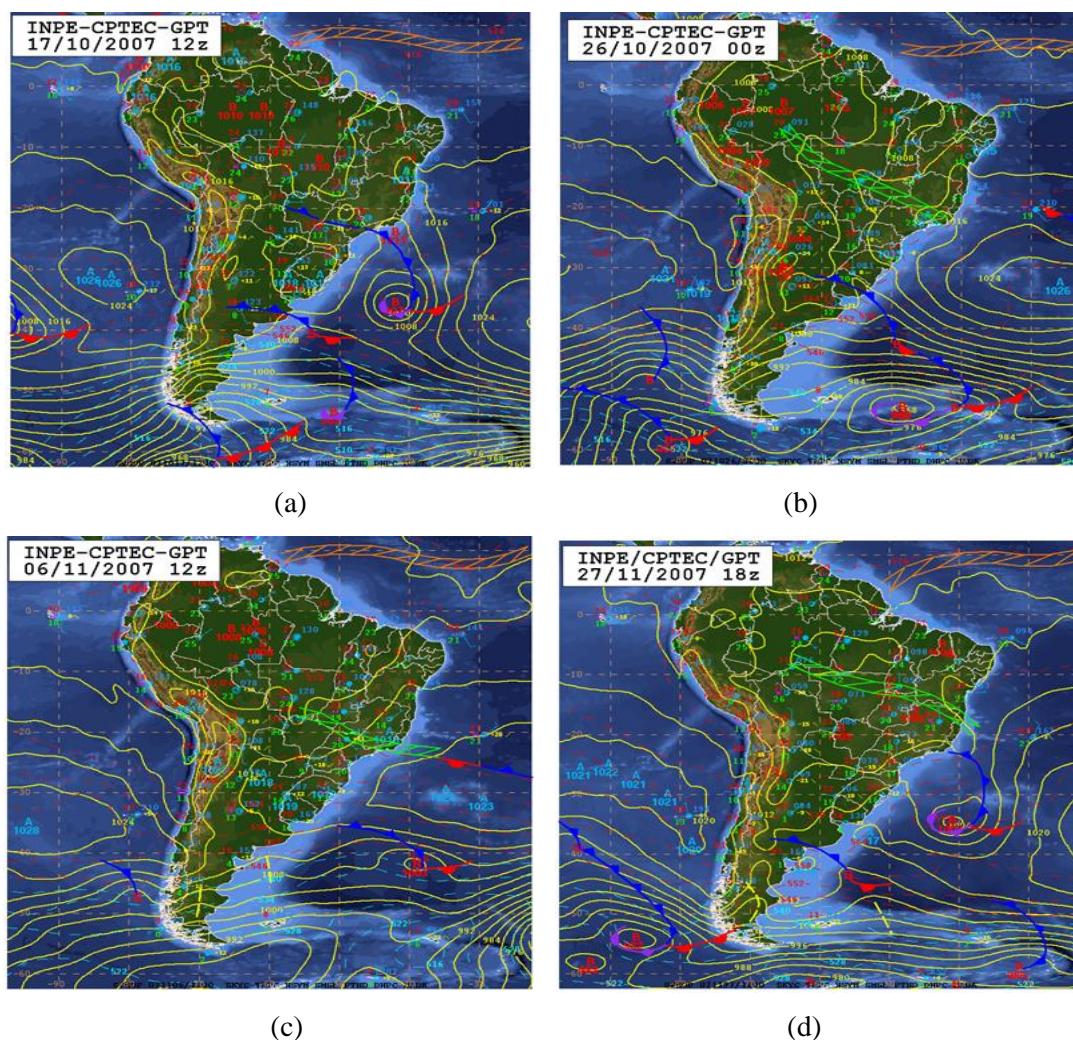


Figura 4.36 – Análises sinóticas para os dias (a) 17 de outubro, (b) 27 de outubro, (c) 06 de novembro, (d) 27 de novembro.

Para a estação chuvosa 2007/2008 também é observada a reversão da componente meridional do vento de sul para vento de norte. Nesse ano em particular ocorreu próximo ao início do mês de outubro com valores não muito superiores ao limiar de 3m/s ocorrendo quase que em simultâneo com as datas de início da estação chuvosa indicadas pela metodologia através da Figura 4.32 e representados no gráfico da Figura 4.37 pelas linhas azuis. Os círculos vermelhos destacam o instante em que a componente meridional do vento supera o limiar de 3 m/s soprando de norte.

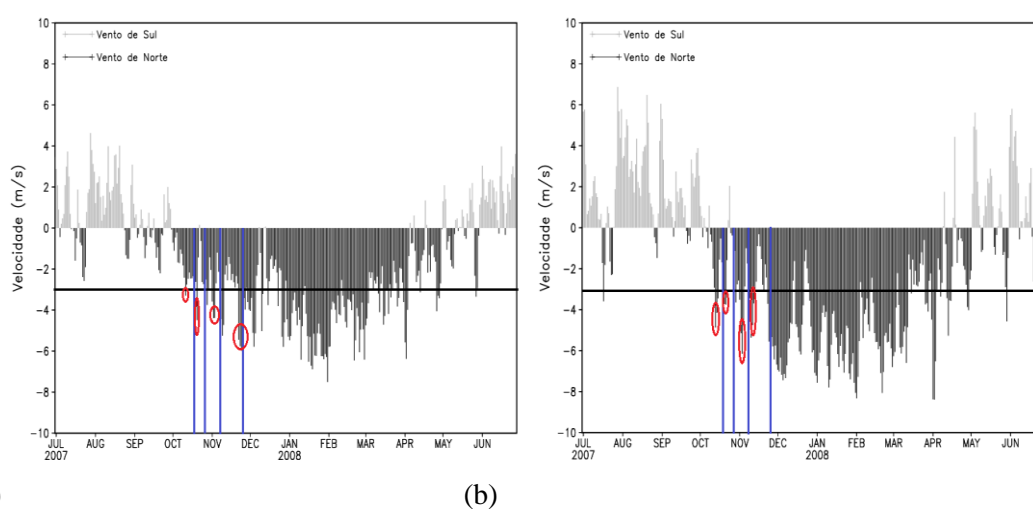
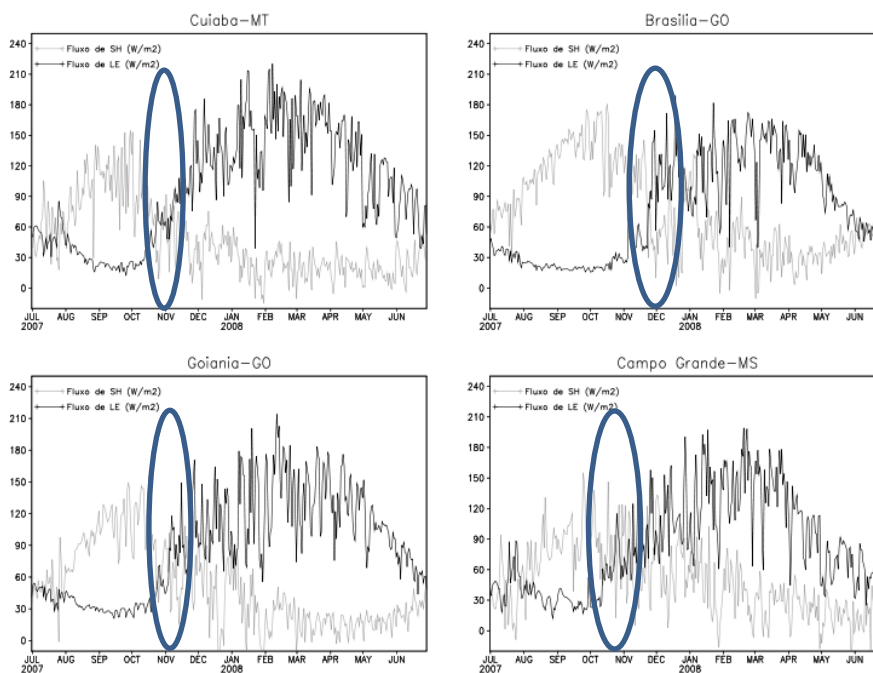


Figura 4.37 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2007/2008.

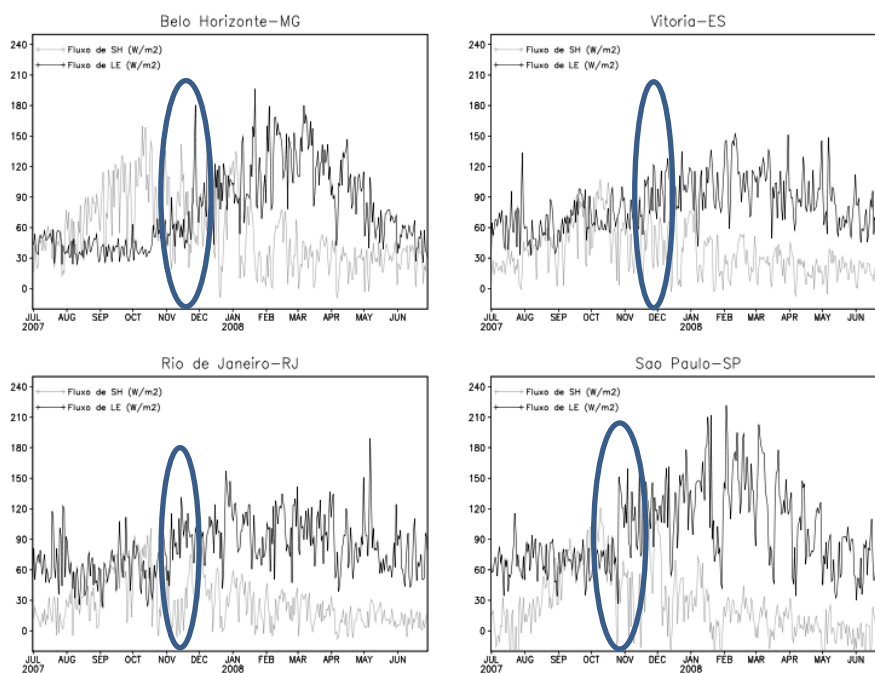
Analisando Figura 4.38 verifica-se que a estação chuvosa realmente teve seu início atrasado, pois a transição com os fluxos de calor latente dominando sobre os fluxos de calor sensível, nos instantes do início das chuvas, ocorreu em torno do mês de novembro em quase todas as capitais, enquanto o mapa de início de estação chuvosa ditou datas durante o mês de outubro.

Fluxos de LE e SH no CO do Brasil



(a)

Fluxos de LE e SH no SE do Brasil



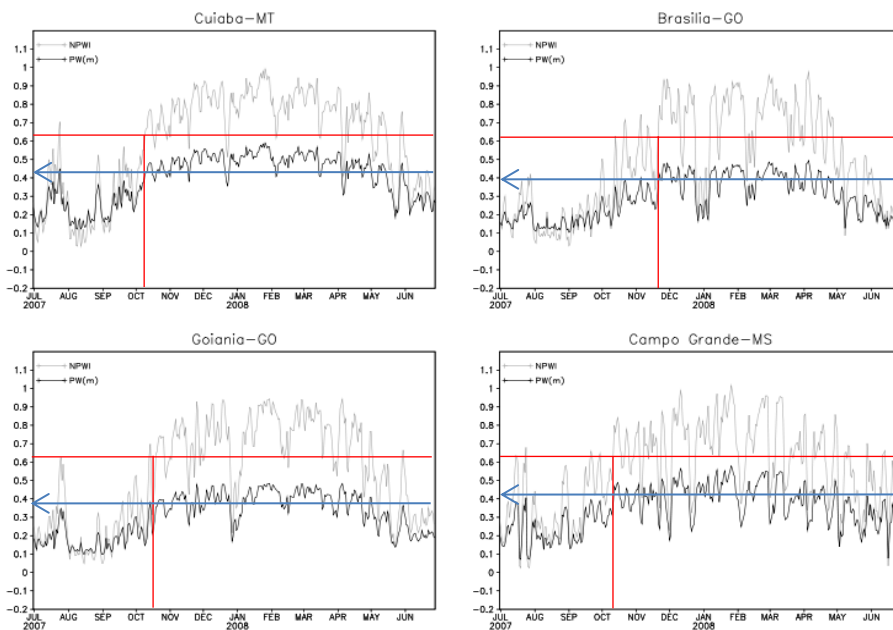
(b)

Figura 4.38 – Idem a figura 4.30 para a estação chuvosa 2007/2008.

Pode ser que o aporte de umidade para a região de estudo, não foi suficiente e com persistência necessária para elevar o fluxo de calor latente. Por ser um ano de La Niña a convecção e precipitação é favorecida sobre o Nordeste do Brasil, portanto a condução de umidade do Atlântico para o continente pode ser consumida no Nordeste reduzindo assim o fluxo de umidade para a área de estudo. A demora nas chuvas se reflete nos fluxos de calor latente inferior ao fluxo de calor sensível durante o mês de outubro principalmente na região Centro Oeste. A transição da estação seca para a chuvosa com a sobreposição do fluxo de calor latente sobre o de calor sensível ocorre entre 60 a 90 W/m^2 .

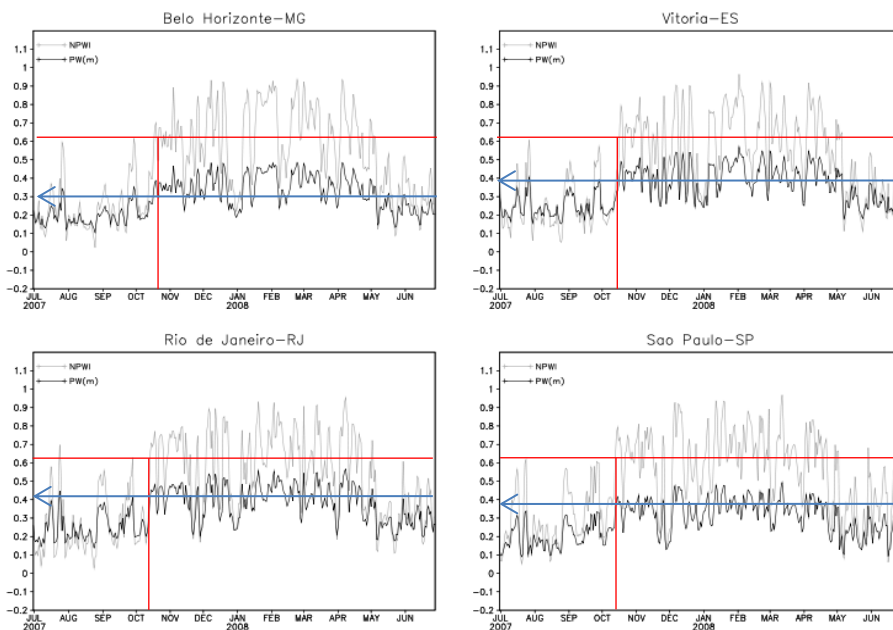
Os valores de água precipitável para o início dessa estação chuvosa para o Centro Oeste ficaram em torno de 43 mm em Cuiabá – MT, 40 mm em Brasília – DF, 38 mm em Goiânia – GO e 41 mm Campo Grande – MS enquanto no sudeste rondaram os 30 mm em Belo Horizonte – MG, 40 mm em Vitória – ES, 41 mm no Rio de Janeiro – RJ e 38 mm São Paulo – SP. Ao longo da estação chuvosa os valores de água precipitável superaram os 50 mm em algumas regiões em momentos de pico da estação.

Limiars de PW no CO do Brasil



(a)

Limiars de PW no SE do Brasil



(b)

Figura 4.39 – Idem a figura 4.31 para a estação chuvosa 2007/2008.

4.3.9 Estação chuvosa 2008/2009

A estação chuvosa 2008/2009 (Figura 4.40) iniciou no dia 06 de outubro (DJ=280), sobre o sudoeste de Mato Grosso, sobre todo o estado do Mato Grosso do Sul, extremo sul de Goiás e Minas Gerais e no norte de São Paulo, com a atuação nesse dia de um sistema frontal sobre o Atlântico, com ramo frio se estendendo sobre o Rio de Janeiro (Figura 4.51 (a)). No dia anterior o ramo frio desse sistema se estendia até o Mato Grosso, passando sobre o norte do Mato Grosso do Sul.

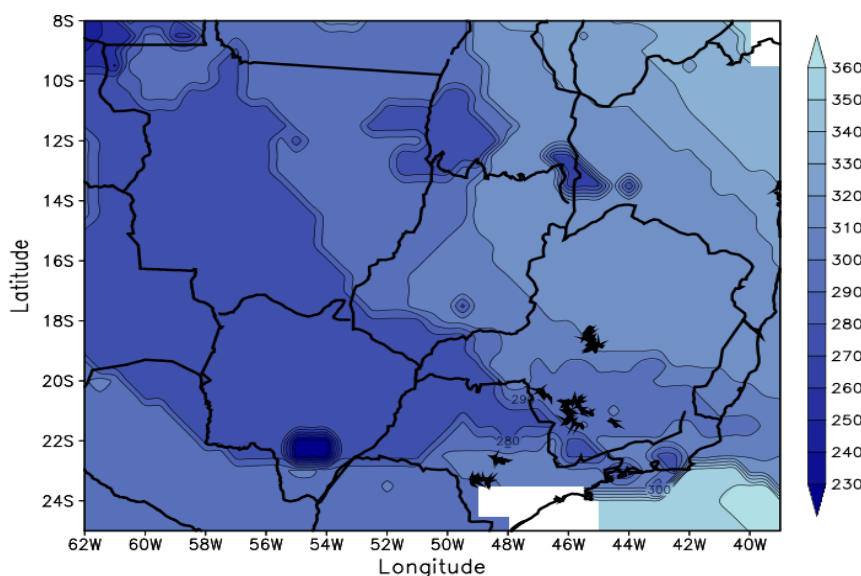


Figura 4.40 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2008.

Os índices de umidade observados nesse dia têm estreita relação com a passagem do sistema frontal, pois se nota convergência de umidade e ligeira instabilidade (Figura 4.41 (c) e (a)) sobre os estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso que se encontra na dianteira do sistema. Os ventos sopram com pouca inclinação do Atlântico para o Nordeste do país e atravessam a região Norte sem componente meridional, ou seja, totalmente zonais, de leste para oeste (Figura 4.41 (b)), o que leva a conclusão que nesse dia não houve um transporte significativo de umidade da região Norte para a área de estudo. A umidade que se encontra presente na área de estudo seria resultado apenas da evapotranspiração.

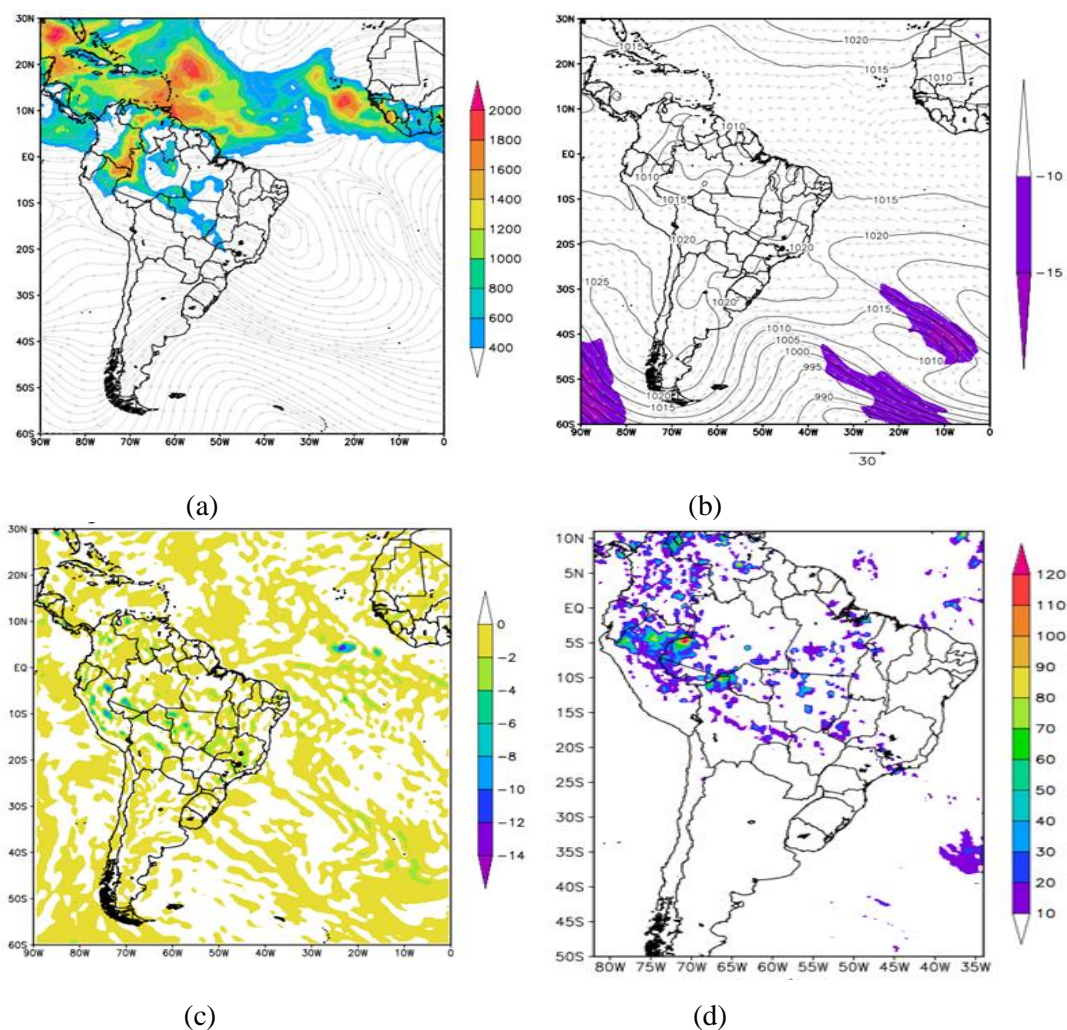


Figura 4.41 – Idem Figura 4.25, para o dia 06 de outubro de 2008.

A metodologia indica que no dia 26 de outubro (DJ=300) a estação chuvosa tem condições de umidade para ter seu início no leste de Mato Grosso, no sudoeste de Goiás, no sul do Rio de Janeiro e no Espírito Santo, no entanto não foi observada a atuação de sistema frontal nem ocorrência de chuva na área de estudo nesse dia. Alguns sistemas frontais foram observados no oceano, mas aparentemente não tiveram influencia sobre o continente. A baixa do nordeste da Argentina encontrava-se definida e observa-se um pequeno indicativo da atuação do jato conduzindo a umidade para a área do Paraguai, nordeste da Argentina e Sul do Brasil onde se aproximava um sistema frontal. Exatamente nessa área se localizaram as chuvas desse dia sobre o Brasil.

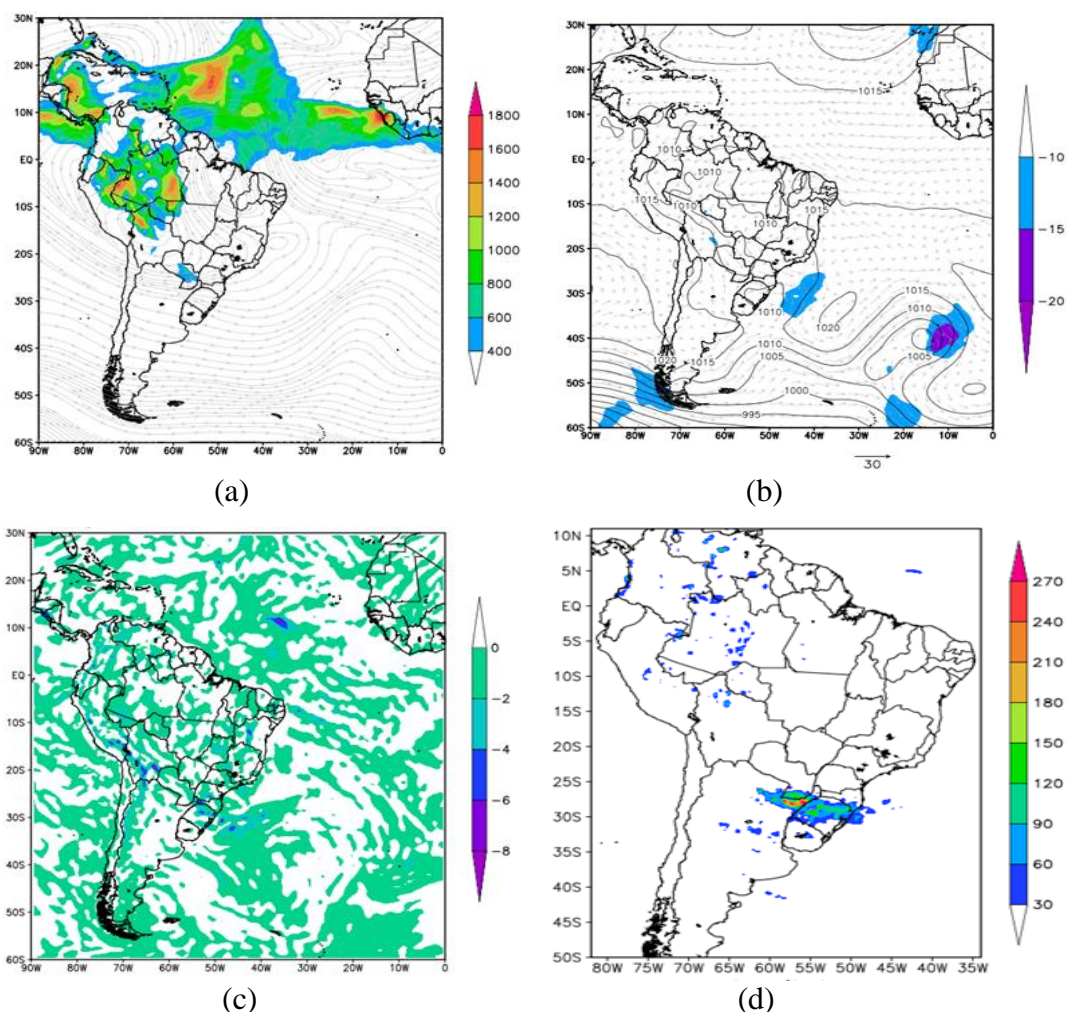


Figura 4.42 – Idem Figura 4.25, para o dia 26 de outubro de 2008.

Isso leva à conclusão que a umidade é uma condição necessária, mas não suficiente para que se tenha caracterizado em termos de chuvas o início da estação chuvosa. Esta requer um mecanismo de organização e levantamento dessa umidade para níveis onde possa condensar e formar nuvens de chuva.

No dia 05 de novembro (DJ=310) a área litorânea da região sudeste compreendendo o leste de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo experimentam valores de umidade que elevam o índice normalizado de água precipitável e remetem ao início da estação chuvosa nessas áreas (Figura 4.40). Análises sinóticas (Figura 4.44) registraram a presença de um sistema frontal entre o Espírito Santo e o Rio de Janeiro nas primeiras horas desse dia que depois se desconfigura, permanecendo apenas um cavado na área. Nos dias anteriores (03 e 04 de novembro) houve registro da presença da ZCAS atuando

do litoral do Rio de Janeiro ao interior do Mato Grosso. O mesmo se nota nos dias que se seguiram (06, 07 e 08 de novembro).

Do dia 10 de novembro ao dia 24 de novembro desse ano a ZCAS esteve configurada em todos os horários das análises sinóticas, quase sempre relacionada a um sistema frontal com ciclone associado no oceano. A ZCAS permaneceu oscilando entre o norte de Minas Gerais e São Paulo e se estendendo até o Mato Grosso, confirmando o início da estação.

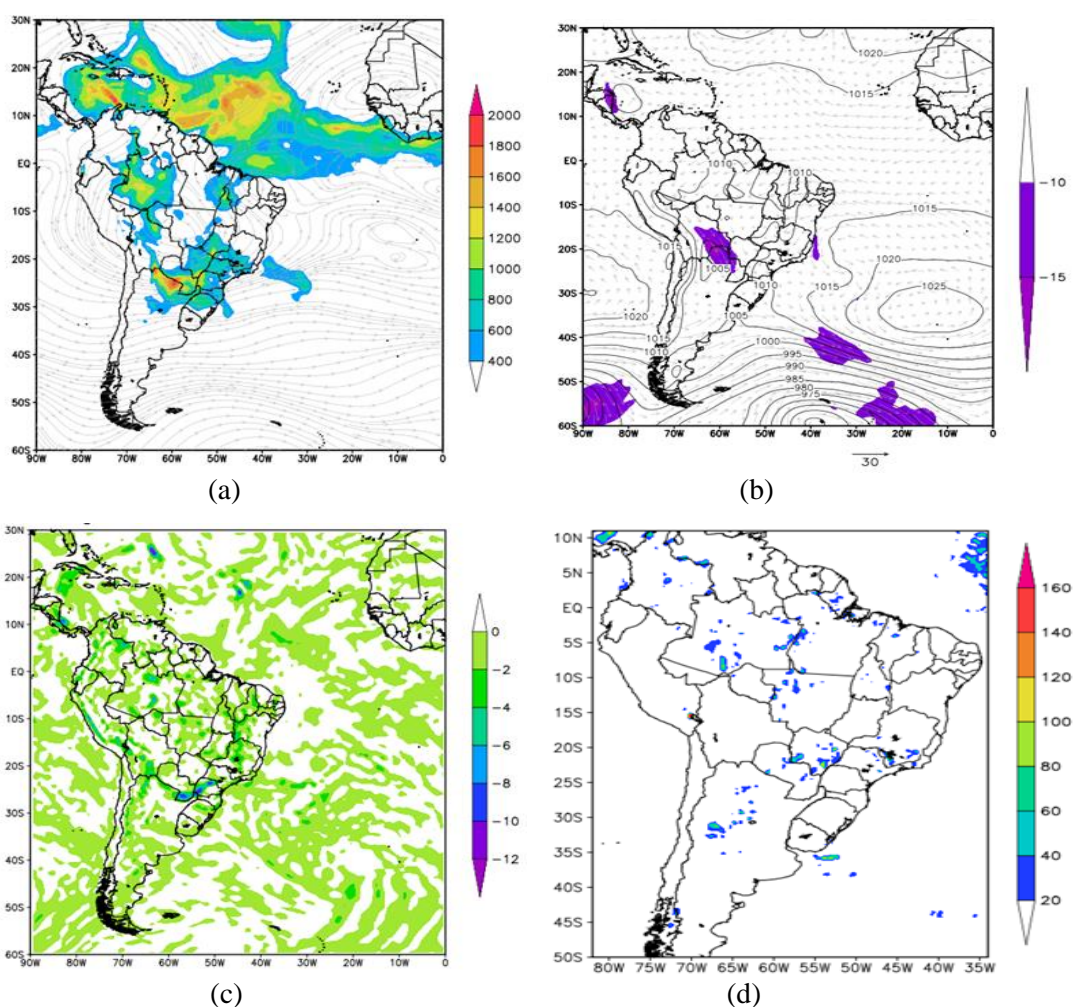


Figura 4.43 – Idem Figura 25, para o dia 05 de novembro de 2008.

A Figura 4.44 mostra as análises sinóticas para os dias comentados acima e para o dia 15 de novembro (DJ=320) que marca o início da estação chuvosa no norte de Goiás, norte de Minas Gerais e Espírito Santo de acordo com a Figura 4.40. Nesse dia observa-

se pela análise sinótica a ocorrência de um episódio de ZCAS vinculada a um sistema frontal no oceano que, aliás, como foi referido anteriormente vinha ocorrendo desde o dia 10 de novembro.

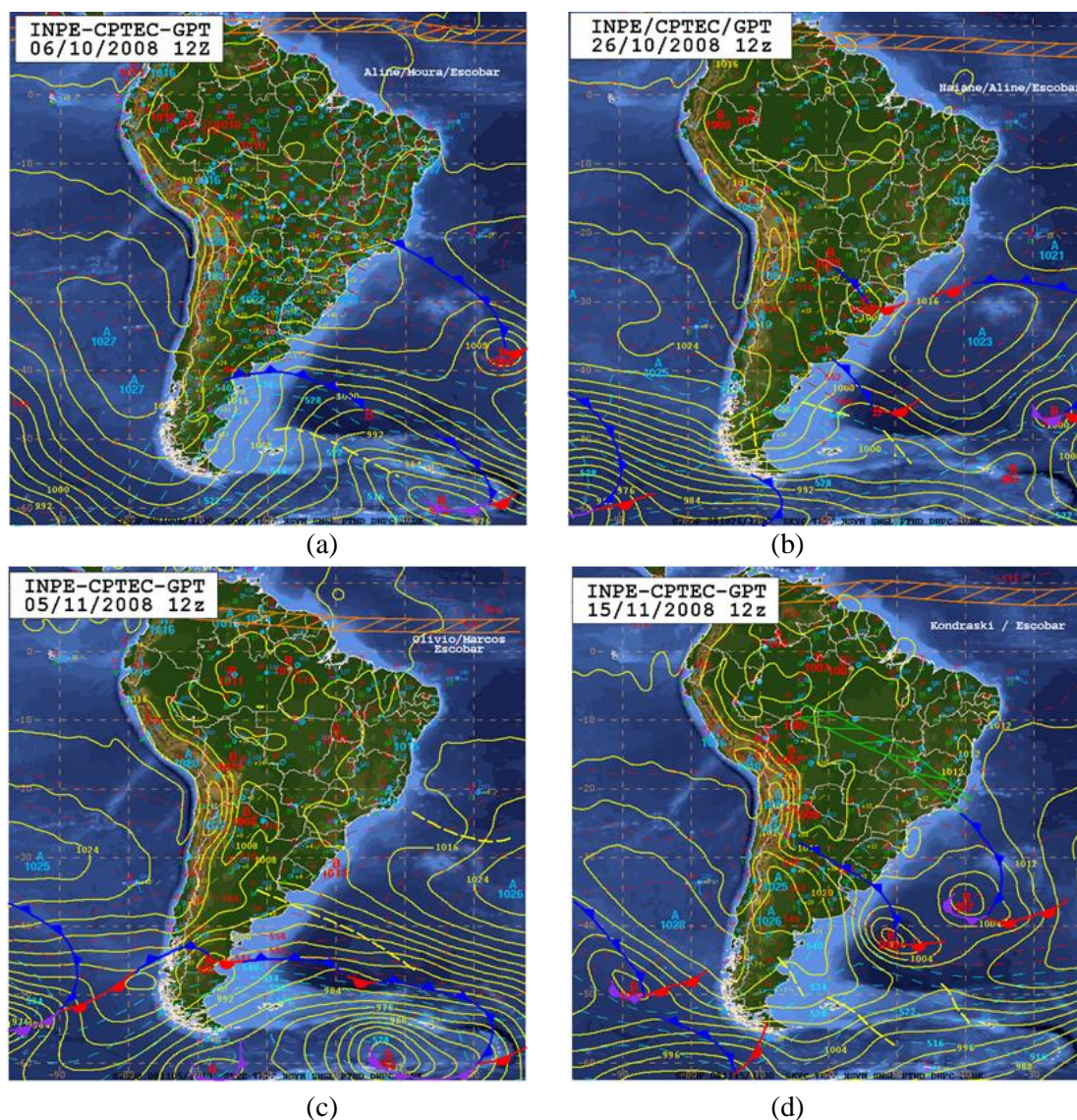


Figura 4.44 – Análises sinóticas para os dias (a) 06 de outubro, (b) 26 de outubro, (c) 05 de novembro, (d) 15 de novembro.

A partir de setembro o vento já começa a demonstrar reversões na sua componente meridional (Figura 4.45). A variação da componente meridional de sul para a componente meridional de norte na região norte do Brasil indica ventos soprando no sentido nordeste-sudoeste e transportando umidade oceânica e amazônica para as regiões de estudo. Observa-se um

predomínio de ventos com componente meridional de sul na estação seca, reversão para componente meridional de norte antecedendo o início da estação chuvosa e permanência da componente meridional nessa direção durante toda a estação chuvosa com valores de intensidade máxima do vento no pico da estação, significando um maior e mais rápido transporte de umidade.

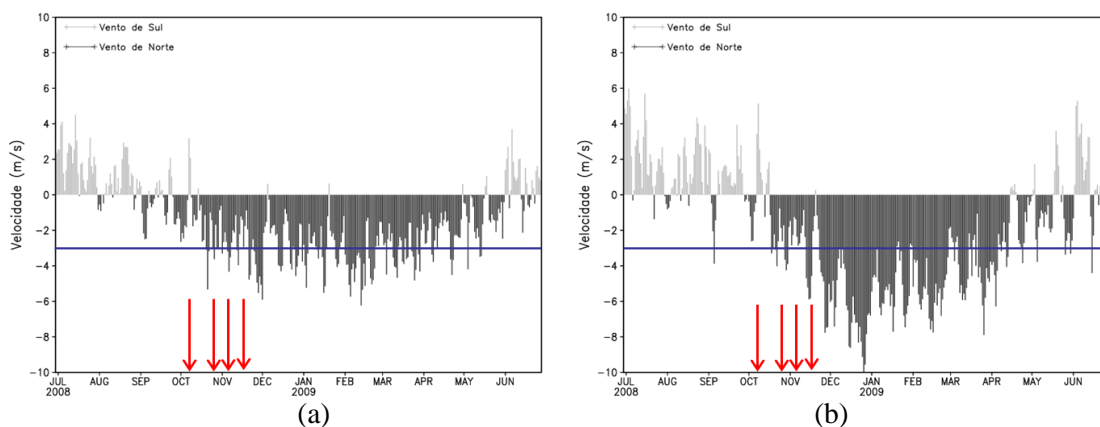
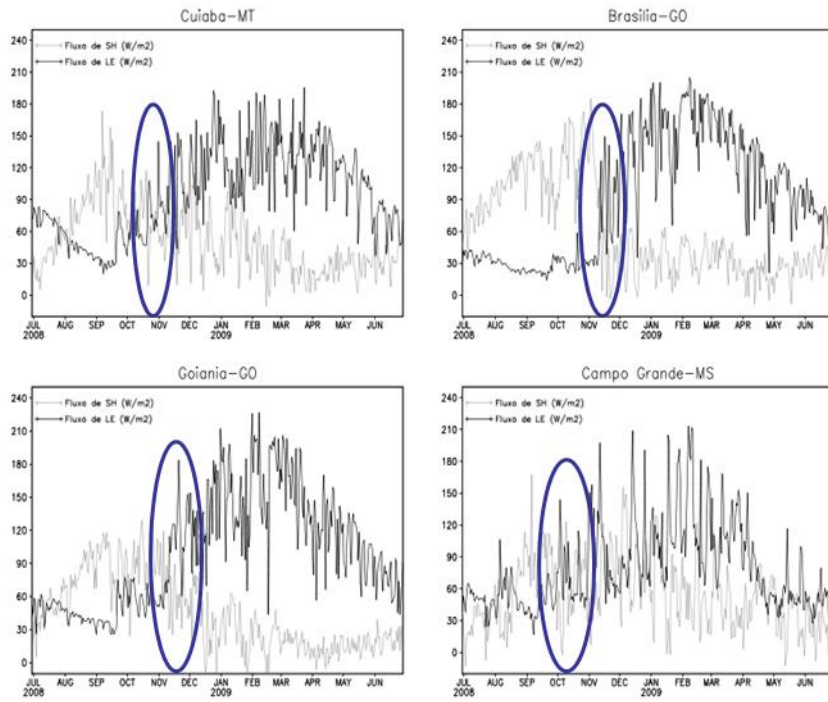


Figura 4.45 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2008/2009.

A Figura 4.46 apresenta os fluxos de calor sensível de fluxos de calor latente para estação chuvosa 2008/2009 e é usado como indicativo do início da estação chuvosa. Pela Figura 4.46 observa-se um núcleo de dia Juliano 230 correspondendo a 17 de agosto que aparenta ser devido à ocorrência de algum evento local que aumentou a umidade nesse dia e o mesmo pode ser comprovado pela Figura 4.46 (a) no quadro correspondente a Campo Grande – MS, onde se nota na metade de Agosto um predomínio momentâneo do fluxo de calor latente sobre o fluxo de calor sensível.

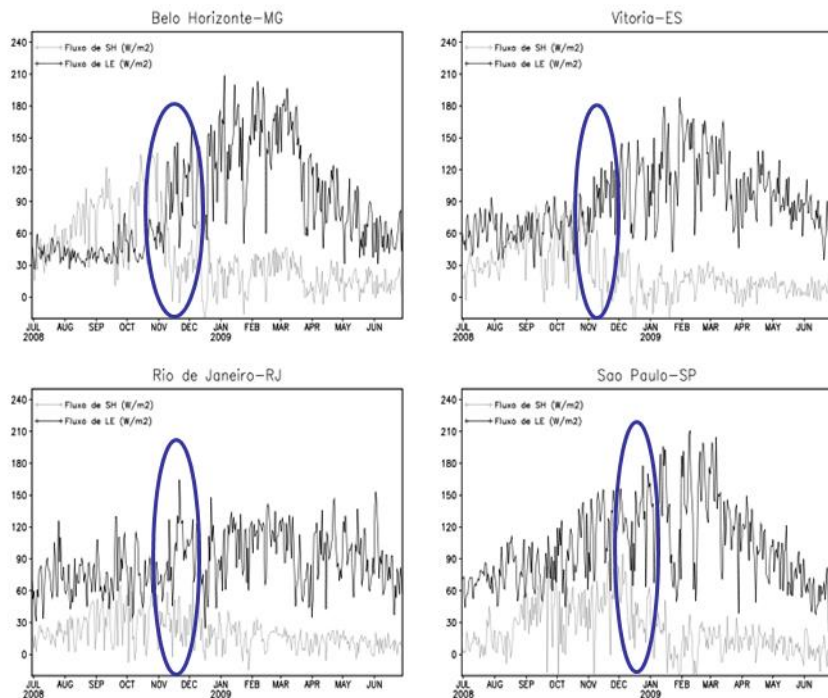
De um modo geral observa-se um aumento (decréscimo) gradativo do fluxo de calor latente (sensível) após ser atingido o mínimo (máximo) desse fluxo no pico da estação seca principalmente no Centro Oeste do Brasil.

Fluxos de LE e SH no CO do Brasil



(a)

Fluxos de LE e SH no SE do Brasil



(b)

Figura 4.46 – Idem a Figura 4.30 para a estação chuvosa 2008/2009.

Na área que compreende Brasília (Figura 4.46) é observado um aumento brusco do fluxo de calor latente e sobreposição ao fluxo de calor sensível em torno de 15 de novembro como consequência da atuação da ZCAS na região (Figura 4.44 (c)). O mesmo é observado em Goiânia e Belo Horizonte. Em Cuiabá observa-se um aumento contínuo do fluxo de calor latente a partir da metade de Setembro até que em novembro esse fluxo passa a dominar a região e se mantém característico da estação chuvosa, vindo a diminuir também de forma contínua no fim da estação chuvosa e início da estação seca.

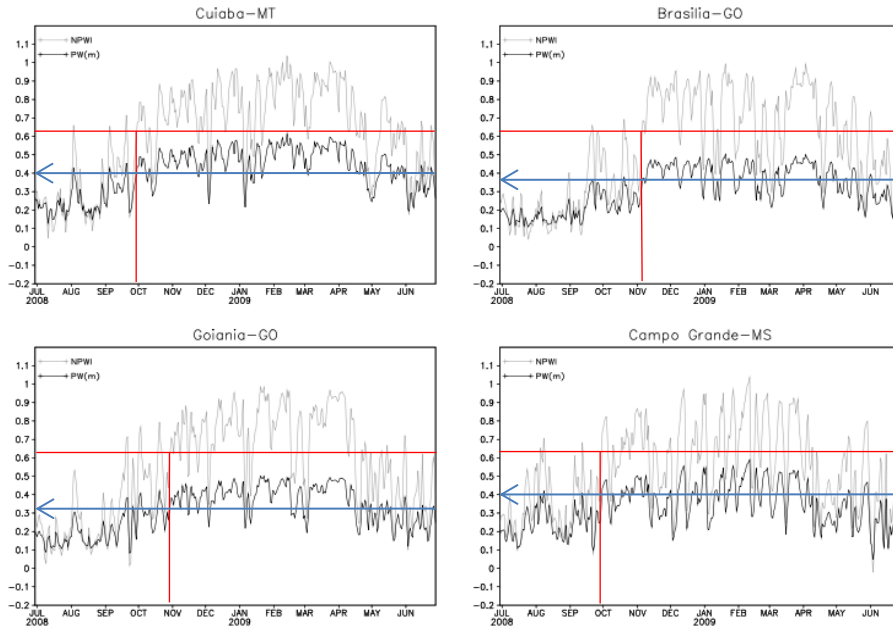
Na região sudeste se mantem o mesmo padrão dos outros anos, onde as capitais litorâneas apresentam o fluxo de calor latente sempre superior ao fluxo de calor sensível, mas com um aumento perceptível a partir de novembro.

Os valores de água precipitável no início dessa estação chuvosa nas diferentes áreas mostradas na Figura 4.47 ficaram da seguinte forma:

- a) Para a região Centro Oeste - Brasília – DF com 37 mm; Cuiabá – MT com 40 mm; Goiânia – GO com 31 mm e Campo Grande – MS com 39 mm.
- b) Para a região Sudeste – Belo Horizonte – MG com 37 mm; Vitória – ES com 40 mm, Rio de Janeiro – RJ com 40 mm e São Paulo – SP com 40 mm.

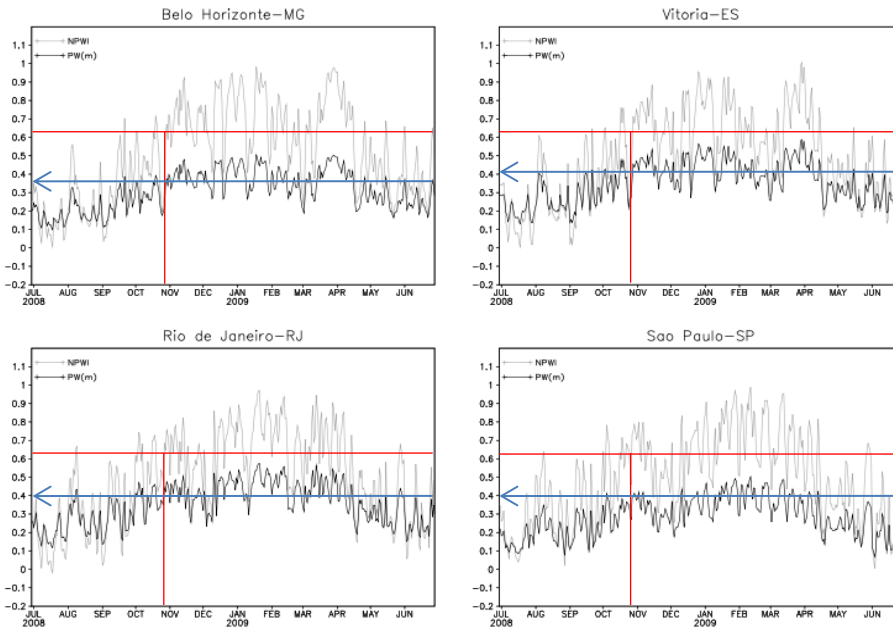
No Centro Oeste os valores máximos de água precipitável ficaram em torno de 50 mm e no Sudeste superaram essa marca.

Limiars de PW no CO do Brasil



(a)

Limiars de PW no SE do Brasil



(b)

Figura 4.47 – Idem a Figura 4.31 para a estação chuvosa 2008/2009.

4.3.10 Estação chuvosa 2009/2010

Na Figura 4.48 observa-se uma faixa de dia Juliano 220 correspondente ao dia 08 de agosto sobre parte do Mato Grosso do Sul, se estendendo sobre São Paulo até o oceano Atlântico Sul, o que sugere presença de um sistema frontal no oceano com ramo frio sobre os estados mencionados. Foi constatada através das análises sinóticas a presença de um sistema frontal nesse dia sobre o oceano Atlântico Sul, que vinha atuando nos dias anteriores sobre o continente nesses estados e nos dias que se seguiram mais sistemas frontais influenciaram o tempo e o campo de umidade nessas áreas. No dia 28 do mesmo mês (DJ=240) tem-se a indicação início da estação chuvosa no norte de Mato Grosso e o que se vê pelas análises é a presença de uma zona de convergência de umidade nos dias anteriores a partir do dia 25 até o dia 27. Esse ano nota-se claramente que a estação chuvosa inicia mais cedo em relação aos outros anos, pois na metade de Agosto ocorre a reversão da componente meridional do vento (Figura 4.49 (a)) no norte do Brasil e já se vê configurado o transporte de umidade no final desse mês como observado pelas análises sinóticas.

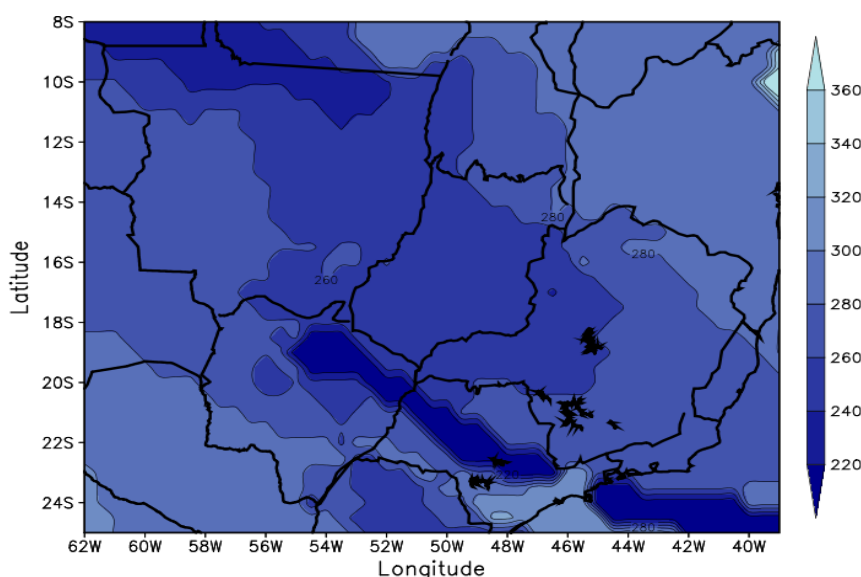


Figura 4.48 – Mapa com os dias Julianos do início da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro Oeste no ano de 2009.

Em setembro ocorre o primeiro pico de vento superior 3 m/s, valor esse que aumenta significativamente para próximo de 8 m/s nos momentos mais desenvolvidos da estação entre dezembro e fevereiro.

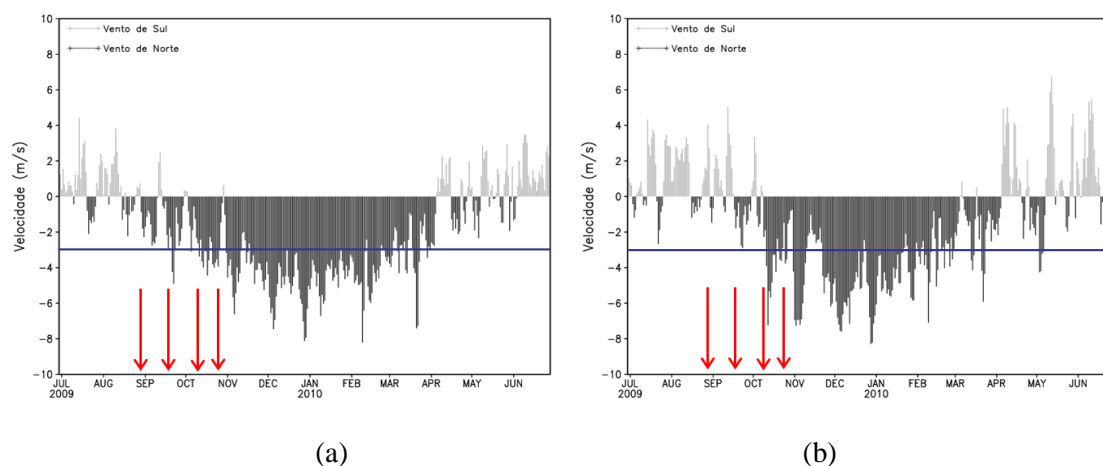


Figura 4.49 – Variação anual da média de área do vento meridional na região (a) norte do Brasil e na região (b) norte da América do Sul para a estação chuvosa 2009/2010.

A constante incursão de sistemas frontais sobre o continente e sua interação com a umidade que se vê bastante elevada nos dias mostrados na Figura 4.50 propiciam a ocorrência de eventos de ZCAS e como pode ser visto antes do final de outubro toda a área de estudo encontra-se dentro da estação chuvosa (Figura 4.48).

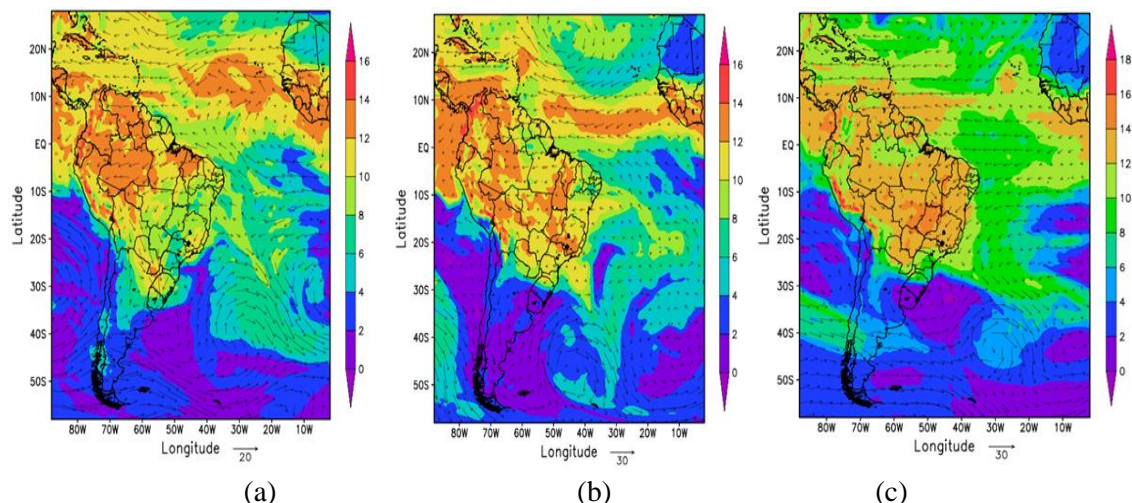


Figura 4.50 – Campos de umidade específica e vento no nível de 850 hPa nos dias (a) 17 de setembro, (b) 07 de outubro e (c) 27 de outubro de 2009.

Neste capítulo foram apresentadas as datas de início da estação chuvosa para áreas das regiões de estudo e investigados padrões de evolução e desenvolvimento de variáveis atmosféricas ao longo do ano com especial atenção para os instantes que precedem e acompanham o início da estação chuvosa. Utilizando as metodologias baseadas na variável chuva (Liebmann e Marengo (2001)) e na variável água precipitável (Zeng e Lu (2004)) foi feita uma comparação entre ambas que permitiu concluir que o início da estação chuvosa num ponto localizado no estado de Goiás é bem representado pelas duas metodologias. O ponto foi escolhido de forma a ficar centralizado na área de atuação da ZCAS visando a representatividade das metodologias na área de estudo.

A ênfase do presente estudo é dada a variável umidade e, portanto foi adotada como metodologia principal para a obtenção das datas de início da estação chuvosa, a proposta no estudo de Zeng e Lu (2004) com uma pequena adaptação no período de persistência de três para quatro dias em que o índice NPWI deve estar acima do limiar 0.618, com a finalidade de captar bem o sinal da ZCAS. Os primeiros resultados encontrados são referente ao desvio padrão associado às datas de início e observa-se que diferem um pouco dos encontrados nos estudos de Gan et. al., (2004) e Alves et. al. (2005), mas isso pode ser em virtude do intervalo de tempo menor escolhido no presente estudo ou mesmo devido a variações interanuais na estação chuvosa.

A tabela abaixo resume as principais datas de início da estação chuvosa encontradas.

Tabela 1. Principais datas do início da estação chuvosa.

Ano/Estado	MT	MS	GO	MG	ES	RJ	SP
2000-2001	05/11	05/12	05/11	05/11	05/11	15/11	05/12
2001-2002	17/10	16/11	17/10	16/11	16/11	16/11	16/11
2002-2003	06/11	16/11	06/11	16/11	16/11	16/11	26/11
2003-2004	07/10	16/11	06/11	16/11	16/11	26/11	06/12
2004-2005	16/10	16/10	26/10	26/10	25/11	16/10	16/10
2005-2006	27/09	17/10	06/11	06/11	27/10	27/10	27/10
2006-2007	27/09	07/10	27/09	07/10	27/10	27/10	27/10
2007-2008	27/10	17/10	27/10	06/11	27/10	27/10	17/10
2008-2009	26/10	06/10	15/11	15/11	15/11	05/11	05/11
2009-2010	17/09	27/10	17/09	07/10	07/10	07/10	27/10

De forma geral observa-se que as datas encontradas são coerentes com as que foram encontradas em alguns dos estudos apresentados no capítulo referente à revisão bibliográfica (Gan;Moscatti (2003); Gan et. al., (2004); Alves et. al., (2005); Silva (2012).

Como foi mostrado durante a discussão dos resultados, o vento na altura dos estados do Pará e da Amazônia sofre uma reversão de direção na sua componente meridional, passando a soprar de sul (na estação seca) para soprar de norte (na estação chuvosa). Essa reversão ocorreu na maioria das vezes entre os meses de Agosto e Setembro, e em seguida picos de intensidade do vento antecedem e/ou acompanham as datas de início da estação chuvosa e/ou ocorrência de eventos de ZCAS, o que sugere um transporte mais intenso de umidade para a região de estudo nesses momentos.

Esses resultados estão em concordância com o estudo de Wang e Fu (2002) que investigaram o fluxo de vento meridional cruzando o equador relacionando-o com o ciclo sazonal de chuva na América do Sul e identificaram dois regimes de circulação atmosférica que se alternam entre de ventos de norte e vento de sul exibindo uma grande variabilidade sazonal, sub-mensal e interanual. O regime de vento cruzando o equador é dominado pelos ventos de sul durante o inverno austral e dominado por ventos de norte durante o verão e a transição entre o regime de sul para o regime de norte se dá durante a primavera. Segundo os autores em geral o regime de ventos de sul favorece a chuva ao norte do equador enquanto o regime de ventos de norte favorece a um deslocamento da precipitação para a bacia Amazônica e para latitudes subtropicais da América do Sul. O início (fim) da estação chuvosa é conduzido por um aumento na frequência dos ventos de norte (sul).

Os resultados encontrados envolvendo a evolução dos fluxos de calor latente e fluxos de calor sensível também se mostram em concordância com os encontrados no estudo de Silva (2012).

Durante o período estudado registrou-se alguns episódios de ENOS cujas influências na estação chuvosa do Sudeste e Centro Oeste não foram investigados, porém foi levado

em conta o que apresenta a literatura sobre possíveis atrasos ou adiantamentos da estação (Leibmann; Marengo (2001); Alves et. al. (2005); Franchito et. al., (2010)). El Niño é tido como um fator de adiantamento da estação chuvosa e uma explicação plausível seria a quebra na circulação da célula de Walker, com movimento subsidente sobre o Nordeste inibindo chuvas nessa região e por continuidade de massa favorecendo a convergência em superfície e convecção sobre áreas do Sudeste e Centro Oeste. La Niña é tida como um fator de atraso da estação na região de estudo, e pode ser entendido tendo em conta as condições favoráveis para a convecção sobre o Nordeste durante esse evento, logo parte da umidade que vem do oceano, é consumida sobre o Nordeste havendo uma diminuição da componente leste/nordeste do fluxo de umidade que chega à região norte do Brasil responsável pela qualidade da estação chuvosa da área deste estudo.

5 CONCLUSÕES

Tendo em conta os objetivos traçados no início dessa pesquisa de estudar o comportamento de algumas variáveis a fim de encontrar algum padrão ou precursor para a identificação antecipada da estação chuvosa pode-se afirmar que o método usado para obter as datas de início da estação chuvosa se mostrou adequado para o uso na região de estudo, sendo necessário talvez aprimorar o critério de persistência.

Sistemas transientes mais lentos podem aumentar o conteúdo de umidade e chuvas, e assim indicar o falso início da estação chuvosa, pois esses sistemas podem dissipar-se ou mover-se para o oceano. Esse foi um caso recorrente na presença de sistemas frontais que se deslocavam sobre a área de estudo durante os meses de Agosto e Setembro. Todavia o método tem sua validade, pois havendo disponibilidade de umidade em toda a área de estudo através do transporte pelos ventos sobre a bacia Amazônica, o índice normalizado de água precipitável se mantém acima do limiar de 0,618 e persistindo por quatro dias facilmente se identifica o início da estação chuvosa. Esta por sua vez na maioria das vezes se encontrava relacionada a um evento de ZCAS associada à passagem de um sistema frontal ou ciclone subtropical no Atlântico.

As datas de início da estação chuvosa variaram um pouco de região para região e de ano para ano, mas em média ocorreram no sentido noroeste-sudeste se propagando à medida que a esteira de umidade atinge a região Centro Oeste normalmente em torno de Setembro/Outubro e posteriormente a região sudeste em torno de Outubro/Novembro. Observou-se um movimento oscilatório desse canal de umidade no sentido nordeste-sudoeste sendo conduzido principalmente pela passagem de sistemas frontais no oceano.

Foram analisados as variáveis vento e umidade específica em 850 hPa, pressão ao nível médio do mar, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível à superfície. Com os dados de vento e umidade específica em 850 hPa foi calculado a convergência de umidade que auxiliou nas análises da estação chuvosa.

Da série de variáveis analisadas foi observado um padrão de reversão do vento na sua componente meridional soprando de sul para norte na estação seca e de norte para sul na estação chuvosa. Essa reversão foi observada entre os meses de Agosto e Setembro, sugerindo um aporte de umidade no sentido nordeste-sudoeste, do Atlântico para a bacia Amazônica e posteriormente após encontrar e contornar a barreira natural dos Andes, essa umidade é canalizada pelos jatos de baixos níveis para as regiões Centro-Oeste e Sudeste ou para o nordeste da Argentina, Paraguai, Uruguai e sul do Brasil (Bacia do Prata) como descrito por Herdies et. al., (2002) que caracterizaram eventos com ZCAS e sem ZCAS respectivamente. Essa reversão do vento meridional pode ser encarada como um precursor do início da estação chuvosa, mas necessita de mais estudos para o seu entendimento. Foi observado também picos de intensidade na velocidade da componente meridional do vento a partir de 3 m/s na região norte do Brasil, antecedendo ou acompanhando eventos de ZCAS ou algumas datas de início da estação chuvosa indicadas pela metodologia.

A análise dos fluxos de calor em superfície não revelou nenhum padrão precursor, mas é um bom indicativo do estabelecimento do início da estação chuvosa, com uma inversão no domínio dos fluxos. Na estação seca o fluxo de calor sensível é maior do que o fluxo de calor latente em decorrência dos solos secos, pouca chuva e umidade baixa. Esse cenário se inverte nas proximidades da estação chuvosa, com as primeiras chuvas atuando no sentido de diminuir o fluxo de calor sensível e então o fluxo de calor latente aumenta e passa a dominar durante a estação chuvosa.

O campo de pressão ao nível médio do mar não foi analisado profundamente, pelo que não foi observado nenhum padrão, mas acredita-se que no campo da pressão resida a chave para essa reversão do vento. Um estudo detalhado sobre o posicionamento e curvatura dos sistemas de altas e baixas pode revelar como tais sistemas influenciam o fluxo de umidade para o disparo da convecção.

A análise do campo de convergência de umidade em 850 hPa, demonstrou indícios de que parte da convergência deve ocorrer também em outros níveis da atmosfera.

Os limiares de água precipitável no início da estação chuvosa também variaram de região para região, ficando em torno de 35 mm a 40 mm para as litorâneas como Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo, 38 mm a 40 mm em Goiás e Minas Gerais, em torno de 40 mm em Mato Grosso do Sul e acima de 40 mm em Mato Grosso. Valores máximos em torno de 50 mm foram observados no pico da estação chuvosa em alguns pontos da região estudada.

A reversão da componente meridional do vento sobre o norte do Brasil merece uma atenção maior e será foco de futuras pesquisas, mas até então foi o único indício de precursor do estabelecimento da estação chuvosa nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Como sugestão para estudos futuros pode-se analisar os ventos sobre as regiões da Amazônia e do Pará provenientes do Atlântico Sul e impulsionados pela Alta Subtropical e comparar seus efeitos no transporte de umidade em relação aos ventos no norte do continente provenientes dos Alísios do hemisfério norte.

É de interesse estender este trabalho e estudar o papel da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para averiguar se no seu movimento anual oscilatório inter-hemisférico o seu posicionamento pode ou não influenciar na quantidade de umidade a ser transportada da Amazônia Equatorial para a região de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.A.; MARENGO, J.A.; JÚNIOR, H.C.; CASTRO, C. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p.385-394, 2005.

BENTON, G.S.; ESTOQUE, M.A. Water-vapour transfer over the North American Continent. **Journal of Meteorology**, v. 11, p. 462-477, 1954.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário 2xCO₂ usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, 58-72, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; SILVA, A. E.; JONES, C.; LIEBMANN, B.; DIAS, P. L. S.; ROCHA, H. R. Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. **Climate Dynamics**, v.36 p. 1865-1880, 2011. doi: 10.1007/s00382-010-0806-2.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; POSADAS, A. N. D.; Quiroz, R.; BOOKHAGEN, B.; LIEBMANN, B. Precipitation Characteristics of the South American Monsoon System Derived from Multiple Datasets. **Journal of Climate**, v. 25, p. 4600–4620, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00335.1>

CAVALCANTI, E. P. **Teor e transporte de vapor d'água na atmosfera do nordeste do Brasil**. 115 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal da Paraíba (UFPb), Campina Grande, 2001.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J. ; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1. 463p.

FERREIRA, S. A.; GAN, M. A. Intraseasonal variability in the South American monsoon system. **Atmosph. Sci. Lett.**, v. 12, p. 253–260, 2011. doi: 10.1002/asl.328.

FRANCHITO, S. H.; BRAHMANANDA RAO, V.; GAN, M. A.; SANTO, C. M. E. Onset and end of the rainy season and corn yields in São Paulo State, Brazil. **Geofísica Internacional** [online], v.49, n.2, p. 69-76, 2010.

Acesso em 09 abr. de 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692010000200002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0016-7169.

GAN, M. A.; MOSCATI, M. C. L. Estação chuvosa de 2001/2002 na região Centro Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.18, n.2, 181-194, 2003.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v.17, n.1, p. 47-66, 2004.

GAN, M. A.; RAO, V. B.; MOSCATI, M. C. L. South American monsoon indices. **Atmosph. Sci. Lett.**, v. 6, p. 219–223, 2006. doi: 10.1002/asl.119.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T., Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **Int. J. Climatol.**, v. 33, p. 188–198, 2013. doi: 10.1002/joc.3417

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. San Diego: Academic Press, 1994. 1990. p. 379-387.

HERDIES, D. L.; SILVA, A.; SILVA DIAS, M. A. F.; NIETO FERREIRA, R. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America, **J. Geophys. Res.**, v. 107(D20), p. 8075, 2002. doi:10.1029/2001JD000997.

HOWARTH, D.A. Seasonal variations in the vertically integrated water vapor transport fields over the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**. AMS, Boston, USA. V. 111, p. 1259-1272, 1983.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B. Forecast Skill of the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, v. 25, p. 1883-1889, 2012. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00586.1.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Climate change in the South American Monsoon System: present climate and CMIP5 projections. **Journal of Climate**, v. 26, p. 6660-6678, 2013. doi:10.1175/JCLI-D-12-00412.1.

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

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A.; GLICK, J. D.; KOUSKY, V. E.; WAINER, I. C.; MASSAMBANI, O. A Comparison of Rainfall, Outgoing Longwave Radiation, and Divergence over the Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2898–2909, 1998.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308–4318. 2001. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2)

LIEBMANN, B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, L. M. V.; ALLURED, D.; FU, R.; VERA, C. S. Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 20, p. 2037–2050, 2007.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; CASTRO, C. A. C.; MENDES, D. **Início da estação chuvosa nas regiões SE/CO/S do NE do Brasil afetados pela crise de energia.** Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 2001. Disponível em: < <http://energia1.cptec.inpe.br/iniciochuvas.shtml> > Acesso em 07 mar. de 2013.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833–852, 2001.

MARENGO, J. A.; 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, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32: p. 1–21, 2012. doi: 10.1002/joc.2254.

MEANS, J. D. **GPS precipitable water measurements used in the analysis of California and Nevada climate.** Tese (Doutorado em Ciências da Terra) Universidade da Califórnia, San Diego. 2011. Disponível em: <http://escholarship.org/uc/item/5pq778q7> Acesso em 06 de Maio de 2013

MEANS, J.D. GPS Precipitable Water as a Diagnostic of the North American Monsoon in California and Nevada. **Journal of Climate**, v. 26, p. 1432–1444. 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00185.1>

PEIXOTO, J.P. O campo da divergência do transporte de vapor de água na atmosfera. **Rev. Fac. Ciências de Lisboa**, Portugal. Separata, 2ª série B. v. 7, 25-56. 1959.

PEIXOTO, J. P. **Moisture transport in the atmosphere over the Mediterranean region**. Paris: UNESCO. 1981. 34p. Technical Documents in Hydrology. Disponível em: < http://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/TD_SC81_WS074.pdf >. Acesso em: 06 maio 2013.

QUADRO, M. F. L.; DIAS, M. A. F. S.; 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**, v. 27, n. 2, p. 152 - 162, 2012. doi: <10.1590/S0102-77862012000200004>

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The Life Cycle of the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, v. 21, p. 6227–6246, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2249.1>

RAO, G. V., AND ERDOGAN, S. The atmospheric heat source over the Bolivian Plateau for a mean January. **Bound.-Layer Meteor.**, v. 46, p. 13–33. 1989.

RAO, V.B.; CAVALCANTI, I.F.A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**. Washington, USA. V. 27, p. 26539-26551, 1996.

RAO, V.B.; CHAPA. S.R; CAVALCANTI, I.F.A. Moisture budget in the tropics and the Walker circulation. **Journal of Geophysical Research**. Washington, USA. v. 103, p. 13713-13728, 1998.

ROSEN, R.D.; SALSTEIN, D.A.; PEIXOTO, J.P. Variability in the annual fields of large-scale atmospheric water vapor transport. **Monthly Weater Review**. AMS, Boston, USA. v. 107, p. 26-37, 1979.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observation Precipitation: Technique and Validation Over South America. **Weather and Forecasting**: v. 25, p. 885–894, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

SAHA, S.; and Coauthors, The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 91, p. 1015–1057, 2010.

doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>

SALATHÉ, E.P.; CHESTERS, D.; SUD, Y.C. Evaluation of the upper-tropospheric moisture climatology in a general circulation model using TOVS radiance observations. **Journal of Climate**. AMS, Boston, USA. v. 8, p. 2404-2414, 1995.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A. C, Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. **J. Geophys. Res.**, v. 107(D24), p. 4816, 2002. doi: 10.1029/2001JD001315.

SANTOS E SILVA, C. M.; DA SILVA, F. R.; LEME, N. P. Ciclo anual de precipitação como função de índices de instabilidade termodinâmica e fluxos de energia estática: análises em Maxaranguape-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p. 235-242, 2011.

SILVA, A. B. **Influência dos fluxos de calor em superfície no início e no final da estação chuvosa sobre a região centro-oeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em

Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. xxxii + 169 p.; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.15.18.09-TDI)

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977–5000, 2006. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3896.1>

WALLACE, J.; HOBBS, P.V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2^a ed. Academic Press, 2006. 483 p. ISBN: 0-12-731951-X.

WANG, H.; FU, R. Cross-Equatorial Flow and Seasonal Cycle of Precipitation over South America. **Journal of Climate**, v. 15, p. 1591–1608, 2002. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2)

WITTMAYER, I.L.; HAAR, T.H.V. Analysis of the global ISCCP TOVS water vapor climatology. **Journal of Climate**. AMS, Boston, USA. v. 7, p. 325-333, 1994.

ZENG, X.; LU, E. Globally Unified Monsoon Onset and Retreat Indexes. **Journal of Climate**, v. 17, p. 2241–2248, 2004. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2241:GUMOAR>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2241:GUMOAR>2.0.CO;2)

ZHOU, J.; LAU, K.-M. Does a Monsoon Climate Exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, p. 1020–1040, 1998. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2)

Bibliografia Recomendada: Vocabulário Meteorológico Mundial, OMM – N° 182.

APENDICE A

Tabela A.1 – Calendário de Dia Juliano para anos não bissextos: 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2009. (Fonte: <http://amsu.cira.colostate.edu/julian.html>)

Data	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Tabela A.2 – Calendário de Dia Juliano para anos bissextos: 2000, 2004, 2008(Fonte: <http://amsu.cira.colostate.edu/leap.html> - acesso 21/01/2014)

Data	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
2	2	33	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
3	3	34	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
4	4	35	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
5	5	36	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
6	6	37	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
7	7	38	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
8	8	39	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
9	9	40	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
10	10	41	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
11	11	42	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
12	12	43	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
13	13	44	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
14	14	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
15	15	46	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
16	16	47	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
17	17	48	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
18	18	49	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
19	19	50	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
20	20	51	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
21	21	52	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
22	22	53	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
23	23	54	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
24	24	55	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
25	25	56	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
26	26	57	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
27	27	58	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
28	28	59	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
29	29	60	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
30	30		90	121	151	182	212	243	274	304	335	365
31	31		91		152		213	244		305		366