



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.01.16.01-TDI

**AVALIAÇÃO DA DESTREZA DO MODELO DE
CIRCULAÇÃO GERAL DO CPTEC EM PREVER O
INÍCIO E O FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO
CENTRO-OESTE DO BRASIL**

Luiz Fernando dos Santos

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Manoel Alonso Gan, aprovada em
25 de fevereiro de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L4KE9H>>

INPE
São José dos Campos
2016

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@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

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

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.01.16.01-TDI

**AVALIAÇÃO DA DESTREZA DO MODELO DE
CIRCULAÇÃO GERAL DO CPTEC EM PREVER O
INÍCIO E O FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO
CENTRO-OESTE DO BRASIL**

Luiz Fernando dos Santos

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Manoel Alonso Gan, aprovada em
25 de fevereiro de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L4KE9H>>

INPE
São José dos Campos
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Santos, Luiz Fernando dos.

Sa59a Avaliação da destreza do modelo de circulação geral do CPTEC em prever o início e o fim da estação chuvosa na região centro-oeste do Brasil / Luiz Fernando dos Santos. – São José dos Campos : INPE, 2016.

xxvi + 129 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.01.16.01-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientador : Dr. Manoel Alonso Gan.

1. Monção. 2. Estação chuvosa. 3. Modelo. 4. Previsão sazonal.
I.Título.

CDU 551.553.21



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

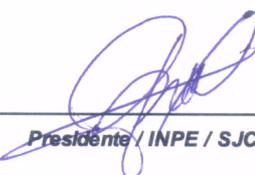
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Luiz Fernando dos Santos**

Título: " AVALIAÇÃO DA DESTREZA DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DO CPTEC EM PREVER O INÍCIO E O FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL "

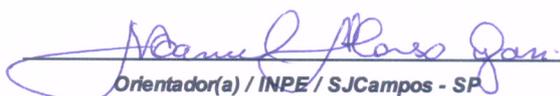
Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em **Meteorologia**

Dr. Julio Pablo Reyes Fernandez



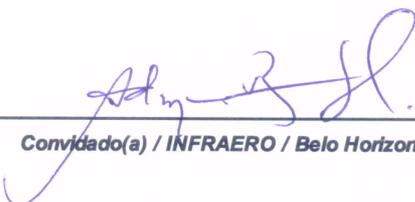
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Manoel Alonso Gan



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Adma Raia Silva



Convidado(a) / INFRAERO / Belo Horizonte - MG

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”.

MAHATMA GANDHI

A meus pais,

João Batista dos Santos e Benedita Maria de Oliveira Santos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a meus pais, João Batista e Benedita Maria, pelo apoio e incentivo aos estudos. Sempre acreditaram no meu potencial e me motivaram a continuar. Também, a meus irmãos: João Kleber, José Augusto e Leonardo.

Ao Dr. Manoel Alonso Gan, pela orientação, tema sugerido para o presente trabalho, aulas ministradas, atenção e conhecimento transmitidos durante o mestrado.

Ao Dr. Paulo Yoshio Kubota, pela disponibilidade em me auxiliar no uso e entendimento do MCGA/CPTEC, além dos conselhos e sugestões para o andamento do trabalho.

À Dra. Ariane Frassoni dos Santos de Mattos, Dra. Mári Ândrea Feldman Firpo e Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros pelas opiniões, sugestões e críticas construtivas que contribuíram para a concretização do presente trabalho.

À Banca examinadora, composta pelo Dr. Julio Pablo Reyes Fernandez e Dra. Adma Raia Silva, pelas sugestões para a elaboração da versão final desta dissertação.

À secretaria e corpo docente do programa de Pós-Graduação em Meteorologia do INPE pelo suporte e infraestrutura fornecida nesses anos.

Aos amigos e colegas da PGMET/INPE, Rute, José Davi, Lianet, Helena, Bianca, Diogo, Aline entre outros, pelo companheirismo, motivação, apoio e momentos vividos durante esses anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos oferecida durante o mestrado.

E aos demais que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica, meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a destreza do Modelo Global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos em identificar as datas de início e fim da estação chuvosa sobre a região Centro-Oeste do Brasil. Foi gerado um conjunto de 15 membros de previsões climáticas sazonais retrospectivas da versão 3.0 do modelo para 15 estações chuvosas (2000/2001 a 2014/2015). As previsões foram rodadas com as condições iniciais dos meses de abril a julho, temperatura da superfície do mar (TSM) persistidas dos meses de junho a agosto, para os trimestres de agosto/setembro/outubro, setembro/outubro/novembro e outubro/novembro/dezembro, respectivamente, para prever o início da estação chuvosa. E as rodadas de setembro a novembro, com TSM persistida de novembro a janeiro, referentes ao trimestre de janeiro/fevereiro/março, fevereiro/março/abril e março/abril/maio, respectivamente, para prever o fim. Esse conjunto de dados foi analisado e comparado com os dados do *Climate Data Record* e do *Climate Prediction Center*, ambos do *National Oceanic and Atmospheric Administration*, e do *Climate Forecast System Reanalysis* do *National Centers for Environmental Prediction*. O primeiro possui uma resolução espacial de 1° de latitude e longitude, enquanto que os dois últimos apresentam resolução de 0,5° de latitude e de longitude. A identificação das datas de início e fim da estação chuvosa sobre a região foi baseada em sete índices que representam o comportamento atmosférico da região característico de um regime de monção. As variáveis-base desses índices foram: vento e precipitação (GAN et al., 2004, 2006); transporte de umidade (RAIA; CAVALCANTI, 2008); radiação de onda longa (GARCIA; KAYANO, 2009, 2013); e água precipitável (NEVES et al., 2013). Após a identificação das datas para cada membro foram calculadas as datas médias e os desvios-padrão de cada índice. Além disso, as previsões sazonais das estações de 2011/2012 a 2014/2015 foram comparadas com as previsões da versão operacional do modelo. O modelo representou relativamente bem o início e fim da estação chuvosa no Centro-Oeste do Brasil. Os índices que melhor representaram a estação chuvosa foram o ICVZ, INAP e ROLANT. A previsão climática sazonal de agosto (fevereiro) mostrou maior destreza em identificar o início (fim) da estação chuvosa na região de estudo. Nas comparações entre as datas entre os dados da versão 3.0 e operacional do modelo, a versão 3.0 apresentou datas mais próximas ao encontrado pelo índice de precipitação para a maioria dos índices, porém uma série maior de estações chuvosas e outros parâmetros devem ser analisados.

Palavras-chave: Monção. Estação Chuvosa. Modelo. Previsão Sazonal.

EVALUATION OF CPTEC GENERAL CIRCULATION MODEL'S SKILL IN PREDICTING THE ONSET AND THE DEMISE OF THE RAINY SEASON IN THE WESTERN-CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT

This study aims to evaluate the skill of the Global Weather Forecast and Climate Studies Center Model to identify the onset and the demise of the rainy season on the Western-Central Brazil. It had generated a ensemble of 15 members of retrospective seasonal climate forecasts version 3.0 model for 15 rainy seasons (2000/2001 to 2014/2015), The forecasts were integrated with the initial conditions from April to July, the persisted sea surface temperature (SST) from June to August, for the quarter August/September/October, September/October/November and October/November/December, respectively, to predict the onset of the rainy season; and the initial conditions from September to November, with SST persisted from November to January for the quarter January/February/March, February/March/April and March/April/May, respectively, to predict the demise. This data set was analyzed and compared with data from the Climate Data Record and the Climate Prediction Center, both from the National Oceanic and Atmospheric Administration, and the Climate Forecast System Reanalysis of the National Centers for Environmental Prediction. The first has a spatial resolution of 1° of latitude and longitude, and the last two have resolution of 0.5° of latitude and longitude. The onset and the demise of the rainy season over the region were based on seven indices and they represent the atmospheric behavior of the characteristic region of a monsoon regime. The base variables of the indices: wind and precipitation (GAN et al, 2004, 2006.); moisture transport (RAIA; CAVALCANTI, 2008); outgoing longwave radiation (GARCIA; KAYANO, 2009, 2013); and precipitable water (NEVES et al., 2013). Also were calculated the mean dates and standard deviation of the dates found from each index. In addition, the seasonal forecasts of the 2011/2012 to 2014/2015 were compared with the forecast of the operational version model. The model represented fairly well the onset and demise of the rainy season in the Western-Central Brazil. The indices that best represented the rainy season were the ICVZ, INAP and ROLANT. The seasonal climate prediction of August (February) showed greater skill in identifying the onset (demise) of the rainy season in the study area. In the comparisons between the dates between version 3.0 and operational version model, version 3.0 presented earlier dates found by the rainfall index for most indices, but a larger number of rainy seasons and other parameters should be analyzed.

Keywords: Monsoon. Rainy Season. Model. Seasonal Forecast.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 – Esquema de previsão climática sazonal	28
Figura 3.2 – Área de estudo: região Centro-Oeste do Brasil (COB).....	30
Figura 3.3 – COB e sua região antissimétrica referente (ANT).	33
Figura 4.1 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Agosto/Setembro/Outubro (ASO), Setembro/Outubro/Novembro (SON) e Outubro/Novembro/Dezembro (OND) com os dados do CPC (coluna à esquerda) e MCGA 3.0 (coluna à direita) para as EC de 2000-2001 a 2009-2010. Para o MCGA 3.0 foi utilizada a média dos 15 membros do conjunto de previsão.....	39
Figura 4.2 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 200 hPa e com dados do CFSR.	41
Figura 4.3 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 850 hPa.	43
Figura 4.4 – Idem ao anterior, mas para ROL ($W.m^{-2}$) e com dados do CDR. .	45
Figura 4.5 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica ($g.kg^{-1}$) em 925 hPa e com dados do CFSR.	46
Figura 4.6 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável ($kg.m^{-2}$).	48
Figura 4.7 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Janeiro/Fevereiro/Março (JFM), Fevereiro/Março/Abril (FMA) e Março/Abril/Maio (MAM) com os dados do CPC (coluna à esquerda) e MCGA 3.0 (coluna à direita) para as EC de 2000-2001 a 2009-2010. Para o MCGA 3.0 foi utilizada a média dos 15 membros do conjunto de previsão.	50
Figura 4.8 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 200 hPa e com dados do CFSR.	52

Figura 4.9 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 850 hPa.....	54
Figura 4.10 – Idem ao anterior, mas para a ROL ($W.m^{-2}$) e com dados do CDR. 55	
Figura 4.11 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica ($g.kg^{-1}$) em 925 hPa e com dados do CFSR.	57
Figura 4.12 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável ($kg.m^{-2}$).....	58
Figura 4.13 – Média diária climatológica no período de 2000-2010 sobre a América do Sul. O retângulo delimita a região do COB.	60
Figura 4.14 – Coeficiente de correlação entre a precipitação sobre o COB e os seis índices, no período de 2000-2010. Valores de correlação acima de 0,1 são significativos estatisticamente, segundo o teste t-Student.	61
Figura 4.15 – Ciclo anual climatológico do IVZ850 e da precipitação média, em pêntadas, sobre a região do COB no período de 2000-2010.	63
Figura 4.16 – Idem a anterior, mas para o ICVM.	65
Figura 4.17 – Idem ao anterior, mas para o ICVZ.....	66
Figura 4.18 – Idem ao anterior, mas para o ROLANT.	67
Figura 4.19 – Idem ao anterior, mas para o INAP.....	68
Figura 4.20 – Idem ao anterior, mas para o TUZN.	69
Figura 4.21 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Agosto/Setembro/Outubro (ASO), Setembro/Outubro/Novembro (SON) e Outubro/Novembro/Dezembro (OND) com os dados do MCGA/CPTEC 3.0 (coluna à esquerda) e MCGA/CPTEC OPER (coluna à direita) para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. Em ambas as versões foram utilizadas a média dos 15 membros do conjunto de previsão.....	91
Figura 4.22 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 200 hPa.	93
Figura 4.23 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 850 hPa.	94

Figura 4.24 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica (g.kg^{-1}) em 925 hPa.	96
Figura 4.25 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável (kg.m^{-2}).....	97
Figura 4.26 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de janeiro/fevereiro/março (JFM), fevereiro/março/abril (FMA) e março/abril/maio (MAM) com os dados do MCGA/CPTEC 3.0 (coluna à esquerda) e MCGA/CPTEC OPER (coluna à direita) para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. Em ambas as versões foram utilizadas a média dos 15 membros do conjunto de previsão.	99
Figura 4.27 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 200 hPa.....	100
Figura 4.28 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 850 hPa.....	102
Figura 4.29 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica (g.kg^{-1}) em 925 hPa.	103
Figura 4.30 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável (kg.m^{-2}).....	104
Figura 4.31 – Comparação entre as datas de IEC com os dados da versão 3.0 (linha contínua) e OPER (linha pontilhada) do MCGA/CPTEC, nas previsões de julho (J-ASO), agosto (A-SON) e setembro (S-OND) com o IVZ850 (a), ICVM (b), ICVZ (c), INAP (d) e TUZN (e), para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. As datas identificadas pelo IP (linha vermelha) são consideradas como referência para a comparação.	106
Figura 4.32 – Idem a anterior, mas para o FEC e as previsões de dezembro (D-JFM), janeiro (J-FMA) e fevereiro (F-MAM).	110

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Resumo das principais características dos processos físicos e dinâmicos do MCGA/CPTEC.....	25
Tabela 4.1 – Datas do IEC na região do COB identificadas pelos sete índices no período de 2000-2010 e utilizando os dados do CFSR, CDR e CPC.	70
Tabela 4.2 – Idem a anterior, mas para as datas de FEC.....	72
Tabela 4.3 – Datas de IEC pelo IVZ850 com os dados do CPC, CFSR e das previsões climáticas sazonais de julho (J-ASO), agosto (A-SON) e setembro (S-OND) no período de 2000-2010.....	74
Tabela 4.4 – Idem a anterior, mas para o ICVM.....	76
Tabela 4.5 – Idem a anterior, mas para o ICVZ.	78
Tabela 4.6 – Idem a anterior, mas para o INAP.	79
Tabela 4.7 – Idem a anterior, mas para o ROLANT e dados do CDR.....	80
Tabela 4.8 – Idem a anterior, mas para o TUZN e dados do CFSR.....	81
Tabela 4.9 – Datas de FEC pelo IVZ850 com os dados do CFSR, CPC e das previsões climáticas sazonais de dezembro (D-JFM), janeiro (J-FMA) e fevereiro (F-MAM) no período de 2000-2010.....	82
Tabela 4.10 – Idem a anterior, mas para o ICVM.....	83
Tabela 4.11 – Idem a anterior, mas para o ICVZ.	84
Tabela 4.12 – Idem a anterior, mas para o INAP.	85
Tabela 4.13 – Idem a anterior, mas para o ROLANT e dados do CDR.....	86
Tabela 4.14 – Idem a anterior, mas para o TUZN e dados do CFSR.....	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AP	Água Precipitável
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASO	Agosto/Setembro/Outubro
ASPS	Alta Subtropical do Pacífico Sul
BAC	Bacia Amazônica Central
BC	Baixa do Chaco
CAPE	Energia Potencial Disponível para a Convecção
CC	Condição de Contorno
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CDR	Climate Data Record
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CHM	Ciclo Hidrológico da Monção
CI	Condição Inicial
CLIVAR/VAMOS	Variabilidade do Clima do Sistema de Monções das Américas
COB	Centro-Oeste do Brasil
COLA	Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies
CP	Coeficiente de Correlação de Pearson
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DP	Desvio-Padrão
E	Evapotranspiração
EC	Estação Chuvosa
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENOS	El Niño / Oscilação Sul
EOF	Funções Ortogonais Empíricas
FEC	Fim da Estação Chuvosa
FMA	Fevereiro/Março/Abril

FNL	Final Operation Global Analysis
GDAS	Global Data Assimilation System
GFS	Global Forecast System
GPS	Global Positioning System
GTS	Global Telecommunications System
HIRS	High Resolution Infrared Radiation Sounder
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
ICVM	Índice de Cisalhamento do Vento Meridional
ICVZ	Índice de Cisalhamento do Vento Zonal
IEC	Início da Estação Chuvosa
INAP	Índice Normalizado de Água Precipitável
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice de Precipitação
IVZ850	Índice do Vento Zonal em 850 hPa
JAN	Jatos de Altos Níveis
JBN	Jato de Baixos Níveis
JFM	Janeiro/Fevereiro/Março
LISAM	Índice de grande escala da Monção da América do Sul
LMA	Laboratório de Modelagem Atmosférica
MAM	Março/Abril/Maio
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MESA	Monsoon Experiment in South America
MRI	Meteorological Research Institute
NCEP	National Centers for Environment Prediction
NEB	Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OGP	Office of Global Programs
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
OND	Outubro/Novembro/Dezembro
OPER	Operacional
P	Precipitação

PACS	Estudos Climáticos Pan-Americanos
PCD	Plataformas de Coletas de Dados
PMD	Precipitação Média Diária
PSA	Padrão do Pacífico-América do Sul
ROC	Relative Operating Characteristic
ROL	Radiação de Onda Longa
ROLANT	Radiação de Onda Longa equatorialmente antissimétrica
SMAN	Sistema de Monção da América do Norte
SMAS	Sistema de Monção da América do Sul
SON	Setembro/Outubro/Novembro
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TUZ	Transporte de Umidade Zonal
TUZN	Transporte de Umidade Zonal Normalizado
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
WMO	Organização Meteorológica Mundial
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Aspectos gerais sobre Monção e Estação Chuvosa	7
2.2. Modelo de Circulação Geral da Atmosfera	15
3. DADOS E METODOLOGIA	23
3.1. Descrição dos dados e modelo	23
3.1.1. Dados	23
3.1.2. Modelo	25
3.2. Metodologia	27
3.2.1. Previsão retrospectiva	27
3.2.2. Comportamento das variáveis climáticas	28
3.2.3. Índices de identificação das datas do IEC e FEC	29
3.2.4. Datas de IEC e FEC sobre o COB a partir do MCGA/CPTEC	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Características climatológicas das variáveis	37
4.2. Características climatológicas dos índices de IEC e FEC	59
4.3. Datas de IEC e FEC sobre o COB a partir do MCGA/CPTEC	74
4.4. Comparação das datas de IEC e FEC do MCGA/CPTEC 3.0 e MCGA/CPTEC OPER	90
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1. INTRODUÇÃO

Várias das atividades socioeconômicas são influenciadas, direta ou indiretamente, pelas condições do tempo e pela variabilidade do clima. Ondas de calor e frio, chuvas intensas, inundações, estiagens, entre outros eventos extremos, afetam a América do Sul (AS) em todas as estações. Portanto, estudar e monitorar esses fenômenos e entender as variações na escala de tempo e de clima é fundamental para prevenir e mitigar os prejuízos provocados por eventos adversos.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, principalmente nas regiões tropicais, onde os países, em sua maioria, são subdesenvolvidos ou estão em desenvolvimento, agrícolas e com baixa renda per capita (AYOADE, 1996; PETTENGELL, 2010). No Brasil, especificamente, os setores econômicos mais dependentes dos recursos hídricos são o agropecuário e o energético (LANNA, 2008).

O setor primário, que engloba as atividades agrícolas, tem participação expressiva na economia nacional fornecendo matérias-primas e alimentos, além de produzir fontes de energia renovável como etanol e biodiesel. Porém, é uma atividade econômica que apresenta grande vulnerabilidade, devido à dependência das condições meteorológicas e variabilidade do clima, além de doenças, pragas e cotação do mercado.

Referente ao setor energético, o Brasil tem como base de seu sistema as usinas hidrelétricas, que correspondem a, aproximadamente, 70% da eletricidade gerada (ANDRADE; SANTOS, 2015; COELHO et al., 2015). Esse tipo de energia é caracterizado pela transformação limpa dos recursos energéticos naturais, não há resíduos poluentes e, além disso, o custo de sua geração é baixo (FURNAS, 2013). Entretanto, é totalmente dependente da vazão dos rios que os gera e, conseqüentemente, do volume de precipitação sobre os mesmos.

Uma das principais adversidades neste setor foi a crise energética do ano de 2001, caracterizada pelo risco de “apagões” devido ao déficit de chuvas nas cabeceiras dos principais rios do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, resultando na dificuldade das usinas hidrelétricas atenderem à demanda de energia. Chuvas abaixo da média foram influenciadas pela atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que penetraram mais profundamente na região continental; pelas cristas sobre a região subtropical em resposta a reintensificação da La Niña e pela Oscilação de Madden-Julian (OMJ) que reforçou períodos mais secos na escala de 45 dias (CAVALCANTI; KOUSKY, 2004). Além disso, a falta de investimento no setor elétrico, a ausência de um planejamento adequado e o aumento da demanda no consumo fez com que a crise se agravasse (SANTOS, 2014).

Recentemente, uma nova crise hídrica tem se estabelecido, resultado de estações chuvosas ineficientes para manutenção e elevação dos níveis das principais bacias responsáveis pelo abastecimento e geração de energia. Em fevereiro de 2015, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste o nível médio dos reservatórios esteve abaixo de 18% de sua capacidade (O ECONOMISTA, 2015). Segundo Coelho et al. (2015), as chuvas abaixo da média sobre a região Sudeste no verão de 2014 foram causadas por uma fonte de calor localizada à Norte/Nordeste da Austrália, isso fez com que a conexão entre as células de Walker e Hadley induzisse uma teleconexão entre trópico e extratropical via onda de Rossby. Esse padrão de teleconexão é do tipo onda e apresenta alternâncias de centros de alta e baixa pressão com estrutura barotropical em direção à AS. O centro anômalo de alta pressão sobre o Atlântico Sul bloqueia a migração de sistemas de baixa pressão (frentes) sobre a região Sudeste do Brasil e também favorece para o aquecimento da superfície do mar próximo à costa pela radiação solar direta. A circulação de anticiclones anômalos associados sobre o Atlântico Sul estende sobre o Sudeste do Brasil e transporta ar mais seco que o normal da Amazônia para o Sul do Brasil. Isso impede o tradicional fluxo de umidade da região Amazônica,

que passa pela região Centro-Oeste até o Sudeste do Brasil, feito pelo Jato de Baixos Níveis (JBN). Conseqüentemente, a precipitação ficou abaixo da média nessas regiões devido a menos episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) – fenômeno típico da circulação de verão caracterizado por uma banda persistente de nebulosidade, orientada de noroeste-sudeste, que se estende desde o Sul da Bacia Amazônica, passando pelo Centro-Oeste e Sudeste até o Oceano Atlântico Sudoeste (HERDIES et al. 2002; KODAMA, 1992; 1993; QUADRO et al., 2012).

Assim, fica evidente a importância de analisar e entender as particularidades da Estação Chuvosa (EC) como início, fim, intensidade, duração e variabilidade, viabilizando um melhor planejamento e a tomada de decisões em tempo hábil, a fim de impulsionar e manter o crescimento desses setores. E, além do mais, torna-se necessário prever a EC com confiabilidade, já que ela apresenta interesse tanto científico quanto social. Por exemplo, prever secas ou enchentes podem ajudar a minimizar seus principais impactos, principalmente na economia; nas sociedades agrárias tropicais, particularmente nas regiões de monção, previsões confiáveis sobre a qualidade da EC podem beneficiar sua produção.

Proporcional à importância da precipitação para sociedade e comunidade científica é o desafio de simulá-la com maior precisão, principalmente no que diz respeito a sua intensidade e distribuição. Seu comportamento altamente variável e descontínuo, espacial e temporalmente, corrobora para sua complexidade e baixa previsibilidade. Além disso, os mecanismos que controlam a formação da precipitação em cada região podem ser diferentes, dependendo da latitude, topografia e época do ano.

Nesse contexto, destaca-se o uso dos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) como principais ferramentas para a previsão numérica do tempo e para simulações e projeções climáticas. Os MCGA simulam os processos dinâmicos, físicos e químicos da atmosfera e, vem sendo cada vez

mais utilizados e aprimorados graças aos avanços computacionais desde a segunda metade do século XX. (COIFFIER, 2011)

Nos MCGA, a dificuldade em simular a precipitação está relacionada à, pelo menos, três fatores (WANG; SEAMAN, 1997; WARNER, 2011):

- a) a compreensão dos processos de precipitação ainda é bastante limitada, que dificulta sua representação direta pelas relações físicas;
- b) escassez de dados, que muitas vezes limita a precisão das condições iniciais do modelo;
- c) representação dos processos na escala de subgrade do modelo.

Este último é caracterizado, principalmente, pela parametrização, i.e., representação de um processo físico em termos da sua relação conhecida com variáveis dependentes resolvidas na grade do modelo. Por exemplo, não é possível resolver vórtices turbulentos individuais, mas podem-se desenvolver relações entre intensidade de turbulência, estabilidade estática e cisalhamento do vento resolvido pelo modelo. Além disso, a parametrização é utilizada também quando as relações físicas são tão complexas que exigiriam uma grande quantidade de recursos computacionais para tratá-las explicitamente (WARNER, 2011).

No que concerne à parametrização e precipitação, enfatiza-se a importância da parametrização cumulus, uma vez que a atividade convectiva está diretamente relacionada com a EC nos trópicos (GARCIA; KAYANO, 2009, 2013; HOREL et al., 1989; KOUSKY, 1988; RAO; HADA, 1990; SILVA DIAS et al., 1983; ZHOU; LAU, 1998; entre outros). Atualmente, há diversos esquemas de parametrização cumulus (ARAKAWA; SCHUBERT, 1974; GRELL, 1993; GRELL; DÉVÉNYI, 2002; KUO, 1965, 1974, entre outros), cada uma com suas

particularidades e limitações os quais são detalhados e discutidos por Arakawa (2004).

Apresentados os desafios em simular a precipitação nos MCGA, vários estudos utilizaram outras variáveis meteorológicas na tentativa de identificação do início e o fim da EC (IEC e FEC, respectivamente) nas regiões tropicais da AS de forma mais confiável, tais como: vento (GAN et al., 2004, 2006), radiação de onda longa (ROL) (GARCIA; KAYANO, 2009, 2013; KOUSKY, 1988), umidade integrada na vertical (RAIA; CAVALCANTI, 2008), água precipitável (NEVES et al., 2013), entre outros.

1.1. Objetivos

O principal objetivo deste estudo foi avaliar a destreza do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (MCGA/CPTEC) em identificar o IEC e FEC, a partir de algumas metodologias conhecidas, sobre a região central do Brasil (10° - 20° S e 50° - 60° W). Já os objetivos específicos foram:

- a) Identificar as datas de IEC e FEC sobre o Centro-Oeste do Brasil (COB) a partir dos dados do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), *Climate Data Record* (CDR) nas EC de 2000-2001 a 2009-2010, e *Climate Prediction Center* (CPC) nas EC de 2000-2001 a 2014-2015;
- b) Identificar as datas de IEC (FEC) sobre o COB a partir dos 15 membros das previsões climáticas sazonais de julho, agosto e setembro (dezembro, janeiro, fevereiro) utilizando a versão 3.0 do MCGA/CPTEC nas EC de 2000-2001 a 2014-2015;
- c) Comparar as datas de IEC e FEC identificadas pelo MCGA/CPTEC 3.0 com as datas encontradas com bases nos dados do CFSR, CDR e CPC;

- d) Ajustar, se necessário, os limiares e os critérios dos índices que identificam as datas do IEC e do FEC;
- e) Comparar as datas identificadas pela versão 3.0 do MCGA/CPTEC e a versão operacional (OPER) das previsões climáticas sazonais do CPTEC nas EC de 2011-2012 a 2014-2015.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais sobre Monção e Estação Chuvosa

A monção é convencionalmente definida como a reversão sazonal dos ventos dominantes de superfície em regiões de baixa latitude, devido ao contraste térmico entre o continente e oceanos adjacentes (WEBSTER et al., 1987). Sistema responsável pela maior parte da precipitação de verão sobre os trópicos e também influencia as atividades socioeconômicas por apresentar duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso (KITOH et al., 2013; WEBSTER, 1987; WEBSTER et al., 1998).

Os estudos sobre monções não são recentes, há 3000 anos os chineses já tinham conhecimento das monções de verão e de inverno do leste da Ásia. Na idade média, as pessoas começaram a documentar suas observações referentes às monções, principalmente para fins de navegação (ZENG, 2005). Porém, Halley (1686) foi o primeiro a propor uma explicação teórica sobre a monção asiática, a partir dos mecanismos térmicos de superfície e caracterizou a monção como uma enorme brisa marítima; Hadley (1735) modificou o modelo de Halley e considerou a força de Coriolis na dinâmica do sistema; e, por fim, Voyerikov (1879) relacionou a variação sazonal da precipitação com a monção (ZHISHENG et al., 2015).

Para identificar as áreas com monção, Khromov (1957) propôs um índice baseado na mudança de direção predominante do vento e sua frequência. Ramage (1971) o modificou e incluiu a intensidade e persistência da variação do vento. Por essa definição, somente a Ásia, Austrália e África teriam um regime de monção, a América do Sul não apresentaria tal regime por dois motivos:

- a) o continente é muito estreito nas regiões sub e extratropicais, o que limita a área de formação das altas polares e baixas térmicas;

- b) ressurgência persistente das águas frias do oceano Pacífico na costa oeste do continente, que mantém a temperatura da superfície do mar (TSM) menor do que a temperatura do ar na superfície do continente durante todo o ano.

Zhou e Lau (1998) baseados na evolução sazonal das características da distribuição do aquecimento e da circulação atmosférica associada, como circulação anticiclônica em altos níveis (Alta da Bolívia - AB), sistema de baixa pressão em baixos níveis (Baixa do Chaco - BC), ZCAS, além de outras características típicas de regiões monçônicas, notaram que, removendo o ciclo anual da circulação, fica evidente a reversão dos ventos em baixos níveis e, assim, concluíram que a AS também possuía um regime do tipo monção.

Vários estudos vêm sendo feitos para determinar as datas de IEC e FEC dos sistemas de monção. Essas datas podem ser identificadas de várias formas, sendo mais comum a utilização de média ou acumulado de precipitação em períodos de 5, 7 ou 10 dias. Entretanto, esses métodos podem fornecer datas dúbias ou errôneas, já que valores limítrofes de precipitação podem sofrer influência das características regionais.

Kousky (1988), a fim de estudar a EC tropical, determinou a climatologia em pântadas (média de 5 dias, não sobrepostos) do IEC e FEC para a AS, a partir de dados de ROL no período de janeiro de 1979 a dezembro de 1987. Sua metodologia define o IEC quando o valor de ROL for menor que 240 W.m^{-2} em uma pântada, desde que 10 das 12 pântadas anteriores (subsequentes) apresentem ROL acima (abaixo) de 240 W.m^{-2} . Em relação ao FEC, define-se, analogamente, quando o valor de ROL é superior a 240 W.m^{-2} em uma pântada e, desde que 10 das 12 pântadas anteriores (subsequentes) possuam valores de ROL inferiores (superiores) a 240 W.m^{-2} . Determinou-se assim que, geralmente, o início desenvolve-se de noroeste a sudeste na AS e, o fim, ocorre na direção noroeste.

Com base na precipitação acumulada em pântadas, Sansigolo (1989) analisou a variabilidade interanual da EC em Piracicaba-SP para o período de 1917 a 1986. Semelhante ao método utilizado por Stern (1982) na Nigéria e Índia, seu critério supõe que o IEC ocorre no primeiro dia após a data de referência, 01 de setembro, com 20 mm acumulados em um ou dois dias consecutivos e condicionado a não ocorrência de 10 dias secos (ausência de chuva) nos 30 dias subsequentes; o FEC é determinado pela primeira ocorrência de uma longa sequência de 10 ou mais dias secos, após a data de referência 30 de janeiro. Com as distribuições de probabilidade acumulada, ele encontrou datas medianas para IEC e FEC: 24 de setembro para início potencial da EC, 13 de outubro para início efetivo, 5 de março para o fim e duração mediana de 135 dias. O método apresenta limitação por necessitar de uma longa série de dados de precipitação, porém compensa pela simplicidade.

Marengo et al. (2001) analisaram o IEC e o FEC na Bacia Amazônica brasileira para o período de 1979 a 1996 utilizando um critério semelhante ao de Kousky (1988), acrescido de valores limítrofes de precipitação. Assim, o IEC (FEC) é definido como a pântada que apresenta valores de precipitação média diária superior (inferior) a 4 mm.dia^{-1} , desde que 6 das 8 pântadas anteriores (subsequentes) sejam inferiores a $3,5 \text{ mm.dia}^{-1}$; e 6 das 8 pântadas subsequentes (anteriores) tenham valores de precipitação maiores (menores) que $4,5 \text{ mm.dia}^{-1}$. Os critérios de pântadas anteriores e subsequentes são incluídos porque a precipitação é uma quantidade bastante ruidosa (ou seja, muito oscilatória) e deseja-se capturar a transição mais explicitamente. Eles observaram também que o início avança na direção sudeste e, o fim, na direção norte, sendo este mais lento que o primeiro.

Liebmann e Marengo (2001), baseados na evolução do acumulado local de precipitação sobre a Bacia Amazônica e Liebmann et al. (2007), na região do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), determinaram as datas do IEC e FEC baseados na evolução do acumulado anômalo definindo o IEC como o primeiro dia antes do maior período em que o acumulado anômalo permanece

positivo e o FEC como o dia, dentro deste período, em que o acumulado anômalo é máximo. Em ambos os trabalhos, os autores notaram que a determinação das datas de IEC mostra-se sensível ao limiar utilizado, e.g., com o uso de um limiar universal (KOUSKY, 1988; MARENGO et al., 2001) o IEC progride sentido aos polos, enquanto que um limiar local (JANOWIAK; XIE, 2003; LIEBMANN; MARENGO 2001) o mesmo avança para norte, ou seja, o sentido de propagação das datas de IEC se invertem; o mesmo não acontece ao FEC. Bombardi e Carvalho (2008) utilizaram o mesmo método, mas adaptado com dados diários de precipitação em pântadas e notaram que a EC sobre a região do cerrado mostra medianas de início entre o começo de outubro e começo de novembro e duração de 32 a 36 pântadas.

A fim de estudar a circulação atmosférica no COB durante a EC para o período de 1979 a 2000, Gan et al. (2004) propuseram um índice combinado de vento e precipitação, no qual o início (fim) da EC acontece na primeira ocorrência dos ventos de oeste (de leste) no nível de 850 hPa em 60°W e na banda de 20°-10°S, concomitantemente a uma taxa de precipitação superior (inferior) a 4 mm.dia⁻¹ em 75% das 8 pântadas subsequentes. Eles confirmaram os resultados obtidos por Kousky (1988), Horel et al. (1989) e Marengo et al. (2001) a respeito da direção noroeste-sudeste de propagação da convecção associada ao SMAS. Notaram, ainda, uma maior variabilidade nas datas de IEC quando comparadas às de FEC, justificada pela possível dependência de sistemas transientes para iniciar a convecção profunda. Nesse contexto, Veiga et al. (2002) também encontraram grande variabilidade nas datas de IEC (pântadas referentes a setembro, outubro e novembro) e FEC (referentes a fevereiro e março) e, ainda, na duração das chuvas de monção em parte das regiões Sudeste e COB para o período de 1974 a 1998.

Gan et al. (2006) com a justificativa de que o vento apresenta melhor destreza que a precipitação na previsão por modelos climáticos, desenvolveram quatro índices baseados no comportamento do vento para identificar o IEC e o FEC na COB, incluindo aquele descrito por Gan et al. (2004). O primeiro índice

utiliza o cisalhamento do vento meridional (ICVM), i.e., a diferença do vento meridional médio entre os níveis de 850 e 200 hPa na área correspondente a 30°-40°W e 5°-10°S (Nordeste do Brasil - NEB). Esse índice é semelhante ao proposto por Goswani et al. (1999) para parte da Índia e China, e representa a influência do ramo ascendente da circulação regional de Hadley; o segundo índice baseia-se no cisalhamento do vento zonal (ICVZ), consiste na diferença do vento zonal médio entre 850 e 200 hPa sobre a área de 50°-60°W e 10°-15°S e associa-se a circulação leste-oeste; o índice do vento zonal e meridional (IVZM) em 850 hPa auxilia na análise da influência do transporte de umidade feita pelo JBN à leste dos Andes e define-se como a soma do vento zonal médio em 50°-60°W e 10°-15°S e o vento meridional médio na área de 60°-65°W e 20°-25°S e associa-se às circulações ciclônicas (anticiclônicas) anômalas durante os período ativos (inativos) de precipitação na COB; o índice proposto por Gan et al. (2004), além de um índice auxiliar baseado na precipitação, o qual determina o IEC (FEC) quando há a ocorrência de precipitação superior (inferior) a 4 mm.dia⁻¹ nas seis das oito pântadas subsequentes. Os autores notaram que todos os índices possuem alta correlação com a precipitação no COB e que o índice proposto por Gan et al. (2004) representa melhor o IEC e o FEC na região.

Com base em um método estocástico denominado cadeias de Markov, Lucio et al. (2006) buscaram identificar o IEC no COB em função da climatologia da precipitação em determinadas regiões (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul). Dados diários de precipitação agrupados em decêndios (acumulado de 10 dias) e correspondentes aos meses de agosto a novembro foram analisados. Determinaram que a probabilidade do IEC ocorrer no 3º decêndio de setembro é de 50% para o Distrito Federal e Goiás e 52% para Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Tal método mostrou-se uma importante ferramenta alternativa no auxílio da definição do padrão do regime de precipitação, porém, como sendo um modelo estocástico, está sujeito às

incertezas associadas de baixa frequência do evento, desde a escala intrasazonal do fenômeno até a multidecenal.

Silva e Carvalho (2007) definiram um índice multivariado de Funções Ortogonais Empíricas (EOF, em inglês) combinadas, a partir de dados pentadais das anomalias de precipitação, umidade específica, vento zonal e meridional e temperatura do ar em 850 hPa, para investigar as características espaciais e temporais de grande escala do SMAS para o período de 1979 a 2007. O índice de grande escala do SMAS (LISAM, em inglês) corresponde à série temporal referente ao primeiro modo da EOF e é capaz de, além de reproduzir as variações intrassazonais e interanuais, identificar o IEC e FEC no domínio de 0°-40°S e 65°-20°W. O método determina o IEC (FEC) quando a média móvel de 3 pântadas do LISAM torna-se positiva (negativa). As datas de IEC e FEC mostraram levemente diferentes daquelas encontradas por Gan et al. (2004), possivelmente pelo LISAM não se limitar somente ao COB.

Para o estudo do ciclo de vida do SMAS, Raia e Cavalcanti (2008) empregaram um índice de monção similar ao proposto por Fasullo e Webster (2003), utilizado para descrever o ciclo hidrológico da monção (CHM) da Índia. De modo geral, o CHM pode ser descrito pelo balanço do transporte de umidade integrado na vertical, precipitação (P), evapotranspiração (E) e água precipitável dentro da região. Desta forma, a umidade é transportada de regiões onde a $P \gg E$ (convergência de umidade) para regiões onde a $P \ll E$ (divergência de umidade) sustentada pela direção da circulação associada com a monção (FASULLO e WEBSTER, 2003). Tal índice corresponde ao transporte de umidade integrado na vertical realizado pelo vento zonal e aplicado na região central do SMAS (10°-15°S e 65°W-55°W). Assim, o IEC (FEC) é estabelecido quando o índice mostra o primeiro valor positivo (negativo), seguido por, pelo menos, 3 pântadas com valores positivos (negativos) em 4 pântadas subsequentes e determinaram que o IEC ocorre no final de outubro e o FEC no final de março sobre a região. Tais datas mostraram-se condizentes àquelas encontradas por Gan et al. (2004).

Segundo Franchito et al. (2008), a determinação do IEC e FEC nas regiões do SMAS utilizando somente dados de ROL pode acarretar erros às análises, quando comparado à precipitação. Eles avaliaram a EC na região Sudeste do Brasil para o verão de 2001, ano marcado pelo grande déficit de precipitação, e foram definidas as datas de IEC e FEC com pântadas de precipitação e ROL. Os autores notaram, ainda, através do método de Kousky (1988), que as datas de IEC (FEC) são erroneamente antecipadas (atrasadas), já que baixos valores de ROL ($< 240 \text{ W.m}^{-2}$) podem indicar nuvens profundas, as quais apresentam maior probabilidade de ocorrência de precipitação. Porém, algumas nuvens do tipo cirrus (não precipitantes) por serem muito altas e frias, também apresentam baixo valor de ROL e, portanto, podem superestimar a precipitação. Entretanto, a maioria dos métodos que utilizam precipitação para detecção do IEC e FEC, definem valores limítrofes, o que torna o resultado dependente de aspectos regionais. Nesse contexto, González et al. (2007) avaliaram, detalhadamente, os métodos desenvolvidos por Kousky (1988), Marengo et al. (2001), e Liebmann e Marengo (2001), e concluíram que o método baseado em ROL de Kousky (1988) apresentou melhor desempenho ao representar o IEC em escalas continentais quando comparado àqueles baseados em precipitação.

Embasadas nesses aspectos, Garcia e Kayano (2009, 2013) aplicaram uma nova metodologia de detecção das datas de IEC com base no campo equatorialmente antissimétrico de ROL (ROLANT) proposto por Murakami e Nakazawa (1985), para o período de 1979-2007 nas regiões da Bacia Amazônica Central (BAC) e COB, anteriormente estudadas por Marengo et al. (2001) e Gan et al. (2004, 2006), respectivamente. O ROLANT refere-se ao valor de ROL do Hemisfério Sul (HS) menos o valor de ROL do Hemisfério Norte (HN), localizados à mesma distância do equador, i.e., indica aspectos da transição monçônica entre os hemisférios (MURAKAMI; NAKAZAWA, 1985; VERA et al., 2006). Assim, valores negativos (positivos) de ROLANT ao sul do equador indicam presença (ausência) de atividade convectiva nesta área. Além

disso, as autoras utilizaram estimativas de precipitação do projeto Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) para validar o método e notaram que o mesmo é bastante eficaz em determinar o IEC em ambas as regiões. Notaram, assim, que o IEC médio na BAC ocorre na pênstada 53 (meados de setembro), data próxima àquelas encontradas por Kousky (1988) e Marengo et al. (2001), que ocorrem na pênstadas 50 e 54, respectivamente. Para COB, as autoras identificaram o IEC na pênstada 57 (8-12 de outubro), próxima às datas encontradas por Gan et al. (2006) e Kousky (1988) nas pênstadas 58 e 54, respectivamente.

Neves et al. (2013) analisaram a estação chuvosa nas regiões Sudeste e COB e a caracterização das condições atmosféricas de umidade e fluxos de calor (latente e sensível) nos momentos que precedem o início das chuvas nessas regiões para o período de 2000 a 2010. O método utilizado foi semelhante ao proposto por Zeng e Lu (2004), i.e., um método objetivo e global para determinar as datas de IEC e FEC referente à monção de verão a partir de dados de água precipitável. Tal método utiliza o índice normalizado de água precipitável (INAP) e considera o IEC (FEC) quando há ocorrência do valor superior (inferior) ao “golden ratio”, limiar de 0,618, por mais de 3 dias consecutivos. Esse limiar foi determinado após a comparação entre datas de IEC e FEC em diversas regiões com regime de monção e em diferentes anos, e baseado em dados locais de precipitação. Observou-se, também, que o IEC e FEC sempre apresentavam um ciclo anual relativamente fixo de água precipitável, mesmo com os valores máximos e mínimos oscilando de região para região (ZENG; LU, 2004). Assim, os autores determinaram que o IEC médio em meados de outubro no COB e meados de novembro na região Sudeste do Brasil. Cabe ressaltar que essa metodologia também foi utilizada por Means (2013), com dados de água precipitável derivados de Global Positioning System (GPS) para descrever a variabilidade sazonal e interanual da monção da América do Norte, especificamente sobre a Califórnia e Nevada, no período de 2003 a 2009.

2.2. Modelo de Circulação Geral da Atmosfera

Historicamente, o desenvolvimento dos MCGA teve início nos centros norte-americanos e europeus a partir da década de 1970. Embora a previsão numérica do tempo já tivesse sido idealizada no início dos anos 1920, somente com o avanço da computação, nos anos 1960, viabilizou-se a utilização dos mesmos a partir de uma infraestrutura de cálculo capaz de produzir resultados satisfatórios (EDWARDS, 2010; MIGUEL; MONTEIRO, 2014; WEART, 2010).

No século XIX, a previsão do tempo era considerada um processo casual, muito imprecisa e não confiável, principalmente para os altos níveis e sobre os oceanos. Com o desenvolvimento da termodinâmica foi possível organizar um conjunto de princípios físicos fundamentais para o escoamento da atmosfera e, assim, o grande meteorologista Cleveland Abbe propôs uma aproximação matemática para a previsão. O norueguês Vilhelm Bjerknes listou sete variáveis básicas (pressão, temperatura, densidade, umidade e as três componentes da velocidade) e identificou sete equações independentes (três equações do movimento hidrodinâmico, equação da continuidade, equação do estado e equações expressas pela 1ª e 2ª leis da termodinâmica), transformando a meteorologia numa ciência exata, uma física da atmosfera. Em 1913, Lewis Fry Richardson buscou expressar os princípios físicos que governam o comportamento da atmosfera como um sistema de equações matemáticas e a aplicação do método de diferenças finitas para a resolução do problema. Apesar do fracasso em tentar prever a mudança da pressão em superfície em dois pontos na Europa Central, seu trabalho foi amplamente revisado e chegou a obter comentários favoráveis, ainda que o método fosse inviável para a época devido à complexidade da resolução dos processos. Contudo, suas ideias serviram de motivação para o desenvolvimento da previsão numérica do tempo. Maiores detalhes podem ser vistos em Lynch (2007).

Em meados do século XX, os computadores digitais revolucionaram a previsão do tempo. Eles eram capazes de resolver várias equações e gerar resultados

em tempo hábil e logo os serviços meteorológicos começaram a implantar modelos computadorizados para a previsão numérica do tempo de forma operacional (EDWARDS, 2010). Assim, tendo estabelecido o potencial dos modelos numéricos de previsão de curto prazo, os pesquisadores empenharam na criação dos MCGA, os quais poderiam simular movimentos atmosféricos globais, não só para períodos de dias a semanas, mas ao longo de meses, anos, décadas ou mais. Em longo prazo, esses modelos viabilizaram a previsão e a climatologia baseando seus métodos na teoria física.

Atualmente, os MCGA mostram-se uma ferramenta fundamental para o estudo e entendimento de fenômenos atmosféricos em várias partes do globo. Na AS, vários estudos têm utilizado modelos para caracterizar o clima e entender sua dinâmica a fim de obter uma previsão cada vez mais acurada e realística.

Nógues-Paegle et al. (2002) comentaram a complexa variedade de fatores regionais e remotos que contribui para definição do clima da AS, e.g., a massa continental que se estende de 10°N a 55°S; a cordilheira dos Andes na costa oeste; a maior floresta tropical do mundo localizada na Amazônia e o deserto do Atacama, no Norte do Chile, considerado o mais seco do mundo, dentre outras características. Além disso, os autores enfatizaram a importância dos programas nacionais e internacionais para pesquisa da variabilidade do clima na AS como, por exemplo, o programa de Estudos Climáticos Pan-Americanos (PACS, em inglês) patrocinado pelo Office of Global Programs do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (OGP/NOAA), que aguçou o foco na ciência, viabilizando incentivos a partir da colaboração internacional e recursos para o monitoramento da variabilidade climática nas Américas, e o programa Variabilidade do Clima relacionado aos Sistemas de Monção das Américas (CLIVAR/VAMOS, em inglês) com o objetivo de melhor entendimento, simulação e previsão das monções americanas.

No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) desenvolve e opera modelos

numéricos de previsão de tempo e clima desde sua criação em 1994. O MCGA utilizado tem origem naquele usado para previsão de médio prazo pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), posteriormente transferido para o *Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies* (COLA) onde foram adicionados, a princípio, cálculos diagnósticos para um melhor entendimento dos processos físicos simulados e de sua importância relativa. Maiores informações sobre o histórico do modelo podem ser obtidas no portal do CPTEC <http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/mod_glb.shtml>. Cabe ressaltar que o CPTEC é um dos 12 centros mundiais designados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, em inglês) como centro apto a gerar previsões climáticas globais de longo prazo, também conhecidas como previsões climáticas sazonais (COELHO et al., 2012).

A previsão sazonal, diferentemente da previsão de tempo, fornece informações sobre as condições climáticas médias esperadas para o período de 1 a 6 meses. Devido à presença de processos não lineares no sistema climático, previsões determinísticas podem apresentar incertezas decorrentes das condições iniciais, entre outros parâmetros (MARENGO et al., 2003). Essa incerteza pode ser minimizada com o uso de conjunto de previsões (*ensemble*), onde cada membro do conjunto sofre uma pequena perturbação na condição inicial a ser rodada pelo modelo. Este procedimento auxilia na separação da variabilidade interanual climática dentro da componente caótica, devido à sensibilidade da condição inicial, da componente potencialmente previsível com base na média do conjunto. Além disso, com a dispersão dos membros é possível estabelecer limites de confiança na previsão sazonal e analisar a habilidade do modelo em prever as condições climáticas em escalas sazonais e interanuais. Assim, torna-se possível fornecer previsões probabilísticas mais acuradas, avaliar o potencial de previsibilidade climática sazonal e a habilidade dos modelos climáticos (BASU, 2001; CAVALCANTI et al., 2002; HARZALLAH; SADOURNY, 1995; KUMAR et al., 1996; 2001; MARENGO et al., 2003; MASON et al., 1999; ROWELL et al., 1995; ZWIERS, 1996).

Com o objetivo de obter uma visão global das características climatológica do HS e variabilidade sazonal simuladas pelo MCGA do CPTEC/COLA, Cavalcanti et al. (2002) rodaram 10 anos (1982-1991) da versão T62L28 do modelo no modo *ensemble*, com 9 condições iniciais diferentes a partir das análises do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Os autores notaram que o modelo é capaz de reproduzir o ciclo sazonal da precipitação e as características globais climatológicas da circulação; as zonas de convergência (Zona de Convergência Intertropical – ZCIT; Zona de Convergência do Pacífico Sul – ZCPS e ZCAS) são simuladas razoavelmente bem, porém a precipitação no setor tropical (subtropical) dessas zonas é subestimada (superestimada); na AS há superestimativa de precipitação sobre os Andes e NEB, e subestimativa em várias áreas do interior do continente, incluindo a Bacia Amazônica. A deficiência do modelo em simular a quantidade de precipitação pode estar parcialmente relacionada com o esquema de convecção utilizado. Apesar dos erros sistemáticos associados à precipitação na região tropical, a sua variabilidade é bem representada devido ao fato de que a fonte de variabilidade interanual está localizada nessa região. Logo, concluíram que a versão T62L28 do MCGA do CPTEC/COLA é capaz simular a maioria das características importantes da atmosfera, proporcionando assim a validação necessária do modelo operacional de tempo e orientação para a previsão climática sazonal.

Zhou e Lau (2002) analisaram o viés da precipitação e circulação do SMAS em um conjunto de seis MCGA do programa CLIVAR *Asian-Australian Monsoon AGCM Intercomparison Project* (KANG et al., 2002), gerando médias mensais climatológicas do período de 1979 a 1998. Perceberam que esse conjunto de modelos capta as características de grande escala do SMAS razoavelmente bem, incluindo a migração sazonal de chuvas de monção e as chuvas associadas com a ZCAS. No entanto, a intensidade da média anual e das componentes sazonais dos sistemas de pressão são demasiadamente forte. Os maiores viés da simulação de chuva são encontrados em associação com

os Andes e a ZCIT sobre o Atlântico, indicando problemas no modelo na representação de montanhas íngremes e parametrização de processos convectivos; o conjunto de modelos identifica o padrão do Pacífico-América do Sul (PSA, em inglês) muito bem, mas a sua amplitude é geralmente subestimada.

Marengo et al. (2003) focaram na validação da variabilidade interanual média regional da precipitação simulada pelo MCGA CPTEC/COLA a fim de identificar os possíveis erros e viés na precipitação produzidos pelo modelo e sua previsibilidade para várias regiões do mundo. A verificação das previsões probabilística foi feita a partir dos índices de desempenho *Brier* e o *Relative Operating Characteristic* (ROC), e, assim, os autores notaram que apesar do modelo subestimar as chuvas durante o auge da EC ao norte da Amazônia e superestimar a precipitação no NEB, o mesmo conseguiu representar um ciclo anual realista assim como a variabilidade interanual de anomalias de precipitação. Além disso, o modelo foi capaz de simular as condições de chuva sobre o Noroeste do Peru, Leste da África, Sudeste Asiático e a ZCIT do Pacífico, regiões que apresentaram ROC acima do limiar de 0,70. Já no Sul do Brasil, na Índia e na região do Sistema de Monção da América do Norte (SMAN), a EC foi considerada imprevisível pelo modelo, apesar de que, para algumas dessas regiões, o modelo foi capaz de simular anomalias de precipitação associadas à TSM. Por fim, enfatizaram que os pontos fortes e fracos do modelo não devem ser considerados limitações permanentes, já que o mesmo é sujeito a melhorias contínuas, principalmente relacionadas às regiões equatoriais convectivamente ativas e sugeriram a investigação de outras forçantes externas além da TSM.

Chaves e Nobre (2004) utilizaram o MCGA CPTEC/COLA para avaliar a variabilidade da ZCAS devido às condições de contorno entre os meses de novembro de 2000 e fevereiro de 2001, período na qual a TSM no Pacífico Equatorial e Tropical permaneceram próximas ao valor climatológico. Os autores demonstraram que a TSM do Atlântico Sul pode influenciar a ZCAS.

Sua hipótese dizia que a cobertura de nuvens associada à ZCAS poderia reduzir a TSM regional. Esse *feedback* explicaria a correlação negativa observada entre precipitação e a TSM onde a ZCAS persiste.

Outros estudos também utilizaram MCGA para investigar o SMAS, como por exemplo, Liebmann et al. (2007) que usou ECHAM 4,5 para identificar o IEC e FEC; e Kitoh et al. (2011) que utilizaram varias resoluções do MCGA do *Meteorological Research Institute* (MRI). No entanto, os MCGA apresentaram tendência sistemática sobre a AS, como déficits de precipitação sobre a Amazônia e excesso de chuvas na ZCAS. Estes modelos apresentam a TSM observada como forçante da condição de contorno, uma vez que são incapazes de realizarem as interações oceano-atmosfera (CARVALHO; CAVALCANTI, 2016).

Marengo et al. (2012) discutiram os recentes desenvolvimentos relacionados ao SMAS com base no programa internacional *Monsoon Experiment in South America* (MESA). No geral, os MCGA simulam razoavelmente bem as principais características climatológicas do SMAS, como: AB, Cavado do Atlântico, ZCAS, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e ZCIT (VERA et al., 2006). Referente ao IEC e FEC, o MCGA do CPTEC/COLA reproduz as principais características associadas ao ciclo de vida do SMAS, com base no fluxo de umidade do ar, proposto por Raia e Cavalcanti (2008). Porém, a intensidade e localização de algumas características atmosféricas relevantes para a representação das fases de transição do SMAS não são devidamente representadas; o modelo reproduz a variabilidade intrasazonal de verão sobre a AS, incluindo o dipolo norte-sul de ROL, relacionado com a variabilidade convectiva da ZCAS e o padrão de teleconexão PSA (CUNNINGHAM e CAVALCANTI, 2006), entretanto o modelo não exibe a propagação das anomalias de ROL para leste da Indonésia e Pacífico Oeste na região tropical, típico da OMJ. Já os modos da variabilidade interanual da precipitação de primavera e verão obtidos do MCGA CPTEC/COLA foram examinados por Grimm et al. (2007). Observaram que o primeiro modo de primavera e verão é

do tipo dipolo, porém a parte norte do dipolo na primavera é deslocada muito ao norte e as relações observadas entre os primeiros modos na primavera e verão não são captadas pelo modelo, devido à deficiência do mesmo em reproduzir as interações entre superfície e atmosfera.

No que concerne à representação do SMAS, além das diferenças climatológicas entre o verão e inverno e da ZCAS, outras particularidades relacionadas a esse sistema devem ser investigadas em suas simulações: o ciclo sazonal da precipitação e sua intensidade, ciclo de vida da monção (início, fim e duração) e as variabilidades sub-sazonais até as decenais do SMAS (CARVALHO; CAVALCANTI, 2016). Logo, a habilidade do modelo em representar as variabilidades do SMAS também depende da destreza do mesmo em simular os mecanismos que causam suas mudanças, tais como oscilações intra-sazonais, interações trópico-extratropicais, El Niño/ Oscilação Sul (ENOS) e teleconexões associadas, dentre outros mecanismos (BOMBARDI; CARVALHO, 2011; GILLET; FYFE, 2013; KIM et al., 2012).

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Descrição dos dados e modelo

3.1.1. Dados

Dados diários de precipitação (mm.dia^{-1}) foram obtidos do CPC denominado *CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation* para toda a América do Sul com uma resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude, para o período de julho de 2000 a junho de 2015. Tais dados são baseados em medições feitas nas plataformas de coleta de dados (PCD) e estimativas de precipitação por satélites, e utilizam técnicas sofisticadas de interpolação que reprojeta a precipitação em pontos de grade (CHEN et al., 2008; JONES et al., 2012; SILVA et al., 2011; XIE et al., 2007) e estão disponíveis em ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/. O uso deste dado no presente trabalho se justifica por sua boa representação das características do SMAS (início, fim, duração e intensidade), discutidas por Carvalho et al. (2012), além de apresentarem consistência a outros conjuntos de dados baseados em estações de superfície ou dados de satélite.

Valores diários de ROL (W.m^{-2}) possuem resolução espacial de 1° de latitude e longitude são obtidos do CDR. Esse conjunto de dados é gerado a partir de observações do sondador de radiação no infravermelho de alta resolução (*High Resolution Infrared Radiation Sounder - HIRS*), sensores em satélites de órbita polar da série NOAA TIROS-N e Eumetsat MetOp e de instrumentos a bordo de satélites geoestacionários operacionais e encontram-se disponíveis em <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.olrcdr.interp.html>. A união de sistemas de observação de órbita polar e geoestacionária promove vantagens na homogeneidade da amostragem tempo-espacial, metodologias de correção do viés são utilizadas para manter a precisão radiométrica e os algoritmos da ROL do HIRS são revisados para contornar os problemas gerado pelas mudanças das configurações de tal instrumento com o passar dos anos. Além disso, por apresentar uma série de mais de 30 anos, mostra-se útil para

estudos da variabilidade climática e avaliação de modelos numéricos (LEE, 2014).

Os dados diários de água precipitável (kg.m^{-2}), umidade específica (g.kg^{-1}) e vento (m.s^{-1}) são obtidos do CFSR (SAHA et al., 2010), disponíveis em <<http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/>>. Esta reanálise foi desenvolvida para simular a condição do domínio acoplado do sistema oceano-contidente-atmosfera e gelo da superfície do mar em alta resolução. O modelo atmosférico global possui resolução de aproximadamente 38 km (T382) e 64 níveis verticais. Segundo Quadro et al. (2012), os dados do CFSR, dentre a nova geração de reanálise, representa bem o ciclo anual as componentes da precipitação sobre a AS, além de mostrar menor viés sobre todo o continente, incluindo a região dos Andes.

Os dados do CFSR e CDR foram selecionados para o período de 07/2000 a 06/2010, devido a sua disponibilidade.

As análises do *Final Operational Global Analysis* (FNL) do NCEP, com 1° de latitude e longitude, foram utilizadas para a iniciação do MCGA/CPTEC 3.0. Este produto é derivado do *Global Data Assimilation System* (GDAS), que recolhe continuamente dados observacionais do *Global Telecommunications System* (GTS), e de outras fontes, para muitas análises. Os dados do FNL são gerados a partir do mesmo modelo usado para gerar o *Global Forecast System* (GFS) e estão disponíveis em <<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>>. O período de dados foi de 2000 a 2015.

Por fim foram utilizados os dados diários de precipitação (mm.dia^{-1}), água precipitável (kg.m^{-2}), ROL (W.m^{-2}), umidade específica (g.kg^{-1}) e vento (m.s^{-1}) oriundos das previsões climáticas sazonais feitas pelo versão 3.0 e OPER do MCGA/CPTEC referentes aos meses de julho, agosto, setembro, dezembro, janeiro e fevereiro no período de 2000 a 2015 e 2011 a 2015 para as versão 3.0 e OPER, respectivamente.

3.1.2. Modelo

A versão 3.0 do MCGA/CPTEC utilizada no conjunto de previsões climáticas sazonais retrospectivas (*hindcast*) foi a T62L28, a qual apresenta truncamento espectral triangular de 62 ondas nas coordenadas horizontais, correspondente a uma resolução de aproximadamente 200 x 200 km e 28 níveis verticais em coordenada sigma (21 na troposfera e 7 na estratosfera). Na Tabela 3.1 são exibidas algumas informações sobre a configuração do MCGA/CPTEC utilizado no presente trabalho. Já a configuração do modelo operacional é o mesmo descrito por Cavalcanti et al. (2002), porém com a parametrização de convecção de Grell e Dévényi (2002).

Tabela 3.1 - Resumo das principais características dos processos físicos e dinâmicos do MCGA/CPTEC

Dinâmica	Euleriana.
Advecção de umidade	Semi-Lagrangeano.
Radiação de onda curta	Esquema Clirad (Chou e Suarez, 1999, modificado por Tarasova e Fomin, 2007). Considera detalhes da absorção gasosa e do espalhamento por partículas
Radiação de onda longa	Esquema de Harshvardhan et al. (1987). Inclui o aquecimento atmosférico devido à absorção de radiação terrestre pelo vapor d'água (previsto), pelo dióxido de carbono (especificado), nuvens (previstas) e também por outras espécies radiativamente ativas.
Convecção rasa	Esquema de Tiedtke (1983).
Convecção profunda	Grell e Dévényi (2002), com fechamento <i>ensemble</i> por: estabilidade de equilíbrio (quase-equilíbrio) (fechamento de Grell); remoção da instabilidade pela convecção (fechamento de Fritsh-Chapel); convergência de umidade (fechamento de Kuo); e velocidade vertical (fechamento Omega)..
Microfísica	Rasch e Kristjánsson (1998).
Onda de gravidade	Alpert, descrito Pierrehumbert (1986) e Helfand et al. (1987).
Camada limite	Holtslag e Boville (1993) com fechamento de Mellor e Yamada (1982).

Adicionalmente, maiores informações sobre o modelo e sua evolução e modificações no passar dos anos podem ser encontrados, detalhadamente, no portal do Laboratório de Modelagem Atmosférica (LMA), laboratório virtual sobre modelagem atmosférica que se encontra disponível em <<http://lma.cptec.inpe.br/>>.

3.2. Metodologia

3.2.1. Previsão retrospectiva

A previsão climática sazonal retrospectiva pelo MCGA/CPTEC foi feita para 15 estações chuvosas (2000-2001 a 2014-2015) e, em cada previsão, foram utilizadas 15 condições iniciais (CI) diferentes, dos dias 9 a 23 dos meses de abril, maio e junho (para o IEC) e setembro, outubro e novembro (para o FEC), para a geração de um conjunto de previsões (*ensemble*). Geralmente, seleciona-se um conjunto de CI com diferença de 24 horas, pelo fato de que a previsibilidade, neste caso, está em função da condição de contorno (CC) ao invés do estado inicial (STERN; MIYAKODA, 1995). Assim, tais condições são derivadas de dias consecutivos das análises diárias das 12:00z do FNL e da reanálise I do NCEP (Kalnay et al., 1996), para as rodadas da versão 3.0 e OPER, respectivamente .

Cabe ressaltar que para a geração dos resultados da previsão climática do MCGA/CPTEC 3.0 foi necessário um total de 1350 rodadas (15ECx15membrosx6meses), sendo que cada inicialização do modelo foi integrada por 7 meses. Isso mostra o volume de trabalho computacional e tempo exigidos para a análise proposta pelo presente trabalho.

Na geração da previsão climática sazonal, os dois primeiros meses (aproximadamente, dependerá do membro) de previsão são considerados como período de ajuste de equilíbrio do modelo (*spin-up*). A condição de contorno oceânica utilizada foi a TSM persistida (Reynolds et al. 2002), i.e., a anomalia de TSM observada nos meses, individualmente, de junho a agosto (para o IEC) e novembro a janeiro (para o FEC) é persistida nos quatro meses seguintes, como mostra a Figura 3.1.

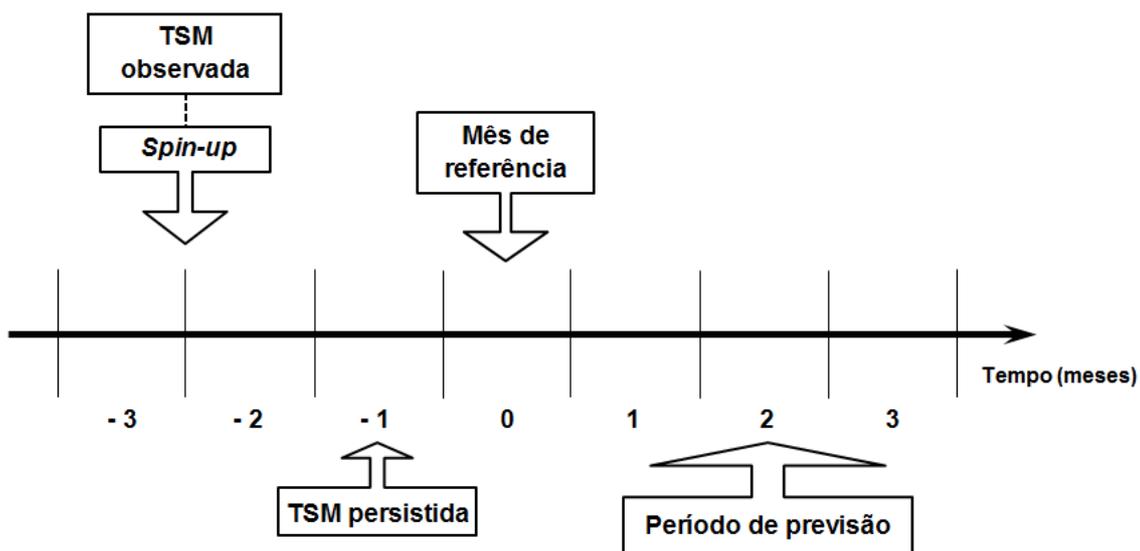


Figura 3.1 – Esquema de previsão climática sazonal

Fonte: Adaptado e modificado de WMO (2002).

Por exemplo, a previsão do mês de agosto para o período de setembro, outubro e novembro foram produzidas com as CI do mês de maio e com CC persistidas do mês de julho, ou seja, persistindo as anomalias de TSM desse mês nos meses seguintes. Os dois meses que antecedem a persistência da TSM, neste caso os meses de maio e junho, a CC oceânica é a TSM observada. Assim, com as previsões de julho, agosto e setembro com foco nos trimestres agosto/setembro/outubro (ASO), setembro/outubro/novembro (SON) e outubro/novembro/dezembro (OND), respectivamente, são utilizadas para identificar o IEC; e as previsões de dezembro, janeiro e fevereiro para os trimestres de janeiro/fevereiro/março (JFM), fevereiro/março/abril (FMA) e março/abril/maio (MAM), respectivamente, para determinar o FEC sobre o COB.

3.2.2. Comportamento das variáveis climáticas

Como o presente trabalho discorre sobre diversas metodologias, torna-se necessário avaliar o comportamento das variáveis-base dos respectivos

índices, oriundas da reanálise e da previsão climática sazonal, a fim de apontar suas vantagens e possíveis limitações. Assim, foram calculadas as médias trimestrais de precipitação acumulada, vento em 200 e 850 hPa, umidade específica em 925 hPa, ROL e água precipitável sobre a AS nos trimestres de ASO, SON e OND para exibir a evolução do IEC e JFM, FMA, MAM para o FEC durante as EC de 2000-2001 a 2009-2010. Por fim foram comparados os campos espaciais da reanálise e as médias dos 15 membros das previsões climáticas sazonais.

O mesmo foi feito para a comparação entre as previsões climáticas sazonais geradas pelas versões 3.0 e OPER do MCGA/CPTEC, porém para as EC de 2011-2012 a 2014-2015.

3.2.3. Índices de identificação das datas do IEC e FEC

Devido às dificuldades em simular/prever a precipitação, índices derivados do comportamento das demais variáveis mostram-se boas alternativas para auxiliar no desafio de identificar o IEC e FEC. Assim, no presente trabalho são utilizados sete índices com base em diferentes variáveis e metodologias a fim de determinar as datas de IEC e FEC no COB (Figura 3.2). A escolha dessa região se justifica pela sua importância, pois é a região na qual apresenta a amplitude máxima do ciclo anual da precipitação na AS, além de ser a região que contém as cabeceiras de importantes rios que abastecem e geram energia para grande parte do país (Gan et al., 2004, 2006).

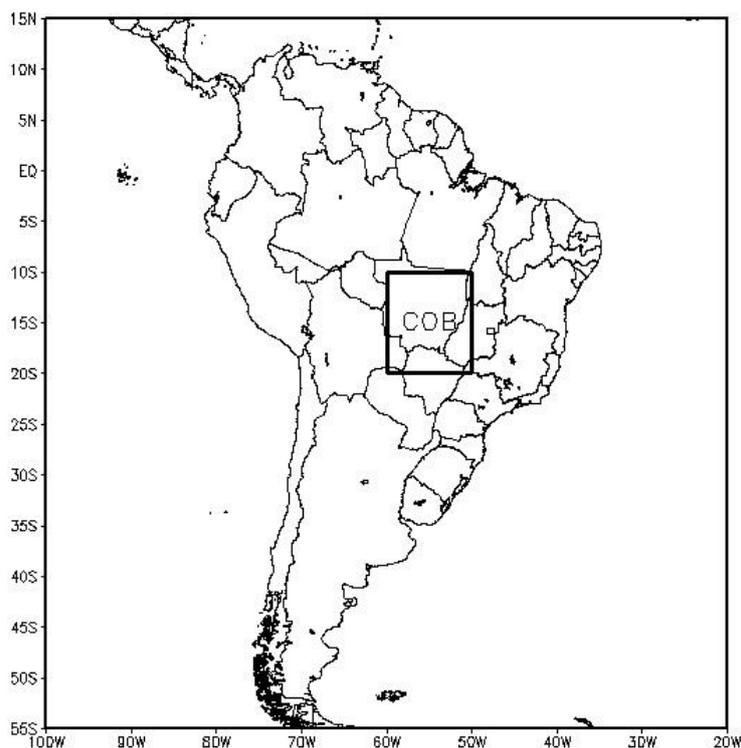


Figura 3.2 – Área de estudo: região Centro-Oeste do Brasil (COB).

A seguir são explicitados os sete índices aplicados no presente trabalho, com os critérios e limiares originais:

- a) Gan et al. (2006) propuseram quatro índices baseados nas características da circulação do vento, sendo que no presente estudo foram utilizados somente três deles:
 - o primeiro é semelhante àquele proposto por Gan et al. (2004), utiliza o vento zonal em 850 hPa (IVZ850) o qual define o IEC (FEC) como a primeira ocorrência do vento de oeste (leste) em 850 hPa em 60° W na banda de 10°- 20°S,
 - o segundo utiliza o cisalhamento do vento meridional (ICVM) que exhibe a diferença do vento meridional médio entre os

níveis de 850 e 200 hPa na área correspondente a 30°-40°W e 5°-10°S, i.e., o NEB. Assim, o IEC (FEC) é identificado quando há a mudança do sinal do ICVM de negativo (positivo) para positivo (negativo),

- o terceiro índice baseia-se no cisalhamento do vento zonal (ICVZ), consiste na diferença do vento zonal médio entre 850 e 200 hPa sobre a área de 50°-60°W e 10°-15°S e associa-se a circulação leste-oeste, utiliza-se o limiar de 8 m.s⁻¹ para determinar o IEC e FEC,

Todos os três índices citados anteriormente também consideram, além dos limiares, a sua persistência em seis das oito pântadas subsequentes para determinar o IEC e FEC;

- b) Raia e Cavalcanti (2008) utilizaram um índice baseado àquele utilizado por Fasullo e Webster (2003) para analisar a monção da Índia a partir do comportamento do CHM. Assim, esse índice se baseia no transporte de umidade zonal (TUZ) na região de 10° - 15°S a 65° - 55°W, para cada pântada, integrado verticalmente de 1000 a 700 hPa, camada que se concentra a maior parte da umidade:

$$TUZ = \int_{1000hPa}^{700hPa} qu \, dp \quad (3.1)$$

onde TUZ é o transporte de umidade zonal, q é a umidade específica e u a componente zonal do vento.

A normalização do TUZ (TUZN) pela equação (3.2) atribui uma variação entre -1 e 1 ao índice:

$$TUZN = 2 * \frac{[TUZ - \min(\overline{TUZ})]}{[\max(\overline{TUZ}) - \min(\overline{TUZ})]} - 1 \quad (3.2)$$

onde TUZN é o transporte de umidade zonal normalizado e \overline{TUZ} corresponde ao ciclo anual de TUZ.

O valor -1 indica o transporte de umidade mínimo e +1, o máximo. Assim, o IEC (FEC) é determinado na pênstada que ocorre a mudança de negativo-positivo (positivo-negativo) do valor de TUZN e, além disso, o sinal deve persistir em, ao menos, três das quatro pênstadas subseqüentes;

- c) Garcia e Kayano (2009, 2013) basearam-se no comportamento do campo de ROLANT para determinarem o IEC e o FEC. O cálculo do ROLANT é feito a partir da metodologia proposta por Murakami e Nakazawa (1985), em relação ao equador geofísico ($y=0$):

$$\text{ROLANT}(x,y) = \frac{\text{ROL}(x,y) - \text{ROL}(x,-y)}{2} \quad (3.3)$$

em que x é a longitude e y é a distância latitudinal em relação ao equador. O ROLANT refere-se ao valor de ROL do HS menos o valor de ROL do HN. Assim, valores negativos (positivos) de ROLANT ao sul do equador indicam presença (ausência) de convecção nesta área.

Deve-se enfatizar que a região antissimétrica de COB encontra-se no oceano Atlântico, i.e., não pertence à área do SMAS e nem à área do SMAN, o que faz necessário o ajuste do método (GARCIA e KAYANO, 2013). O ajuste ocorre em virtude da disposição espacial do continente americano, que possui uma orientação noroeste-sudeste bem como a trajetória anual da atividade convectiva, como mostrado em Matsumoto e Murakami (2002). Ainda, o início do SMAN localiza-se em 98°W e se propaga para noroeste (VERA et al., 2006), assim, a região

antissimétrica designada para o COB é 10°-20°N e 97,5°-107,5°W, como pode ser visto na Figura 3.3.

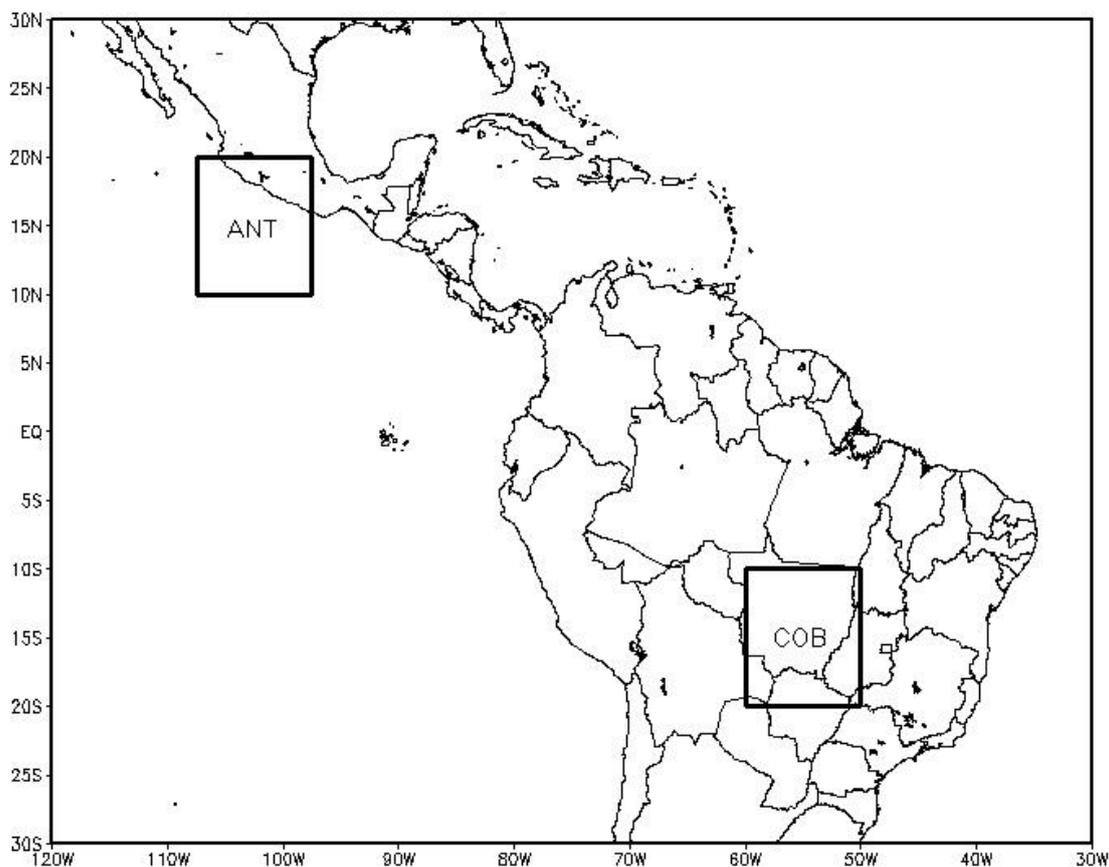


Figura 3.3 – COB e sua região antissimétrica referente (ANT).

O valor do ROLANT é obtido em cada ponto de grade e, em seguida, médias espaciais ([ROLANT]) na área de estudo são calculadas. Assim, o IEC (FEC) é indicado como a pênstada de valor negativo (positivo) da série temporal de [ROLANT] dentro do período de tal ocorrência que inicia um período dominante de valores negativos (positivos) de [ROLANT].

- d) Neves et al. (2013) aplicaram o índice desenvolvido por Zeng e Lu (2004) com base na água precipitável (AP). O índice normalizado de água precipitável (INAP) é considerado um

método objetivo e de aplicação global para definir o IEC e FEC relacionados às monções:

$$\text{INAP} = \frac{\text{AP} - \text{min}(\text{AP})}{\text{máx}(\text{AP}) - \text{min}(\text{AP})} \quad (3.4)$$

onde INAP é o índice normalizado de água precipitável, AP a água precipitável e min(AP) e máx(AP) são os valores mínimos e máximos da média diária de água precipitável, no intervalo dos anos considerados, em cada ponto de grade.

Os autores propõem que o IEC (FEC) ocorre no primeiro dia em que esse índice for superior (inferior) ao limiar de 0,618 por mais de três dias consecutivos.

- e) Adicionalmente, para auxiliar nas análises das datas encontradas pelos índices acima será utilizado um índice baseado nos dados de precipitação do CPC, o índice de precipitação (IP), o qual determina o IEC (FEC) quando a taxa de precipitação é superior (inferior) à média diária climatológica sobre a região de estudo por, pelo menos, seis das oito pântadas subsequentes. Tal índice foi utilizado anteriormente por Gan et al. (2004, 2006), os quais identificaram que a média diária climatológica da precipitação sobre o COB era de 4 mm.dia^{-1} .

Dado o comportamento dos índices dentro do ciclo anual de precipitação na região de estudo, torna-se necessário avaliar como cada índice representa, estatisticamente, tal comportamento. Para isso foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (CP): razão entre a covariância e o produto dos desvios padrão entre as pântadas dos índices e as pântadas de precipitação. Assim, o coeficiente de correlação avalia o grau de destreza dos índices em representar a precipitação sobre a região. O coeficiente varia entre 1 e -1, quanto mais

próximo de 1 (-1) maior a associação direta (inversa) do índice analisado com a precipitação.

$$CP = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2}} \quad (3.5)$$

Em que \bar{P} é a média do valor índice e \bar{O} a média do valor da precipitação no ciclo anual sobre a região.

Considerando que o comportamento dos índices possua distribuição normal, para o teste da significância, a hipótese nula é assumida. Desta forma a seguinte condição deve ser satisfeita pelo teste t de Student:

$$-t_s * \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} < a < +t_s * \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \quad (3.6)$$

em que t_s é o valor tabelado da distribuição t de Student correspondente a $n-1$, σ é o desvio padrão, a é a média da amostra e n é o número de casos. Assim, os valores absolutos excedendo $t_s * \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$ são significativos estatisticamente (PANOFSKY; BRIER, 1968). O nível de confiança usado foi de 95%.

3.2.4. Datas de IEC e FEC sobre o COB a partir do MCGA/CPTEC

As datas de IEC e FEC são obtidas através da média das datas válidas identificadas por cada membro do conjunto de previsões. Para serem consideradas datas válidas foram utilizados os seguintes critérios:

- a) Os índices de IEC e FEC são aplicados para cada membro de cada conjunto de previsões individualmente, ou seja, para cada trimestre de previsão climática sazonal podem existir até 15 datas de IEC ou FEC;

- b) As datas encontradas são válidas somente se, pelo menos, 9 dos 15 membros (60%) tiverem conseguido identificar o IEC ou FEC, ou, ainda, se o desvio-padrão (DP) dos membros for menor que o DP médio de todo o período de estudo. Um DP baixo mostra que as datas, mesmo que abaixo de 60% das datas previstas, apresentam certa convergência entre si;
- c) Por fim foi calculada a diferença das datas encontradas por cada índice baseadas nos dados do CFSR e CDR com as datas baseadas nos dados de cada trimestre de previsão climática sazonal do MCGA/CPTEC. Também foram comparadas as datas encontradas pelo IP. Desta maneira é possível observar o comportamento as datas de IEC e FEC em cada trimestre;
- d) Foram consideradas como acertos nas datas de IEC e FEC as datas que ficaram no intervalo de ± 2 pêntricas das datas de referência, i.e., as datas encontradas pelos índices com base nos dados do CFSR, CDR e/ou CPC. O acerto técnico é considerado quando essas datas coincidem entre si.

Para a comparação entre as versões 3.0 e OPER do MCGA/CPTEC também foram utilizados os critérios acima, porém as datas usadas como referenciais para a comparação foram somente por aquelas identificadas pelo IP. Isso se justifica devido ao período de comparação (2011 a 2015), já que os dados do CFSR estão disponíveis somente para até 2010 e, como não há dados pós-processados de ROL nas rodadas OPER, os dados de CDR não foram utilizados nessa seção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são discutidas as características climatológicas das variáveis climáticas utilizadas nos índices com os dados do CPC, CFSR, CDR e MACGA/CPTEC 3.0 (Seção 4.1.) e as datas do IEC e FEC sobre a região do COB baseadas nos dados do CFSR, CDR e CPC assim como seu comportamento no ciclo anual nas EC de 2000-2001 a 2009-2010 (Seção 4.2.). As mesmas são comparadas com as datas identificadas pelos mesmos índices a partir dos dados gerados pela previsão climática sazonal com a versão 3.0 do MCGA/CPTEC (Seção 4.3.) e, por fim, há a comparação dos dados e das datas desta com a versão operacional no período de 2011-2015 (Seção 4.4.).

4.1. Características climatológicas das variáveis

Para a análise do comportamento das variáveis utilizadas no presente trabalho foram calculadas as médias trimestrais climatológicas de tais variáveis para as EC de 2000-2001 a 2009-2010 sobre a AS. As variáveis precipitação acumulada (mm), vento em 200 e 850 hPa ($m.s^{-1}$), umidade específica em 925 hPa ($g.kg^{-1}$), ROL ($W.m^{-2}$) e água precipitável ($kg.m^{-2}$) provenientes do CFSR, CDR e CPC e da média dos 15 membros oriundos do conjunto das previsões climáticas sazonais do MCGA/CPTEC 3.0 foram utilizados para esta análise. Assim, foram analisadas as previsões dos trimestres de agosto/setembro/outubro (ASO), setembro/outubro/novembro (SON) e outubro/novembro/dezembro (OND) para representar a evolução das variáveis durante o IEC e os trimestres de janeiro/fevereiro/março (JFM), fevereiro/março/abril (FMA) e março/abril/maio (MAM) para a evolução do FEC.

Na Figura 4.1 são apresentadas as médias trimestrais da precipitação acumulada (mm) nas EC de 2000-2001 a 2009-2010 sobre a AS utilizando os dados do CPC (coluna à esquerda) e do MCGA/CPTEC 3.0 (coluna à direita). Nota-se que em ASO os maiores acumulados de precipitação encontram-se concentrados a norte/noroeste da AS (600 mm) e Sul do Brasil (400 mm -

Figura 4.1 (a)), devido à grande incidência de radiação solar na região Amazônica que gera atividade convectiva intensa praticamente durante todo o ano (MARENGO e NOBRE, 2009) e a atuação de sistemas transientes, ciclogênese e atuação de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) no sudeste do continente (GRIMM, 2009). Com o avanço dos meses, a precipitação tende a deslocar-se para sul do continente, numa orientação noroeste/sudeste estendendo desde o noroeste da região Amazônica até o Sudeste do Brasil (Figuras 4.1 (b) e (c)), sendo que os maiores valores de precipitação encontram-se na região Amazônica e COB, característico de uma região com regime de monção (GAN et al., 2004; GARCIA e KAYANO, 2009; 2013). Cabe ressaltar que, apesar da região Sul do Brasil apresentar grandes valores de precipitação os mesmos não estão relacionados com a precipitação do SMAS e o acumulado permanece praticamente inalterado nos meses analisados.

Com relação à média dos membros da previsão climática sazonal pelo MCGA/CPTEC 3.0, para o mesmo período, nota-se que o modelo representa relativamente bem a propagação do acumulado da precipitação (noroeste/sudeste) assim como o posicionamento dos principais núcleos (noroeste da região amazônica, COB e Sul do Brasil), porém superestimando sua intensidade (Figuras 4.1 (d), (e) e (f)). O modelo, também, localiza erroneamente acumulados de precipitação próximos ao Andes (5° - 35° S e 75° - 65° W) e esta limitação pode estar relacionada com a coordenada vertical (sigma) utilizada no modelo (MARENGO et al., 2003).

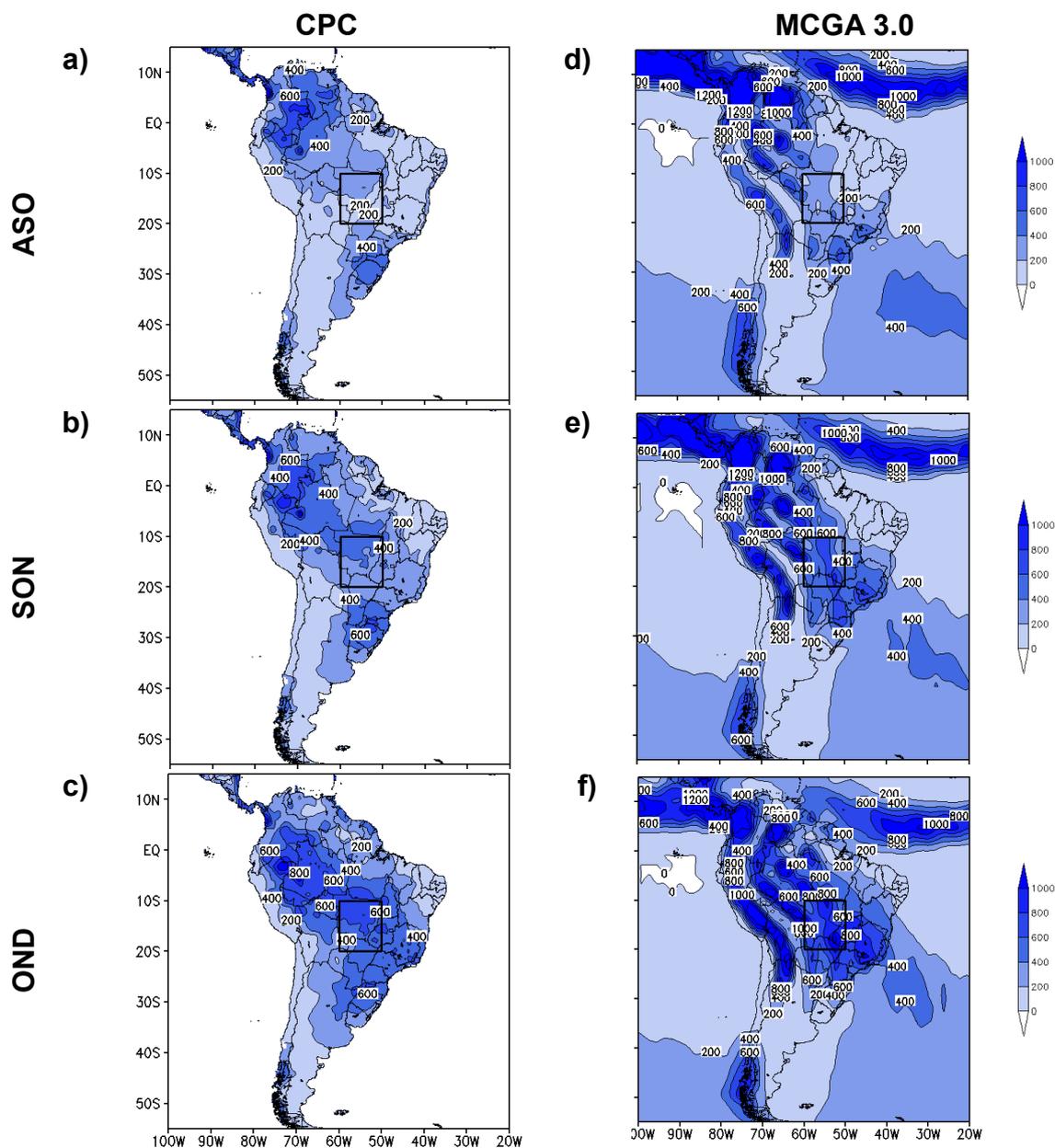


Figura 4.1 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Agosto/Setembro/Outubro (ASO), Setembro/Outubro/Novembro (SON) e Outubro/Novembro/Dezembro (OND) com os dados do CPC (coluna à esquerda) e MCGA 3.0 (coluna à direita) para as EC de 2000-2001 a 2009-2010. Para o MCGA 3.0 foi utilizada a média dos 15 membros do conjunto de previsão.

A circulação em altos níveis (200 hPa) pode ser vista na Figura 4.2. Com dos dados do CFSR, percebe-se o posicionamento do Jato de Altos Níveis (JAN)

entre, aproximadamente, 25° - 45° S. Em latitudes superiores a 20° S, o vento é predominantemente de oeste (Figuras 4.2 (a) e (b)) e, com o passar dos meses, tal predomínio tende a permanecer a partir da latitude de 30° S (Figura 4.2 (c)), devido ao deslocamento da circulação anticiclônicas em altos níveis, i.e., AB, para sua posição climatológica. Em ASO, o vento sobre as regiões delimitadas pelo retângulo apresenta comportamento zonal, modificando sua direção com o passar dos meses, devido ao posicionamento da AB e a configuração do cavado sobre o NEB, tornando o vento predominantemente meridional sobre essas regiões (Figura 4.2 (c)).

Com o MCGA/CPTEC, nota-se que representa bem o comportamento e posição da circulação em altos níveis, porém superestimando-os, principalmente o JAN, em todos os trimestres analisados (Figuras 4.2 (d), (e) e (f)). A circulação delimitada pelos retângulos apresentam comportamento e intensidade similares à reanálise, assim como sua evolução com o passar dos meses.

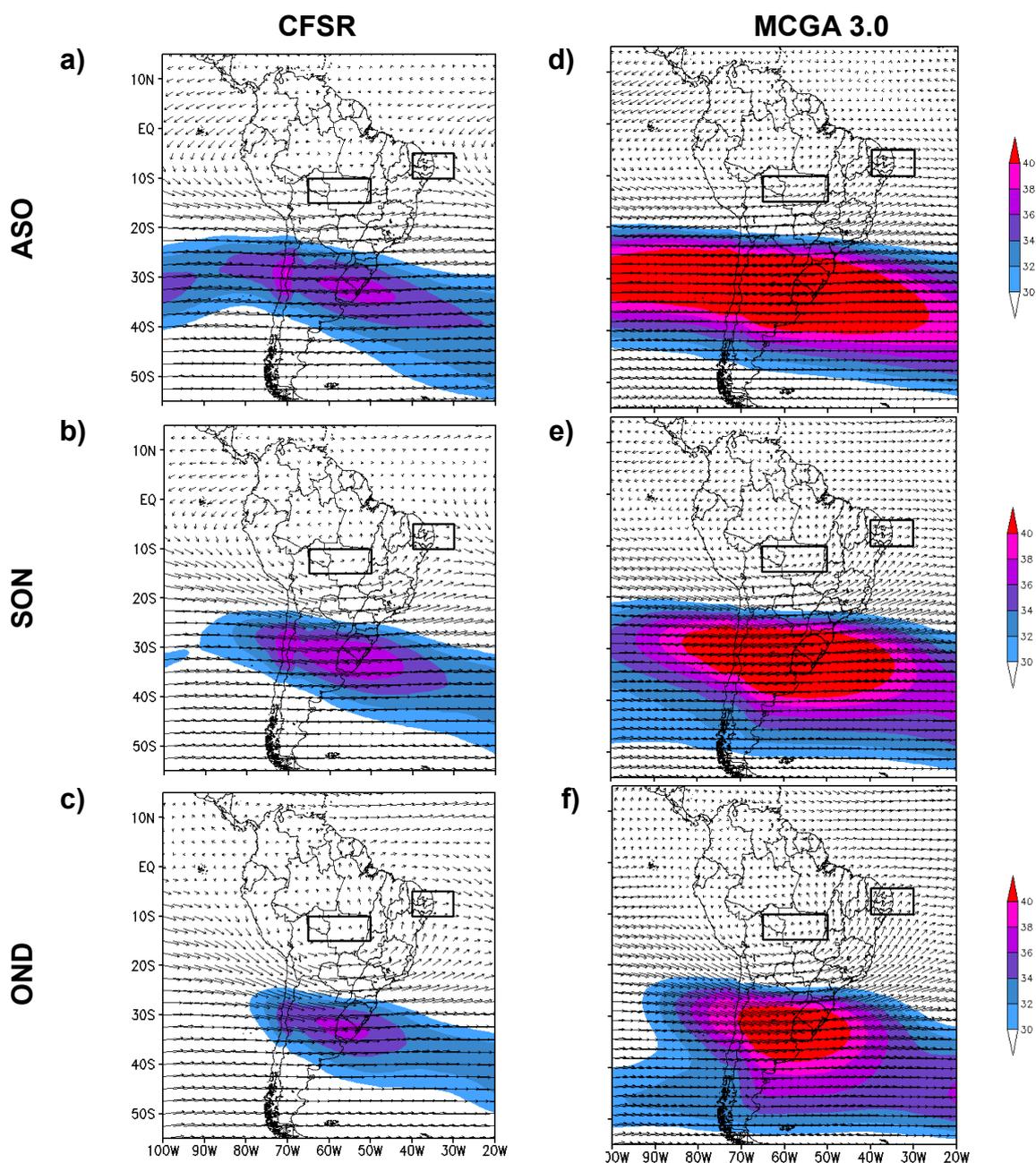


Figura 4.2 – Idem ao anterior, mas para o vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 200 hPa e com dados do CFSR.

Na Figura 4.3 é apresentada a circulação em baixos níveis (850 hPa) nos trimestres de ASO, SON e OND sobre a AS. Com base no CFSR, nota-se que os ventos mais intensos encontram-se no Atlântico Equatorial, próximo à costa

norte do NEB, em latitudes superiores a 40° S e o ramo norte/nordeste da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). Sobre as regiões delimitadas pelos retângulos, pode-se perceber que, enquanto o COB apresenta vento de leste levemente direcionado para sul, no NEB tal vento direciona-se para noroeste (Figura 4.3 (a)). Esse comportamento sofre pequenas variações no passar dos meses, sendo que no COB o vento vai se tornando mais meridional ao passo que sobre o NEB o mesmo torna-se mais zonal (Figura 4.3 (b)). Por fim, nota-se uma deflexão do vento no COB, principalmente em sua porção oeste, para leste e o vento torna-se predominantemente zonal sobre o NEB (Figura 4.3 (c)). A intensidade e o posicionamento da circulação nas demais regiões apresentam pouca variação nos trimestres analisados.

Com os dados da previsão climática sazonal do MCGA/CPTEC 3.0, os núcleos de maiores e menores intensidades do vento são relativamente bem posicionados, porém há superestimativa dos mesmos, principalmente no interior do NEB, latitudes superiores a 40° S e Atlântico Tropical Norte (Figuras 4.3 (d), (e) e (f)). Apesar da superestimativa da intensidade do vento, sobre as regiões delimitadas pelos retângulos, o modelo representa bem a circulação do vento em baixos níveis assim como sua evolução com o passar dos meses.

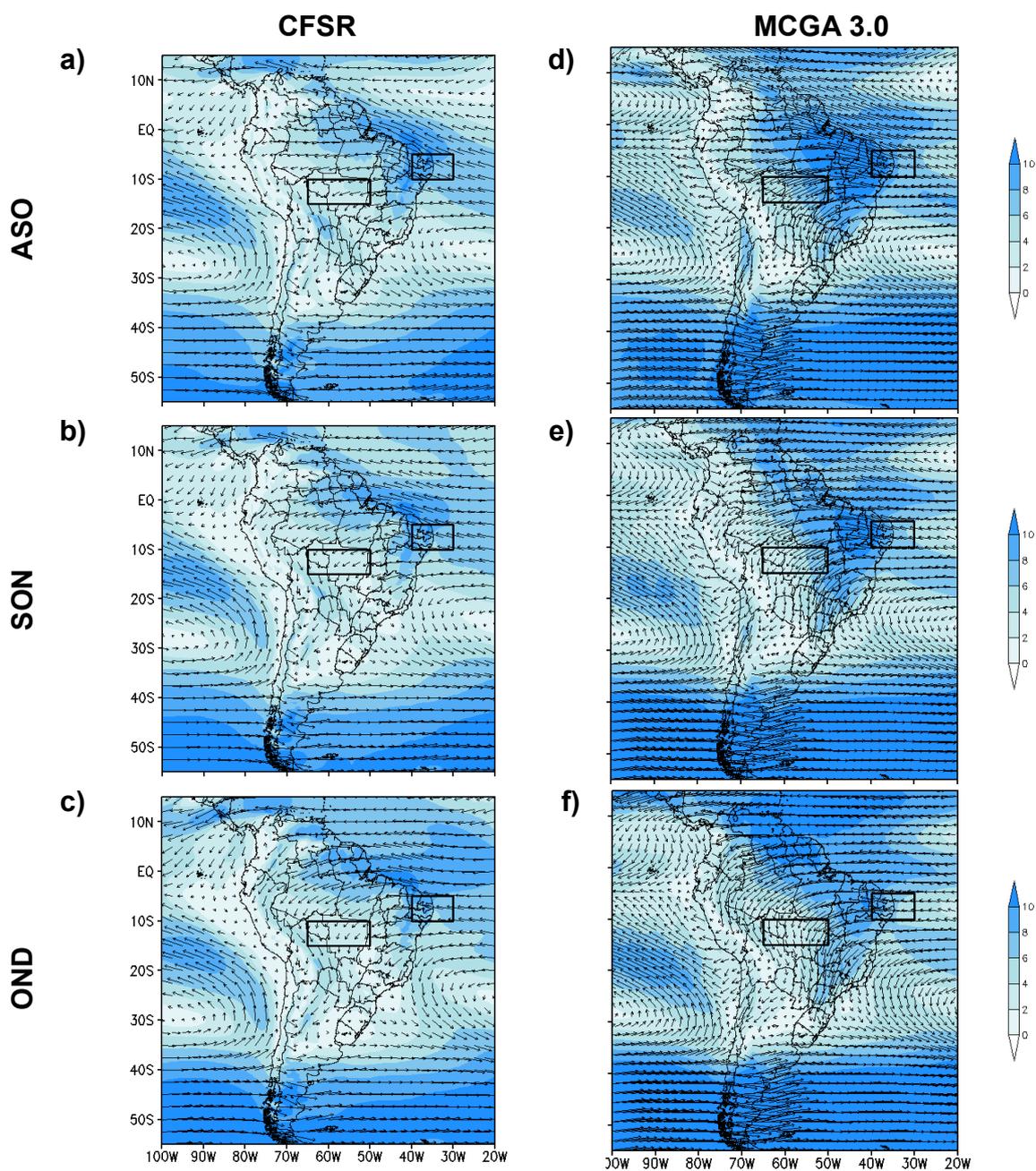


Figura 4.3 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 850 hPa.

A evolução do campo espacial de ROL nos trimestres de ASO, SON e OND é obtida a partir dos dados do CDR e MCGA/CPTEC, como pode ser visto na Figura 4.4. Pelos dados do CDR, nota-se elevada atividade convectiva (menores valores de ROL) sobre o continente encontra-se no extremo

norte/noroeste da AS e sul da América Central (Figura 4.4 (a)), a qual se desloca para sudeste da AS com o passar dos meses (Figuras 4.4 (b) e (c)). Nas regiões delimitadas pelos retângulos, percebe-se o comportamento oposto de ROL em ambas as regiões, isso mostra o comportamento sazonal antissimétrico equatorialmente da atividade convectiva que apresenta deslocamento noroeste/sudeste característico do SMAS (GARCIA e KAYANO, 2013; 2015).

Referente ao MCGA/CPTEC 3.0, de modo geral, os dados de ROL são superestimados, i.e., representam menos nuvens profundas (atividade convectiva) sobre a região tropical (Figura 4.4 (d), (e) e (f)) do que quando comparado com os dados do CDR (Figura 4.4 (a), (b) e (c)). Por outro lado, o modelo representa bem o posicionamento dos núcleos convectivos assim como seu deslocamento com o passar dos meses.

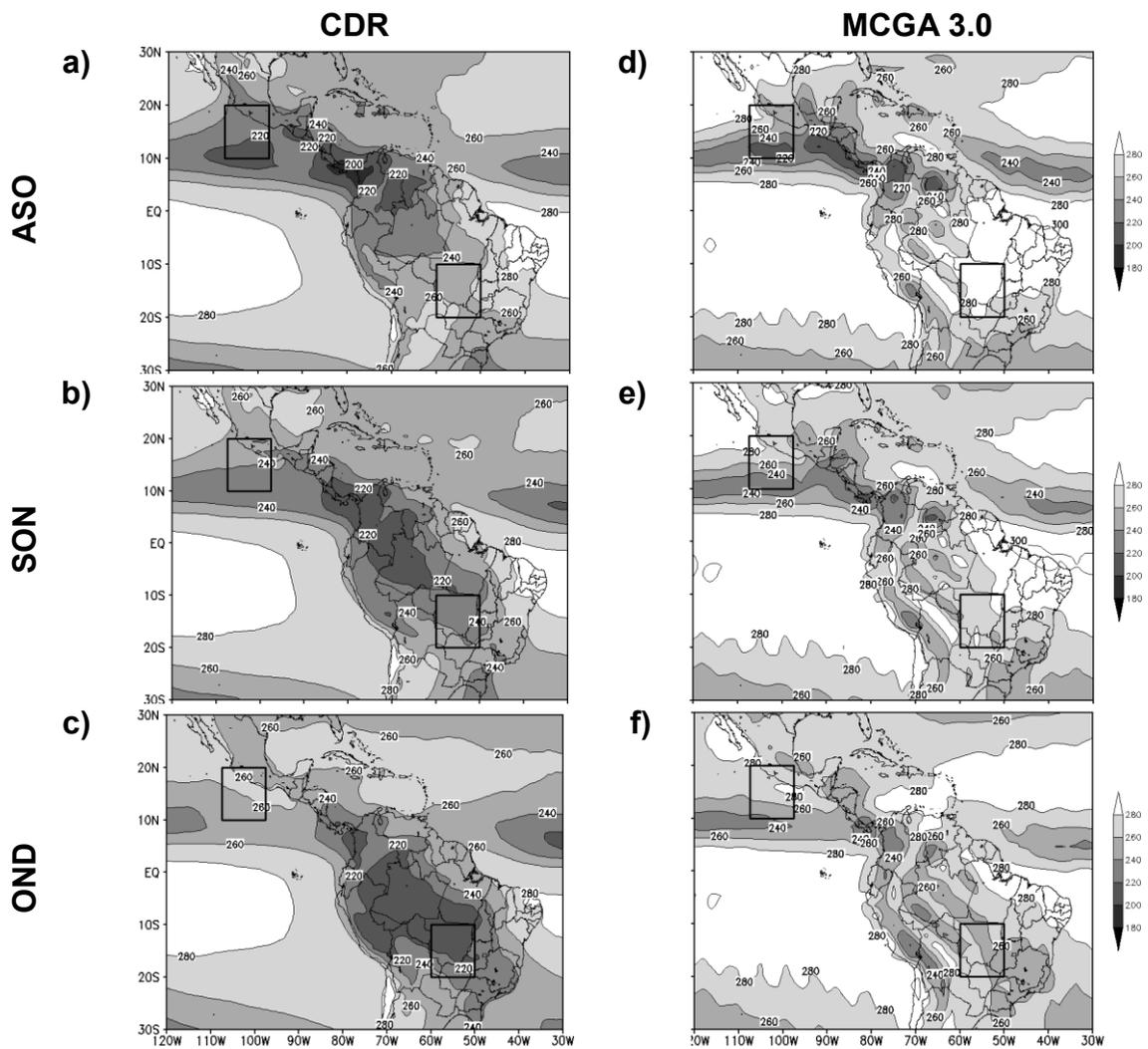


Figura 4.4 – Idem ao anterior, mas para ROL ($W.m^{-2}$) e com dados do CDR.

Na Figura 4.5 é exibida a evolução da umidade específica ($g.kg^{-1}$) em 925 hPa entre os trimestres de ASO, SON e OND a partir dos dados do CFSR e do MCGA/CPTEC 3.0. Pelo CFSR, percebe-se que os maiores valores de umidade específica localizam-se na região equatorial, estendendo-se até o COB no trimestre de OND (Figura 4.5 (c)). O MCGA/CPTEC representa muito bem a intensidade e o posicionamento de tal variável, incluindo a região delimitada pelo retângulo, porém o interior e porção sul do NEB e norte de

Minas Gerais a umidade é superestimada e na região dos Andes, entre 0° e 20° S, subestimada.

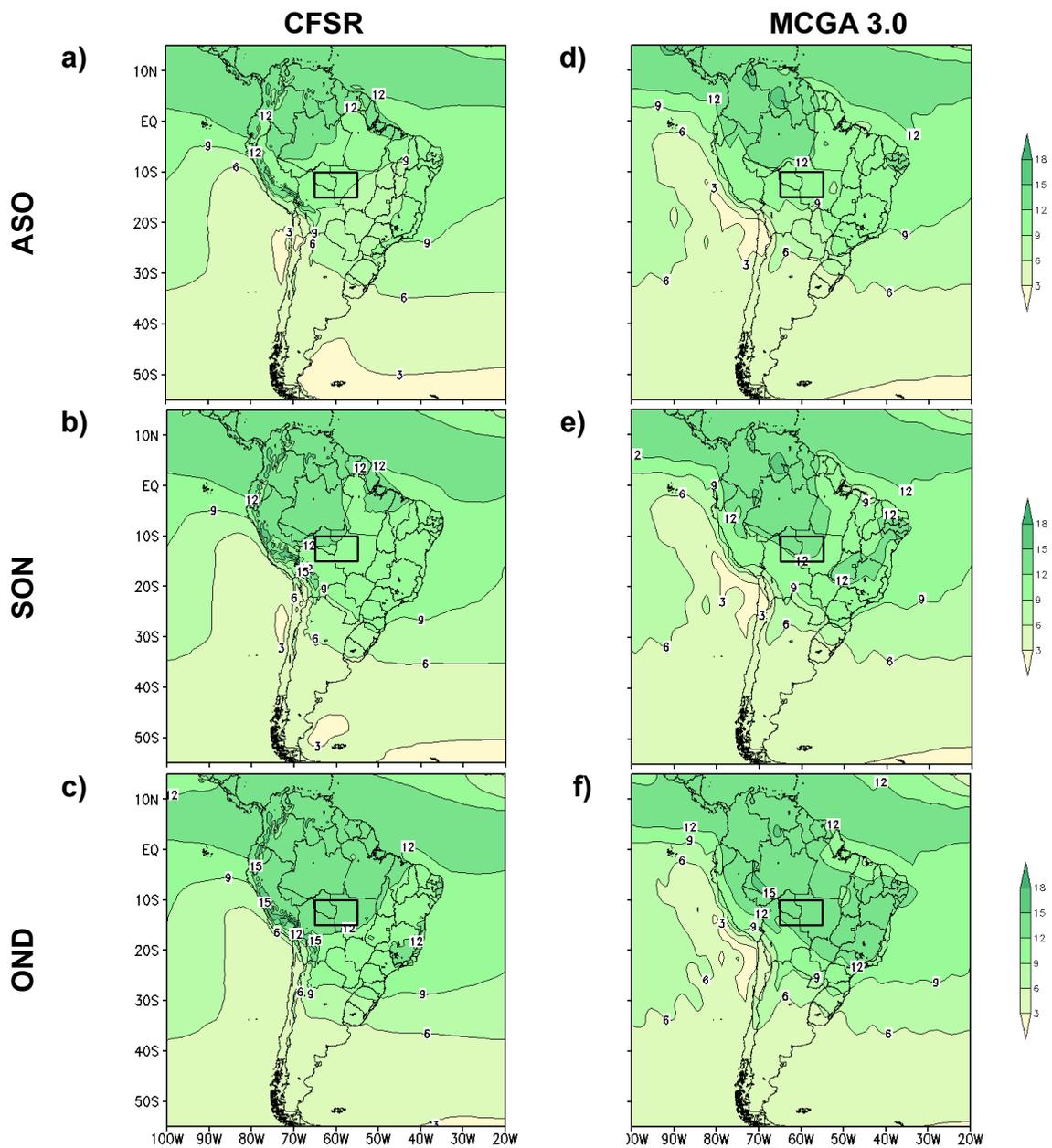


Figura 4.5 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica (g.kg^{-1}) em 925 hPa e com dados do CFSR.

A água precipitável ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) também foi analisada para os trimestres de ASO, SON e OND e sua evolução temporal pode ser vista na Figura 4.6. Pelo CFSR, assim como a umidade específica, a água precipitável apresenta maiores valores na região equatorial e tende a direcionar-se para sul conforme o passar dos meses analisados (Figuras 4.6 (a), (b) e (c)). Logo, os maiores valores são encontrados a norte/noroeste da AS e sobre o oceano Atlântico e Pacífico Equatorial, relacionados com a ZCIT. Os menores valores podem ser visto, principalmente, sobre os Andes e em latitudes mais altas. Já o modelo representa relativamente bem o posicionamento dos núcleos de máximo desta variável, porém os mesmos são subestimados.

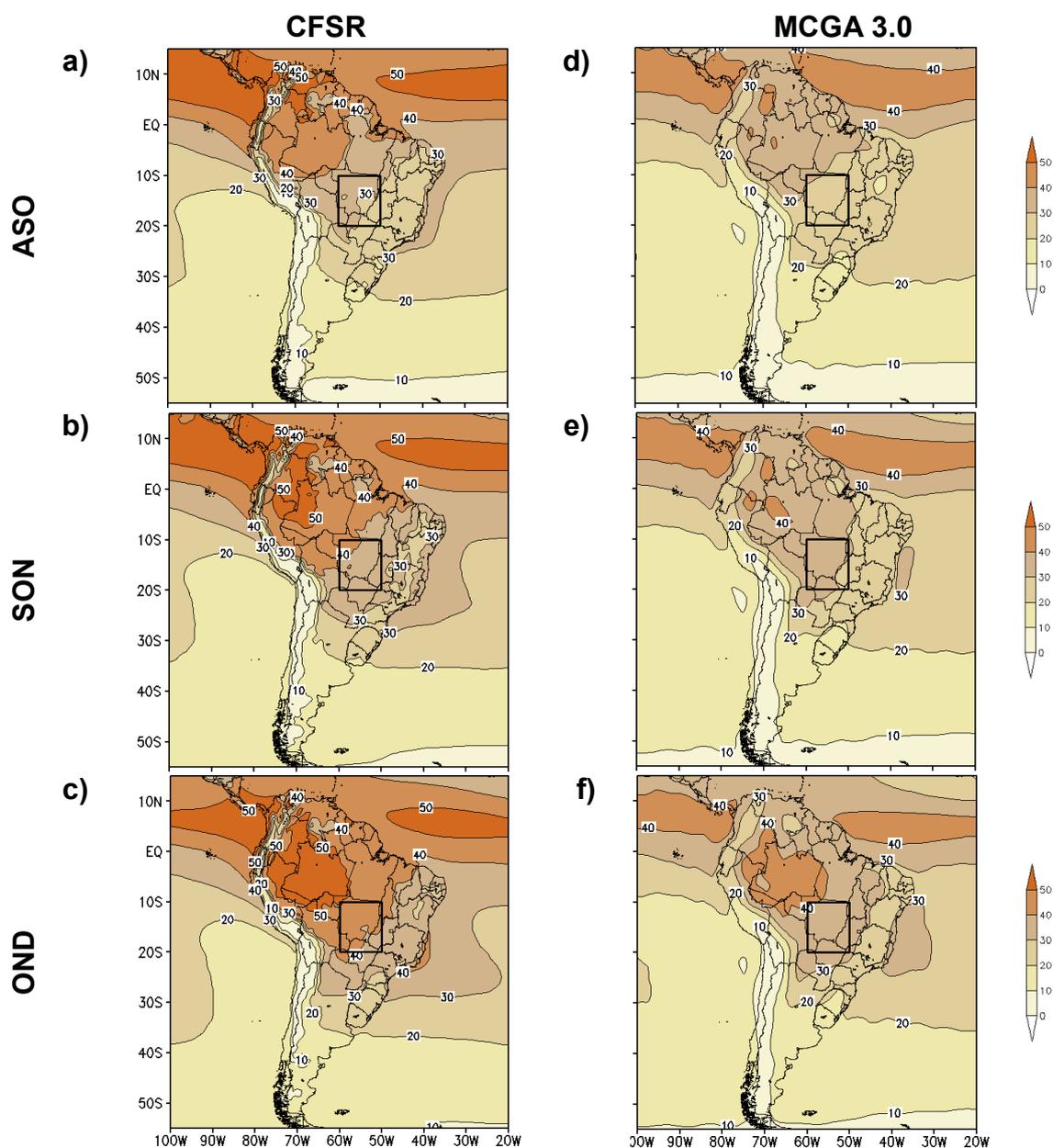


Figura 4.6 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável (kg.m^{-2}).

Assim como a análise feita nos trimestre de ASO, SON e OND das variáveis para apresentar a evolução durante o IEC, a mesma foi feita para os trimestres de JFM, FMA MAM para exibir a evolução destas variáveis durante o FEC, também para as EC de 2000-2001 a 2009-2010 sobre a AS.

Na Figura 4.7 pode ser vista a evolução da precipitação acumulada (mm) nos trimestres com base nos dados do CPC e do MCGA/CPTEC 3.0. Pelo CPC, note que o máximo de precipitação acumulada encontra-se na região Amazônica e COB (Figura 4.7 (a)), sendo que esse máximo tende a deslocar-se para norte/noroeste, correspondendo ao FEC relacionado ao SMAS (Figuras 4.7 (b) e (c)). Note, também, que o acumulado sobre a região Sul do Brasil volta a aumentar devido à maior atuação de sistemas transientes sobre a região, característico da estação de transição (GRIMM, 2009).

Com os dados do MCGA/CPTEC, o deslocamento e os núcleos de máximo também podem ser notados, porém superestimados (Figuras 4.7 (d), (e) e (f)). Vale ressaltar que, assim como para a evolução do IEC, o modelo tende a representar erroneamente a precipitação sobre a região dos Andes durante a evolução do FEC.

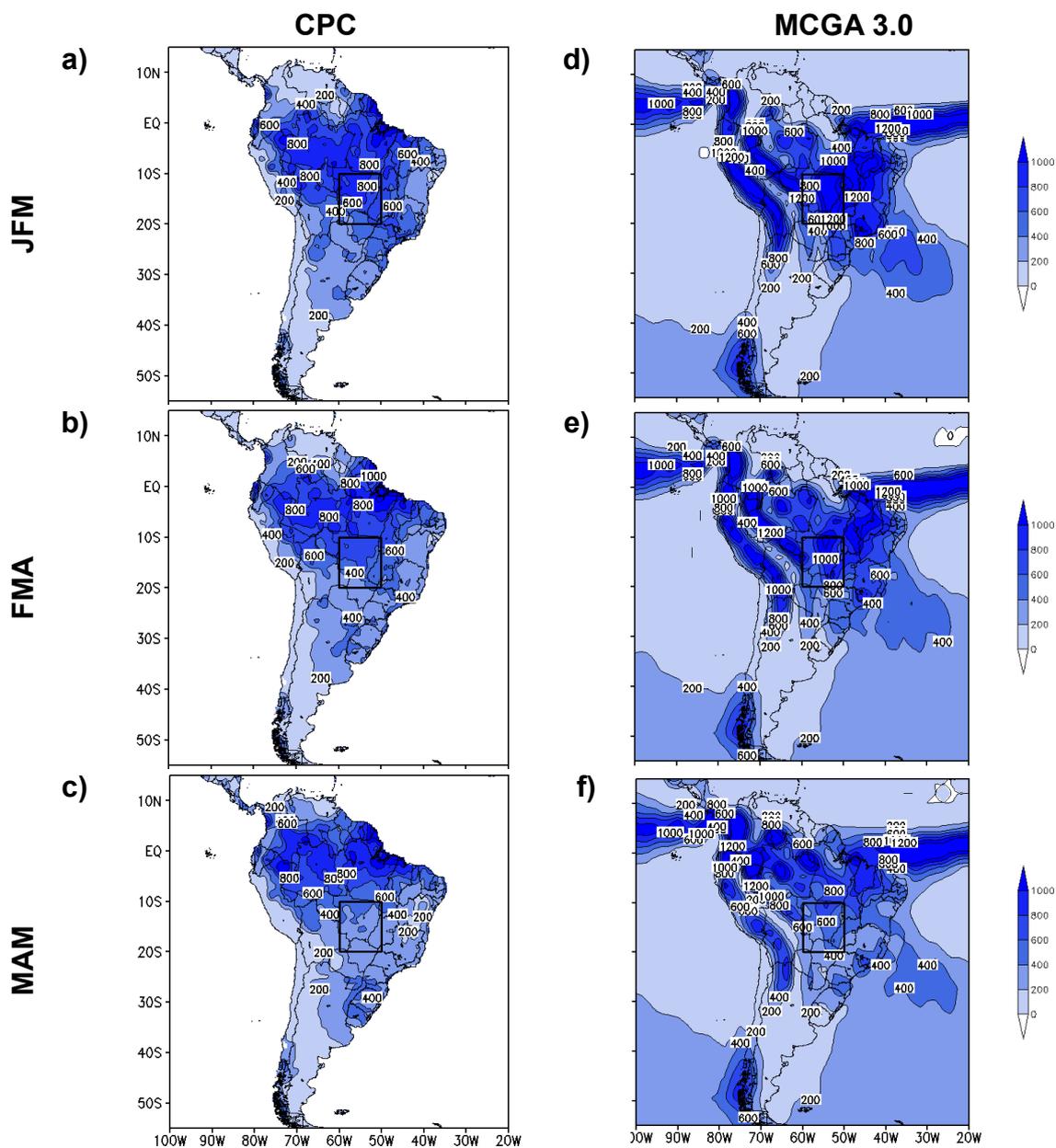


Figura 4.7 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Janeiro/Fevereiro/Março (JFM), Fevereiro/Março/Abril (FMA) e Março/Abril/Maio (MAM) com os dados do CPC (coluna à esquerda) e MCGA 3.0 (coluna à direita) para as EC de 2000-2001 a 2009-2010. Para o MCGA 3.0 foi utilizada a média dos 15 membros do conjunto de previsão.

Os ventos em 200 hPa são mostrados na Figura 4.8. Com dos dados do CFSR, percebe-se que a AB encontra-se em sua posição climatológica assim como o

cavado do NEB no trimestre de JFM (Figura 4.8 (a)), os quais começam a deslocar-se e perdem sua configuração típica (Figuras (b) e (c)). Isso faz com que a circulação delimitada pelo retângulo, principalmente sobre o COB, também se altere. O núcleo do JAN encontra-se no Atlântico Sul e os ventos voltam a tornar-se mais zonal entre as latitudes de 20° - 30° S, similar às latitudes altas. (Figura 4.8 (c)).

Com o MCGA, a posição e deslocamento da AB e cavado do NEB são bem representados, porém o JAN tem sua magnitude superestimada (Figuras 4.8 (d), (e) e (f)). A circulação delimitada pelos retângulos apresenta padrão (magnitude, sentido e direção) similar à reanálise.

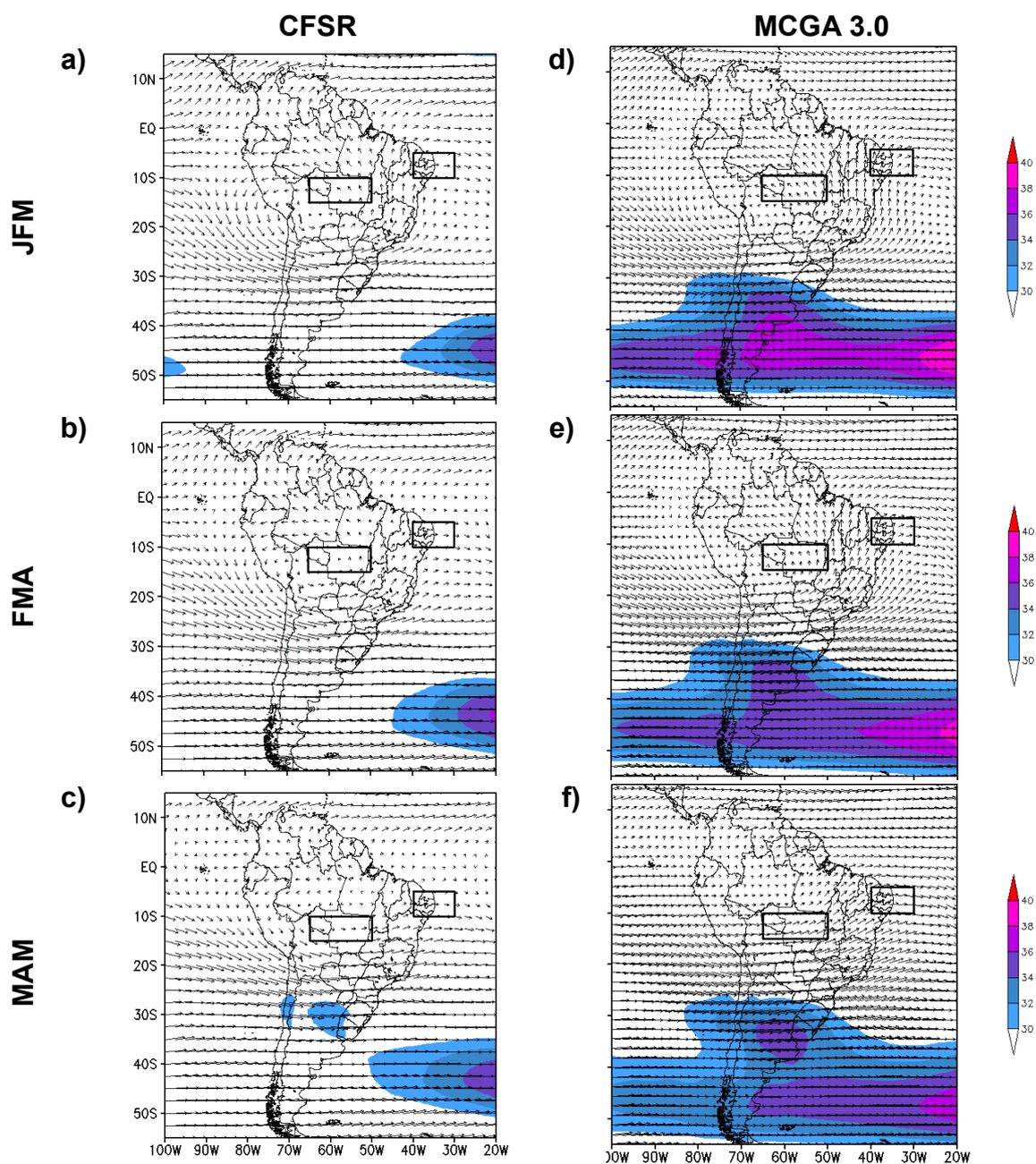


Figura 4.8 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 200 hPa e com dados do CFSR.

Na Figura 4.9 pode ser visto a circulação do vento em baixos níveis (850 hPa). Com base nos dados do CFSR, os centros de máximo permanecem semelhantes aos encontrados nos trimestres correspondentes ao IEC, e.g.,

Atlântico Equatorial, latitudes altas e borda norte/nordeste da ASPS. Há pouca variação no padrão de circulação sobre o NEB, porém sobre o COB percebe-se um padrão oposto ao encontrado no IEC: predominância de vento meridional e de oeste, principalmente na porção oeste da região (Figura 4.9 (a)); a componente meridional começa a perder intensidade (Figura 4.9 (b)); e, por fim, o vento torna-se predominantemente zonal e de leste (Figura 4.9 (c)).

A partir dos dados das previsões climáticas sazonais do MCGA/CPTEC 3.0, nota-se que o modelo consegue representar a posição dos centros de máxima intensidade do vento em baixos níveis, porém superestimando-os assim como ocorre no IEC. O padrão presente no NEB é semelhante à reanálise, porém sobre o COB percebe-se uma maior deflexão do vento para leste em JFM (Figura 4.9 (d)) e nos meses seguintes nota-se que o vento possui a componente meridional mais intensa que encontrada pela reanálise (Figura 4.9 (e) e (f)).

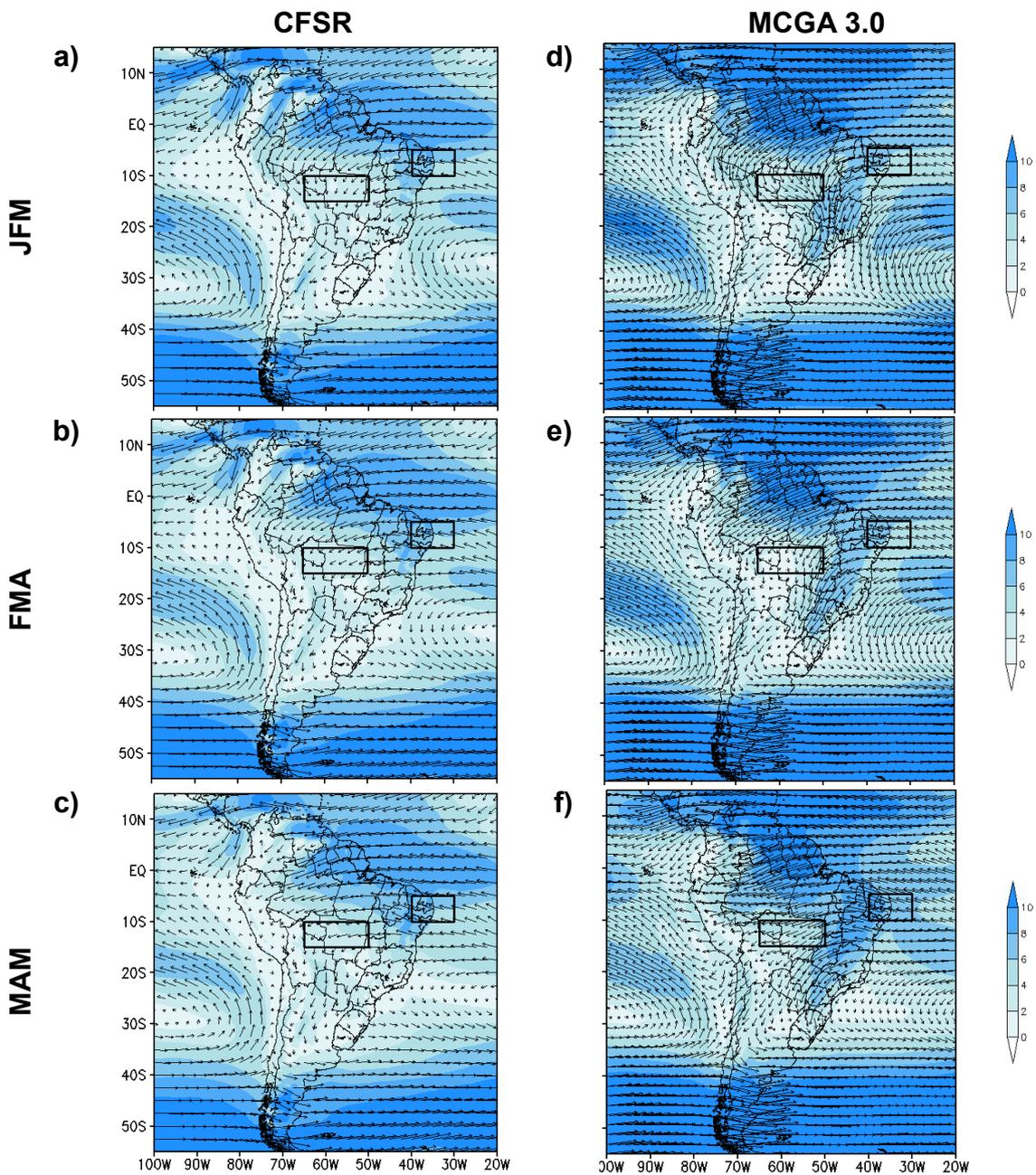


Figura 4.9 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 850 hPa.

O comportamento da ROL durante o FEC é apresentado na Figura 4.10. Os menores valores de ROL são encontrados, principalmente, na região central da AS os quais tendem a se deslocar sentido noroeste com o passar dos meses, como pode ser visto nas Figuras 4.10 (a), (b) e (c). Assim, percebe-se que na

região do COB os valores de ROL tendem a aumentar ao mesmo tempo em que em sua região antissimétrica equatorialmente os mesmos tendem a diminuir, principalmente no trimestre de MAM, caracterizando a transição da monção entre as Américas (Norte e Sul). Pelos dados do MCGA, é possível notar que o modelo consegue representar relativamente bem os núcleos de mínimo, principalmente sobre o continente, porém superestimando-os (Figura 4.10 (d), (e) e (f)), i.e., nuvens menos profundas quando comparadas com os dados do CDR. O deslocamento da monção entre as Américas é bem representado, principalmente sobre a AS.

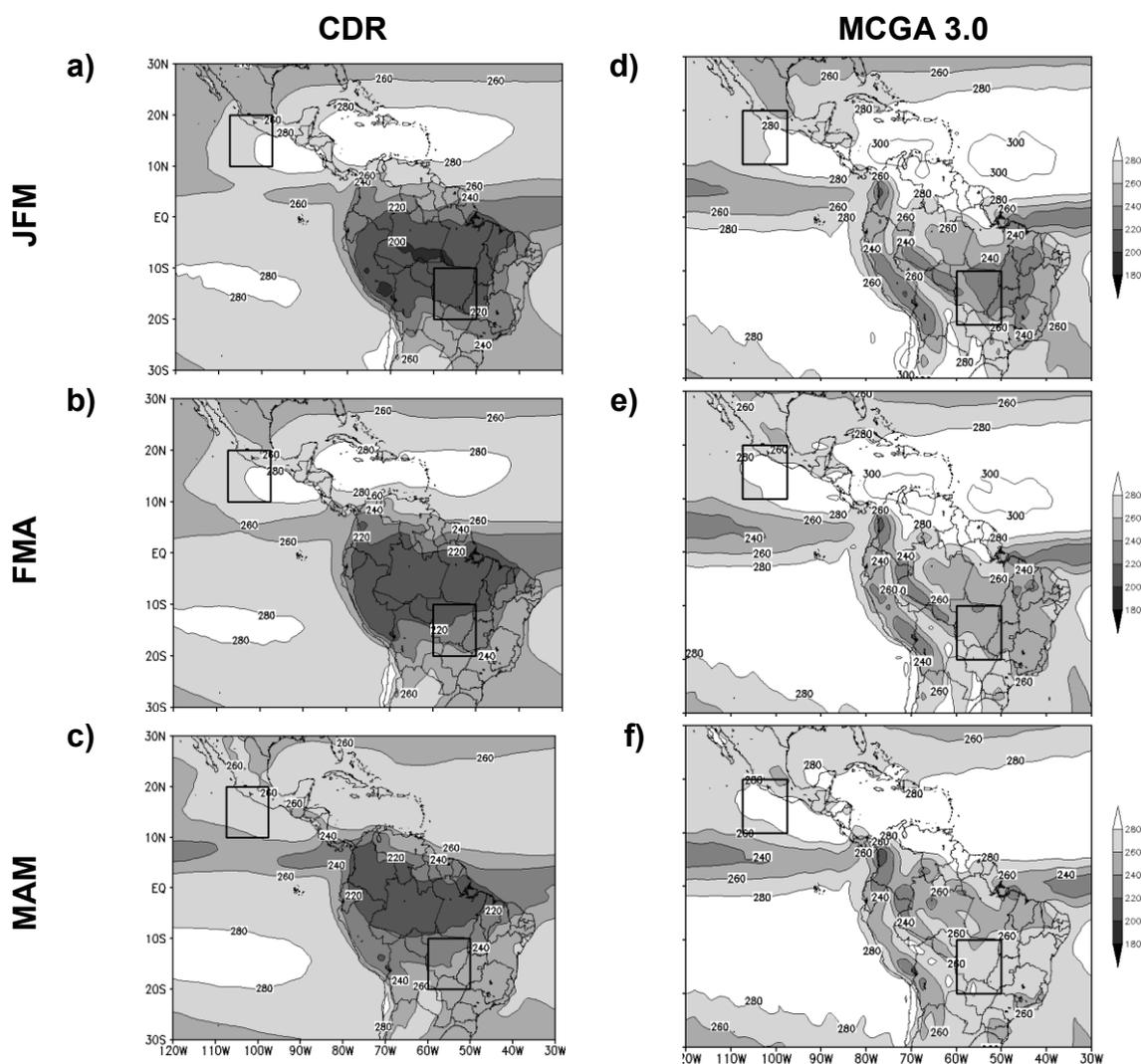


Figura 4.10 – Idem ao anterior, mas para a ROL ($W.m^{-2}$) e com dados do CDR.

Na Figura 4.11 são apresentados os campos da umidade específica em 925 hPa. Com os dados do CFSR, percebe-se que os maiores valores de umidade são encontrados sobre os Andes, regiões tropicais continentais e equatoriais oceânicas (Figura 4.11 (a)) e tendem a deslocar-se para norte com o passar dos meses (Figura 4.11 (b) e (c)). O MCGA/CPTEC consegue representar bem esta variável, porém há superestimativas (subestimativas) sobre Goiás e parte de Minas Gerais (região dos Andes) (Figura 4.11 (d), (e) e (f)).

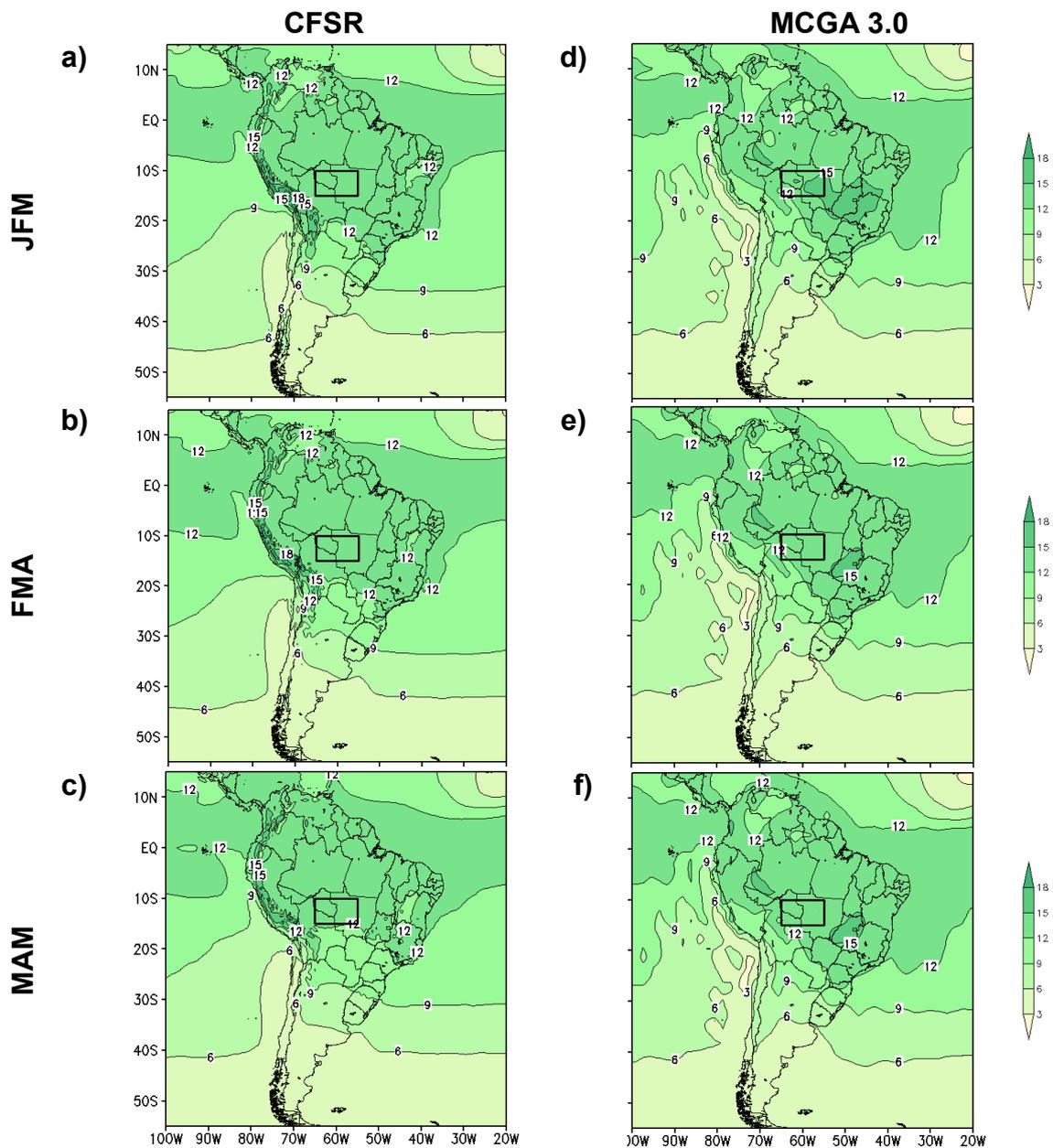


Figura 4.11 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica (g.kg^{-1}) em 925 hPa e com dados do CFJR.

Por fim, os campos de água precipitável nos trimestre de JFM, FMA e MAM são mostrados na Figura 4.12. Com base no CFJR, os maiores valores podem ser encontrados na região equatorial oceânica e tropical da AS e estes tendem a migrarem para norte com o passar dos meses (Figura 4.12 (a), (b) e (c)).

Essa transição pode ser notada, também, sobre a região delimitada pelo retângulo. O MCGA representa bem o comportamento e posicionamento dos centros de máximo da água precipitável, porém o valor é subestimado (Figura 4.12 (d), (e) e (f)).

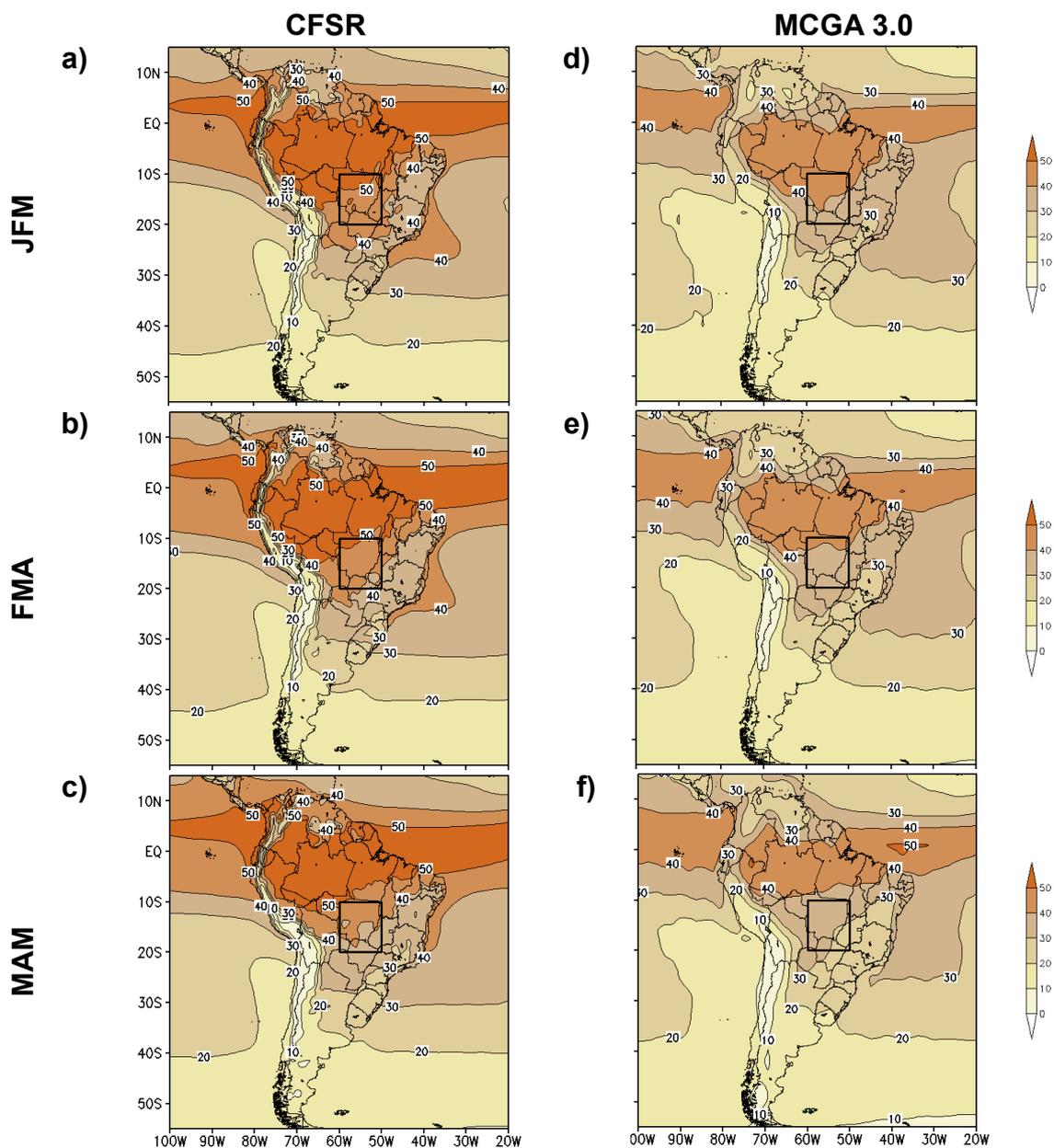


Figura 4.12 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável (kg.m^{-2}).

No geral, o MCGA/CPTEC 3.0 consegue representar bem o posicionamento e deslocamento dos principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região de estudo durante os trimestres de ASO, SON, OND, JFM, FMA e MAM. Porém, tende a superestimar (subestimar) os valores de precipitação acumulada, ROL, e intensidade do vento (água precipitável).

4.2. Características climatológicas dos índices de IEC e FEC

A seguir é apresentado o ciclo anual climatológico, em pântadas, das EC de 2000/2001 a 2009/2010 para cada índice utilizado para identificar o IEC e FEC no COB pelos dados do CFSR, CDR e do CPC. A comparação entre os índices e a precipitação média anual auxilia na análise do comportamento de ambos e na calibração dos limiares, quando necessário. Esta análise torna-se necessária uma vez que as fontes dos dados e período utilizados no presente trabalho diferem dos estudos originais que abordaram tais índices.

Primeiramente foi examinado se utilizando os dados de precipitação do CPC, para o período de 2000 a 2010, a precipitação média diária (PMD) climatológica sobre a região de estudo concordaria com daquela encontrada em trabalhos anteriores (GAN et al., 2004; 2006) (Figura 4.13).

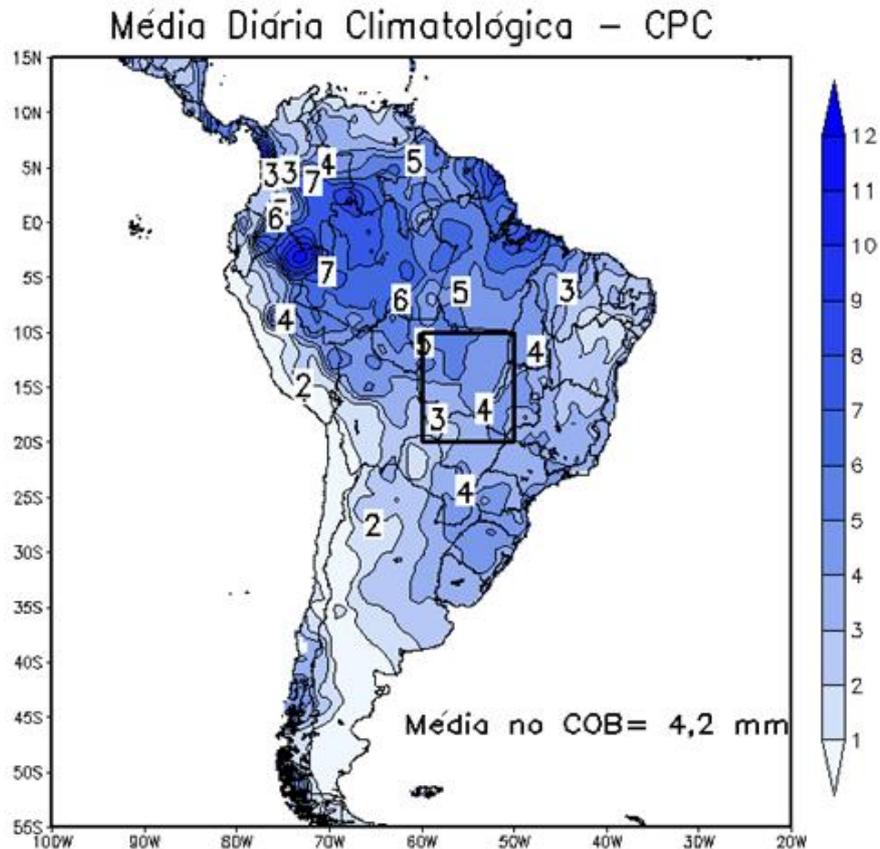


Figura 4.13 – Média diária climatológica no período de 2000-2010 sobre a América do Sul. O retângulo delimita a região do COB.

Na Figura 4.13 pode-se ver a distribuição espacial da PMD sobre a AS no período de 2000-2010. O regime da PMD é altamente variável, devido à extensão continental que vai desde a região equatorial até os extratropicais, além da complexidade topográfica (MARENGO e NOBRE, 2009). Valores mais elevados da PMD são encontrados nas regiões equatoriais, principalmente sobre a Amazônia, enquanto que valores menos expressivos podem ser notados em latitudes mais altas, na região dos Andes e no NEB. A PMD sobre o COB, região delimitada pelo retângulo, foi de 4,2 mm, valor muito próximo daquele encontrado por Gan et al. (2004; 2006). Essa pequena diferença pode ser justificada pelo período, dados e métodos de interpolação distintos, porém não apresenta necessidade de mudança do limiar. Assim, o limiar do IP

permaneceu em 4 mm.dia^{-1} e foi utilizado para analisar os limiares dos demais índices.

Para verificar a destreza dos índices com relação à precipitação no COB foi calculado o coeficiente de correlação entre o IP, com dados do CPC, e os demais índices, com base nos dados do CFSR e CDR, com defasagem (*lag*) de -10 a 10 pênadas dentro do ciclo anual (Figura 4.14).

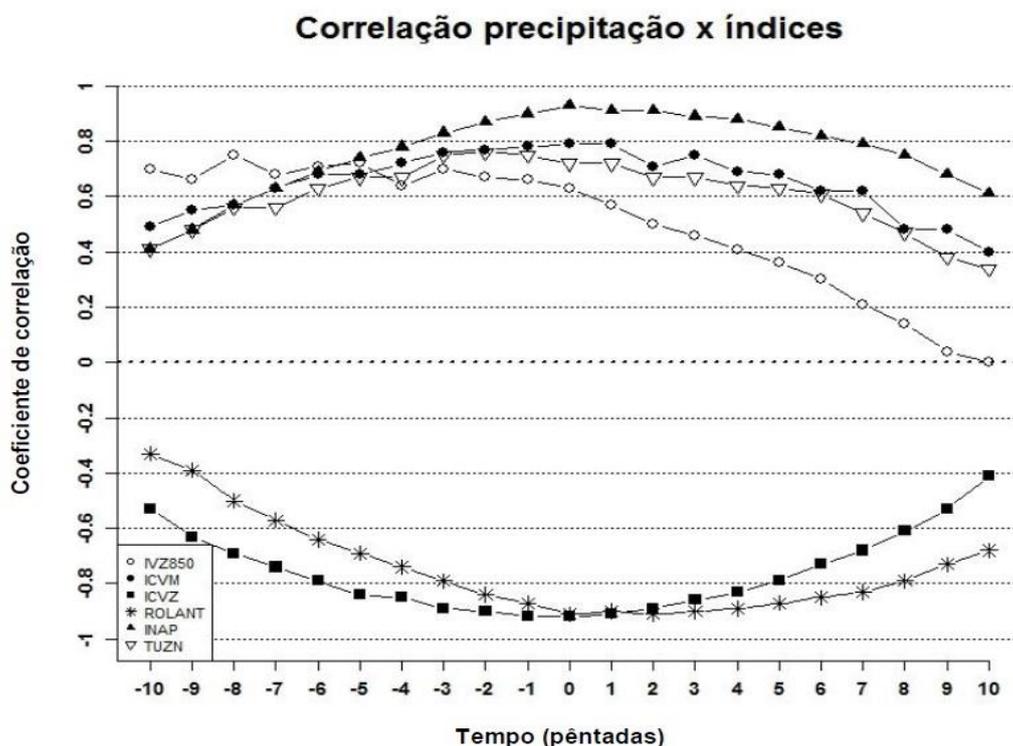


Figura 4.14 – Coeficiente de correlação entre a precipitação sobre o COB e os seis índices, no período de 2000-2010. Valores de correlação acima de 0,1 são significativos estatisticamente, segundo o teste t-Student.

Pela Figura 4.14 são mostradas as correlações entre as pênadas da série de precipitação com cada índice. Todos os valores são estatisticamente significantes com nível de confiança de 95%. Note que o IVZ850, ICVM, INAP e TUZN são correlacionados positivamente com a precipitação, enquanto que o ROLANT e ICVZ apresentam correlação negativa. O máximo de correlação, na maioria dos índices, ocorre no *lag*=0 e todos os índices apresentam correlação

maior que 0,6 durante esse pico, o que mostra sua habilidade em prever a EC. É possível perceber, também, que para esse conjunto de dados e período os índices que mostraram maiores coeficientes de correlação foram o INAP, ICVZ e ROLANT os quais apresentaram alta correlação ($> 0,8$) em pelo menos ± 4 pântadas, e o índice que mais distanciou dos demais foi o IVZ850, com pico de correlação no *lag* -8.

Dada a análise da correlação entre a precipitação e os índices, torna-se necessário analisar o perfil individual de cada índice para descrever o comportamento do mesmo no ciclo anual da precipitação.

Na Figura 4.15 é apresentado o ciclo anual climatológico do IVZ850 a partir do dado de vento do CFSR e da precipitação média utilizada no IP, ambos com seus respectivos limiares.

Ciclo Anual Climatológico - Precipitação e IVZ850 (2000-2010)

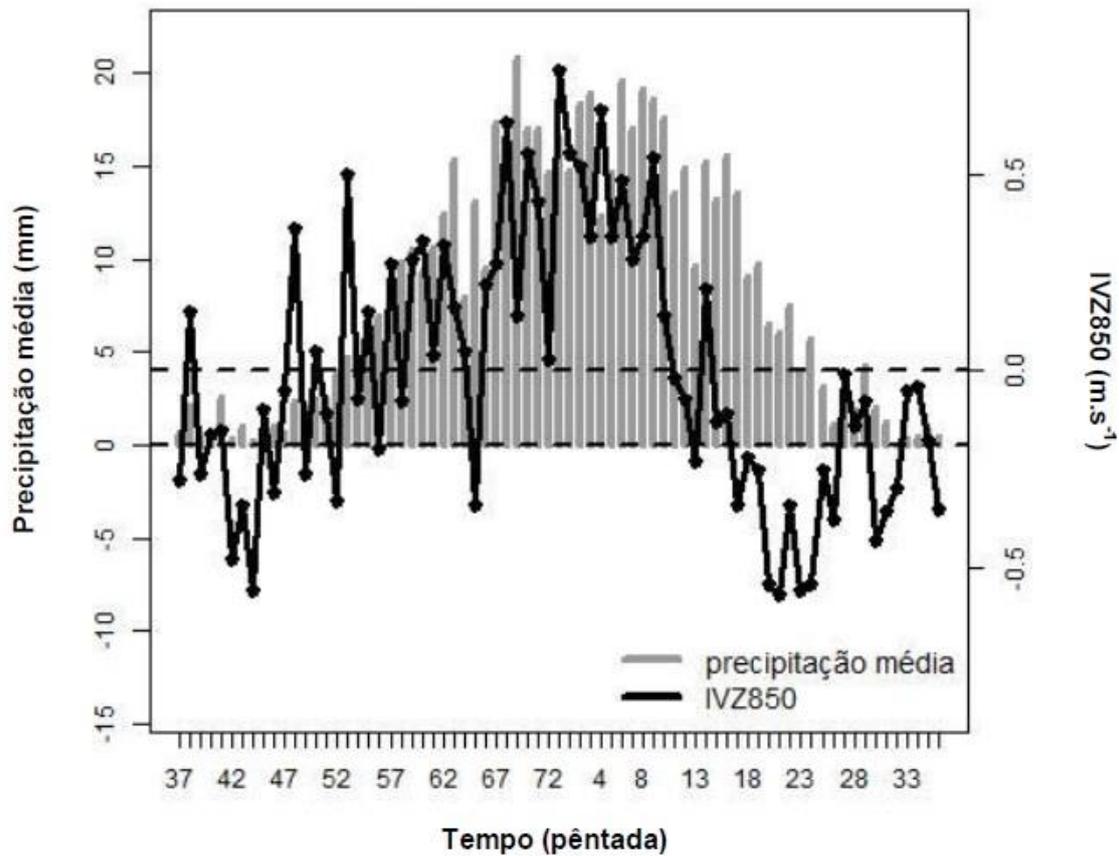


Figura 4.15 – Ciclo anual climatológico do IVZ850 e da precipitação média, em pântadas, sobre a região do COB no período de 2000-2010.

Percebe-se que o IVZ850 (linha preta) representa relativamente bem o ciclo anual da precipitação sobre a região, com maiores (menores) valores durante o verão (inverno) assim como a precipitação média, característico de um regime de monção. Valores positivos (negativos) de IVZ850 coincidem quando a precipitação média, i.e., o IP, na região é superior (inferior) a 4 mm.dia^{-1} , principalmente nas pântadas anteriores à pântada 10 (15-19 de fevereiro). Apesar a impressão de leve adiantamento no IEC, a persistência de valores de IVZ850 maiores que zero é notada somente a partir da pântada 55 (início de outubro) com algumas oscilações durante a EC e voltam a permanecer abaixo de zero a partir da pântada 10 (meados de fevereiro), exibindo um FEC

precoce se comparado com o IP que identifica o IEC (FEC) na pântada 53 (25, início de maio). Assim, o limiar do IVZ850, ou seja, a mudança de sinal negativo-positivo e vice-versa, foi mantido.

Note ainda, que a relação exibida na Figura 4.14 também pode ser notada na Figura 4.15, já que nas pântadas que precedem o IEC (pântada 47, aproximadamente) o IVZ850 apresenta comportamento similar ao do IP. Esta similaridade estende até o pico da EC, onde posteriormente começam a se distanciar.

Este perfil de adiantamento pode estar relacionado com o comportamento do vento característico nessa região. Durante a EC, os ventos alísios transportam umidade do Atlântico tropical, passando pela região amazônica até encontrar com os Andes, onde são defletidos para sudeste (MARENGO; NOBRE, 2009). Assim, nas pântadas precedentes ao IEC, o vento em baixos níveis apresenta oscilações entre valores positivos e negativos até ocorrer a persistência do vento de oeste (positivo, IEC). Já durante o FEC, o vento volta a ser predominantemente de leste, porém a precipitação é mantida pela umidade e atividade convectiva da própria região e não mais pelo transporte feito pelos ventos alísios como ocorre durante o IEC e pico da EC.

Na Figura 4.16 pode-se ver o comportamento do ICVM, o qual é semelhante ao índice anterior, porém o limiar teve que ser ajustado para $-0,5 \text{ m.s}^{-1}$ para representar melhor as datas de IEC e FEC. Pelo ICVM, o IEC é levemente tardio, ocorre na pântada 60 (final de outubro), quando comparado ao IP e o FEC apresenta oscilações que podem ocasionar em datas tardias.

Ciclo Anual Climatológico - Precipitação e ICVM (2000-2010)

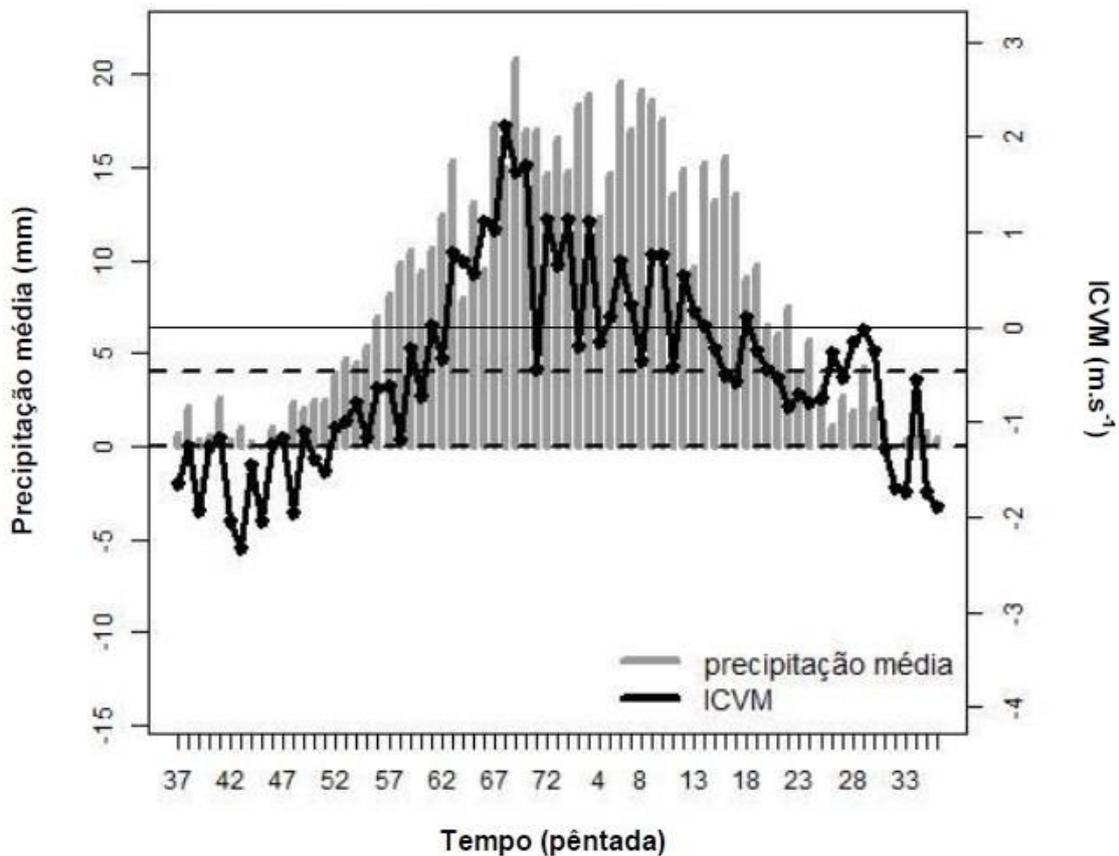


Figura 4.16 – Idem a anterior, mas para o ICVM.

Como citado anteriormente, o ICVM é calculado sobre o NEB e representa a influência do ramo ascendente da circulação regional de Hadley. Essa circulação torna-se mais evidente quando a AB e o cavado do Nordeste mostram-se bem configurados em suas posições climatológicas, isso pode explicar o leve atraso no IEC. Já sobre o FEC sua oscilação também pode estar relacionada à convergência (divergência) em baixos (altos) níveis devido ao posicionamento da ZCIT que pode chegar até esta região em março-abril (entre as pêntadas 12 e 25), sua posição mais ao sul (KAYANO; ANDREOLI, 2009; NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA; AMBRIZZI, 2003; ZHOU; LAU, 2001).

Para o ICVZ nota-se que também teve de ser ajustado, neste caso, para 2 m.s^{-1} para representar melhor o ciclo anual da precipitação (Figura 4.17). Este índice representa bem o ciclo anual da precipitação, assim como as oscilações que ocorrem durante a EC. Há coincidência nas datas de IEC e FEC identificadas pelo IVCZ e IP. Como mostrado por Gan et al. (2006), este índice está associado a circulação de leste-oeste sobre a região, similar a uma brisa gigante, e caracteriza um padrão semelhante a outras regiões que apresentam regime de monção (BARROS et al., 2002; HOLLAND, 1986; NOGLÉS-PEAGLE; MO, 1997).

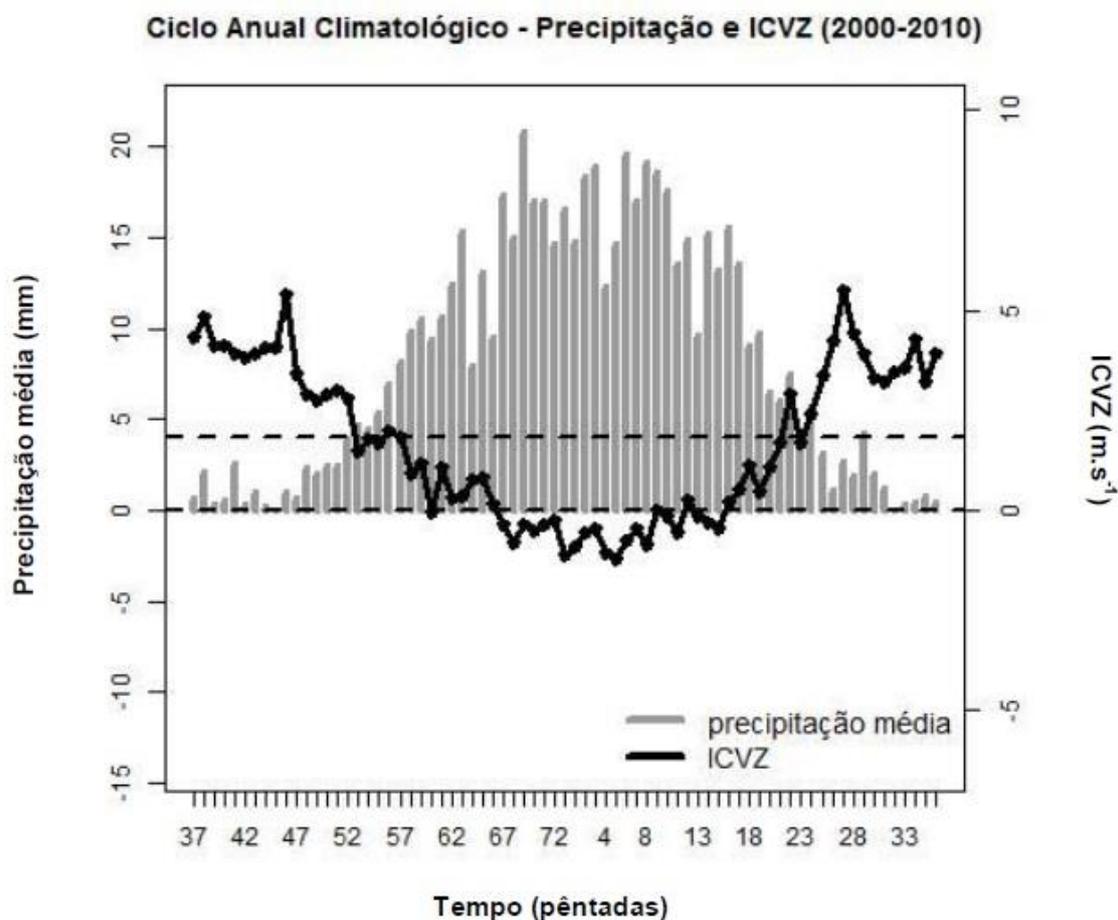


Figura 4.17 – Idem ao anterior, mas para o ICVZ.

Nas regiões tropicais, baixos valores de ROL são utilizados para caracterizar regiões de convecção profunda. Logo, a magnitude de ROL é inversamente proporcional a atividade convectiva na região tropical, ou seja, quanto menor o valor de ROL, maior a profundidade das nuvens convectivas e a probabilidade de precipitarem (BOMVENTI et al., 2006). Semelhantemente, o ROLANT apresenta o mesmo padrão e seu ciclo anual pode ser visto, juntamente com a precipitação média, na Figura 4.18.

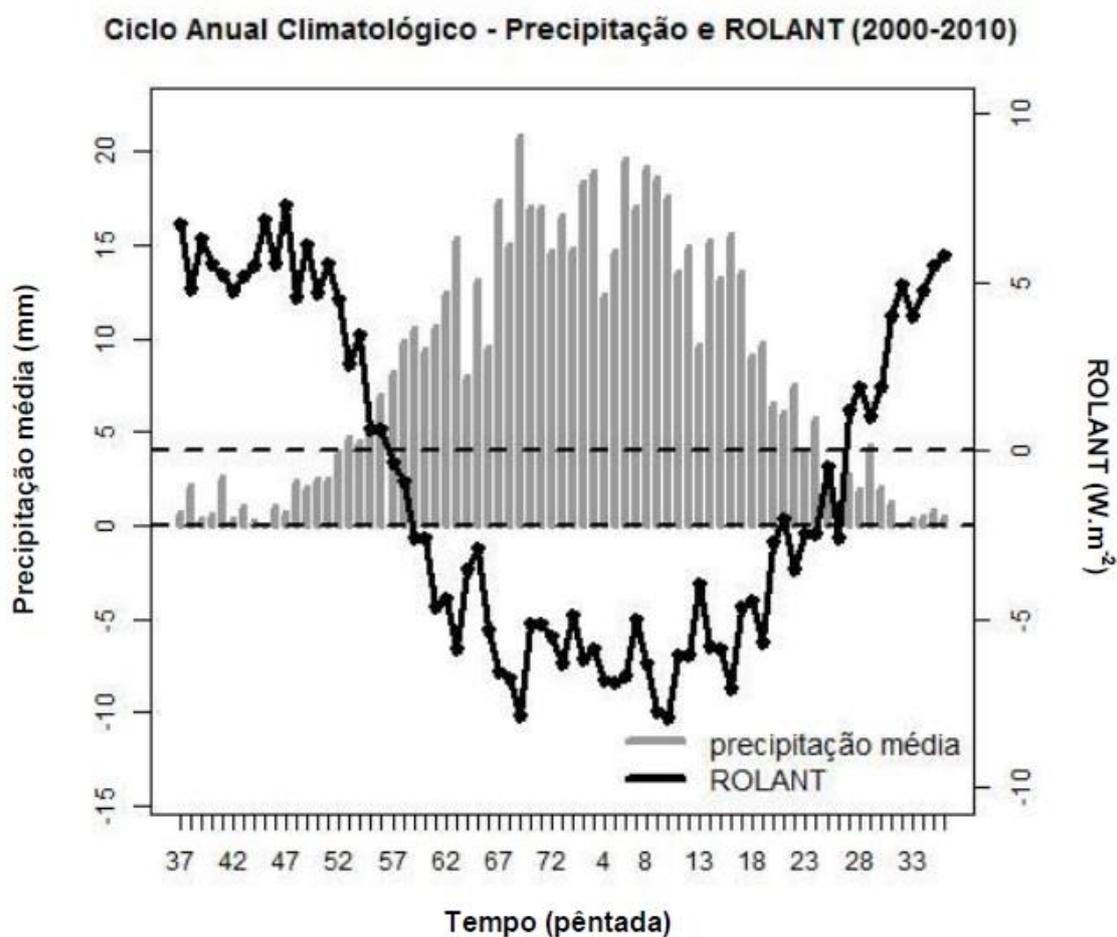


Figura 4.18 – Idem ao anterior, mas para o ROLANT.

Assim como o ICVZ, o ROLANT também representa bem o ciclo anual da precipitação, inclusive suas variações durante a EC. O limiar de 0 W.m^{-2} não

precisou ser modificado já que as datas de IEC (FEC) identificadas pelo ROLANT, pântada 57 (27), são próximas das identificadas pelo IP.

Na Figura 4.19 percebe-se que o INAP, assim como os demais índices, consegue representar bem o ciclo anual da precipitação no COB. O IEC pelo INAP mostra-se levemente atrasado quando comparado ao IP, porém as datas do FEC coincidem entre si. Assim, o limiar de 0,618 foi mantido.

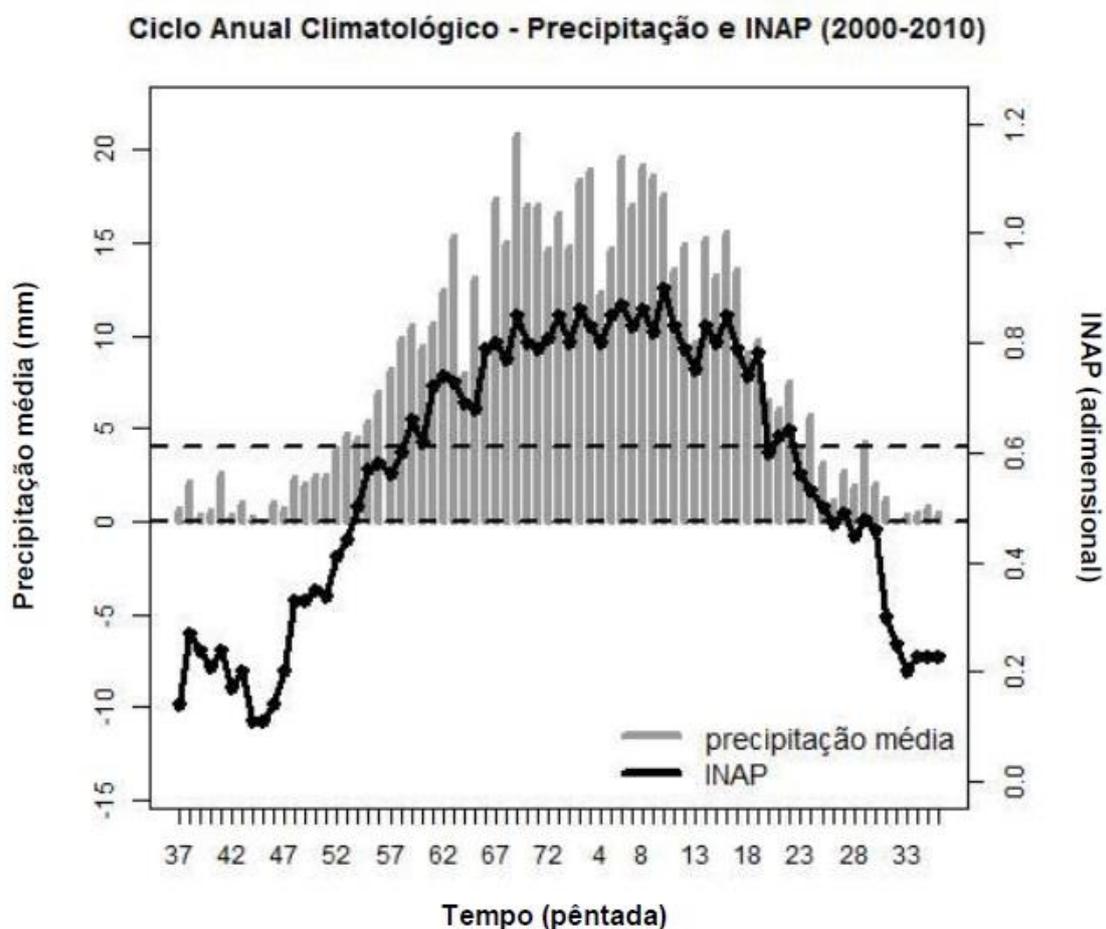


Figura 4.19 – Idem ao anterior, mas para o INAP.

Vale ressaltar que o critério de determinação do INAP teve de ser modificado daquele proposto por Zeng e Lu (2004) e utilizado por Neves et al. (2013), a fim de facilitar a comparação com os demais índices. Originalmente, o INAP utiliza dados diários de água precipitável e calculado em pontos de grade, no

presente trabalho os dados diários foram agrupados em pântadas e o índice calculado a partir da média sobre a área de estudo. Assim, também, a persistência do índice, que anteriormente era de três dias consecutivos, passou a ser de três pântadas consecutivas.

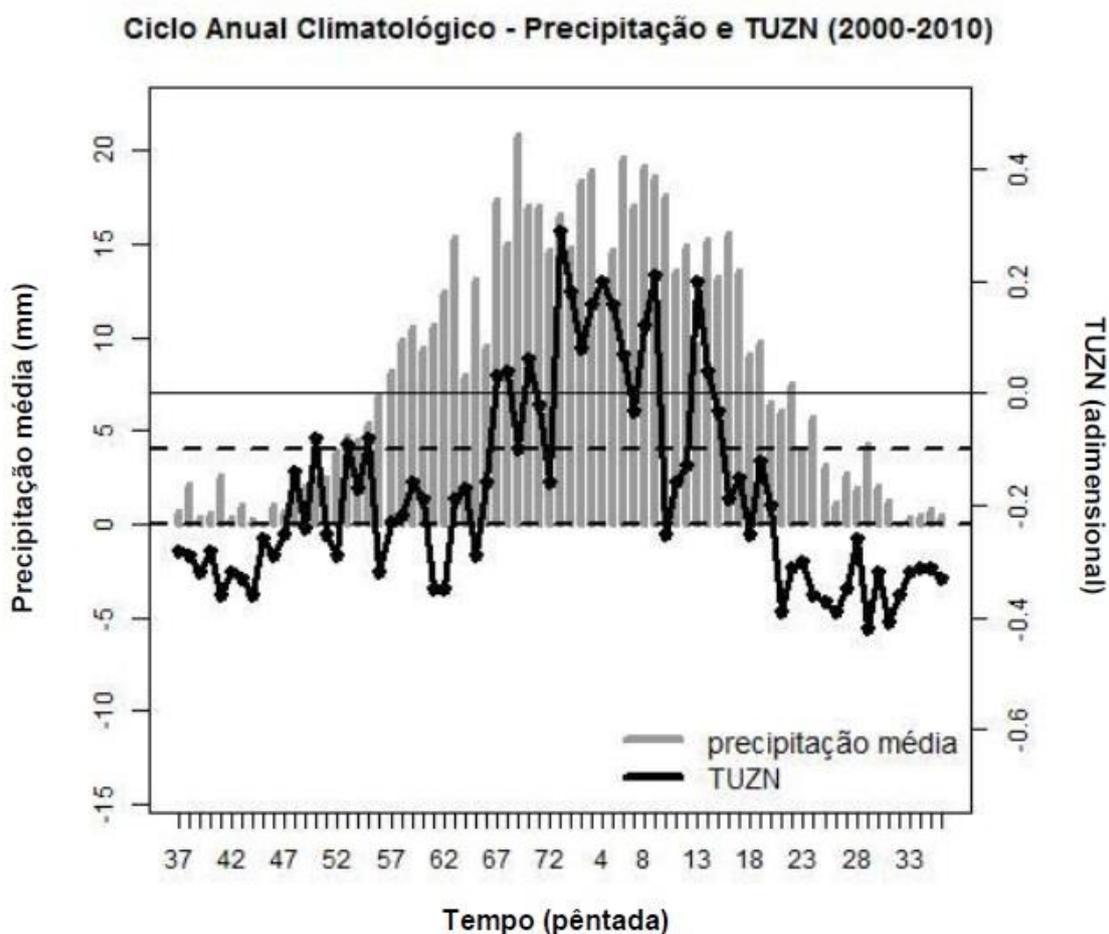


Figura 4.20 – Idem ao anterior, mas para o TUZN.

Por fim, na Figura 4.20, pode-se notar que o TUZN apresenta algumas limitações para identificar, principalmente, o IEC. Seu caráter altamente oscilatório dificulta a identificação das datas de IEC e FEC no COB, porém consegue representar razoavelmente bem o ciclo anual da precipitação, principalmente durante o pico da EC. Note, também, que neste índice a

duração da EC é mais curta quando comparada com o IP. O limiar foi alterado para -0,1 a fim de melhorar seu desempenho.

Outro ponto importante a ser destacado é que, eventualmente, o IEC pode ocorrer em janeiro ou além (IEC tardio). O acréscimo dessa condição faz com que as datas de FEC não sejam confundidas com fases inativas (ausência de chuva) dentro da EC. Por esse motivo essa condição foi adicionada a todos os índices.

Com os limiares calibrados de acordo com o ciclo anual da precipitação, a seguir são mostradas as datas de IEC identificadas por cada índice para cada EC no período de 2000-2010 (Tabela 4.1), utilizando os dados do CFSR, CDR e CPC. A análise também leva em conta a comparação do IP com os demais índices.

Tabela 4.1 – Datas do IEC na região do COB identificadas pelos sete índices no período de 2000-2010 e utilizando os dados do CFSR, CDR e CPC.

	IP	IVZ850	ICVM	ICVZ	INAP	ROLANT	TUZN
2000-2001	59	45	67	50	61	57	59
2001-2002	51	71	58	50	62	56	53
2002-2003	58	64	60	55	61	58	64
2003-2004	54	63	81	66	59	57	63
2004-2005	55	53	54	57	59	57	53
2005-2006	62	79	63	52	61	57	66
2006-2007	53	48	61	57	53	53	72
2007-2008	56	53	82	57	57	59	51
2008-2009	57	54	52	54	61	61	48
2009-2010	59	53	53	53	56	59	72
MÉDIA	56,4	58,3	63,1	55,1	59,0	57,4	60,1
DP	3,27	10,70	10,75	4,68	2,87	2,12	8,65

Na Tabela 4.1 nota-se que, em média, os índices identificaram datas de IEC próximas àquelas encontradas pelo IP (pêntada 56), sendo: ICVZ na pêntada

55 (28 de setembro a 2 de outubro), ROLANT na pântada 57 (8-12 de outubro), IVZ850 na pântada 58 (13-17 de outubro), INAP na pântada 59 (18-22 de outubro), TUZN na pântada 60 (23-27 de outubro) e ICVM na pântada 63 (7-11 de novembro). Pode-se notar também que os índices que apresentaram maiores variações em torno da média, i.e. maiores DP, são ICVM, IVZ850 e TUZN ($\pm 10,75$; $\pm 10,7$ e $\pm 8,85$), respectivamente, enquanto que os menores e mais próximos do DP do IP são o ROLANT, INAP e ICVZ ($\pm 2,12$; $\pm 2,87$ e $\pm 4,68$), respectivamente. Logo, os índices que apresentaram datas mais próximas, em média, do IP foram: ICVZ e ROLANT, com 1 pântada de adiantamento e 1 de atraso, respectivamente; seguido do IVZ850, INAP e TUZN com atraso de 2, 3 e 4 pântadas, respectivamente; e, finalmente, o ICVM com um atraso de 7 pântadas.

Considerou-se acerto da data de IEC a data identificada pelos índices no intervalo de ± 2 pântadas da data encontrada pelo IP. Assim, nota-se que o ROLANT obteve êxito em identificar 5 datas de IEC; seguido pelo ICVZ, INAP e TUZN, todos com 3 acertos; 2 acertos pelo ICVM e 1 acerto com o IVZ850.

As datas médias encontradas pelos índices de vento (IVZ850, ICVM e ICVZ) condizem com o comportamento também encontrado por Gan et al. (2006), no qual os índices IVZ850 e ICVZ apresentaram datas mais próximas das encontradas pelo IP, enquanto que no ICVM há um atraso no IEC. Com o INAP, que mesmo com algumas modificações nos critérios de identificação, notou-se uma data média do IEC coerente com aquela encontrada por Neves et al. (2013). O valores de ROLANT coincidem com aqueles obtidos por Garcia e Kayano (2013), assim como por Garcia et al. (2015) os quais revisaram e fizeram algumas modificações na metodologia do ROLANT para um período mais recente. As pequenas diferenças entre as datas podem estar ligadas à fonte de dados e a sua resolução que foram diferentes. E por fim, semelhante aos demais, a data média de IEC identificada pelo TUZN coincidiu com aquela encontrada por Raia e Cavalcanti (2008).

A EC que apresentou a maior convergência entre as datas de IEC foi a de 2004-2005, que variou de entre as pêntricas 53 e 59 (18-22 de setembro e 18-22 de outubro) e a que apresentou divergência entre si foi 2003-2004 com datas entre as pêntricas 54 e 81 (23-27 de setembro e 5-9 de fevereiro do ano seguinte), ou seja, quase 5 meses. Ainda na EC de 2003-2004 nota-se que todos os índices mostraram datas de IEC atrasadas se comparadas com o IP.

Da mesma forma foram encontradas as datas de FEC como pode ser visto na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Idem a anterior, mas para as datas de FEC.

	IP	IVZ850	ICVM	ICVZ	INAP	ROLANT	TUZN
2000-2001	24	10	3	22	20	27	10
2001-2002	26	16	13	25	18	29	21
2002-2003	23	15	17	21	26	23	7
2003-2004	26	14	18	20	28	28	20
2004-2005	25	7	31	20	24	31	17
2005-2006	23	23	23	22	23	29	16
2006-2007	21	17	31	20	25	24	18
2007-2008	23	15	26	22	25	27	14
2008-2009	19	10	24	21	28	28	20
2009-2010	20	12	25	20	20	32	18
MÉDIA	23,0	13,9	21,1	21,3	23,7	27,8	16,1
DP	2,40	4,48	8,61	1,57	3,43	2,78	4,56

Assim como o IEC, em média, a maioria das datas do FEC encontrada pelos índices mostrou-se próxima das encontradas pelo IP: pêntrica 23 (21-25 de abril) pelo INAP, pêntrica 21 (11-15 de abril) pelo ICVM e ICVZ, pêntrica 27 (11-15 de maio) pelo ROLANT, pêntrica 16 (17-21 de março) pelo TUZN e pêntrica 13 (2-6 de março) pelo IVZ850. No geral, o DP mostrou-se menor que no IEC, porém o ICVM ainda apresentou grande variação ($\pm 8,61$), enquanto que os demais oscilaram entre $\pm 4,56$ e $\pm 1,57$ em torno de suas respectivas médias. Assim, os índices que apresentaram datas mais próximas do IP

(pêntada 23) foram: INAP, coincidindo a data; ICVM e ICVZ, ambos com adiantamento de 2 pêntadas; ROLANT com atraso de 4 pêntadas; TUZN com adiantamento de 7 pêntadas e IVZ850 com adiantamento de 10 pêntadas. Também considerando como parâmetro de acerto ± 2 pêntadas da data de FEC encontrada pelo IP, pode-se perceber que o ICVZ acertou 8 datas das 15 EC, o INAP apresentou 5 acertos, o ROLANT e TUZN ambos com 2 acertos e IVZ850 e ICVM com somente 1 acerto.

Na comparação com trabalhos anteriores, os índices de vento adiantaram o FEC, principalmente o IVZ850 que adiantou 9 pêntadas da data encontrada por Gan et al. (2004; 2006), o ICVM e ICVZ apresentaram adiantamento de 3 pêntadas. Tais diferenças podem ser em virtude do período e fonte dos dados que não foram os mesmos em ambos os trabalhos. O ROLANT também se apresentou condizente com as datas encontradas por Garcia et al. (2015), com pequenas diferenças, possivelmente devido aos mesmos motivos citados anteriormente. E o TUZN obteve uma data bem próxima daquela encontrada por Raia e Cavalcanti (2008).

Com análise anual dos índices, nota-se que a EC que apresentou maior convergência das datas de FEC foi a de 2005-2006, variando com datas entre as pêntadas 16 e 29 (17-21 de março e 21-25 de maio). Apesar desses extremos, as datas de FEC identificadas pelo INAP, IVZ850, ICVM e ICVZ ficaram muito próximas ou coincidiram com a data encontrada pelo IP. Já a EC que apresentou maior divergência das datas foi a de 2000-2001, ficando entre as pêntadas 3 e 27 (11-15 de janeiro e 11-15 de maio) e somente o ICVZ alcançou a escala de acerto da data de FEC nesta EC.

Assim, de modo geral, os índices analisados com os dados do CFSR e CDR representaram relativamente bem as datas de IEC e FEC sobre a região do COB no período de 2000-2010. Em média, apesar de cada índice identificar datas próximas entre si, cada um apresentou um padrão que tende a adiantar ou atrasar tais datas. Por exemplo, a maioria dos índices tende a atrasar o IEC

(com exceção do ICVZ) em pelo menos 1 pântada, assim como em adiantar o FEC (com exceção do ROLANT e INAP) no mínimo 2 pântadas.

4.3. Datas de IEC e FEC sobre o COB a partir do MCGA/CPTEC

Com a análise dos índices utilizando os dados do CFSR, CDR e CPC foi possível identificar o perfil das datas de IEC e FEC encontradas por cada índice, assim como suas tendências e limitações. Assim, os mesmos serviram de base para avaliar o desempenho do MCGA/CPTEC, a partir dos dados da previsão climática sazonal, em prever o IEC e FEC sobre o COB.

A seguir são apresentadas as tabelas de datas de IEC e FEC no período de 2000 a 2010, com base na data média encontrada pelos 15 membros de cada trimestre analisado, além da diferença, em pântadas, das datas identificadas por cada índice, utilizando os dados do CFSR e CDR e do MCGA/CPTEC.

Tabela 4.3 – Datas de IEC pelo IVZ850 com os dados do CPC, CFSR e das previsões climáticas sazonais de julho (J-ASO), agosto (A-SON) e setembro (S-OND) no período de 2000-2010.

	IP	CFSR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	45	59,0	62,2	63,7	14,0	17,2	18,7
2001-2002	51	71	--	61,8	62,1	--	-9,2	-8,9
2002-2003	58	64	59,7	60,9	62,1	-4,3	-3,1	-1,9
2003-2004	54	63	--	62,1	62,7	--	-0,9	-0,3
2004-2005	55	53	--	61,2	64,6	--	8,2	11,6
2005-2006	62	79	--	61,6	63,5	--	-17,4	-15,5
2006-2007	53	48	--	62,1	63,4	--	14,1	15,4
2007-2008	56	53	--	61,8	62,1	--	8,8	9,1
2008-2009	57	54	58,6	61,9	63,7	4,6	7,9	9,7
2009-2010	59	53	59,1	60,5	64,7	6,1	7,5	11,7
MÉDIA	56,4	58,3	59,1	61,6	63,3	0,8	3,3	5,0
DP	3,27	10,70	0,43	0,55	0,98			

Na Tabela 4.3 é possível ver que, em média, as previsões de julho, agosto e setembro apresentaram datas de IEC atrasadas quando comparadas com os dados do CFSR e do CPC (pêntada 59, 61 e 63, respectivamente) e com tendência de atraso com as previsões subsequentes (0,8; 3,3 e 5 pêntadas, respectivamente). O primeiro mês de previsão (julho) mostra dificuldades em identificar o IEC, obtendo datas válidas somente para 4 das 10 EC, apesar de ter sido a previsão que teve as datas de IEC mais próximas das encontradas pelos dados do CFSR e CPC. Nesta previsão, as datas variaram entre as pêntadas 58 e 59 (13 a 22 de outubro), de agosto ficaram entre as pêntadas 60 e 62 (23 de setembro a 6 de novembro) e setembro entre as pêntadas 62 e 64 (2 a 16 de novembro). Ainda que o IVZ850 seja um índice que apresenta um DP relativamente alto ($\pm 10,7$), para as previsões do MCGA/CPTEC o mesmo não ultrapassou de ± 1 nos 3 trimestres previstos.

Apesar da previsão de julho não ter conseguido prever o IEC na EC de 2003-2004, esta estação foi a que apresentou maior concordância com a data identificada com os dados do CFSR, com diferença de menos de uma pêntada em ambas as previsões de datas válidas. Por outro lado, a EC de 2005-2006 foi a que apresentou maior dispersão entre as datas, com adiantamento das datas previstas em até 17 pêntadas. Cabe ressaltar que, considerando o intervalo de ± 2 pêntadas, todas as 4 datas identificadas pelos dados da previsão de julho acertaram as datas de IEC se comparado com o IP.

De maneira geral, apesar de não ter conseguido prever a maioria das datas de IEC com os dados da previsão climática sazonal de julho, o IVZ850 deste mês foi o que apresentou maior proximidade das datas de IEC encontrado pelo CFSR e CPC, na média. Cabe ressaltar, também, que algumas previsões conseguiram acertar a data de IEC ou se aproximar das datas identificadas pelo IP, mais do que pelos dados do CFSR.

Com o ICVM nota-se uma tendência de adiantamento do IEC (~5 pântadas) quando comparado com as datas obtidas pelos dados do CFSR e atraso (~2 pântadas) se comparado ao IP (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Idem a anterior, mas para o ICVM.

	IP	CFSR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	67	59,8	60,0	60,5	-7,3	-7,0	-6,5
2001-2002	51	58	57,8	57,9	58,7	-0,2	-0,1	0,7
2002-2003	58	60	57,4	58,9	58,9	-2,6	-1,1	-1,1
2003-2004	54	81	58,8	58,6	61,1	-22,2	-22,4	-19,9
2004-2005	55	54	57,1	58,2	57,5	3,1	4,2	3,5
2005-2006	62	63	58,4	57,0	59,7	-4,6	-6,0	-3,3
2006-2007	53	61	55,7	59,3	59,2	-5,3	-1,7	-1,8
2007-2008	56	82	58,6	62,0	60,7	-23,4	-20,0	-21,3
2008-2009	57	52	60,5	59,2	60,1	8,5	7,2	8,1
2009-2010	59	53	57,7	56,8	57,7	4,7	3,8	4,7
MÉDIA	56,4	63,1	58,2	58,8	59,4	-4,9	-4,3	-3,7
DP	3,27	10,75	1,36	1,51	1,22			

Em média, as datas de IEC para as previsões de julho, agosto e setembro mostraram-se praticamente inalteradas, tendo seus extremos entre as pântadas 55 e 62. Na previsão de julho, as datas encontradas ficaram entre as pântadas 55 e 60, em agosto variaram da pântada 56 a 62 e em setembro entre a 57 e 61. Nesse contexto, diferentemente do índice anterior, os dados da previsão climática de setembro mostrou-se, em média, mais próximo do IEC da reanálise (CFSR), assim como 3 acertos nas datas dentro do intervalo de ± 2 pântadas. Porém as datas previstas em julho encontram-se mais próximas daquelas identificadas pelo IP e acerto de 6 datas de IEC.

Na EC de 2001-2002 as datas de IEC identificadas pelo modelo são semelhantes às encontradas com os dados do CFSR, em todas as 3 previsões. Entretanto, as EC de 2003-2004 e 2007-2008 apresentaram expressivo adiantamento nas datas de IEC, uma vez que, pelos dados do CFSR, o IEC nesses anos iniciou em 5-9 e 10-14 de fevereiro, respectivamente. Porém, se

comparado com o IP, as previsões destas datas mostram uma diferença menor e mais próxima do que realmente aconteceu com a precipitação na região.

Cabe ressaltar que o ICVM é calculado sobre o NEB, que apesar de ser uma região diferente da área de estudo, o vento meridional nesta região apresenta alta correlação com a precipitação no COB (GAN; MOSCATI, 2003; GAN et al., 2006). Assim, a destreza do modelo em representar a circulação nessa região pode ser diferente da destreza que o mesmo apresenta sobre a região de estudo, o que pode resultar em diferenças entre as datas encontradas pelos índices baseados no comportamento do vento. Por exemplo, Marengo et al. (2003) mostraram que o coeficiente de correlação entre as anomalias de precipitação simulada pelo MCGA CPTEC/COLA e as anomalias observadas alcançaram um nível de significância de 99% na região do nordeste na maioria das estações do ano, sendo esta a região com melhor representatividade pelo modelo.

Como pode ser visto na Tabela 4.5, semelhante ao IVZ850, as datas de IEC identificadas pelo ICVZ nas previsões pelo MCGA/CPTEC tendem a atrasar, se comparadas às datas com o CFSR e o CPC, em pelo menos 6 pântadas e 5 pântadas, respectivamente. A previsão de julho não conseguiu identificar as datas de IEC nas EC de 2007-2008 e 2009-2010.

Tabela 4.5 – Idem a anterior, mas para o ICVZ.

	IP	CFSR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	50	59,4	63,5	63,7	9,4	13,5	13,7
2001-2002	51	50	60,8	63,9	64,6	10,8	13,9	14,6
2002-2003	58	55	61,4	64,2	65,9	6,4	9,2	10,9
2003-2004	54	66	62,1	64,3	64,9	-3,9	-1,7	-1,1
2004-2005	55	57	61,9	65,2	65,8	4,9	8,2	8,8
2005-2006	62	52	61,7	66,3	66,5	9,7	14,3	14,5
2006-2007	53	57	61,8	65,2	66,8	4,8	8,2	9,8
2007-2008	56	57	--	63,6	64,1	--	6,6	7,1
2008-2009	57	54	59,9	63,0	65,0	5,9	9,0	11,0
2009-2010	59	53	--	62,2	67,3	--	9,2	14,3
MÉDIA	56,4	55,1	61,1	64,1	65,5	6,0	9,0	10,4
DP	3,27	4,68	1,02	1,19	1,17			

Assim como os índices anteriores, as datas de IEC vão se tornando mais tardias a cada mês de previsão subsequente. Os DP também se mostraram inferiores aos obtidos pelos dados do CFSR. A EC de 2003-2004 foi a que apresentou as datas de IEC mais próximas das do CFSR e, além disso, as 3 previsões adiantaram o IEC. Diferentemente da EC de 2001-2002, onde as datas apresentaram maiores divergências e comportamento tardio em todas as previsões analisadas, apesar dos dados da reanálise (CFSR) terem adiantado a data de IEC em somente 1 pântada quando comparada ao IP.

Apesar de ter tido uma diferença de 6 pântadas, a previsão do mês de julho apresentou, em média, maior proximidade entre as datas de IEC pelo modelo e dados do CFSR e do CPC. Considerando o intervalo de ± 2 pântadas entre as datas previstas com as datas do IP, notou-se um acerto em 3 datas de IEC nesta previsão.

As datas previstas com o INAP foram, em média, bem próximas àquelas encontradas a partir dos dados do CFSR (Tabela 4.6). Em julho há um pequeno adiantamento (3 pântadas), reduzindo para um adiantamento de menos de uma pântada na previsão seguinte (agosto) e, por fim, um atraso em

3 pênadas na previsão de setembro. Assim como as datas de IEC, seus respectivos DP também apresentam aumento a cada previsão subsequente.

Tabela 4.6 – Idem a anterior, mas para o INAP.

	IP	CFSR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	61	58,0	60,1	64,9	-3,0	-0,9	3,9
2001-2002	51	62	57,1	58,0	61,5	-4,9	-4,0	-0,5
2002-2003	58	61	57,1	58,2	63,6	-3,9	-2,8	2,6
2003-2004	54	59	57,2	58,5	59,9	-1,8	-0,5	0,9
2004-2005	55	59	56,5	59,5	62,9	-2,5	0,5	3,9
2005-2006	62	61	57,1	59,7	63,2	-3,9	-1,3	2,2
2006-2007	53	53	57,8	59,1	61,5	4,8	6,1	8,5
2007-2008	56	57	55,7	57,9	62,0	-1,3	0,9	5,0
2008-2009	57	61	55,2	57,3	62,9	-5,8	-3,7	1,9
2009-2010	59	56	56,3	57,6	61,1	0,3	1,6	5,1
MÉDIA	56,4	59,0	56,8	58,6	62,3	-2,2	-0,4	3,3
DP	3,27	2,87	0,89	0,93	1,44			

A EC que apresentou datas mais discrepantes foi a de 2006-2007, com atraso de até 8 pênadas nas datas previstas, porém foi a EC que teve a data de IEC coincidente entre os dados da reanálise e precipitação do CPC. Em contrapartida, a EC de 2003-2004 mostrou-se a mais coerente e próxima da data de IEC identificada a partir dos dados do CFSR.

Em média, as datas de IEC utilizando dados da previsão climática do mês de agosto foram as que mais se aproximaram das datas obtidas pela reanálise, além de coincidir com as datas encontradas pelo IP no IEC nas EC de 2002-2003 e 2008-2009, sendo identificado nas pênadas 58 e 57, respectivamente. Nesta previsão foi possível notar, também, um acerto de 6 (4) datas de IEC quando comparado com os dados da reanálise (do CPC, i.e, IP).

Em média, as previsões pelo MCGA/CPTEC tende a atrasar o IEC quando comparados aos dados do CDR (Tabela 4.7). Em julho, as datas previstas

variam da pântada 59 a 62, em agosto ficam na faixa da pântada 58 e 62 e, em setembro, entre as pântadas 60 e 63.

Tabela 4.7 – Idem a anterior, mas para o ROLANT e dados do CDR.

	IP	CDR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	57	59,9	61,5	61,3	2,9	4,5	4,3
2001-2002	51	56	59,7	59,9	62,8	3,7	3,9	6,8
2002-2003	58	58	59,9	59,4	60,7	1,9	1,4	2,7
2003-2004	54	57	61,1	59,7	60,1	4,1	2,7	3,1
2004-2005	55	57	59,9	59,7	61,1	2,9	2,7	4,1
2005-2006	62	57	59,5	59,1	60,0	2,5	2,1	3,0
2006-2007	53	53	60,4	62,1	60,4	7,4	9,1	7,4
2007-2008	56	59	60,8	60,3	61,7	1,8	1,3	2,7
2008-2009	57	61	60,7	58,5	61,7	-0,3	-2,5	0,7
2009-2010	59	59	62,3	58,9	63,3	3,3	-0,1	4,3
MÉDIA	56,4	57,4	60,4	59,9	61,3	3,0	2,5	3,9
DP	3,27	2,12	0,83	1,12	1,11			

As EC de 2002-2003 foi a que apresentou data prevista de IEC mais próxima das encontrada pelos dados do CDR, com diferenças de uma a duas pântadas. Cabe ressaltar que nesta EC, o ROLANT a partir dos dados do CDR coincidiu com a data encontrada pelo IP. Já a que mostrou maior discrepância com os dados do CDR e CPC foi a EC de 2006-2007, com atraso de até 9 pântadas, apesar do IP e o ROLANT com o CDR terem coincidido entre si.

De modo geral, a média das datas encontradas com os dados da previsão climática de agosto foi a que mais se aproximou da data média com base nos dados do CDR e do CPC. Além disso, esta previsão também apresentou 6 acertos se comparado com as datas de IEC baseadas nos dados do CDR e 3 acertos comparando com o IP.

Com o TUZN, as datas de IEC utilizando os dados das 3 previsões foram próximas das encontradas pelos dados do CFSR (Tabela 4.8). Em julho, em média, há um adiamento de duas pântadas. Na previsão de agosto ocorre um

atraso de uma pênstada e em setembro de 4 pênstadas. Assim como na maioria dos índices analisados, as datas de IEC tendem a postergar a cada previsão.

Tabela 4.8 – Idem a anterior, mas para o TUZN e dados do CFSR.

	IP	CFSR (1)	J-ASO (2)	A-SON (3)	S-OND (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	59	59	58,1	59,5	64,9	-0,9	0,5	5,9
2001-2002	51	53	56,9	62,9	62,7	3,9	9,9	9,7
2002-2003	58	64	59,3	61,4	64,5	-4,7	-2,6	0,5
2003-2004	54	63	59,5	62,2	65,7	-3,5	-0,8	2,7
2004-2005	55	53	57,5	61,9	63,9	4,5	8,9	10,9
2005-2006	62	66	57,7	61,7	65,9	-8,3	-4,3	-0,1
2006-2007	53	72	56,9	62,1	65,3	-15,1	-9,9	-6,7
2007-2008	56	51	59,9	62,3	63,1	8,9	11,3	12,1
2008-2009	57	48	56,7	61,7	65,3	8,7	13,7	17,3
2009-2010	59	72	58,1	61,3	63,4	-13,9	-10,7	-8,6
MÉDIA	56,4	60,1	58,0	61,7	64,5	-2,1	1,6	4,4
DP	3,27	8,65	1,16	0,89	1,11			

A respeito da EC que apresenta datas de IEC mais próximas das encontradas pelo CFSR destaca-se a EC de 2000-2001, com adiantamento de quase uma pênstada na previsão de julho, mesma data na previsão de agosto e atraso de 5 pênstadas na previsão de setembro. Além disso, para esta mesma estação, a data de IEC pelo CFSR também coincidiu com o IP. Já a EC de 2008-2009 apresentou a maior dispersão entre as datas previstas, sendo tardias em até 17 pênstadas. Note que, com os dados da reanálise, a data de IEC é adiantada se comparada ao IP e considerando as datas obtidas pelas previsões, estas se aproximam mais do IP, principalmente na previsão de julho. Assim, as datas de IEC do TUZN oriundas do modelo, em média, foram mais próximas das datas encontradas com os dados do CFSR (CPC) na previsão climática de agosto (julho).

No que concerne os acertos das datas, notou-se que na previsão de julho ocorreu acerto de 1 (4) data(s) de IEC, em agosto 2 (3) datas e setembro 3 (0) datas com base nos dados do CFSR (CPC).

Analogamente, analisou-se o FEC para todos os índices nas previsões de dezembro, janeiro e fevereiro no período de 2000-2010.

Tabela 4.9 – Datas de FEC pelo IVZ850 com os dados do CFSR, CPC e das previsões climáticas sazonais de dezembro (D-JFM), janeiro (J-FMA) e fevereiro (F-MAM) no período de 2000-2010.

	IP	CFSR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	10	15,3	15,1	16,3	5,3	5,1	6,3
2001-2002	26	16	15,2	15,7	15,3	-0,8	-0,3	-0,7
2002-2003	23	15	15,7	17,1	17,1	0,7	2,1	2,1
2003-2004	26	14	15,3	16,0	15,8	1,3	2,0	1,8
2004-2005	25	7	15,5	16,3	16,2	8,5	9,3	9,2
2005-2006	23	23	15,6	16,1	17,2	-7,4	-6,9	-5,8
2006-2007	21	17	14,0	16,0	16,2	-3,0	-1,0	-0,8
2007-2008	23	15	15,5	16,6	15,9	0,5	1,6	0,9
2008-2009	19	10	15,9	15,7	16,6	5,9	5,7	6,6
2009-2010	20	12	15,9	14,7	15,6	3,9	2,7	3,6
MÉDIA	23,0	13,9	15,4	15,9	16,2	1,5	2,0	2,3
DP	2,40	4,48	0,54	0,69	0,60			

Na tabela 4.9 são apresentadas as datas de FEC com base no IVZ850. Em média, as datas tendem a atrasar quando comparado com o índice calculado com os dados CFSR, esse atraso fica em torno de 2 pântadas. Ainda, a cada previsão há uma tendência de aumento desse atraso, sendo identificadas como FEC as pântadas 15, 15 e 16 (12-16 e 17-21 de março) para as previsões de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente. Ainda, as previsões climáticas dos meses de dezembro e janeiro apresentaram as datas médias de IEC mais próximas à data média obtida com os dados do CFSR.

Porém, quando comparadas com as datas do IP, as previsões tendem a adiantar o FEC. Como mostrado na Figura 4.3, o IVZ850 apresentar um perfil de adiantamento do FEC e o mesmo pode ser notado com os dados da previsão climática sazonal utilizando o MCGA/CPTEC. Logo, notou-se que não ocorreu nenhum acerto das datas de FEC previstas quando comparadas com o

IP. Já para as datas com base no CFSR ocorreu acerto de 4, 6 e 5 acertos nas previsões de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente.

A EC que apresentou mais concordâncias entre as previsões juntamente com a reanálise foi de 2007-2008, na qual ocorreu um atraso de apenas 1 pântada na previsão de agosto. Antagonicamente, na EC de 2004-2005 ocorreu maior dispersão entre as datas identificadas pelo IVZ850, com atrasos de até 9 pântadas.

Com o ICVM, as datas de FEC tendem a se antecipar quando comparadas com a reanálise e o IP (Tabela 4.10). Pelo CFSR e IP a data de FEC, em média, ocorre na pântada 21 (11-15 de abril) e 23 (21-25 de abril), respectivamente. Já nas previsões de dezembro, janeiro e fevereiro esta data pode ser notada na pântada 15, 17 e 19 (12-16 e 22-26 de abril, e 1-5 de abril), respectivamente. Percebe-se, também, que na previsão de dezembro não foi possível identificar 3 das 10 EC.

Tabela 4.10 – Idem a anterior, mas para o ICVM.

	IP	CFSR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	3	18,3	18,3	17,1	15,3	15,3	14,1
2001-2002	26	13	--	20,2	23,1	--	7,2	10,1
2002-2003	23	17	16,3	18,9	20,2	-0,7	1,9	3,2
2003-2004	26	18	--	17,8	19,1	--	-0,2	1,1
2004-2005	25	31	15,5	16,4	20,1	-15,5	-14,6	-10,9
2005-2006	23	23	13,9	15,3	19,8	-9,1	-7,7	-3,2
2006-2007	21	31	15,7	18,2	19,5	-15,3	-12,8	-11,5
2007-2008	23	26	12,8	15,1	18,7	-13,2	-10,9	-7,3
2008-2009	19	24	12,1	13,5	18,1	-11,9	-10,5	-5,9
2009-2010	20	25	--	21,3	18,7	--	-3,7	-6,3
MÉDIA	23,0	21,1	15,0	17,5	19,4	-7,2	-3,6	-1,2
DP	2,40	8,61	2,16	2,41	1,60			

Mesmo com a ausência da data de FEC para a previsão de dezembro, a EC de 2003-2004 foi a que mostrou maior convergência nas datas identificadas, ao

contrário da EC de 2000-2001 que apresentou atraso de até 15 pântadas. Por fim, mesmo com o adiantamento médio de, aproximadamente, 2 pântadas, a previsão de fevereiro foi a mais próxima da data de FEC encontrada pelo ICVM baseado na reanálise. Nesta previsão foi possível obter 2 acertos na data de FEC comparando tanto com o IP quanto com o CFSR.

Pelo ICVZ, as datas de FEC também tendem a adiantar por volta de 4 pântadas (6 pântadas) quando comparadas às datas com dados do CFSR (CPC) (Tabela 4.11). Tais datas foram identificadas na pântada 17, 17 e 18 (22-26 e 27-28 de março) para as previsões de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente.

Tabela 4.11 – Idem a anterior, mas para o ICVZ.

	IP	CFSR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	22	17,2	18,5	18,9	-4,8	-3,5	-3,1
2001-2002	26	25	16,7	17,2	16,9	-8,3	-7,8	-8,1
2002-2003	23	21	17,0	18,0	18,7	-4,0	-3,0	-2,3
2003-2004	26	20	16,5	17,5	17,5	-3,5	-2,5	-2,5
2004-2005	25	20	16,7	16,9	17,4	-3,3	-3,1	-2,6
2005-2006	23	22	18,1	18,7	18,7	-3,9	-3,3	-3,3
2006-2007	21	20	15,9	16,9	17,4	-4,1	-3,1	-2,6
2007-2008	23	22	17,9	19,1	18,7	-4,1	-2,9	-3,3
2008-2009	19	21	17,8	17,3	18,0	-3,2	-3,7	-3,0
2009-2010	20	20	18,1	18,5	18,6	-1,9	-1,5	-1,4
MÉDIA	23,0	21,3	17,2	17,9	18,1	-4,1	-3,4	-3,2
DP	2,40	1,57	0,75	0,81	0,71			

Mesmo com o adiantamento médio das datas de FEC obtidas pelas previsões climáticas sazonais, estas se mostram consistentes e com pouca variação das datas entre as previsões subsequentes. Desta maneira, a EC que apresentou maior concordância foi de 2009-2010 e a que apresentou maiores diferenças entre as datas da reanálise e previstas foi a EC de 2001-2002. Note que as datas de FEC identificadas pelo IP e dados do CFSR para ambas as EC foram muito próximas entre si, chegando a coincidirem (2009-2010). Ainda,

igualmente ao índice anterior, a previsão de fevereiro foi aquela que apresentou maior concordância com a data média obtida com os dados do CFSR e do CPC.

Em média, as datas de FEC utilizando o INAP também tendem a adiantar com os dados das previsões climáticas do MCGA/CPTEC (Tabela 4.12), porém as diferenças diminuem de uma previsão à subsequente, partindo de uma diferença de 6 pântadas na previsão de dezembro, passando para 3 pântadas na previsão de janeiro e adiantamento de somente uma pântada na previsão de fevereiro.

Tabela 4.12 – Idem a anterior, mas para o INAP.

	IP	CFSR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	20	18,3	20,9	21,9	-1,8	0,9	1,9
2001-2002	26	18	17,2	20,7	22,1	-0,8	2,7	4,1
2002-2003	23	26	17,2	21,0	21,8	-8,8	-5,0	-4,2
2003-2004	26	28	16,9	19,6	21,1	-11,1	-8,4	-6,9
2004-2005	25	24	17,6	19,3	21,8	-6,4	-4,7	-2,2
2005-2006	23	23	17,8	21,2	22,7	-5,2	-1,8	-0,3
2006-2007	21	25	17,7	20,2	21,4	-7,3	-4,8	-3,6
2007-2008	23	25	18,2	20,9	22,3	-6,8	-4,1	-2,7
2008-2009	19	28	18,4	21,1	21,7	-9,6	-6,9	-6,3
2009-2010	20	20	17,6	20,4	21,5	-2,4	0,4	1,5
MÉDIA	23,0	23,7	17,7	20,5	21,8	-6,0	-3,2	-1,9
DP	2,40	3,43	0,50	0,64	0,46			

A EC que apresentou maior conformidade entre as datas de FEC encontradas pelo INAP foram as EC de 2000-2001 e 2009-2010, sendo que nesta última a data do FEC com os dados do CPC, CFSR e a previsão sazonal de janeiro coincidiram entre si. Opondo-se a EC de 2003-2004, que adiantou em até 11 pântadas. Ainda, assim como os índices anteriores, a previsão climática de fevereiro foi a que mais se aproximou, em média, das datas de FEC baseadas nos dados do CFSR e do CPC.

Sobre os acertos entre as datas previstas, notou-se o acerto de 3 (1), 4 (5) e 3 (6) datas de FEC comparando-as com as datas obtidas pelo CFSR (IP) nas previsões de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente.

Como a maioria dos índices, em média, o ROLANT apresentou um adiantamento nas datas de FEC com as previsões do MCGA/CPTEC (Tabela 4.13). Porém, quando comparadas com o IP, esse adiantamento é reduzido, obtendo datas bem próximas de até 1 pênstada, na média. Ainda, as datas das previsões, assim como seus DP, tendem a aumentar nas previsões subsequentes.

Tabela 4.13 – Idem a anterior, mas para o ROLANT e dados do CDR.

	IP	CDR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	27	20,4	22,1	22,3	-6,6	-4,9	-4,7
2001-2002	26	29	20,2	22,0	22,0	-8,8	-7,0	-7,0
2002-2003	23	23	--	22,9	22,9	--	-0,1	-0,1
2003-2004	26	28	--	24,8	23,7	--	-3,3	-4,3
2004-2005	25	31	21,4	22,6	22,3	-9,6	-8,4	-8,7
2005-2006	23	29	20,8	21,9	21,1	-8,2	-7,1	-7,9
2006-2007	21	24	20,7	23,3	26,9	-3,3	-0,7	2,9
2007-2008	23	27	21,3	20,0	20,8	-5,7	-7,0	-6,2
2008-2009	19	28	20,5	21,3	22,7	-7,5	-6,7	-5,3
2009-2010	20	32	21,3	23,5	22,1	-10,7	-8,5	-9,9
MÉDIA	23,0	27,8	20,8	22,4	22,7	-7,0	-5,4	-5,1
DP	2,40	2,78	0,47	1,32	1,69			

A EC que apresentou convergência nas datas previstas com a reanálise foi a de 2002-2003, apesar da previsão de dezembro não ter conseguido identificar o FEC nesta EC. Esta estação também apresentou coincidência com a data do FEC encontrada pelo IP. Por outro lado, a EC de 2009-2010 foi a que apresentou datas mais distantes das encontradas pelos dados do CDR, com adiantamento de até 10 pênstadas. Para o ROLANT, a previsão de fevereiro, também, foi a que mais se aproximou da data média de FEC obtida pela reanálise e pelo IP.

Considerando o intervalo de acertos, i.e., ± 2 pântadas, as datas previstas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram 4 (0), 4 (2) e 3 (2) acertos, respectivamente, com base nos dados do CPC (CDR).

E por fim, na Tabela 4.14 são apresentadas as datas de FEC a partir do TUZN. Em média, as datas previstas pelo MCGA/CPTEC demonstram pouca diferença das datas identificadas pelo CFSR. Ao contrario do padrão da maioria dos índices, o TUZN apresenta comportamento distinto entre as previsões e seus respectivos DP apresentando aumento (diminuição) nos valores das pântadas (DP) nas previsões subsequentes.

Tabela 4.14 – Idem a anterior, mas para o TUZN e dados do CFSR.

	IP	CFSR (1)	D-JFM (2)	J-FMA (3)	F-MAM (4)	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)
2000-2001	24	10	16,9	18,1	18,4	6,9	8,1	8,4
2001-2002	26	21	17,2	17,9	19,0	-3,8	-3,1	-2,0
2002-2003	23	7	15,7	17,8	18,5	8,7	10,8	11,5
2003-2004	26	20	17,0	16,8	18,7	-3,0	-3,2	-1,3
2004-2005	25	17	15,5	17,3	18,0	-1,5	0,3	1,0
2005-2006	23	16	16,8	18,3	19,1	0,8	2,3	3,1
2006-2007	21	18	15,1	17,2	17,7	-2,9	-0,8	-0,3
2007-2008	23	14	17,1	18,1	19,1	3,1	4,1	5,1
2008-2009	19	20	16,5	16,7	19,3	-3,5	-3,3	-0,7
2009-2010	20	18	16,7	16,7	18,3	-1,3	-1,3	0,3
MÉDIA	23,0	16,1	16,4	17,5	18,6	0,3	1,4	2,5
DP	2,40	4,56	0,76	0,63	0,54			

Nas EC de 2004-2005, 2005-2006 e 2009-2010 foram as que mostram maior coincidência entre as datas previstas e identificadas com os dados do CFSR. Entretanto, na EC de 2002-2003 ocorreram as maiores discrepâncias entre as datas, com atraso (adiantamento) no FEC de até 11 pântadas (8 pântadas) quando comparadas com a data identificada pelos dados do CFSR (CPC). Além do mais, a previsão de dezembro (fevereiro) foi a que mais se aproximou da data média de FEC identificada pelo TUZN com base nos dados do CFSR

(CPC). Cabe ressaltar, também, que a previsão de fevereiro mostrou maior número de acertos, com 6 (2) datas correspondentes ao CFSR (IP).

No geral, o MCGA/CPTEC conseguiu prever relativamente bem as datas de IEC e FEC com todos os índices analisados. Cada índice e previsão apresentou um perfil distinto entre si, isso possibilitou evidenciar quais dos índices e em quais previsões ocorreram melhores representações da EC sobre a região do COB, assim como suas limitações. Nesta análise, os índices baseados nas previsões climáticas sazonais que apresentaram datas de IEC mais próximas das datas obtidas pela reanálise foram o INAP e ROLANT. Enquanto que para as datas do FEC, os índices que mais se aproximaram foram o INAP e TUZN. Além disso, a previsão de agosto destacou-se por identificar as datas de IEC mais próximas das datas baseadas nos dados do CFSR e CPC. Já para o FEC o predomínio foi para a previsão de fevereiro.

Importante ressaltar que todos os índices de IEC e FEC baseados nos dados da previsão climática sazonal apresentaram os DP inferiores aos obtidos pelos dados do CFSR e CDR. Isso demonstra certa limitação do modelo em representar a variabilidade interanual das EC. Uma das possíveis explicações pode estar ligada às CC do modelo como, por exemplo, a TSM. Marengo et al. (2003) mostraram que forçantes externas como anomalias na TSM podem ser importantes na variabilidade interanual. Por exemplo, a alteração da TSM no Oceano Índico está diretamente relacionada com a precipitação no leste da África tropical (GODDARD; GRAHAM, 1999) e a TSM no Atlântico Tropical pode afetar as chuvas no NEB (MOURA; SHUKLA, 1981). Igualmente, as variáveis: umidade do solo e a cobertura de neve também podem influenciar o clima sazonal (DIRMEYER, 2003; DOUVILLE; ROYER, 1996; DOUVILLE, 2003). De maneira geral, esses fatores afetam a circulação atmosférica (TSM, cobertura de neve e umidade do solo) são parâmetros que constituem a base para a previsão de longo prazo.

No presente trabalho, a CC oceânica utilizada na previsão climática sazonal do MCGA/CPTEC foi condicionada pela persistência da anomalia da TSM. A substituição da TSM persistida pela prevista possivelmente traria melhoria na inicialização do modelo, como sugerido por Freire et al. (2015).

Notou-se também que a maioria dos índices apresentou um atraso da identificação das datas de IEC e FEC de uma previsão a sua subsequente. Esta característica pode estar relacionada, além das CC, com o tempo de *spin-up* do modelo. No presente trabalho foi considerado um tempo de, aproximadamente, 2 a 3 meses (dependendo do membro) como *spin-up*, este tempo pode ter sido insuficiente para estabilizar os principais parâmetros que condicionam a variabilidade do clima. Um estudo preliminar feito por Oyama et al. (2000), os autores analisaram a inicialização da umidade do solo no MCGA CPTEC/COLA a fim de determinar o tempo de *spin-up* desta variável. Eles notaram que esse tempo poderia variar de 1 a 100 meses dependendo da camada ou tipo de superfície analisada, além da variabilidade da precipitação e estresse hídrico sofrido na zona de raízes.

Testes de sensibilidade da umidade do solo durante o verão na América do Sul a partir de simulações do modelo regional ETA mostraram que esta condição afeta a intensidade e distribuição da precipitação, principalmente na região Amazônica e da ZCAS (RODRIGUES, 2009). Isso ocorre em virtude da energia disponível aos fluxos de calor sensível e latente devido à variação da umidade do solo, na qual é repassada à atmosfera por meio da modificação de sua estrutura termodinâmica e do seu potencial convectivo. O aumento (diminuição) da umidade do solo promove o crescimento (redução) da Energia Potencial Disponível para a Convecção, i.e., o CAPE. Além disso, a variação da temperatura, da umidade específica, à superfície e na camada limite planetária, é fortemente correlacionada à mudança na umidade do solo, através da alteração nos fluxos de calor latente e sensível. Este mecanismo sugere um possível “feedback” positivo entre o conteúdo de água no solo e a precipitação associada à ZCAS, em particular, sobre a Amazônia (CANDIDO et al., 2006).

Por fim, Cavalcanti et al. (2002) sugerem que as deficiências do modelo em simular a quantidade de precipitação pode estar parcialmente relacionado ao tipo de esquema de convecção.

4.4. Comparação das datas de IEC e FEC do MCGA/CPTEC 3.0 e MCGA/CPTEC OPER.

Visto que há algumas diferenças na configuração do MCGA/CPTEC 3.0 e o OPER, mostra-se necessário uma comparação das datas encontradas entre as duas versões a fim de avaliar se ocorreram melhorias na detecção do IEC e FEC dentre essas duas versões do MCGA/CPTEC. As EC de 2011-2012 a 2014-2015 foram selecionadas e analisadas, pois, além de serem EC mais recentes, a escolha se justificada devido à disponibilidade dos dados do MCGA/CPTEC OPER. Cabe ressaltar que não há dados disponíveis para a previsão de julho de 2011 do MCGA/CPTEC OPER. Além do mais, como citado e justificado anteriormente, as datas de IEC e FEC foram comparadas com as datas identificadas pelo IP.

Assim como na seção 4.1, nesta seção são apresentadas as comparações entre os campos médio das variáveis climáticas com base nos dados da previsão climática sazonal do MCGA/CPTEC 3.0 e MCGA/CPTEC OPER nos trimestres de ASO, SON e OND para demonstrar a evolução durante o IEC e em JFM, FMA e MAM para o FEC.

Na Figura 4.21 são exibidos os campos de precipitação acumulada (mm). Em ambas as versões notam-se o deslocamento do acumulado de precipitação para Sul/Sudeste do continente. A versão 3.0 apresenta valores de acumulado levemente maiores que pela versão OPER na maior parte continental, principalmente nos trimestre de ASO e SON (Figuras 4.21 (a), (b), (d) e (e)), porém suas magnitudes são semelhantes no trimestre de OND (Figura 4.21 (c) e (f)).

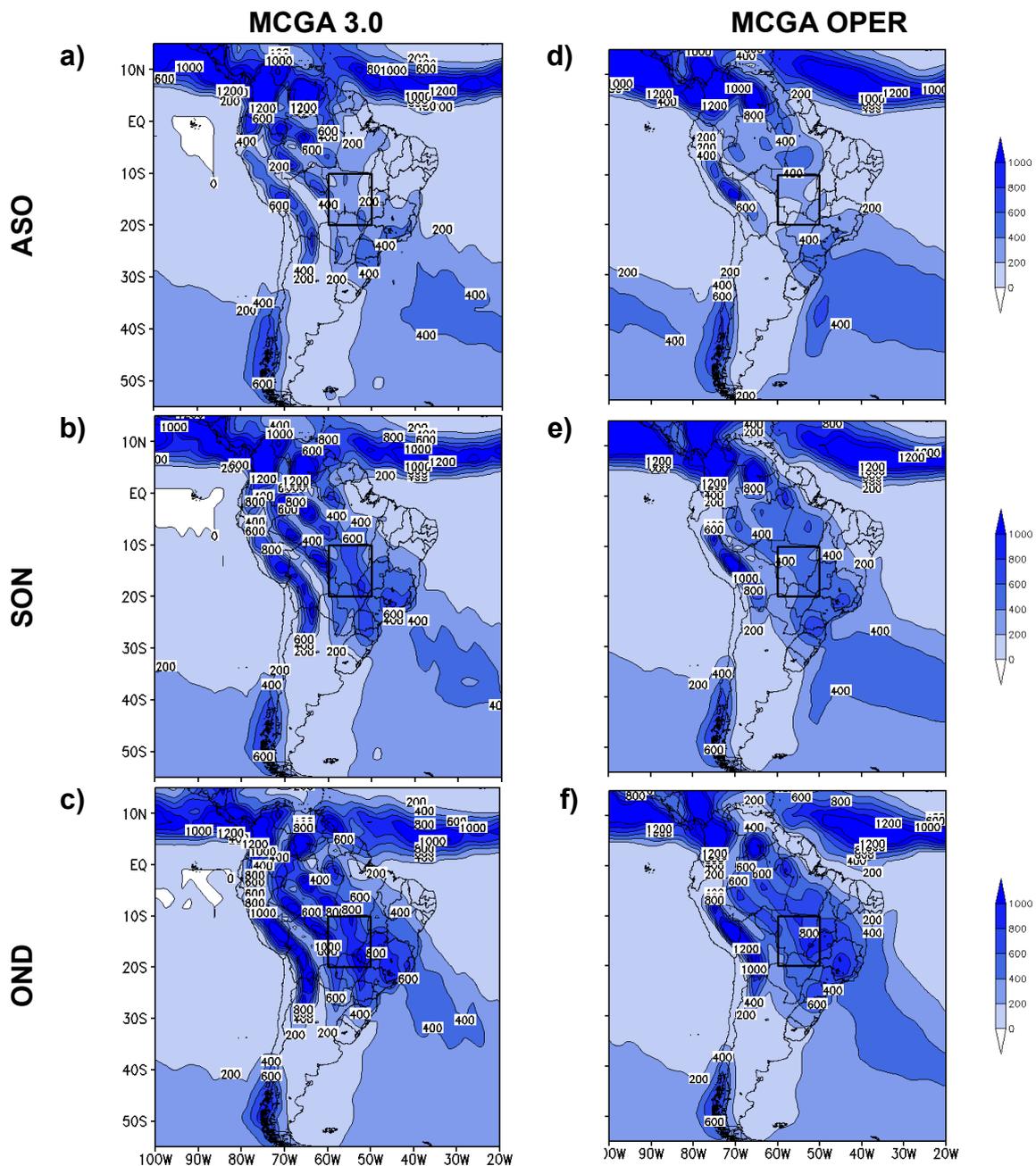


Figura 4.21 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de Agosto/Setembro/Outubro (ASO), Setembro/Outubro/Novembro (SON) e Outubro/Novembro/Dezembro (OND) com os dados do MCGA/CPTEC 3.0 (coluna à esquerda) e MCGA/CPTEC OPER (coluna à direita) para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. Em ambas as versões foram utilizadas a média dos 15 membros do conjunto de previsão.

A circulação do vento em altos níveis (200 hPa) é apresentada na Figura 4.22. Ambas as versões representam bem o posicionamento do JAN, porém a versão OPER apresenta o centro de máxima intensidade do JAN mais alongado zonalmente quando comparado com a versão 3.0, principalmente nos trimestres de ASO e SON (Figura 4.22 (a), (b), (d) e (e)). Com relação às áreas delimitadas pelos retângulos, não há diferenças relevantes, uma vez que em ambas as versões a evolução da circulação em altos níveis mostram-se semelhantes na configuração da AB e cavado do NEB.

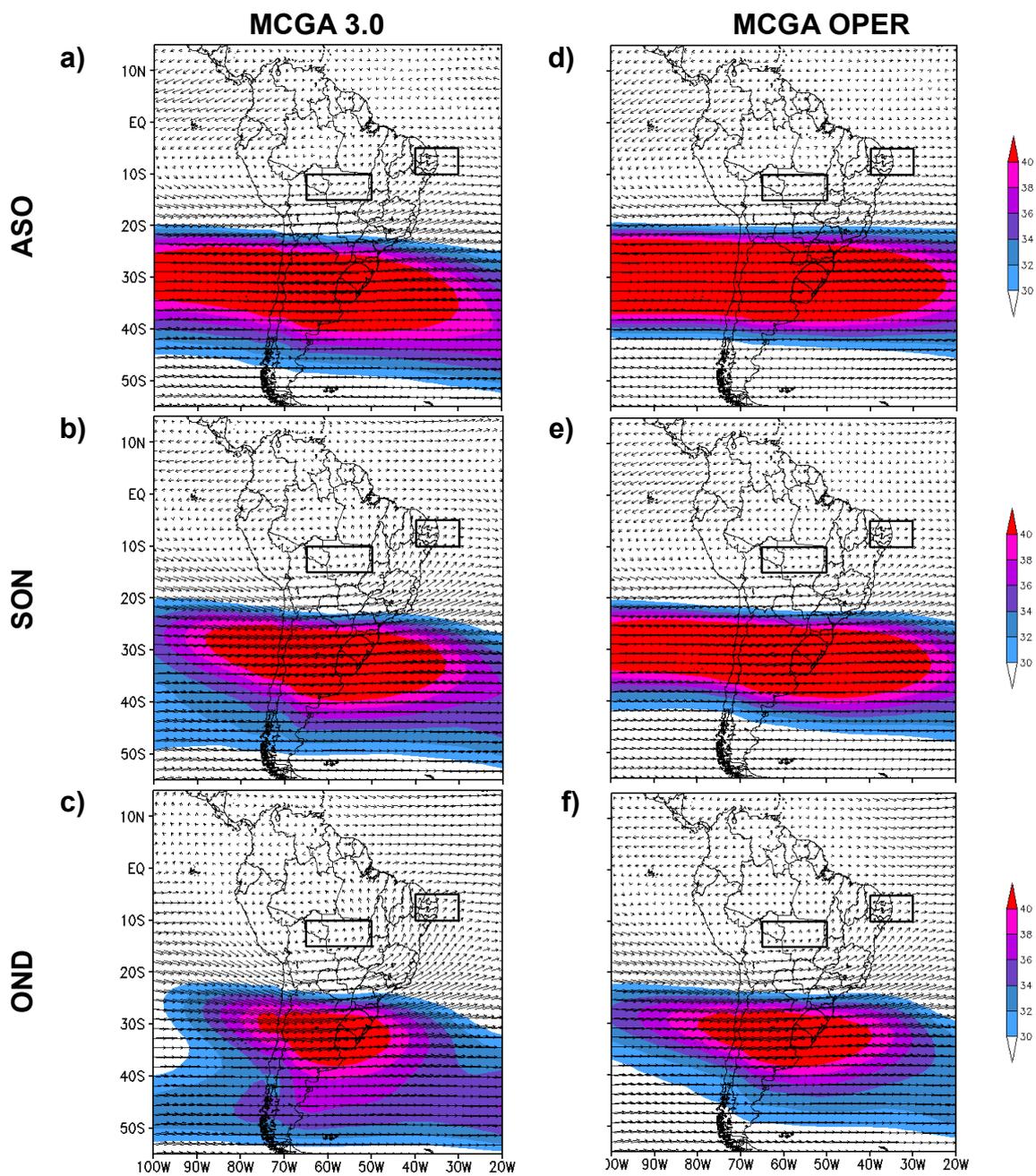


Figura 4.22 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m \cdot s^{-1}$) em 200 hPa.

Na Figura 4.23 é mostrada a circulação em baixos níveis (850 hPa) nos trimestres de ASO, SON e OND entre as duas versões do MCGA/CPTEC. Em ambas as versões, as regiões de ventos mais intensos localizam-se em latitudes altas, no NEB e na borda norte/noroeste da ASPS, porém a versão 3.0 apresenta

magnitudes mais elevadas quando comparadas à versão OPER. A circulação presente nas áreas delimitadas pelos retângulos mostra-se condizente com a análise da seção 4.1, principalmente a deflexão do vento que ocorre na região do COB, característico do IEC (GAN et al., 2004; 2006; RAIA e CAVALCANTI, 2008).

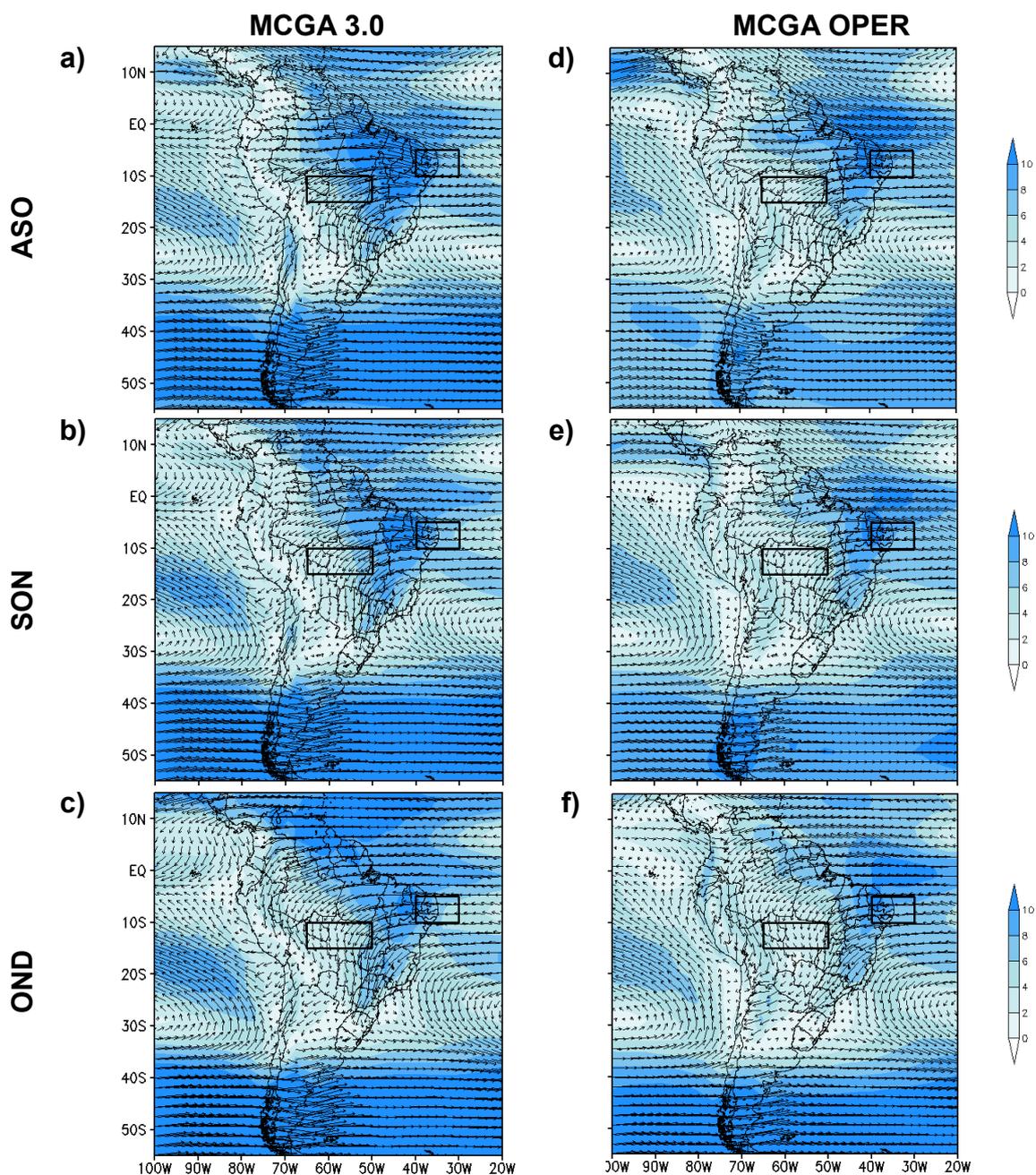


Figura 4.23 – Idem ao anterior, mas para o vento ($m.s^{-1}$) em 850 hPa.

A umidade específica em 925 hPa é exibida na Figura 4.24. Percebe-se que ambas as versões representam bem o deslocamento da umidade, concentrada na região equatorial, para a região central do continente sul-americano com o passar dos meses. Apesar de a versão OPER mostrar núcleos de máxima umidade mais elevados sobre a região Amazônica quando comparada com a versão 3.0, ambas as versões apresentam comportamento semelhante dentro da área delimitada pelo retângulo.

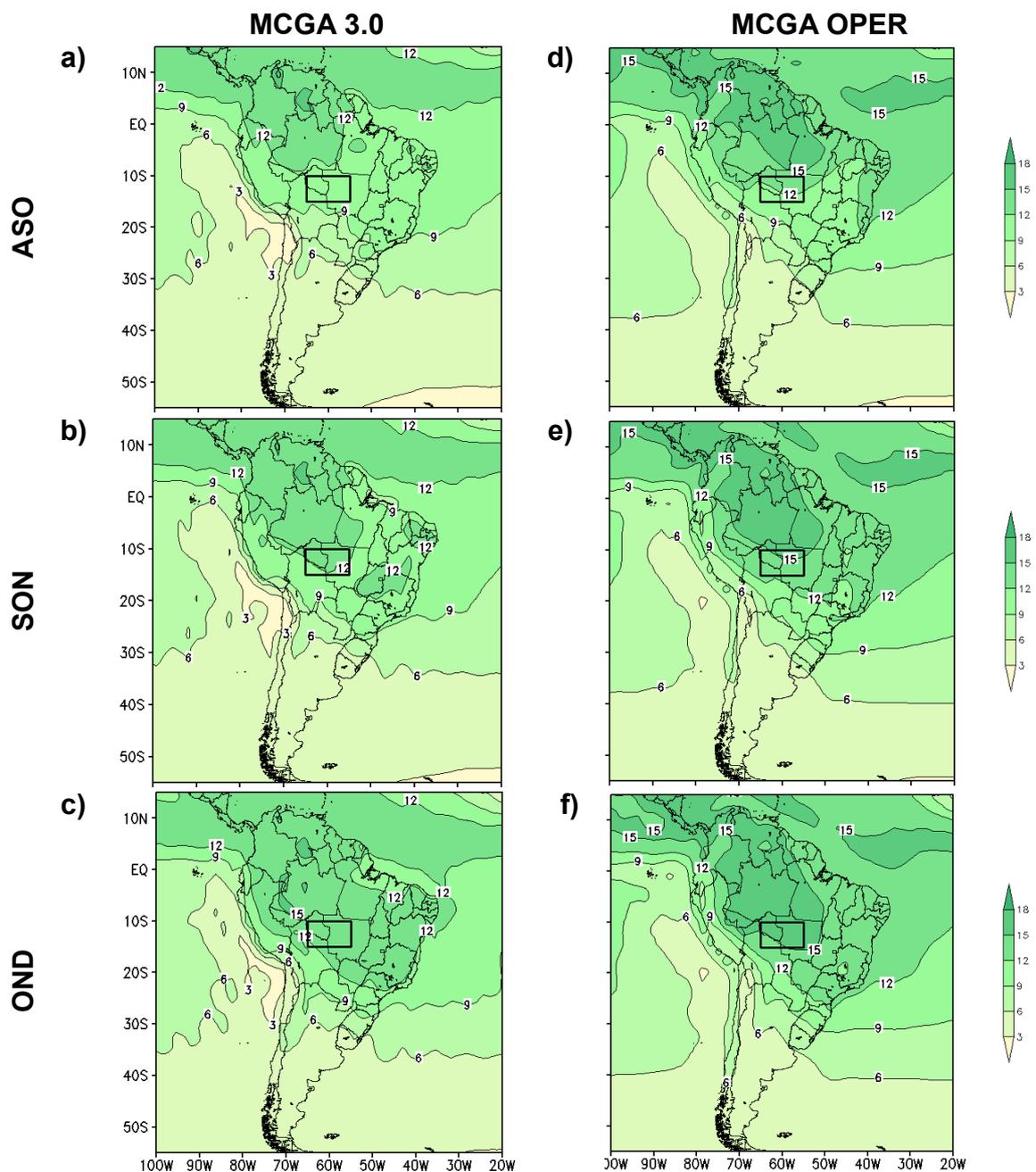


Figura 4.24 – Idem ao anterior, mas para o umidade específica ($g.kg^{-1}$) em 925 hPa.

Na Figura 4.25 é mostrada a evolução dos campos de água precipitável na AS. Semelhante à umidade específica, a versão OPER apresenta valores mais elevados de água precipitável quando comparada com a versão 3.0 e esta mostra maior detalhamento da distribuição da água precipitável, com maiores

(menores) valores sobre a região Amazônica e ZCIT (região dos Andes). Ambas as versões representam bem o deslocamento da água precipitável equatorial para o setor central do continente, característico da evolução da EC.

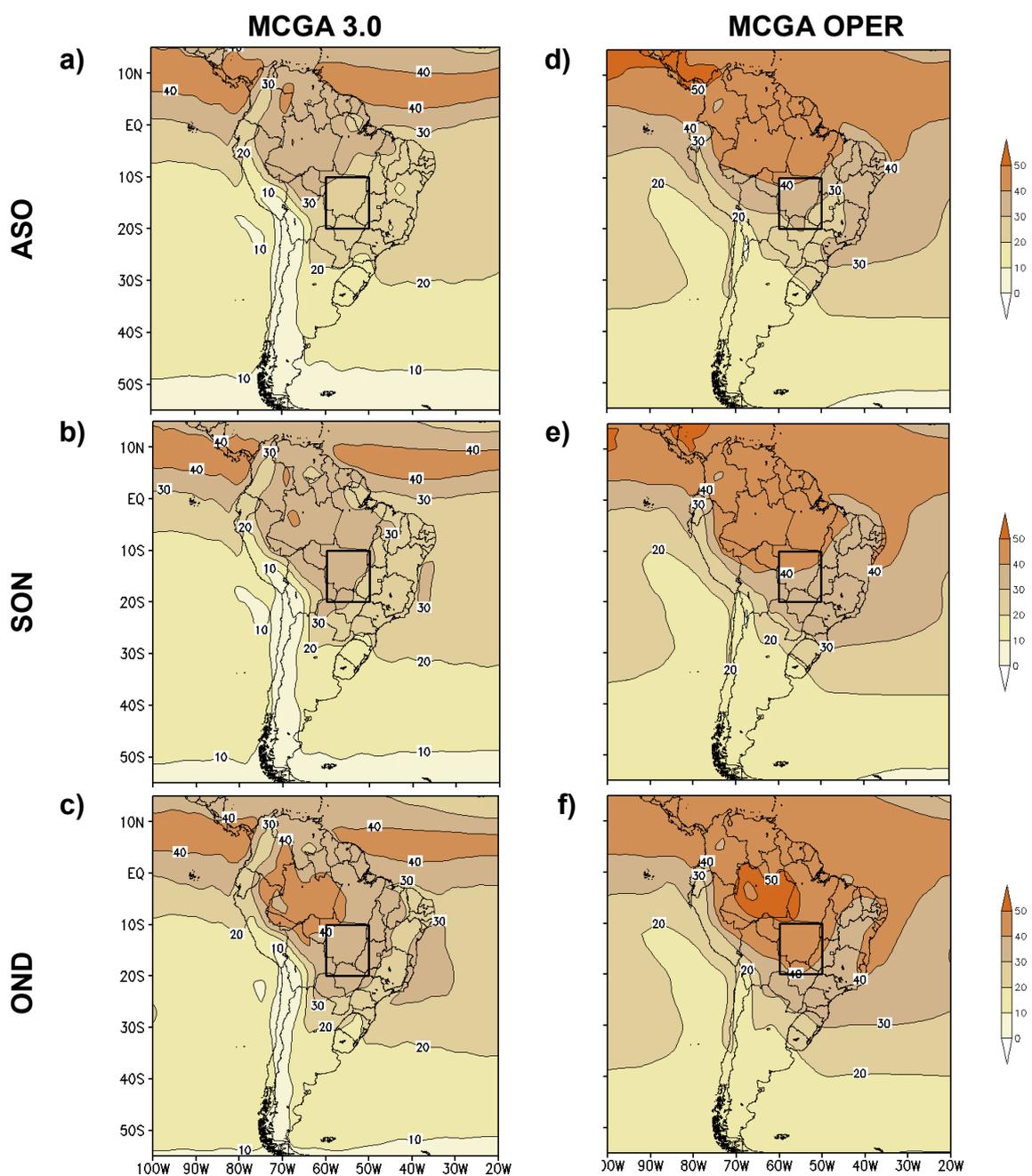


Figura 4.25 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

Assim como foi analisada a evolução das variáveis para o IEC, o mesmo é feito para o FEC, a fim de identificar as principais diferenças e semelhanças entre as versões do MCGA/CPTEC utilizadas no presente trabalho.

Na Figura 4.26 é mostrada a evolução dos campos de precipitação acumulada (mm) nos trimestres de JFM, FMA e MAM para a média do conjunto de previsões climáticas gerado pela versão 3.0 e OPER do MCGA/CPTEC.

Ambas as versões representam erroneamente um acumulado elevado de precipitação sobre os Andes, mas, apesar disso, as mesmas representam bem o deslocamento da precipitação para norte, característico do FEC. Note que a versão OPER tende a apresentar um deslocamento para norte da precipitação mais rápido do que pela versão 3.0.

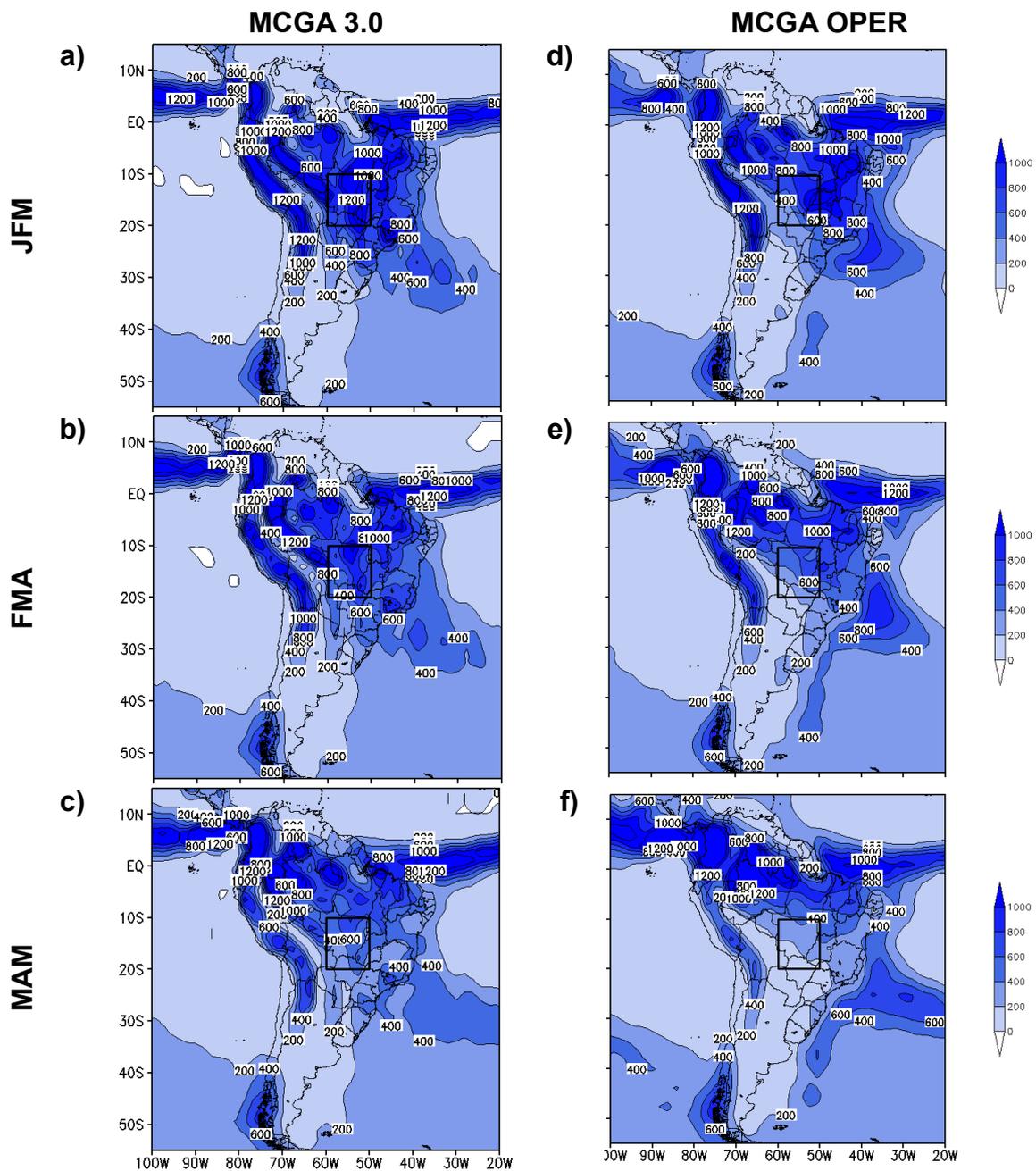


Figura 4.26 – Média da precipitação acumulada (mm) nos trimestres de janeiro/fevereiro/março (JFM), fevereiro/março/abril (FMA) e março/abril/maio (MAM) com os dados do MCGA/CPTEC 3.0 (coluna à esquerda) e MCGA/CPTEC OPER (coluna à direita) para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. Em ambas as versões foram utilizadas a média dos 15 membros do conjunto de previsão.

Na Figura 4.27 pode ser vista a circulação do vento em 200 hPa. Ambas as versões do MCGA/CPTEC representam semelhantemente o JAN, tanto

intensidade quanto posicionamento, em todos os trimestres analisados. A AB permanece por mais tempo sobre sua posição climatológica pela versão 3.0 (Figura 4.27 (a) e (b)) o que pode justificar a permanência das chuvas no COB quando comparado com a versão OPER. Já no NEB, notam-se poucas diferenças no comportamento do vento em altos níveis.

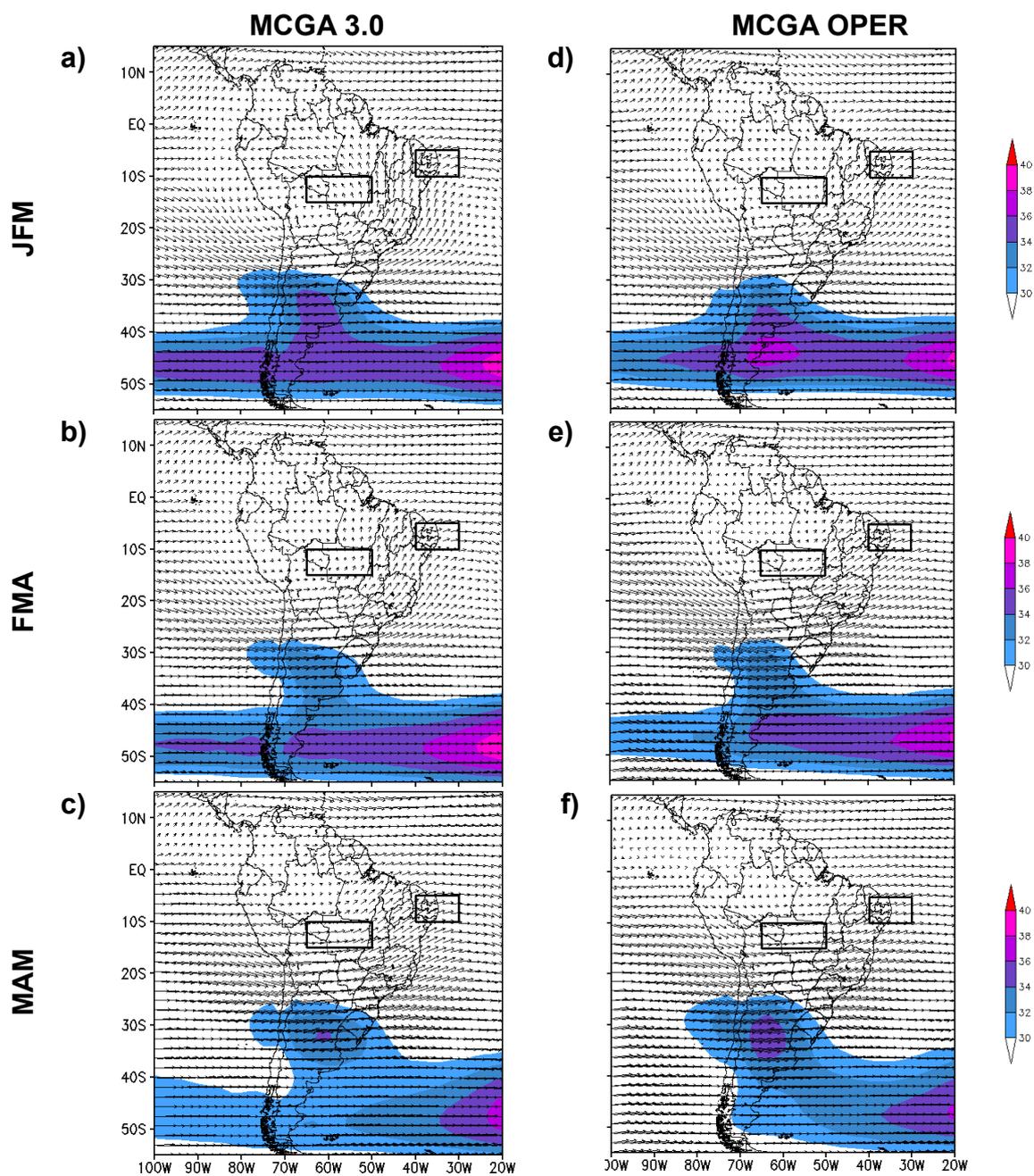


Figura 4.27 – Idem ao anterior, mas para o vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 200 hPa.

A circulação do vento em 850 hPa pode ser vista na Figura 4.28. A evolução da circulação correspondente ao FEC mostra menores diferenças nas regiões de máxima intensidade do vento, e.g., latitudes altas, Atlântico Equatorial e borda da ASPS, entre ambas as versões do que quando comparado com a evolução do IEC (Figura 4.23). Assim como mostrado no acumulado de precipitação e circulação em altos níveis, a comportamento zonal para leste do vento sobre o COB permanece mais tempo pela versão 3.0 do que pela versão OPER. Grandes diferenças não são identificadas sobre o NEB.

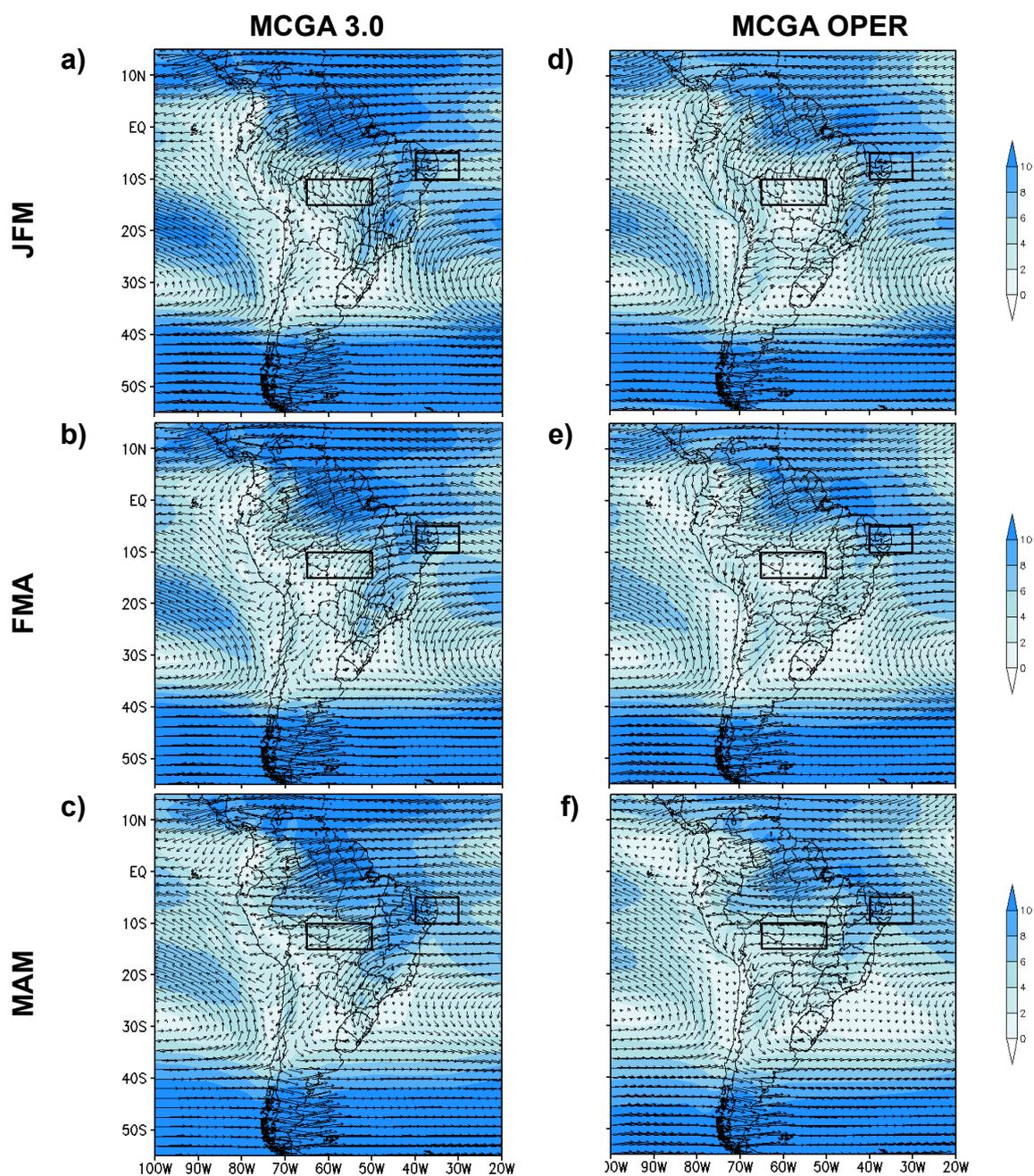


Figura 4.28 – Idem ao anterior, mas para o vento (m.s^{-1}) em 850 hPa.

O campo de umidade específica (g.kg^{-1}) no nível de 925 hPa é exibido na Figura 4.29. Note que ambas as versões apresentam padrões semelhantes na posição e deslocamento da variável nos três meses analisados, apesar de, em

algumas regiões, i.e., região equatorial, a versão OPER mostra valores mais elevados de umidade quando comparado à versão 3.0.

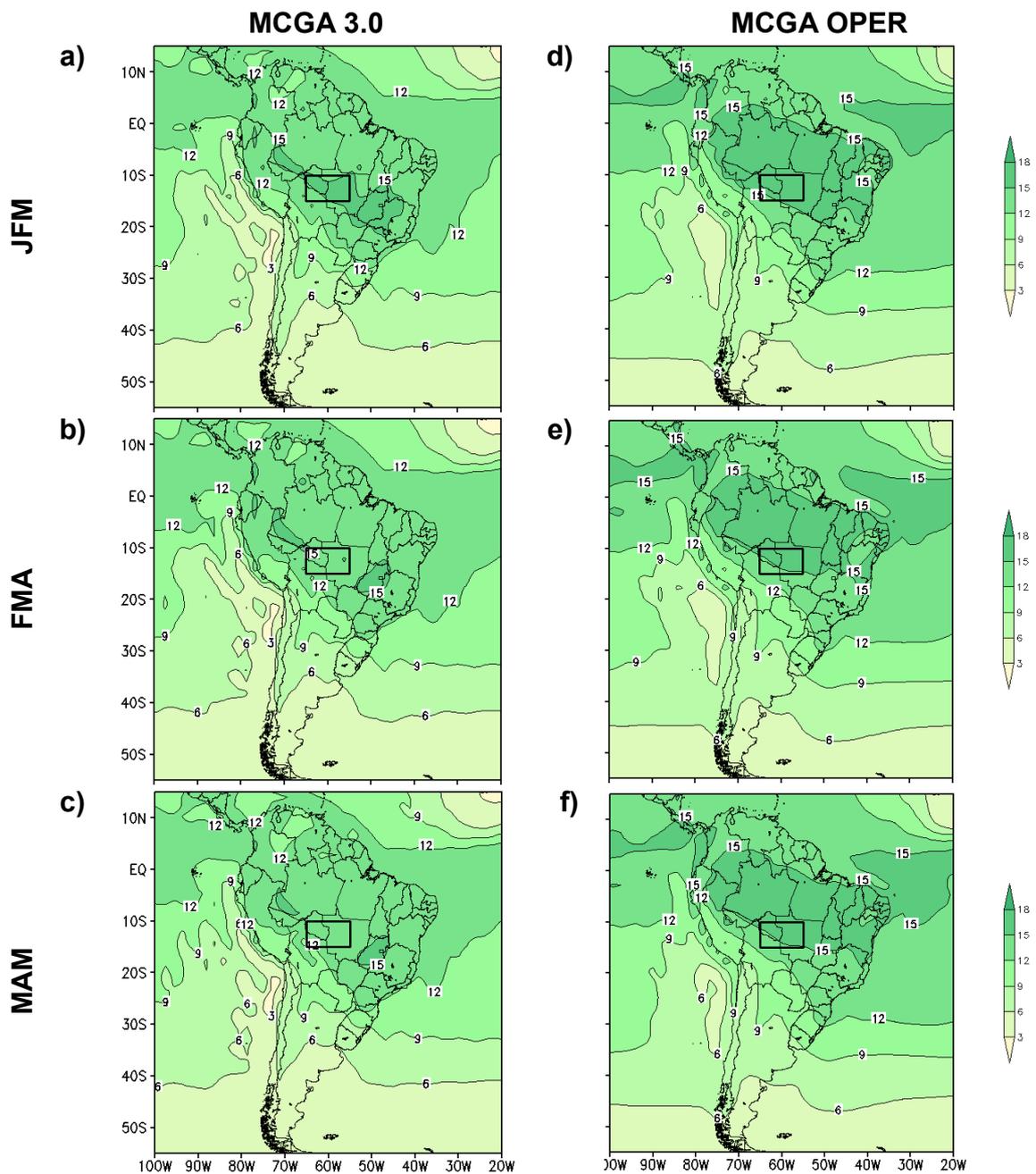


Figura 4.29 – Idem ao anterior, mas para a umidade específica ($g \cdot kg^{-1}$) em 925 hPa.

Já o comportamento da água precipitável pode ser visto na Figura 4.30. Semelhante à variável umidade específica, ambas as versões representam padrões semelhantes no posicionamento e deslocamento da variável, com magnitudes levemente superiores na versão OPER.

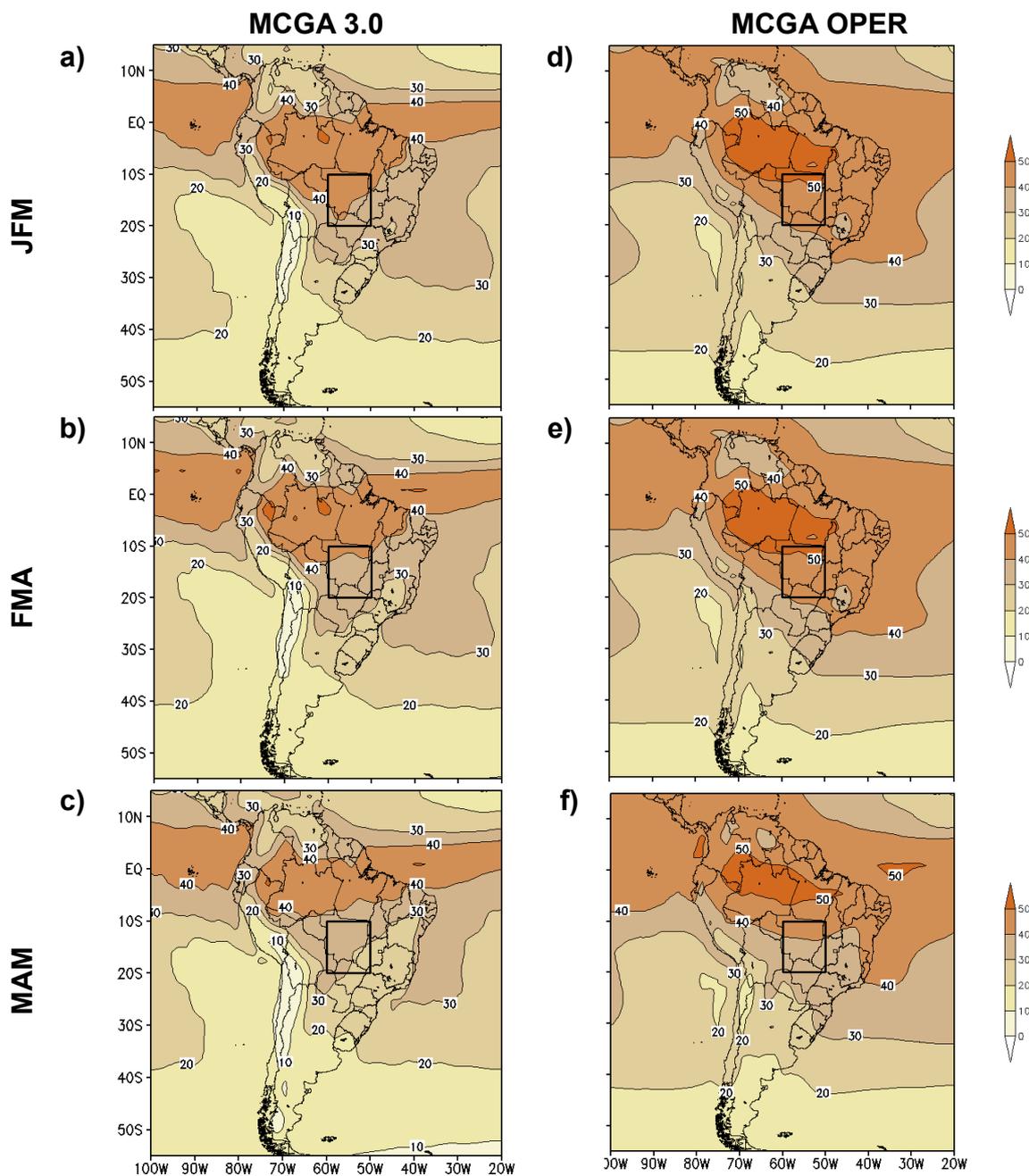


Figura 4.30 – Idem ao anterior, mas para a água precipitável (kg.m^{-2}).

Assim, analisando os campos espaciais das versões do MCGA/CPTEC, notou-se que ambas conseguem representar o posicionamento e o deslocamento dos sistemas meteorológicos sobre a região de estudo, além de mostrar as características transitórias entre o IEC e FEC relacionadas ao SMAS. As maiores diferenças foram notadas nas variáveis: água precipitável, umidade específica e precipitação acumulada.

Com a análise das variáveis-base dos índices de identificação do IEC e FEC, torna-se necessário avaliar como cada índice se comporta quando utilizado os dados do MCGA/CPTEC 3.0 e OPER, comparando-os com o IP (referência).

Na Figura 4.31 são apresentadas as datas de IEC no COB pelo IVZ850 (a), ICVM (b), ICVZ (c), INAP (d) e TUZN (e) para as EC de 2011 a 2015 com os dados previstos pelo MCGA/CPTEC com a versão 3.0 (linha preta contínua) e OPER (linha preta pontilhada) nos meses de julho (J-ASO), agosto (A-SON) e setembro (S-OND). As datas consideradas como referência são aquelas obtidas pelo IP (linha vermelha contínua). Nota-se que a maioria dos índices, em ambas as versões do modelo, oscilam em torno das datas identificadas pelo IP, assim como apresentam uma tendência de atrasar e tornar a data de IEC mais tardia de uma previsão à subsequente.

Pelo IVZ850 (Figura 4.31 (a)), percebe-se que a maioria das previsões tende a atrasar as datas de IEC, com exceção da previsão sazonal de julho da versão OPER que adiantou o IEC em quase todas as EC analisadas.

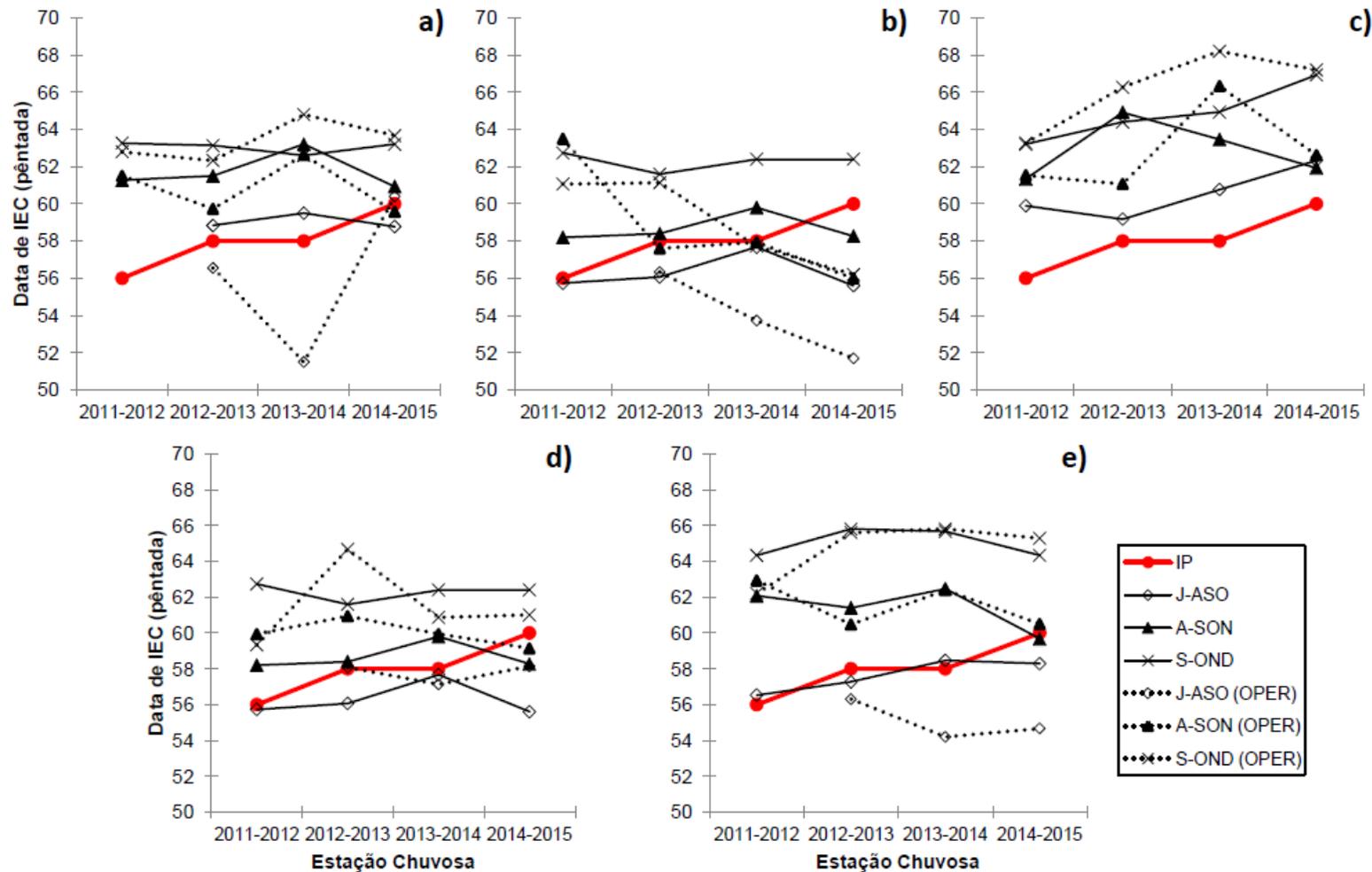


Figura 4.31 – Comparação entre as datas de IEC com os dados da versão 3.0 (linha contínua) e OPER (linha pontilhada) do MCGA/CPTEC, nas previsões de julho (J-ASO), agosto (A-SON) e setembro (S-OND) com o IVZ850 (a), ICVM (b), ICVZ (c), INAP (d) e TUZN (e), para as EC de 2011-2012 a 2014-2015. As datas identificadas pelo IP (linha vermelha) são consideradas como referência para a comparação.

Na previsão de julho, apesar do MCGA/CPTEC 3.0 não ter conseguido identificar a data de IEC em 2011-2012, esta foi, em média, a previsão que mais se aproximou da data encontrada pelo IP. Ainda, o padrão observado nesta previsão persiste na seguinte (agosto), porém atrasando, em média, 3 pântadas. Note, também, que as previsões de agosto e setembro pela versão OPER mantêm o mesmo perfil, com defasagem de, aproximadamente, 2 pântadas entre as duas previsões, porém atrasadas em relação ao IP. Cabe ressaltar que apesar do atraso das datas em até 8 pântadas, a previsão de setembro pela versão 3.0 apresentou as variações interanuais semelhantes à série do IP.

Ainda é possível perceber que a EC que apresenta maior convergência nas datas de ambas as versões é a de 2014-2015, opondo-se à EC de 2013-2014 que apresentou a maior dispersão dentre as datas de IEC pelo IVZ850.

Com o ICVM, o comportamento foi semelhante ao apresentado pelo IVZ850 com tendência de aumento das pântadas de IEC de uma previsão à subsequente (Figura 4.31 (b)). Percebe-se que, em média, na previsão de julho a versão 3.0 (OPER) antecipou a data de IEC, em aproximadamente, uma pântada (5 pântadas); em agosto há um acerto técnico na data para as duas versões e em setembro há um atraso de uma pântada em ambas as versões.

Pode-se perceber que o perfil das previsões pela versão 3.0 se mantêm nos 3 trimestres analisados, mesmo com defasagem entre as datas. Note que há convergência nas previsões de julho da versão 3.0 com as previsões de agosto e setembro da OPER nas EC de 2013-2014 e 2014-2015. No geral, as datas previstas pelo ICVM foram mais próximas (distantes) das datas do IP em 2012-2013 (2014-2015).

Na Figura 4.31 (c) são apresentadas as datas de IEC obtidas pelo IVCZ. Em todas as previsões, tanto a versão 3.0 quanto a versão OPER, apresentaram IEC tardio, aumentando a diferença com o passar do tempo. Na previsão de julho, o MCGA/CPTEC OPER não conseguiu identificar o IEC sobre a região

na maioria das EC analisadas, com exceção da EC 2014-2015 a qual coincidiu com a data da previsão de julho e agosto das versões 3.0 e OPER, respectivamente.

Apesar da defasagem, a previsão de setembro apresentou perfil semelhante à previsão de julho da versão 3.0, ambos muito próximos ao comportamento também observado pelas datas de IEC do IP. Nesse caso, a previsão que se mostrou mais próxima da data de IEC do IP foi a previsão de julho para a versão 3.0 com atraso de 2 pântadas. Já a versão OPER apresentou dificuldades em identificar as datas de IEC assim como seu perfil interanual.

O INAP mostrou, em média, datas de IEC próximas das encontradas pelo IP, principalmente nas previsões de julho e agosto (Figura 4.31 (d)). Na previsão de julho, o MCGA/CPTEC 3.0 (OPER) apresentou adiantamento de 2 pântadas (1 pântada); em agosto a versão 3.0 exibiu um acerto técnico e o OPER um atraso de 2 pântadas; já na previsão de setembro, a versão 3.0 (OPER) demonstrou um atraso no IEC de 4 pântadas (5 pântadas). Além disso, mesmo com a ausência da previsão de julho, a versão OPER conseguiu representar relativamente bem a variação interanual das datas de IEC pelo INAP. Nesse contexto, as previsões que melhores representaram o IEC foram julho e agosto para as versões OPER e 3.0, respectivamente.

Na Figura 4.31 (e) são exibidas as datas, em pântada, do IEC pelo TUZN. Na previsão de julho há adiantamento do IEC de 1 pântada (3 pântadas) se comparada versão 3.0 (OPER) com as datas identificadas pelo IP; em agosto, ambas as datas encontradas atrasaram 3 pântadas e em setembro o atraso é de 6 e 7 pântadas para OPER e 3.0, respectivamente. No geral, as previsões de julho foram as mais próximas às datas obtidas pelo IP.

Nota-se, também, que as previsões de agosto e setembro apresentam diferenças mínimas entre as datas encontradas por ambas as versões.

Assim como na seção 4.2, a mesma análise feita para o IEC foi aplicada ao FEC para mensurar o desempenho de ambas as versões do modelo.

Na Figura 4.32 (a) são apresentadas as datas de FEC para o IVZ850, utilizando os dados da previsão climática feita pelo MCGA/CPTEC 3.0 e OPER. Note que, na média, em todas as previsões há um adiantamento das datas de FEC para ambas as versões do modelo, além de, também, ambas apresentarem poucas diferenças de uma previsão a respectiva subsequente. Quanto a previsão climática que apresentou maior proximidade das datas destaca-se a previsão de fevereiro com FEC adiantando, aproximadamente, 7 e 10 pântadas pela versão 3.0 e OPER, respectivamente, quando comparadas ao IP.

Com o ICVM (Figura 4.32 (b)), pode-se perceber que as datas previstas pelo modelo ficaram em torno daquelas identificadas pelo IP. Em média, nas previsões de dezembro e janeiro há adiantamento na identificação do FEC em ambas as versões, tendo uma diferença de 1 pântada entre si e, de aproximadamente, 8 e 4 pântadas nas duas previsões, respectivamente, quando comparado com o IP. Esse adiantamento tende a diminuir na previsão de janeiro e as datas tornam-se tardias com as previsões de fevereiro em ambas as versões. Na previsão de fevereiro, o comportamento das datas de FEC da versão OPER coincide com o IP. Note, também, que a versão 3.0 (OPER) não conseguiu identificar a data de FEC na EC de 2011-2012 (2014-2015).

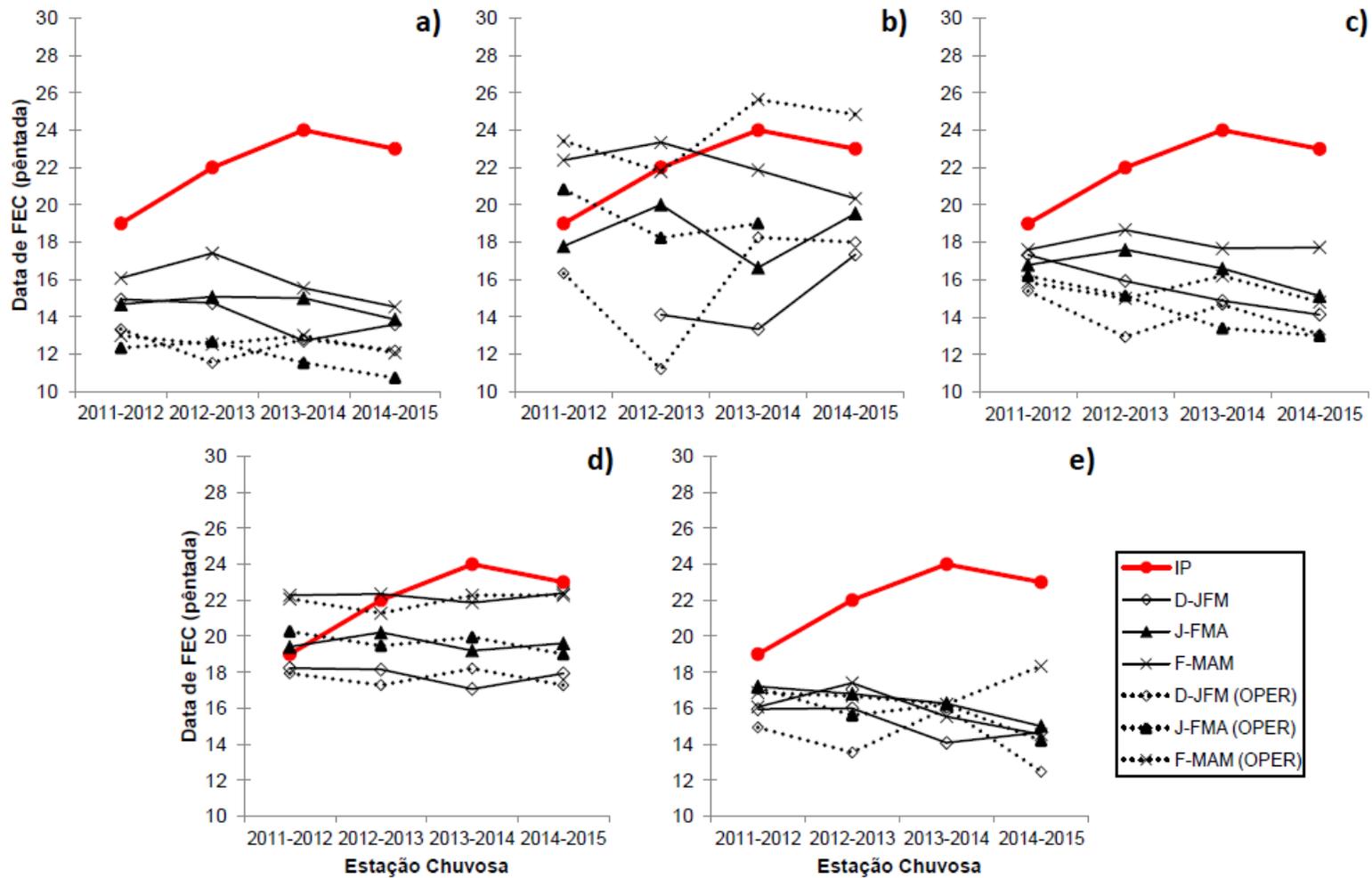


Figura 4.32 – Idem a anterior, mas para o FEC e as previsões de dezembro (D-JFM), janeiro (J-FMA) e fevereiro (F-MAM).

Na Figura 4.32 (c) são exibidas as datas de FEC do ICVZ. Para ambas as versões do modelo há um adiantamento do FEC quando comparado ao IP. Nessa comparação, maiores diferenças foram notadas nas previsões climáticas da versão OPER, de até 8 pântadas, enquanto a versão 3.0 apresentou datas com diferenças de 5 a 7 pântadas. Assim, as datas mais próximas do IP, para ambas as versões, ocorreram com o uso dos dados da previsão climática de fevereiro. Notou-se também que a tendência entre as datas do IP e das previsões climáticas, em ambas das versões, mostraram comportamento oposto, i.e., enquanto o IP tende a atrasa as datas de FEC com o passar dos anos, as previsões climáticas tendem a adiantar estas datas.

As datas do FEC pelo INAP para o período de 2011-2015 podem ser vistas na Figura 4.32 (d). Note que, em média, em ambas as versões do modelo identificaram-se datas de FEC muito próximas entre si até coincidentes. As pequenas diferenças encontradas em algumas não chegam a ser maior que 1 pântada. Note que até mesmo as oscilações interanuais das datas são semelhantes em ambas as versões analisadas. Na comparação com o IP, é possível perceber uma aproximação da data de FEC de uma previsão a outra, sendo coincidente, em média, na previsão climática de fevereiro.

Finalmente, na Figura 4.32 (e) pode ser visto as datas de FEC a partir do TUZN com as previsões climáticas das versões 3.0 e OPER do MCGA/CPTEC. Ambas as versões tendem a adiantar o FEC quando comparado com o IP e a diferença entre as datas identificadas com as previsões climáticas e os dados de precipitação do CPC vão diminuindo com o avanço das previsões. Nesse contexto, em média, a previsão de fevereiro é a que apresenta datas mais próximas das datas identificadas pelo IP para ambas as versões analisadas.

Com a comparação das duas versões do MCGA/CPTEC mesmo que para um período relativamente curto foi possível notar que, em média, ambas conseguem prever razoavelmente bem as datas de IEC e FEC no COB. A previsibilidade está relacionada também em quão bem o modelo representa a

variável base do índice. Os índices que apresentaram melhor destreza foram o INAP e ICVM, tanto para as datas de IEC como para as de FEC. As previsões que mais se aproximou das datas de IEC encontradas pelo IP foram as previsões de julho e agosto, dependendo do índice; já para o FEC foram as previsões de fevereiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho representa uma contribuição aos estudos relacionados à previsão climática sazonal com ênfase na EC na região do COB, principalmente no que diz respeito ao IEC e FEC relacionado ao SMAS. O objetivo principal foi avaliar a destreza do MCGA/CPTEC em prever o IEC e FEC a partir de sete índices, com base em conjuntos previsões climáticas sazonais (*ensemble*) no período de 2000 a 2015.

Os índices analisados a partir dos dados do CFSR, CDR e CPC reproduziram, de uma forma geral, bem o ciclo anual da precipitação. Os limiares do ICVM, ICVZ e TUZN foram ajustados a fim de refletirem melhor o comportamento da precipitação. Igualmente, com os índices também é possível identificar relativamente bem as características do IEC e FEC sobre a região de estudo. Considerando que o acerto das datas identificadas pelos índices ocorre quando estas permaneceram no intervalo de ± 2 pântadas da data oriunda do IP, notou-se que o ICVZ acertou 3 (8) datas, o INAP 3 (5), o ROLANT 5 (2), o TUZN 3 (2), o ICVM 2 (1) e o IVZ850 1 (1), quando comparadas com as datas de IEC (FEC) obtidas pelo IP. Além disso, a maioria dos índices tende a atrasar o IEC (com exceção do ICVZ) em pelo menos 1 pântada, assim como em adiantar o FEC (com exceção do ROLANT e INAP) no mínimo 2 pântadas.

No geral, o MCGA/CPTEC conseguiu prever relativamente bem as datas de IEC e FEC com todos os índices analisados. Cada índice e previsão apresentou um perfil distinto entre si, isso possibilitou evidenciar quais dos índices e em quais previsões ocorreram melhores representações da EC e suas limitações. Nesta análise, os índices baseados nas previsões climáticas sazonais que apresentaram datas de IEC mais próximas das datas obtidas pela reanálise (IP) foram o INAP e ROLANT, os quais obtiveram acertos em 6 (5) e 6 (3) datas, respectivamente. Enquanto que para as datas do FEC, os índices que mais se aproximaram foram o INAP e TUZN, com acertos em 4 (6) e 6 (2) datas, respectivamente. Além disso, a previsão de agosto destacou-se por

identificar as datas de IEC mais próximas das datas baseadas nos dados do CFSR e CPC. Já para o FEC o predomínio foi para a previsão de fevereiro.

Sobre as tendências e limitações do modelo em identificar o IEC e FEC pode-se perceber que o mesmo apresentou dificuldades em representar as variações interanuais das datas, além de apresentar uma tendência de postergar as datas, tanto de IEC quanto de FEC, a cada previsão subsequente. Estas limitações podem estar relacionadas com as CC e tempo de *spin-up* do modelo. Neste contexto, para trabalhos futuros recomenda-se a substituição da TSM persistida pela prevista, aumento do tempo de *spin-up* (> 2 meses) e aumento da resolução espacial para melhor detalhamento.

Na comparação das duas versões do MCGA/CPTEC, 3.0 e OPER, mesmo que para um período relativamente curto foi possível notar que, em média, ambas conseguem prever razoavelmente bem as datas de IEC e FEC no COB, porém a versão 3.0 apresentou datas mais próximas das identificadas pelo IP na maioria das previsões e índices. Os índices que apresentaram melhor destreza foram o INAP e ICVM, tanto para as datas de IEC como para as de FEC. As previsões que mais se aproximaram das datas de IEC encontradas pelo IP foram as previsões de julho e agosto, dependendo do índice, e para o FEC foram as previsões de fevereiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. L.; SANTOS, M. A. Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1413-1423, 2015.

ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n. 3, p. 674-701, 1974.

ARAKAWA, A. The cumulus parameterization problem: Past, present, and future. **Journal of Climate**, v. 17, n. 13, p. 2493-2525, 2004.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 4. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996.

BARROS, V.; DOYLE, M.; GONZÁLEZ, M.; CAMILLONI, I.; BEJARÁN, R.; CAFFERA, R. M. Climate variability over subtropical South America and the South American monsoon: a review. **Meteorologica**, v. 27, n. 1-2, p. 33-57, 2002.

BASU, B. K. Simulation of the summer monsoon over India in the ensemble of seasonal simulations from the ECMWF reanalyzed data. **Journal of climate**, v. 14, n. 7, p. 1440-1449, 2001.

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

_____. The South Atlantic dipole and variations in the characteristics of the South American Monsoon in the WCRP-CMIP3 multi-model simulations. **Climate dynamics**, v. 36, n. 11-12, p. 2091-2102, 2011.

BOMVENTI, T. N.; WAINER, I. E. K. C.; TASCETTO, A. S. Relação entre a radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no

oceano atlântico tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 4, p. 513-524, 2006.

CANDIDO, L.; GAN, M. A.; MANZI, A. O. Sensibilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) à condição hídrica do solo: um estudo de Caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 387-397, 2006.

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, n. 13, p. 4600-4620, 2012.

CARVALHO, L. M. V.; CAVALCANTI, I. F. A. The South American Monsoon System (SAMS). In: CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. (eds.). **The Monsoons and climate change**. Springer International Publishing, 2016. p. 121-148. DOI: 10.1007/978-3-319-21650-8_6.

CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; MANZI, A. O.; TARASOVA, T.; PEZZI, L. P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C. C.; SANCHES, M. B.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Drought in Brazil during Summer and Fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Revista Climanálise Ano**, v. 2, n. 01, 2004.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 3, 2004.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E.; HIGGINS, W.; JANOWIAKI, J. E. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research (Atmospheres)**, v. 113, p. 4110, 2008.

CHOU, M-D.; SUAREZ, M. J. **A solar radiation parameterization for atmospheric studies**. Whashington: Nasa, 1999. v. 104606, p. 40. NASA Tech. Memo.

COELHO, C. A. S.; CAVALCANTI, I. A. F.; COSTA, S. M. S., FREITAS, S. R.; ITO, E. R.; LUZ, G.; SANTOS, A. F.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; PEZZA, A. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. **Meteorological Applications**, v. 19, n. 2, p. 237-255, 2012.

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, p. 1-16, 2015.

COIFFIER, J. **Fundamentals of numerical weather prediction**. Cambridge: University Press, 2011.

CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 9, p. 1165-1180, 2006.

DIRMEYER, P. A. The role of the land surface background state in climate predictability. **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 599-610, 2003.

DOUVILLE, H. Assessing the influence of soil moisture on seasonal climate variability with AGCMs. **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 1044-1066, 2003

DOUVILLE, H.; ROYER, J.-F. Sensitivity of the Asian summer monsoon to anomalous Eurasian snow cover within the Meteo-France GCM. **Climate Dynamics**, v. 12, p. 449-466, 1996.

EDWARDS, P. N. **A vast machine**: computer models, climate data, and the politics of global warming. Cambridge, MA: Mit Press, 2010.

FASULLO, J.; WEBSTER, P. J. A hydrological definition of Indian monsoon onset and withdrawal. **Journal of Climate**, v. 16, n. 19, p. 3200-3211, 2003.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; BARBIERI, P. R. B.; SANTO, C. M. E. Rainy-season duration estimated from OLR versus rain gauge data and the 2001 drought in Southeast Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 5, p. 1493-1499, 2008.

FREIRE, J. L. M.; FREITAS, S. R.; COELHO, C. A. S. Calibração do modelo regional BRAMS para a previsão de eventos climáticos extremos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 158-170, 2015.

FURNAS. **Sistema Furnas de geração e transmissão**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:
<http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_hidr_funciona.asp>. Acesso em 02 mar 2015.

GAN, M. A.; MOSCATI, M. C. L. Estação chuvosa de 2001/02 na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 2, p. 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. **Atmospheric Science Letters**, v. 6, n. 4, p. 219-223, 2006.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 97, n. 3-4, p. 361-372, 2009.

_____. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 1, p. 188-198, 2013.

GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. P.; KAYANO, M. T. Revised method to detect the onset and demise dates of the rainy season in the South American Monsoon areas. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-11, 2015.

GILLETT, N. P.; FYFE, J. C. Annular mode changes in the CMIP5 simulations. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 6, p. 1189-1193, 2013

GODDARD, L.; GRAHAM, N. E. The importance of the Indian ocean for simulating rainfall anomalies over eastern and southern Africa. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 19099-19116, 1999.

GOSWAMI, B. N.; KRISHNAMURTHY, V.; ANNAMALAI, H. A broad-scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 125, n. 554, p. 611-633, 1999.

GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Monthly Weather Review**, v. 121, n. 3, p. 764-787, 1993.

GRELL, G. A.; DÉVÉNYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, p. 38-1-38-4, 2002.

GRIMM, A. M.; ZILLI, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. Do seasonal forecasts reproduce the link between early and peak monsoon rainfall in South America. **CLIVAR Exchanges**, v. 12, n. 4, p. 16-20, 2007.

GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. . In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.

HADLEY, G. Concerning the cause of the general trade-winds, Esq; FRS. **Philosophical Transactions**, v. 39, n. 436-444, p. 58-62, 1735.

HALLEY, E. An Historical Account of the Trade Winds, and Monsoons, Observable in the Seas between and Near the Tropicks, with an Attempt to

Assign the Physical Cause of the Said Winds. **Philosophical Transactions**, v. 16, n. 179-191, p. 153-168, 1686.

HARSHVARDHAN, R. D.; RANDALL, D. A.; CORSETTI, T. G. A fast radiationparameterization for general circulation models. **Journal Geophysics Resource**, 92, p. 1009-1016, 1987.

HARZALLAH, A.; SADOURNY, R. Internal versus SST-forced atmospheric variability as simulated by an atmospheric general circulation model. **Journal of climate**, v. 8, n. 3, p. 474-495, 1995.

HELFAND, H.M.; JUSEM, J. C.; PFAENDTNER, J.; TENENBAUM, J.; KALNAY, E. The effects of a gravity-wave drag parameterization scheme on GLA fourth order GCM forecast. **J. Meteorol. Soc. Jpn.** Special volume for the WMO/IUGG NWP symposium, Tokyo, Japan, pp. 729–742, 1987.

HERDIES, D. L.; SILVA, A.; SILVA DIAS, M. A. F.; FERREIRA, R. N. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 107, n. D20, p. LBA 42-1-LBA 42-10, 2002.

HOLLAND, G. J. Interannual variability of the Australian summer monsoon at Darwin: 1952-82. **Monthly weather review**, v. 114, n. 3, p. 594-604, 1986.

HOLTSLAG, A. A. M.; BOVILLE, B. A. Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model. **Journal of Climate**, v. 6, n. 10, p. 1825-1842, 1993.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 2, n. 11, p. 1388-1403, 1989.

JANOWIAK, J. E.; XIE, P.. A global-scale examination of monsoon-related precipitation. **Journal of climate**, v. 16, n. 24, p. 4121-4133, 2003.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B. Forecast skill of the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 25, n. 6, p. 1883-1889, 2012.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

KANG, I.-S.; JIN, K.; LAU, K.-M.; SHUKLA, J.; KRISHNAMURTHY, V.; SCHUBERT, S.D.; WALISER, D. E.; STERN, W. F.; SATYAN, V.; KITO, A.; MEEHL, G. A.; KANAMITSU, M.; GALIN, V. Y.; SUMI, A.; WU, G.; LIU, Y.; KIM, J.-K. Intercomparison of atmospheric GCM simulated anomalies associated with the 1997/98 El Niño. **Journal of climate**, v. 15, n. 19, p. 2791-2805, 2002.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (eds.). **Tempo e clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1, p. 213-233, 2009. ISBN 9788586238925.

KHROMOV, S. P. Die geographische verbreitung der monsune. **Petermanns Geogr. Mitt.**, v. 101, p. 234-237, 1957.

KIM, H.; WEBSTER, P. J.; CURRY, J. A. Evaluation of short-term climate change prediction in multi-model CMIP5 decadal hindcasts. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 10, 2012.

KITO, A.; KUSUNOKI, S.; NAKAEGAWA, T. Climate change projections over South America in the late 21st century with the 20 and 60 km mesh Meteorological Research Institute atmospheric general circulation model (MRI-AGCM). **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 116, n. D6, 2011.

KITO, A.; ENDO, HIROKAZU, E.; KRISHNA KUMAR, K.; CAVALCANTI, I. F. A.; GOSWAMI, P.; ZHOU, T. Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 8, p. 3053-3065, 2013.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 70, p. 813-836, 1992.

_____. Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 71, p. 581-610, 1993.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

KUMAR, A.; HOERLING, M.; JI, M.; LEETMAA, A.; SARDESHMUKH, P. Assessing a GCM's suitability for making seasonal predictions. **Journal of Climate**, v. 9, n. 1, p. 115-129, 1996.

KUMAR, A.; BARNSTON, A. G.; HOERLING, M. P. Seasonal predictions, probabilistic verifications, and ensemble size. **Journal of Climate**, v. 14, n. 7, p. 1671-1676, 2001.

KUO, H. L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 22, n. 1, p. 40-63, 1965.

_____. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n. 5, p. 1232-1240, 1974.

LANNA, A. E. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 113-130, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 Abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200008>.

LEE, H-T. Daily OLR climate data record-A challenge to homogenize operational satellite observations for climate applications. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2014. p. 4288.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 22, p. 4308-4318, 2001.

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, n. 10, p. 2037-2050, 2007.

LUCIO, P. S.; REBELLO, E. R.; FORTES, L. T. G.; SILVA DIAS, P. L.; MANHÃES, F. P.; LUCAS, E. L. W.; LEANDRO, I. V.; PAULA, T. P. Um Método Estocástico para Identificação do Início da Estação Chuvosa em Regiões Secas. Estudo De Caso: Centro-Oeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2006.

LYNCH, P. The Origins of Computer Weather Prediction and Climate Modeling. **Journal of Computational Physics**, v. 227, p. 3431-3434, mar. 2007.

MARENGO, J. A.; LEBMANN, 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, n. 5, p. 833-852, 2001.

MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, I. F. A.; SATYAMURTY, P.; TROSNIKOV, I.; NOBRE, C. A.; BONATTI, J. P.; CAMARGO, H.; SAMPAIO, G.; SANCHES, M. B.; MANZI, A. O.; CASTRO, C. C.; D'ALMEIDA, C.; PEZZI, L. P.; CANDIDO, L. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**, v. 21, n. 5-6, p. 459-475, 2003.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região amazônica. . In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 179-212.

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, n. 1, p. 1-21, 2012.

MASON, S. J.; GODDARD, L.; GRAHAM, N. E.; YULAEVA, E.; SUN, L.; ARKIN, P. A. The IRI seasonal climate prediction system and the 1997/98 El Niño event. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 80, n. 9, p. 1853-1873, 1999.

MATSUMOTO, J.; MURAKAMI, T. Seasonal migration of monsoons between the northern and southern hemisphere as revealed from equatorially symmetric and asymmetric OLR data. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 3, p. 419-437, 2002.

MEANS, J. D. GPS Precipitable water as a diagnostic of the north American monsoon in California and Nevada. **Journal of Climate**, v. 26, n. 4, p. 1432-1444, 2013.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics**, v. 20, n. 4, p. 851-875, 1982.

MIGUEL, J. C. H.; MONTEIRO, M. S. A. Por que devemos nos interessar por modelos climáticos? **ClimaCom Cultura Científica** 1(1):6-17, 2014. ISSN 2359-4705

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with general circulation model. **Journal Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

MURAKAMI, T.; NAKAZAWA, T. Transition from the Southern to Northern Hemisphere summer monsoon. **Monthly weather review**, v. 113, n. 9, p. 1470-1486, 1985.

NEVES, D. J. D.; ARAÚJO, R. S.; ARAVÉQUIA, J. A. Análise da Água Precipitável e dos Fluxos de Calor Latente/Sensível no Início da Estação

Chuvosa das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Ciência e Natura**, p. 202-206, 2013.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 2, p. 279-291, 1997.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MECHOSO, C. R.; FU, R.; BERBERY, E. H.; CHAO, W. C.; CHEN, T-C.; COOK, K.; DIAZ, A. F.; ENFIELD, D.; FERREIRA, R.; GRIMM, A. M.; KOUSKY, V. E.; LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A.; MO, K.; NEELIN, J. D.; PAEGLE, J.; ROBERTSON, A. W.; SETH, A.; VERA, C. S.; ZHOU, J. Progress in Pan American CLIVAR research: understanding the South American monsoon. **Meteorologica**, v. 27, n. 12, p. 1-30, 2002.

O ECONOMISTA. **Crise hídrica afeta distribuição de água e energia elétrica no país**. 2015. Disponível em: <<http://www.oeconomista.com.br/crise-hidrica-afeta-distribuicao-de-agua-e-energia-eletrica-no-pais/>>. Acesso em: 02 Mar 2015.

OYAMA, M. D.; ROCHA, E. J. P.; NOBRE, C. A. Estudo preliminar sobre o tempo de "Spin Up" da umidade do solo no modelo climático do CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. p. 1085-1094. CD-ROM. (INPE-10189-PRE/5717).

PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to meteorology**. University Park, PA: University Park, 1968. 224p.

PETTENGELL, C. Climate change adaptation: enabling people living in poverty to adapt. **Oxfam Policy and Practice: Climate Change and Resilience**, v. 6, n. 2, p. 1-48, 2010.

PIERREHUMBERT, R. T. An essay on the parameterization of orographic gravity wave drag. In: SEMINAR/WORKSHOP ON OBSERVATION, THEORY

AND MODELING OF OROGRAPHIC EFFECTS, 1986, Reading, U.K.
Proceedings... Reading: ECMWF, 1986. p. 251-282.

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012.

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The life cycle of the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 21, n. 23, p. 6227-6246, 2008.

RAMAGE, C. S. **Monsoon meteorology**. New York: Academic Press, 1971. v. 15.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

RASCH, P. J.; KRISTJÁNSSON, J. E. A comparison of the CCM3 model climate using diagnosed and predicted condensate parameterizations. **Journal of Climate**, v. 11, n. 7, p. 1587-1614, 1998.

REYNOLDS, R. W.; RAYNER, N. A.; SMITH, T. M.; STOKES, D. C.; WANG, W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **Journal of climate**, v. 15, n. 13, p. 1609-1625, 2002.

RODRIGUES, L. R. L. **Avaliação do impacto das condições hídricas do solo no início da estação chuvosa de 2004/2005**. 2009. 124 p. (INPE-15737-TDI/1483). Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/34RB665>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

ROWELL, D. P.; FOLLAND, C. K.; MASKELL, K. WARD, M. NEIL. Variability of summer rainfall over tropical North Africa (1906–92): Observations and modelling. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 121, n. 523, p. 669-704, 1995.

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015-1057, 2010.

SANSIGOLO, C. A. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, v. 4, n. 9, 1989.

SANTOS, R. D. D. **O uso da biomassa de cana-de-açúcar para cogeração e produção de energia elétrica**: análise termodinâmica, termoeconômica e econômica – Estudo de Caso. 2014, xxii, 142 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) -Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, 2014.

SILVA, A. E.; CARVALHO, L. M. V. Large-scale index for South America Monsoon (LISAM). **Atmospheric Science Letters**, v. 8, n. 2, p. 51-57, 2007.

SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E.; HIGGINS, R. W. Daily precipitation statistics for South America: An intercomparison between NCEP reanalyses and observations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 12, n. 1, p. 101-117, 2011.

SILVA DIAS, P. L.; SCHUBERT, W. H.; DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 40, n. 11, p. 2689-2707, 1983.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v. 5, n. 6, p.36-44, 2003.

STERN, R. D.; DENNETT, M. D.; DALE, I. C. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. **Experimental Agriculture**, v. 18, n. 03, p. 223-236, 1982.

STERN, W.; MIYAKODA, K. Feasibility of seasonal forecasts inferred from multiple GCM simulations. **Journal of Climate**, v. 8, n. 5, p. 1071-1085, 1995.

TARASOVA, T. A.; FOMIN, B. A. The use of new parameterizations for gaseous absorption in the CLIRAD-SW solar radiation code for models. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 24, n. 6, p. 1157-1162, 2007.

TIEDTKE, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. In: ECMWF WORKSHOP ON CONVECTION IN LARGE-SCALE MODELS, 1983, Shinfield Park, Reading. **Proceedings...** Reading: ACMWF, 1983. p. 297-316.

VEIGA, J. A. P.; MARENGO, J. A.; RAO, V. B. A influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 2, p. 181-194, 2002.

VERA, C. et al. Toward a unified view of the American monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, n. 20, p. 4977-5000, 2006.

VOYEIKOV, A. Regional monsoon climate over East Asia: Amur region, Baikal, Manchuria, Eastern Mongolia, China, Japan, etc. **Proc. Imp. Russ. Geogr. Soc.** v.15, p.321–410, 1879.

WANG, W.; SEAMAN, N. L. A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 2, p. 252-278, 1997.

WARNER, T. T. **Numerical weather and climate prediction**. Cambridge: University Press, 2011. 526 p.

WEART, S. The development of general circulation models of climate. **Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies In History and Philosophy of Modern Physics**, v. 41, n. 3, p. 208-217, 2010.

WEBSTER, P. J. The elementary monsoon. In: FEIN, S.; STEPHENS, P. L. (eds.). **Monsoons**. New York, N.Y.: John Wiley, 1987. p. 3-32.

_____ et al. Monsoons: processes, predictability, and the prospects for prediction. **Journal of Geophysical Research: Oceans** (1978–2012), v. 103, n. C7, p. 14451-14510, 1998.

XIE, P. et al. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 3, p. 607-626, 2007.

ZENG, X.; LU, E. Globally unified monsoon onset and retreat indexes. **Journal of climate**, v. 17, n. 11, p. 2241-2248, 2004.

ZENG, Q. C. About King Shun's poem "southerly wind". **Climatic and Environmental Research**, v. 10, p. 283-284, 2005.

ZHISHENG, A. et al. Global monsoon dynamics and climate change. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 43, p. 2.1-2.49, 2015.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

_____. Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. **International Journal of Climatology**, v. 21, n. 13, p. 1623-1644, 2001.

_____. Intercomparison of model simulations of the impact of 1997/98 El Niño on South American summer monsoon. **Meteorologica**, v. 27, n. 12, p. 99-116, 2002.

ZWIERS, F. W. Interannual variability and predictability in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2. **Climate Dynamics**, v. 12, n. 12, p. 825-847, 1996.