



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IRENE CRISTINA PEREIRA CORRÊA

**SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS NA AMAZÔNIA DURANTE A ESTAÇÃO
CHUVOSA, USANDO REGCM3**

Nº: 323

**Belém-PA
MARÇO - 2013**

IRENE CRISTINA PEREIRA CORRÊA

**SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS NA AMAZÔNIA DURANTE A ESTAÇÃO
CHUVOSA, USANDO REGCM3**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará- UFPA, para obtenção do
grau Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de
Souza.

Belém-PA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

- C824s Corrêa, Irene Cristina Pereira
Simulações Climáticas Regionais na Amazônia durante a estação chuvosa, usando RegCM3 / Irene Cristina Pereira Corrêa; Orientador: Everaldo Barreiros de Souza – 2013
44f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2013.
1. Precipitação (Meteorologia). 2. Simulação. 3. RegCM3. 4. ZCIT. 5. Região Amazônica. I. Souza, Everaldo Barreiro de, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22º ed.: 551.57709811

IRENE CRISTINA PEREIRA CORRÊA

**SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS NA AMAZÔNIA DURANTE A ESTAÇÃO
CHUVOSA, USANDO REGCM3**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará- UFPA, para obtenção do
grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: 18 / 03 / 2013

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof.: Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof.: Paulo Fernando Souza Souza - Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof.: Alexandre Melo Casseb do Carmo - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

*Dedico este trabalho e essa
minha conquista ao meu avô
Almir Nunes Corrêa.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à Deus, pela vida, por estar sempre no meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Ao professor orientador Everaldo Barreiros de Souza que é um grande profissional. Obrigada por dividir seus conhecimentos, ajudando-me no meu crescimento profissional.

A minha mãe, que amo muito, Adalgiza Pereira Corrêa, que foi à base de tudo pra mim, apoiando-me nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

Aos meus avós Almir Nunes Corrêa e Lúcia Pereira Corrêa, pelo carinho, incentivo e por acreditarem no meu potencial em todos os momentos.

A minha tia Anilza Pereira Corrêa, que me orientou em todos os momentos e me fez refletir sobre todas as minhas decisões.

À minha irmã Ana Carolina, à minha Prima Luciana e aos meus afilhados Beatriz e Lucas, por tornarem minha vida mais feliz, com os seus lindos sorrisos e pelos momentos felizes.

Aos amigos que durante esses anos de universidade foram minha segunda família, Luciana Monteiro, Thaianne Soeiro, Amanda Souza, Leticia Melo, Natalia Pinheiro, Suzyanne Nogueira, Illelson Rafael Barbosa e Thiago Souza, vocês sempre serão importantes para mim. Obrigada pelos maravilhosos momentos, e por me ajudarem a superar os momentos difíceis, e pela dedicada amizade.

Aos professores que participaram desta banca examinadora e aos demais professores, que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Enfim, a todos que contribuíram para o sucesso deste trabalho. E a todos que contribuem para o meu sucesso. Muito obrigada.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

O presente trabalho é um estudo sobre a variabilidade sazonal da precipitação sobre a bacia amazônica, durante o período chuvoso, o verão (DJF) e outono (MAM). Baseado em simulações climáticas pelo modelo RegCM3 para um período de 12 anos (1998/99 a 2008/09) usando domínio em alta resolução (40 km) e dois diferentes esquemas de convecção (Grell e MIT-Emanuel), investigou-se o desempenho do modelo para simular a distribuição pluviométrica regional com referência aos dados de precipitação dos GPCP, os dados TRMM e dos dados GAUGE. A análise mostrou que a avaliação quantitativa do RegCM3 apresentou erros sistemáticos, especialmente aqueles relacionados com viés seco no nordeste da Amazônia usando o esquema Grell e também viés úmido no sul da Amazônia usando o esquema convectivo MIT. Verificou-se também que as simulações com o RegCM3 Grell não reproduziram adequadamente as características da ZCIT, relacionadas com as chuvas, sobre o Oceano Atlântico equatorial. Isso acontece, provavelmente, devido a intensificação da circulação troposférica localizada no lado oriental do Oceano Atlântico equatorial. Embora o esquema MIT produza sistematicamente uma superestimação da precipitação observada sobre as regiões da Amazônia e da ZCIT, as distribuições espaciais de precipitação e variações interanuais mostrou melhor correspondência com GPCP, TRMM e dados GAUGE, comparados com os resultados Grell.

Palavras-chave: Precipitação (Meteorologia). Simulação. RegCM3. ZCIT. Região Amazônica.

ABSTRACT

The present paper presents a contribution on the climate modelling studies with emphasis on seasonal rainfall variability over the Amazon basin, during the austral summer (DJF) and autumn (MAM) rainy seasons. Based on ITCP RegCM3 climate simulations for a 12- yr period (1998/99 to 2008/09) using high resolution domain scale (40 km) and two different convection schemes (Grell and MIT-Emanuel), it was investigated the model performance to simulate the regional pluviometric distribution with reference to the GPCP-, TRMM- and GAUGE-based rainfall data. The quantitative evaluation analysis showed that RegCM3 presents systematic errors, especially those related to the substantial dry bias in northeastern Amazon using Grell scheme and also abundant wet bias in southern Amazon using MIT convective scheme. Most importantly, it was found that the RegCM3 simulations using Grell scheme does not adequately reproduce ITCZ-related rainfall characteristics over the equatorial Atlantic Ocean. This is probably due the intensification of the tropospheric circulation located at eastern side of equatorial Atlantic Ocean. Although the MIT scheme produces systematically higher-than-observed rainfall over the Amazon and ITCZ regions, the spatial rainfall distributions and interannual variations showed closer correspondence with GPCP, TRMM and GAUGE data and much better than the Grell results.

Keywords: Precipitation (Meteorology). Simulation. RegCM3. ITCZ. Region Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa das estações Pluviométricas da Amazônia Oriental.....	18
Figura 2 - Ilustração do Cluster RPCH – UFPA com 48 processadores.....	23
Figura 3 - Domínio do modelo, com a topografia (m). As caixas indicam a região da Amazônia (AMZ) como um todo (linha contínua), o leste da Amazônia (EAMZ) (linha pontilhada), e região da ZCIT (linha tracejada), onde serão avaliados o desempenho do modelo.....	24
Figura 4 - Precipitação sazonal (mm) para DJF (painel à esquerda) e MAM (painel à direita) correspondente a climatologia dos dados observacionais (a) GPCP, (b) TRMM E (c) GAUGE e dos dados simulados pelo RegCM3 usando os esquemas convectivos (d) MIT e (e) GFC.....	26
Figura 5 - BIAS (mm) obtida pela diferença entre as simulações do RegCM3 e as observações do TRMM correspondente ao período de DJF (painéis à esquerda) e MAM (painéis à direita) usando os esquemas (a) GFC e (b) MIT.....	28
Figura 6 - Correlações entre RegCM3 e padrões de precipitação observadas pelo TRMM sobre a região amazônica correspondentes aos esquemas (a) GFC e (b) MIT para DJF (painéis à esquerda) e MAM (painéis direita).....	29
Figura 7 - Como na Figura 5, mas para a região ZCIT.....	30
Figura 8 - Como na Figura 6, mas para a região ZCIT.....	31
Figura 9 - Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região ZCIT, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.....	33
Figura 10 - Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região AMZ, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.....	35

Figura 11 - Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região EAMZ, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.....37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMZ	Região da Amazônia
ANA	Agência Nacional das águas
aTSM	Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar
BATS	Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
CMAP	Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DJF	Dezembro, Janeiro e Fevereiro
E	Leste
EAMZ	Leste da Amazônia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
GFC	Grell Fritsch Chapell
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
ICTP	International Centre for Theoretical Physics
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Km	Quilômetro
LABCLIMA	Laboratório de Previsão Climática Regional da Amazônia Oriental
MAM	Março, Abril e Maio
MCG	Modelos de Circulação Geral
MIT	Massachusetts Institute of Technology
mm	milímetro
N	Norte
NCDC	National Climatic Data Center
NE	Nordeste
NW	Noroeste
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PRP	Precipitação
RegCM3	Regional Climate Model Versão 3
RPCH	Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica d Pará

S	Sul
SE	Sudeste
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Pará
SW	Sudoeste
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UFPA	Universidade Federal do Pará
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
2	MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1	DADOS OBSERVADOS.....	18
2.1.1	Dados	18
2.2	METODOLOGIA.....	19
2.2.1	Modelo Climático Regional (Regcm3)	19
2.2.2	Esquema de Parametrização Convectiva MIT-Emanuel	20
2.2.3	Esquema de Parametrização Convectiva Grell	20
2.2.4	Análise Quantitativa do RegCM3	21
2.3	CONFIGURAÇÃO DAS RODADAS DO MODELO.....	22
3	RESULTADOS	25
3.1	CLIMATOLOGIA E PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE 12 ANOS.....	25
3.2	AVALIAÇÃO DA PRP SIMULADA SOBRE AS REGIÕES AMAZÔNICA E ZCIT.....	27
3.2.1	Região Amazônica	27
3.2.2	Região ZCIT	29
3.3	AVALIAÇÃO SOBRE AS REGIÕES-CHAVE E SUA VARIABILIDADE INTERANUAL.....	31
3.3.1	Região ZCIT	32
3.3.2	Região AMZ	34
3.3.3	Região EAMZ	36
4	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica possui uma enorme diversidade biológica e étnica, além de ter localizada, na sua extensão, a maior floresta tropical, a Floresta Amazônica. Onde a mesma tem um papel fundamental na regulação do clima em escala global. E com isso influenciando na circulação atmosférica e na precipitação (PRP) regional.

Dada à relevância que o clima ocupa no cenário político-técnico-científico, diversos estudos já realizados permitiram que a comunidade científica compreendesse que a característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da PRP (SOUZA et al., 2009).

No Estado do Pará (Região Amazônica), boa parte de seus habitantes exerce atividades que estão intimamente ligadas às condições climáticas e ambientais, conhecer detalhadamente o clima e sua variabilidade em diferentes escalas (anual, sazonal e intrasazonal) constitui um instrumento extremamente eficaz quando resulta em informações estratégicas que podem ser utilizadas para prover o desenvolvimento, uma vez que permite o planejamento das ações de governo e de instituições privadas (LOPES, 2009).

Segundo Cavalcante et al. (2002¹ apud LUCIO et al., 2010) As previsões são naturalmente afetadas por incertezas, pois os sistemas dinâmicos que controlam a evolução climática têm forte componente caótica. Existem, contudo, controles de baixa frequência, associados aos lentos processos oceânicos, que conferem certa previsibilidade ao clima na escala sazonal, principalmente na região tropical.

No contexto da dinâmica climática tropical, é bem conhecido que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA et al., 2000). Em condições de El Niño, a circulação de Walker é deslocada para Leste

¹CAVALCANTI, I. F. A., MARENGO, J. A., SATYAMURTY, P., NOBRE, C. A., TROSNIKOV, I., BONATTI, J. P., MANZI, 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-COCA AGCM. *Journal of Climate*, v.15, n.21, p. 2965-2988. 2002.

(E) (modificada), tal que seu ramo ascendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico central e onde a convecção é intensificada, e seu ramo descendente localiza-se sobre a região Amazônica, inibindo a convecção, já em condições de La Niña a circulação de Walker é fortalecida, tal que seu ramo descendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico Central onde a subsidência é intensificada, e seu ramo ascendente fica sobre a região Amazônica. E o padrão de dipolo, caracteriza-se pela manifestação de um padrão de aTSM, configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as bacias Norte (N) e Sul (S) do Atlântico. Esse padrão inverso de aTSM gera, conseqüentemente, a presença de um gradiente térmico meridional e inter hemisférico nos baixos níveis do Atlântico Equatorial que, agindo em conjunto com os padrões anômalos de pressão ao nível médio do mar (PNMM) e vento horizontal, desempenham influências diretas na manutenção, posicionamento e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (HASTENRATH,1978).

Dois importantes fenômenos meteorológicos influenciam na ocorrência de chuva na região Amazônica. Isso ocorre geralmente de dezembro a maio, em associação com a circulação atmosférica em grande escala e padrões de convecção profunda relacionada com a Zona de Convergência Atlântico Sul (ZCAS) (CARVALHO et al, 2004.) e (ZCIT) (SOUZA et al, 2004;). Onde a ZCAS é um fenômeno meteorológico de escala intrasazonal que influencia a distribuição de PRP, possuindo sentido Noroeste-Sudeste (NW-SE) sendo em muitos casos, responsável por variabilidades no clima regional (LIEBMANN et al., 1999). Já a ZCIT, possui um papel importante no regime pluviométrico na região equatorial, e este é o sistema meteorológico de maior importância no estado Pará, visto que ele é responsável na maior parte pelo período chuvoso do estado, quando sua localização está em direção ao Hemisfério Sul, durante o verão.

Os modelos climáticos globais e regionais são reconhecidos como ferramentas-chave, uma vez que os modelos podem representar o sistema climático e com boa aproximação. Eles têm como objetivo equacionar o sistema climático, e assim poder ter um maior detalhamento dos mecanismos ou processos reguladores do clima e sua variabilidade espaço-temporal. Além do mais, existem vários trabalhos que mostram a importância da modelagem numérica para simular o clima. Mas, ainda existem modelos de circulação geral (MCG) que não são capazes de resolver os detalhes da fisiografia, assim como aqueles da circulação local. E

segundo Seth (2007), os MCG apresentam resolução espacial em torno de uma centena de quilômetros (Km) ou até mais, aqueles não são plenamente capazes de perceber forçantes de pequena ou mesoescala, da mesma forma como determinados aspectos da cobertura do solo, a presença de corpos d'água e, ainda, processos físicos dinâmicos de subgrade, dentre eles radiação, convecção, processos turbulentos, etc. Isso faz com que aja um erro no prognóstico de algumas variáveis meteorológicas em escala regional, como por exemplo, a PRP. Dessa maneira é de suma importância que a modelagem numérica represente os mecanismos dinâmicos que são causados pelos fenômenos meteorológicos que influenciam na variabilidade regional da Amazônia.

Há muitos estudos, mas maioria desses estudos abordaram simulações numéricas com resolução horizontal de 50 a 80 km, e as validações de chuva modeladas são enfatizadas para Sudeste (SE) e Nordeste (NE) do Brasil. Como por exemplo, Cuadra e Rocha (2006) usaram simulações do Modelo Climático Regional (RegCM3) com resolução de 50 km para dois anos de verão (1990 e 1998) e obtiveram PRP simulada para o SE do Brasil bastante consistente com observações de National Climatic Data Center (NCDC), tanto em termos de média e anomalias de PRP sazonais. E um outro exemplo, Seth et al. (2007) analisou integrações climatológicas (1982-2003) realizadas pelo RegCM3 usando resolução de 80 km, e concluiu que o ciclo semi-anual é bem simulada, mas a chuva na Amazônia apresenta viés seco durante o verão, com referência ao Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation (CMAP) mesclada de dados de PRP.

1.1. OBJETIVOS:

- O objetivo geral é avaliar os resultados das previsões climáticas regionais geradas pelo modelo Regional Climate Model Versão 3 (RegCM3) no período de 12 anos (1998/99 a 2008/09) para a Amazônia, em uma grade com alta resolução espacial de 40 km, considerando as escalas de tempo interanual e sazonal.
- Os objetivos específicos são avaliar as previsões de PRP para a Amazônia, geradas pelo modelo RegCM3, no LABCLIMA, considerando a escala de tempo intrasazonal e sazonal, com base em técnicas estatísticas de

comparação Previsão x Observação e identificar as áreas sobre a Amazônia que apresentam maior e menor previsibilidade climática. Além disso, verifica-se o desempenho do modelo ao longo do Oceano Atlântico equatorial, onde está o centro de ação da ZCIT que é o sistema de produção de chuvas principal durante a temporada de chuvas da Amazônia, nos trimestres de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) e Março, Abril e Maio (MAM).

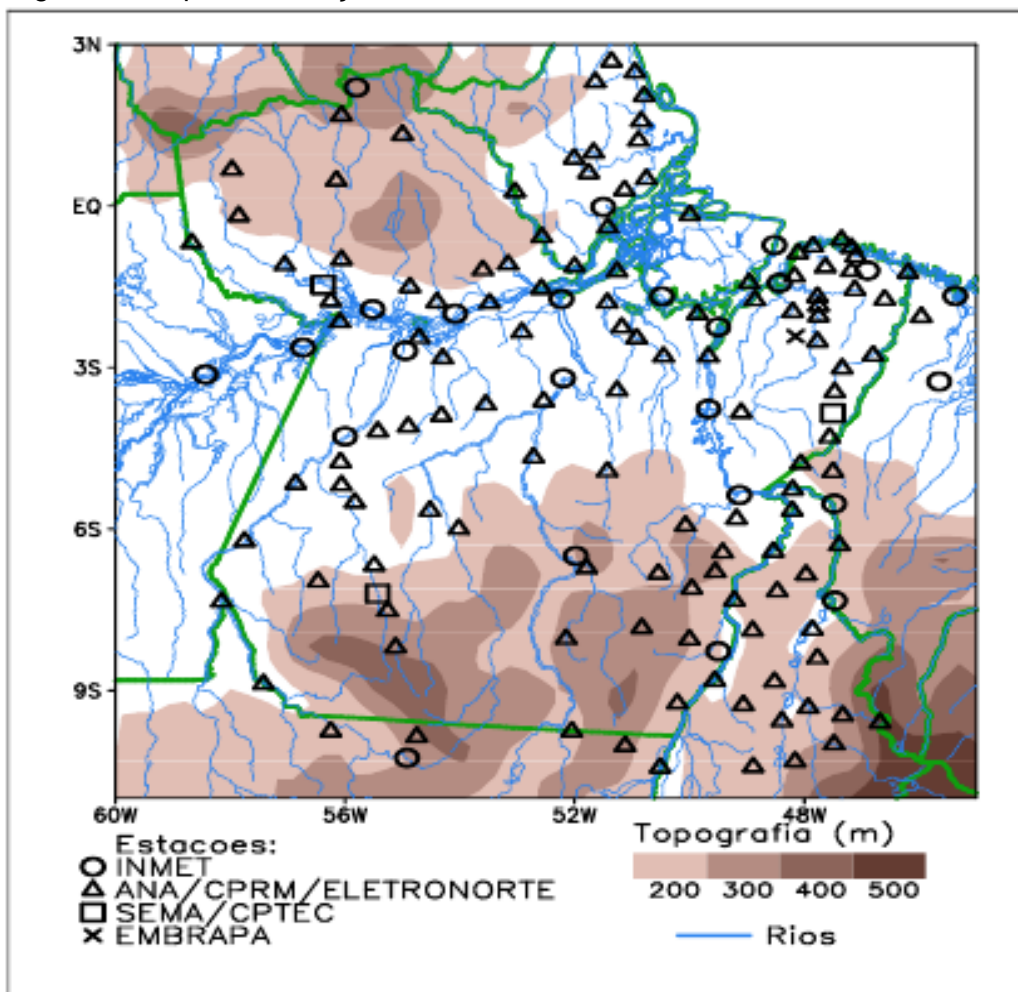
2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 DADOS OBSERVADOS

2.1.1 Dados

- Utiliza-se a base de dados de PRP do projeto de Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH) (SOUZA et al., 2007) que consiste num novo conjunto de dados integrados contendo o máximo possível de medições de PRP registradas pelas estações meteorológicas espalhadas sobre a Amazônia oriental, como mostra a figura 1.

Figura 1 - Mapa das estações Pluviométricas da Amazônia Oriental.



Fonte: Lopes (2009).

- Utilizou-se também três conjuntos de dados diferentes: Global Precipitation Climatology Project (GPCP), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e dados de GAUGE, a fim de verificar o desempenho RegCM3 em simular a distribuição da PRP na Amazônia:
- O GPCP é um projeto internacional concebido para proporcionar melhor longa-registro de estimativas de PRP sobre o globo, consiste em avaliar medidas de precipitação mensal derivadas de satélite (ADLER et al., 2003). Além disso, usamos o TRMM que é um satélite para análise de precipitação (HUFFMAN et al., 2007), que é gerada por um sistema de calibração baseado sequencialmente para combinar estimativas de PRP de vários satélites, em altas escalas espaciais e temporais ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$, a cada 3 horas). Aqui, usamos um conjunto de dados GAUGE documentado por Souza et al. (2009) que foi desenvolvido a partir de dados diários de PRP de 150 estações meteorológicas situadas no leste da Amazônia. Estes dados foram obtidos junto a instituições que gerenciam as redes meteorológicas e hidrológicas do Brasil (INMET, ANA, CPRM, EMBRAPA, SEMA e CPTEC). Um avançado medidor somente o controle de qualidade de dados e sistema de análise foram empregados a fim de construir uma melhor grade análises precipitação diária sobre o leste da Amazônia, que tem a consistência com outros dados de pesquisa com qualidade de chuvas (SOUZA et al., 2007).

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Modelo Climático Regional (Regcm3)

Utilizou-se o RegCM3 que está instalado e em funcionamento no LABCLIMA na UFPA desde meados de 2007. Atualmente, é um modelo de área limitada, em coordenada vertical sigma e grade horizontal de Arakawa-Lamb B, com as equações primitivas para fluido compressível e hidrostático. O RegCM3 é uma versão do Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (ICTP) que é descrita em detalhes por GIORGI et al. (1993a, 1993b) e PAL et al. (2007). Ele simula a PRP em grande escala, com base no esquema de umidade explícito (PAL

et al, 2000). Utilizaram-se dois tipos de esquemas de parametrização convectiva (formação de nuvens e produção de chuva), o GFC e o MIT.

O RegCM3 usa o esquema de superfície Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) (DICKINSON et al., 1993), sendo que o transporte turbulento na camada limite segue as correções propostas por Holtslag et al. (1990). Para a transferência radiativa utiliza-se o esquema do Community Climate Model 3 (KIEHL et al., 1996).

2.2.2 Esquema de Parametrização Convectiva MIT-Emanuel

A Parametrização de Massachusetts Institute of Technology (MIT), que é uma parametrização de convecção de cumulus recente para o modelo RegCM3. Considera-se que a mistura nas nuvens é altamente episódica e não homogênea, cujos fluxos convectivos são baseados em um modelo de correntes ascendente e descendentes de escalas de sub-nuvem (EMANUEL, 1991). A convecção é, então, iniciada quando o nível de empuxo neutro é maior que o nível de condensação por levantamento na base da nuvem. Entre estes dois níveis, o ar se eleva e uma parte da fração de umidade condensada forma a PRP, enquanto a outra parte restante forma nuvem (EMANUEL; ZIVKOVIC-ROTHMAN, 1999). A nuvem, por sua vez, mistura-se com o ar ambiente de acordo com um espectro uniforme que conduz a parcela para cima ou para baixo, atingindo, assim, o nível de empuxo neutro. As taxas de entranhamento e desentranhamento são calculados através dos gradientes verticais de flutuabilidade na nuvem.

2.2.3 Esquema de Parametrização Convectiva Grell

A Parametrização de Grell Fritsch Chapell (GFC) (GRELL, 1993) é um esquema de fluxo de massa incluindo os efeitos de umedecimento e aquecimento de correntes ascendentes e correspondentes correntes descendentes. Devido à simplicidade do esquema de fluxo de massa, torna-se necessário adotar um fechamento para completá-lo. O esquema estima as propriedades de convecções e o fechamento especifica a quantidade da convecção que ocorre, de forma a encontrar a taxa de estabilização desejada. Ou seja, o esquema é representado por correntes ascendentes e descendentes, sem mistura direta entre o ambiente e

nuvens convectivas, exceto na parte superior e inferior, de modo que o fluxo de massa na corrente ascendente e descendente é assumido como constante e os níveis originários dos movimentos de subida e descida são dadas pelos níveis de máximo e mínimo de energia estática úmida, respectivamente. O sistema é ativado quando uma parcela levantada torna-se flutuante.

2.2.4 Análise Quantitativa do RegCM3

O desempenho do RegCM3 é analisado quantitativamente através da correlação linear (r), viés (*bias*) e erro quadrático médio (RMSE) das simulações em relação aos três dados observacionais.

Considerando a chuva simulada (R^S) e observada (R^O) em um ponto de grade i , em uma amostra N , a r é definida usando a equação (1).

$$r = \frac{(R_i^S - \bar{R}_i^S)(R_i^O - \bar{R}_i^O)}{\sqrt{\sum (R_i^S - \bar{R}_i^S)^2} \sqrt{\sum (R_i^O - \bar{R}_i^O)^2}} \quad (1)$$

O Viés é definido usando a equação (2).

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i^S - R_i^O)}{N} \quad (2)$$

O RMSE é definido usando a equação (3).

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (R_i^S - R_i^O)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Os Resultados da simulação da PRP usando os esquemas de convecção GFC e MIT foram comparados com os dados GPCP e TRMM para as regiões-chaves, da Região Amazônica (AMZ) e ZCIT sobre o Oceano Atlântico Equatorial. Dados Observacionais (GAUGE) com a região denominada Leste da Amazônia (EAMZ), após a interpolação dos dados na grade do modelo.

Além disso, foi feita uma análise de variabilidade interanual durante as 12 estações chuvosas (1998-2009) que foi realizado com base em séries temporais de anomalias de PRP padronizadas. Para os dados do GPCP-GAUGE foi considerada média de 30 anos (1979-2008) e para o TRMM e RegCM3 foram utilizados dados de precipitações de 12 anos (1998-2009, média).

2.3 CONFIGURAÇÃO DAS RODADAS DO MODELO

O RegCM3 usa o compilador FORTRAN da intel e o paralelizador MPI que funciona em ambiente Linux OpenSUSE 10.0. Essa estrutura encontra-se instalada num Cluster de Workstation HP que totaliza 48 processadores, sendo a máquina principal (master) máquina HP com dois processadores Intel Xeon Quad Core com 8GB de memória e HD com 2.5 TB (disco rígido) e os outros cinco nodos são máquinas HP cada uma contendo dois processadores Intel Xeon Quad Core com 6 GB de memória e 1TB de HD. A Figura 2 ilustra o Cluster RPCH.

Figura 2: Ilustração do Cluster RPCH – UFPA com 48 processadores.

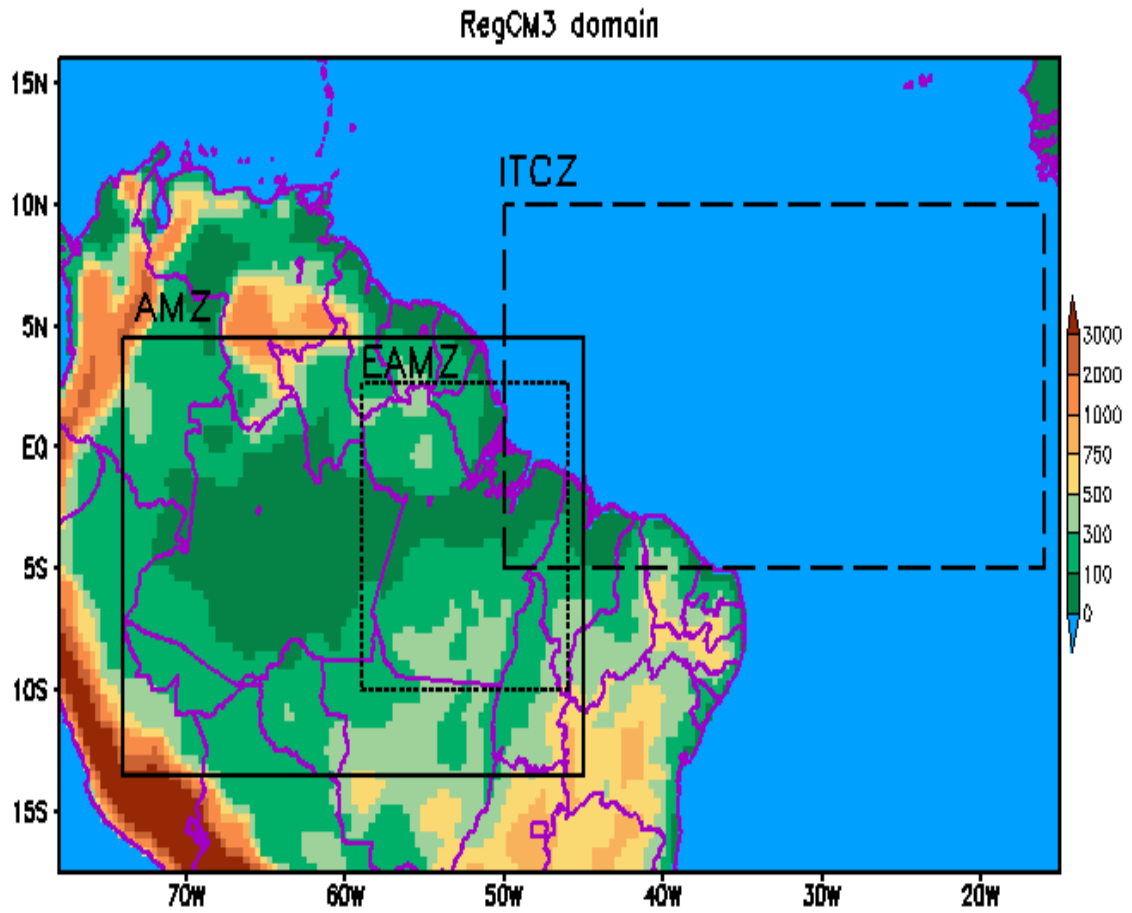


Fonte: Lima (2010).

As rodadas iniciaram no dia 15 de Novembro e finalizaram em 31 de Maio do ano seguinte, ou seja, o tempo de integração é de 7 meses, sendo que o primeiro mês (novembro) é considerado o spin-up do modelo e é descartado. Todas as simulações foram geradas com resolução horizontal de 40 km, centrado em 2° S / 49° Oeste (W) e usando projeção mercator normal.

Para este trabalho adotou-se três caixas com dimensões diferentes para o domínio nas simulações do modelo RegCM3, como mostra a figura 3. A primeira caixa indica a AMZ, como um todo, a segunda, o estado do Pará, denominado de EAMZ. E a terceira, área de atuação da ZCIT.

Figura 3 – Domínio do modelo RegCM3 usado nas simulações, com a topografia (m). As caixas indicam a região da Amazônia (AMZ) como um todo (linha contínua), o leste da Amazônia (EAMZ) (linha pontilhada), e região da ZCIT (linha tracejada), onde serão avaliados o desempenho do modelo.



Fonte: Do autor.

3 RESULTADOS

3.1 CLIMATOLOGIA E PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE 12 ANOS

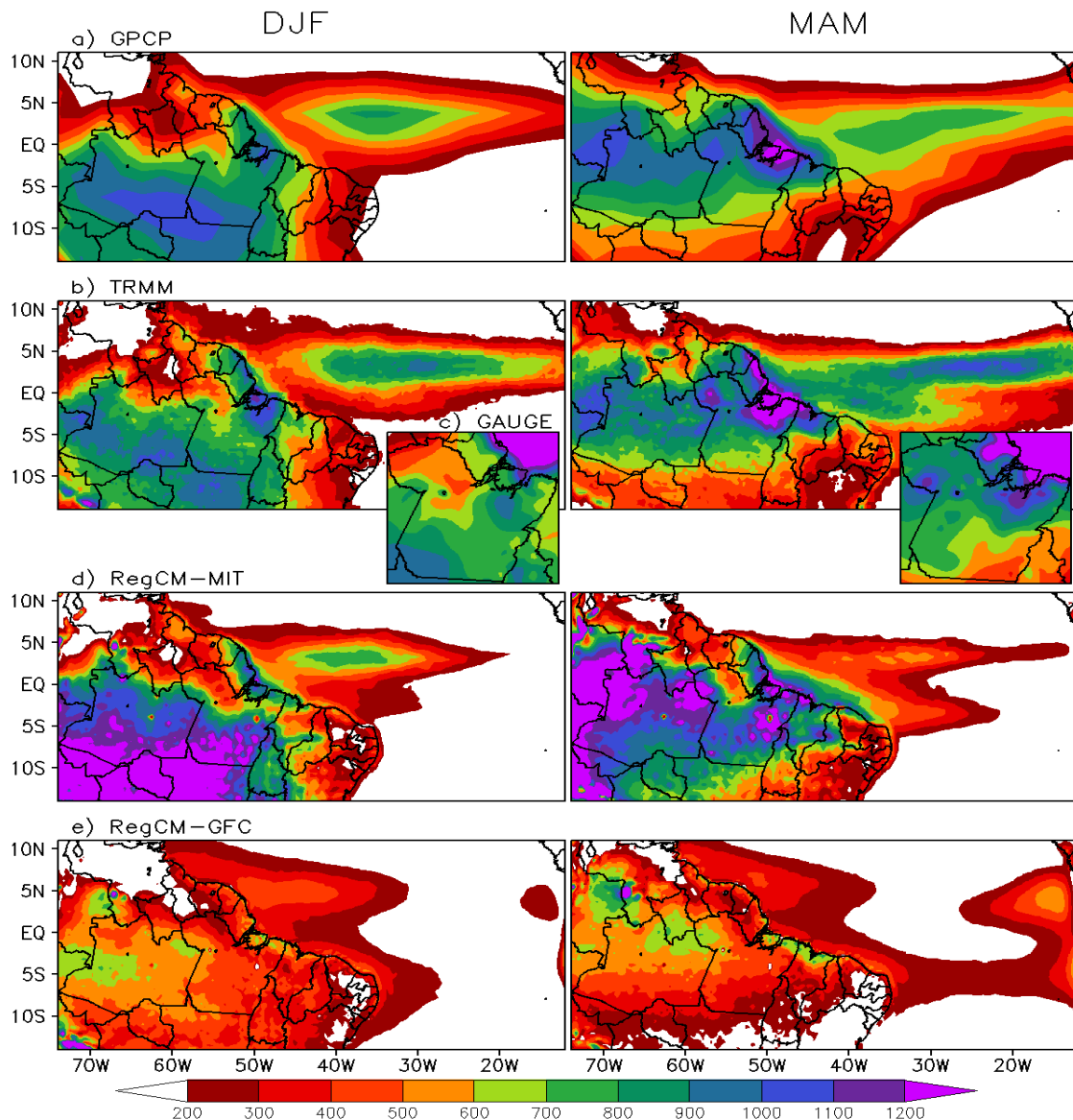
A Figura 4 mostra os padrões observados de chuva para os períodos DJF e MAM fornecido pelos três conjuntos de dados utilizados, GPCP, TRMM e GAUGE, assim como as chuvas simuladas de RegCM3. Os mapas GPCP e GAUGE correspondem à uma média de 30 anos (1979-2008), enquanto TRMM e RegCM3 correspondem à 12 anos (1998-2009). O desempenho RegCM3 é avaliado pela comparação de PRP simulada com os padrões correspondentes observados.

Figuras 4 (a), 4 (b) e 4 (c) apresentaram as principais características do verão (DJF) e outono (MAM) quanto ao regime de chuvas sazonais sobre os trópicos da América do Sul e do Oceano Atlântico Equatorial, que é governado principalmente pela ZCAS e ZCIT. Durante o período de DJF (ver painéis à esquerda da Figura 4), ambos GPCP e TRMM (Figs. 4 (a) e 4 (b)) mostram consistentemente uma banda de nebulosidade orientada no sentido NW-SE com significativa PRP entre 800 a 1100 milímetros (mm) cobrindo porções sudoeste (SW), central e S da região amazônica, que está relacionado com a ZCAS e coerente com as observações de Carvalho et al. (2004). Outros máximos observados de PRP, durante este período, estão localizados a leste da Amazônia, com valores entre 700 a 1000 mm ao longo das regiões costeiras, como observado na Figura 4 (c) e mapas GPCP e TRMM. Estes máximos estão associados com a ZCIT que começa sua migração sazonal em direção ao S do Atlântico equatorial em janeiro e fevereiro. Posteriormente, durante MAM (ver painéis à direita da Figura 4) está claramente caracterizada a ZCIT, por uma grande área tropical contendo significativas chuvas em uma faixa que se estende do NE da Amazônia central ao Oceano Atlântico equatorial, que chega a sua localização máxima ao hemisfério sul durante o mês de Março, induzindo chuvas abundantes alcançando-se de 1000 a 1200 mm na Amazônia oriental, e na costa do Atlântico como obtido GPCP, TRMM e observações GAUGE (Figs. 4 (a), 4 (b) e 4 (c)).

A distribuição da PRP sazonal é melhor simulada pelo RegCM3 usando o esquema MIT do que o esquema GFC para os períodos DJF e MAM. O esquema MIT (Fig. 4 (d)) produz muito bem as configurações espaciais acima mencionadas de PRP com orientação NW-SE sobre o SW da Amazônia e da faixa zonal orientada

sobre o Atlântico equatorial em torno de 2,5° N durante DJF. Este esquema também capta a mudança da PRP máxima para o S do Atlântico equatorial que está associada com ZCIT e também da retração e expansão das chuvas máxima para N-NE do Amazonas durante MAM. No entanto, a intensidade da PRP simulada do MIT é relativamente diferente das observações. Por outro lado, a distribuição espacial da chuva simulada com esquema GFC (Fig. 4 (e)) não conseguiu apresentar coerentemente, de modo que a PRP máxima são mais superestima na Amazônia e no Oceano Atlântico tanto no período de DJF como também em MAM.

Figura 4 - Precipitação sazonal (mm) para DJF (painel à esquerda) e MAM (painel à direita) correspondente a climatologia dos dados observacionais (a) GPCP, (b) TRMM e (c) GAUGE e dos dados simulados pelo RegCM3 usando os esquemas convectivos (d) MIT e (e) GFC.



Fonte: Do autor.

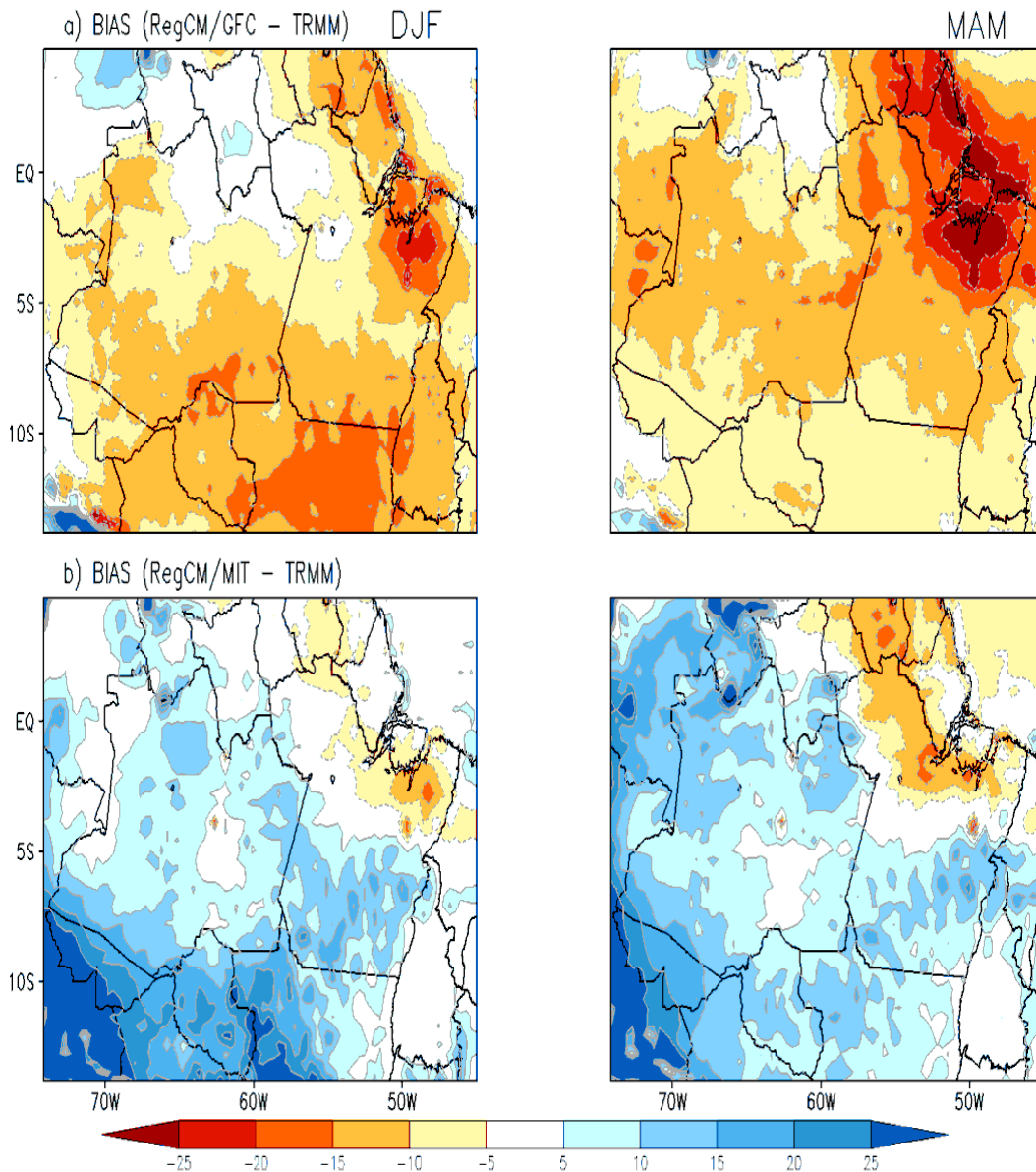
3.2 AVALIAÇÃO DA PRP SIMULADA SOBRE AS REGIÕES AMAZÔNICA E ZCIT

O desempenho do RegCM3 sobre as regiões da Amazônia e ZCIT no Atlântico agora é analisado quantitativamente através da análise do Viés e da Correlação Linear entre a chuva simulada das parametrizações MIT e GFC e os dados observados do TRMM. Foi usado o TRMM como validação de dados observacionais, devido a sua consistência com GPCP e GAUGE (com a média climatológica de 30 anos (1978-2008)).

3.2.1 Região Amazônica

Na Figura 5, (Fig. 5 (a)) a precipitação simulada pelo GFC apresenta valores negativos máximos de -25 a -20 mm, viés seco, no NE do Pará, N do Amapá e no centro do Mato Grosso no período de DJF, sendo que a subestimativa é maior no trimestre de MAM, especificamente no N e NE do Pará e no estado do Amapá. E nas áreas com viés entre -5 e 5 mm, sendo Roraima, NW do Pará e N do Amazonas, apresentam os melhores resultados simulados pelo modelo, para o trimestre de DJF. Para a (Fig. 5 (b)), usando o esquema convectivo MIT, o viés úmido possui valores positivos, ou seja, superestimados, na maior parte da região Amazônica nos estados do Acre, Rondônia, SW, S e SE do Pará, N e NE do Mato Grosso, e porção W, S, E e N do Amazonas, com exceção do NE do Pará que possui viés seco, para DJF. Em MAM, há um aumento desse viés seco para o N do Pará. E para as regiões com viés entre -5 e 5 mm, Tocantins, Amapá, porção Central do Amazonas e do Maranhão, e NW do Pará, apresentam um desempenho melhor na simulação da precipitação.

Figura 5. Bias (mm) obtida pela diferença entre as simulações do RegCM3 e as observações do TRMM correspondente ao período de DJF (painéis à esquerda) e MAM (painéis à direita) usando os esquemas (a) GFC e (b) MIT.

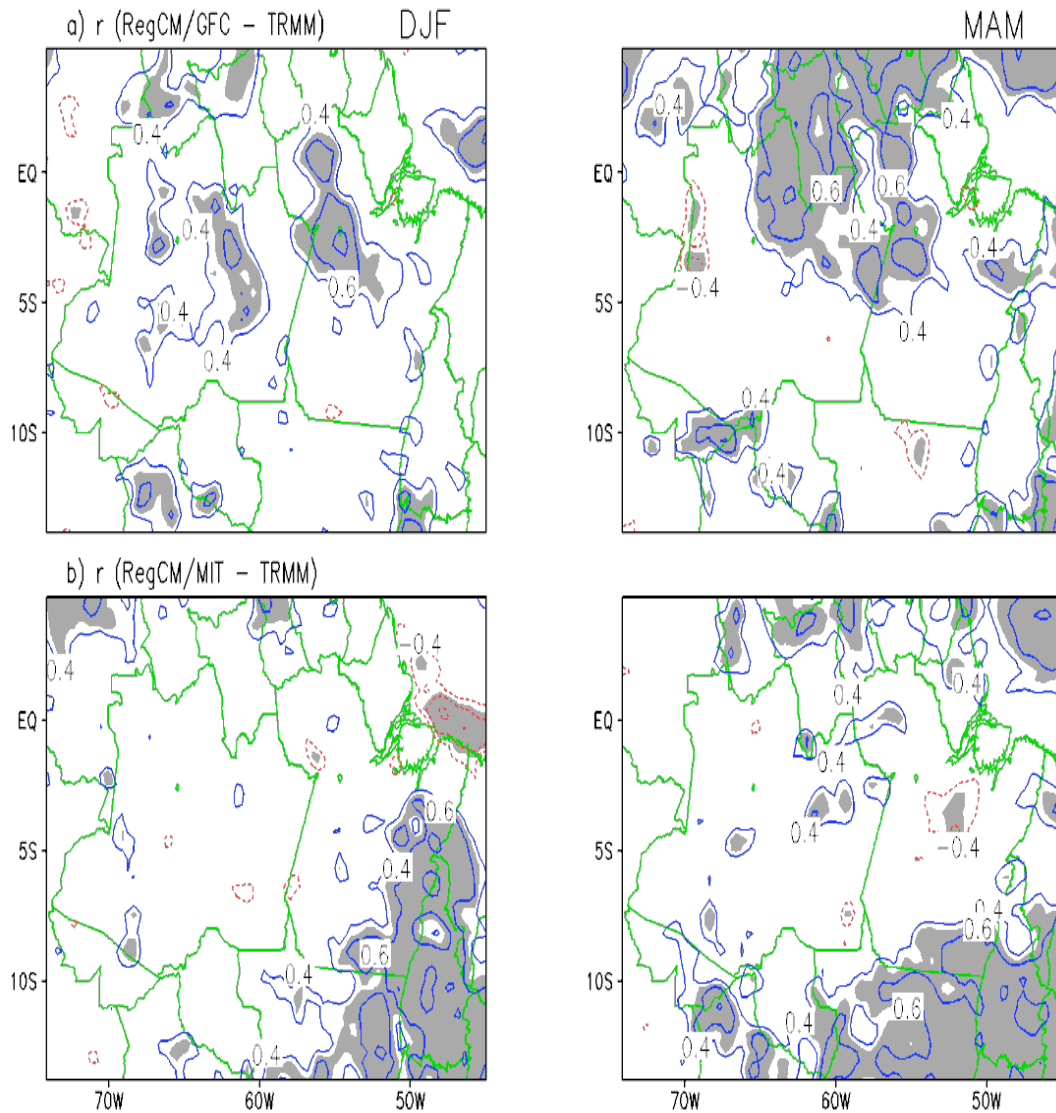


Fonte: Do autor.

Os mapas de correlação linear sazonal, mostrados na Figura 6, revelam uma boa correspondência espacial e temporal entre os valores simulados e observados de PRP em várias porções da região amazônica. Há correlações positivas entre chuvas do esquema GFC e dados TRMM na parte central, nos estados do Amazonas e Pará, variando de 0.4 a 0.6, durante o trimestre de DJF e em partes do N e NE durante o período MAM (Fig. 6 (a)). Correlações positivas entre

o esquema MIT e dados TRMM são verificados no SE da região Amazônica, tanto no trimestre DJF, quanto no trimestre MAM, sendo que neste ultimo há correlação negativa, na parte central do Pará (Fig. 6 (b)).

Figura 6 - Correlações entre RegCM3 e padrões de precipitação observadas pelo TRMM sobre a região amazônica correspondentes aos esquemas (a) GFC e (b) MIT para DJF (painéis à esquerda) e MAM (painéis à direita).



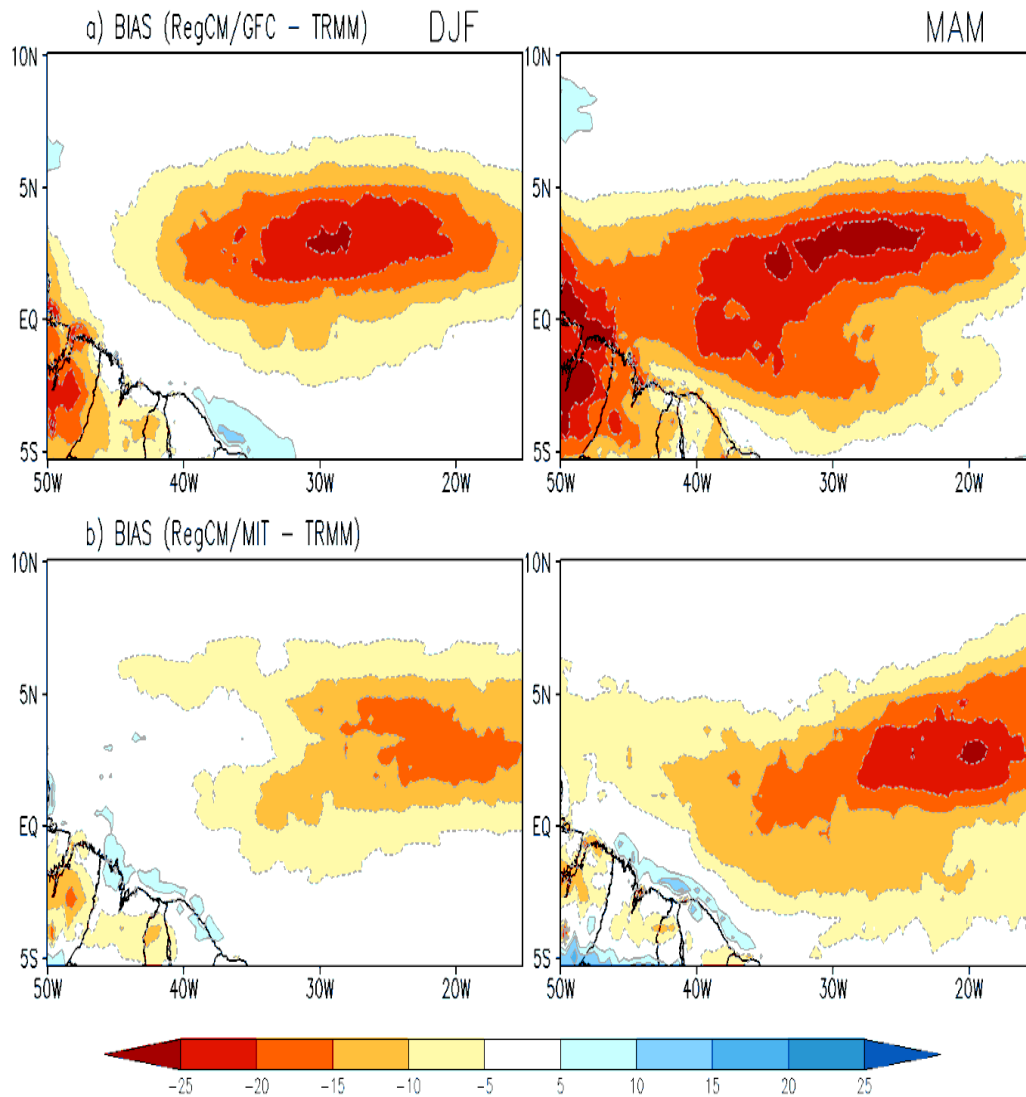
Fonte: Do autor.

3.2.2 Região ZCIT

Na Figura 7 mostra que RegCM3 não reproduziu os padrões de PRP relacionados à ZCIT sobre o Atlântico equatorial. O esquema GFC apresenta viés negativo, indicando subestimação generalizada das precipitações no eixo da ZCIT

sobre o Atlântico equatorial durante os períodos de DJF e MAM (Fig. 7 (a)). A parametrização MIT também apresenta subestimação chuvas, no entanto, este é verificado no leste da banda (entre 30° W a 15° W), enquanto que a banda ocidental perto da costa amazônica (entre 50° W e 30° W) o modelo reproduziu as chuvas associadas à ITCZ (Fig. 7 (b)).

Figura 7 - Como na Figura 5, mas para a região ZCIT.

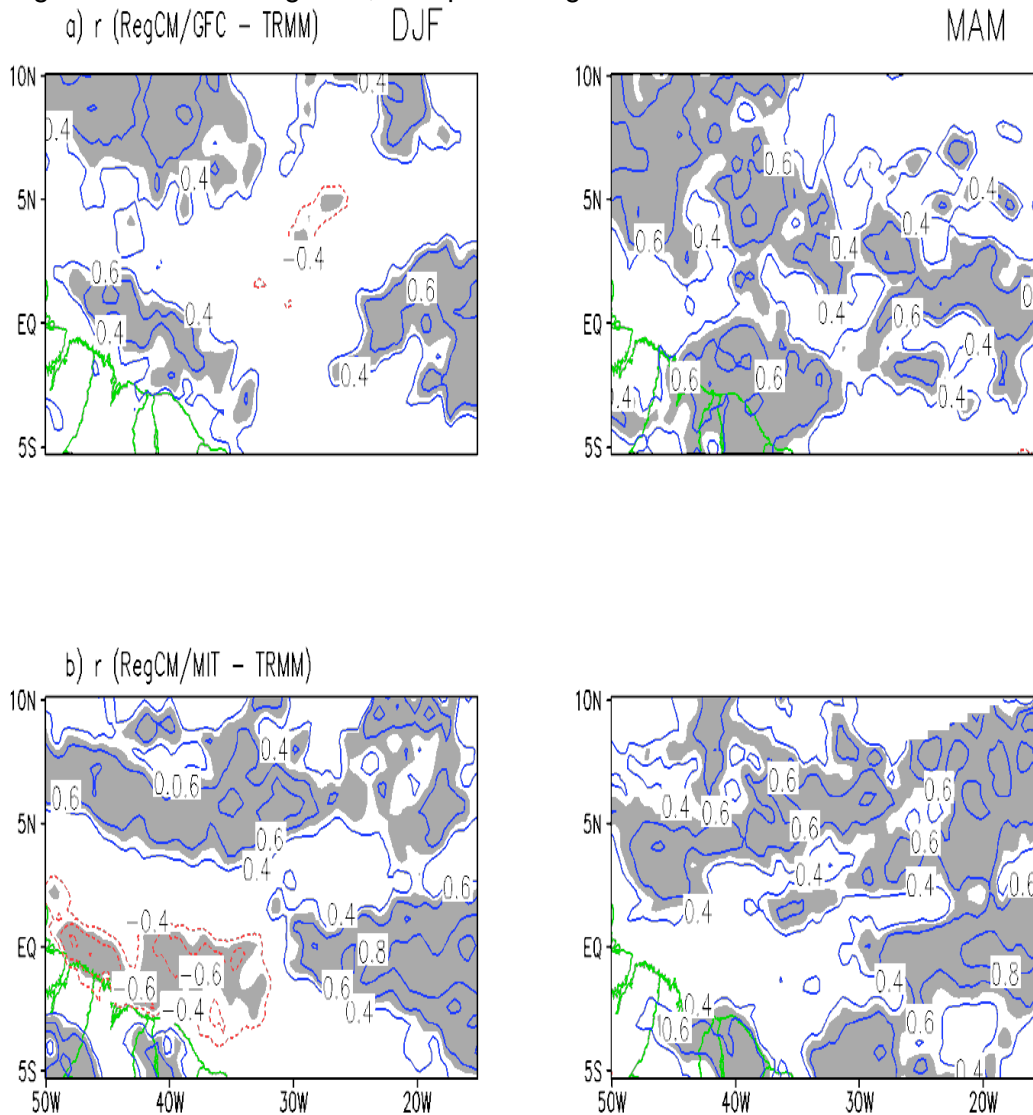


Fonte: Do autor.

Na apesar dos vieses secos encontrados nas simulações do RegCM3, o modelo apresenta correlações positivas, mostradas na Figura 8, sobre parte do Atlântico equatorial. Exceto no eixo central da ZCIT em torno de 2,5° N / 5° N e 40°

W / 30° W, existem correlações positivas entre TRMM e precipitação simuladas pelos dois regimes, nas porções N e S do Atlântico equatorial durante DJF e MAM (Fig. 8 (a) e 8 (b)).

Figura 8. Como na Figura 6, mas para a região ZCIT.



Fonte: Do autor.

3.3 AVALIAÇÃO SOBRE AS REGIÕES-CHAVE E SUA VARIABILIDADE INTERANUAL

A análise é baseada em índices padronizados de precipitação para as três regiões-chave (ZCIT, AMZ e EAMZ), que foram obtidos a partir de PRP observada (GPCP, TRMM e GAUGE) e PRP simuladas (RegCM3 com esquemas GFC e MIT).

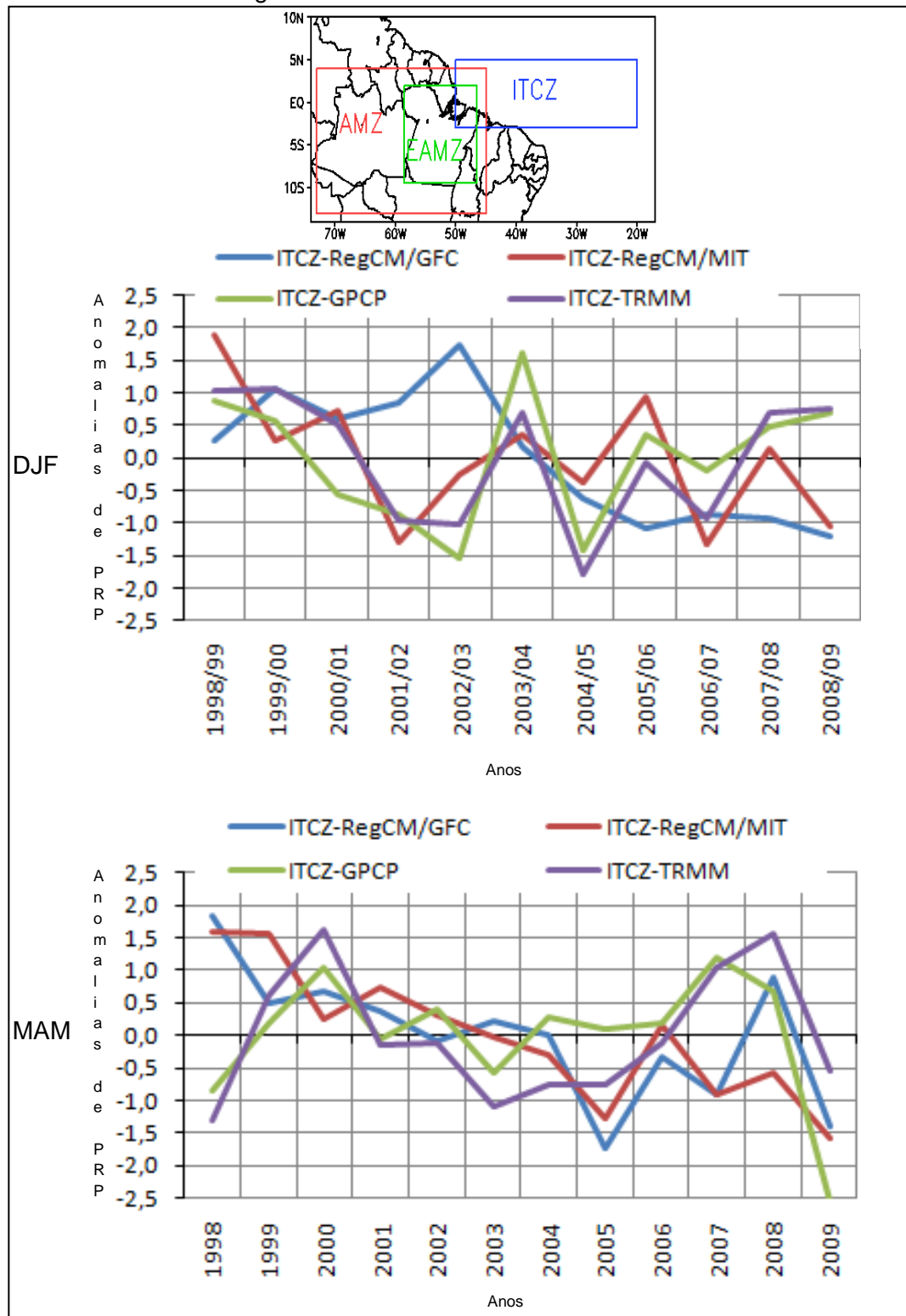
As comparações são feitas a partir das séries temporais de anomalias de precipitação simuladas e observadas durante os 12 anos, ou seja, nos períodos DJF e MAM (1998-2009).

De um modo geral, a parametrização GFC não simula com precisão as variações ao longo do período interanual (1998-2009), com uma substancial subestimação de todas as regiões analisadas. Embora a parametrização MIT simule sistematicamente uma superestimação comparada com a precipitação observada para as regiões-chave, ele simula variações de precipitação muito melhores do que o esquema GFC na escala de tempo interanual.

3.3.1 Região ZCIT

Para a região da ZCIT, na figura 9, percebe-se um melhor desempenho pelo esquema MIT durante ambos os períodos, DJF e MAM, pois ele acompanhou, na maioria dos anos estudados, o comportamento dos dados observados, já o GFC não corresponde em vários anos.

Figura 9. Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região ZCIT, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.

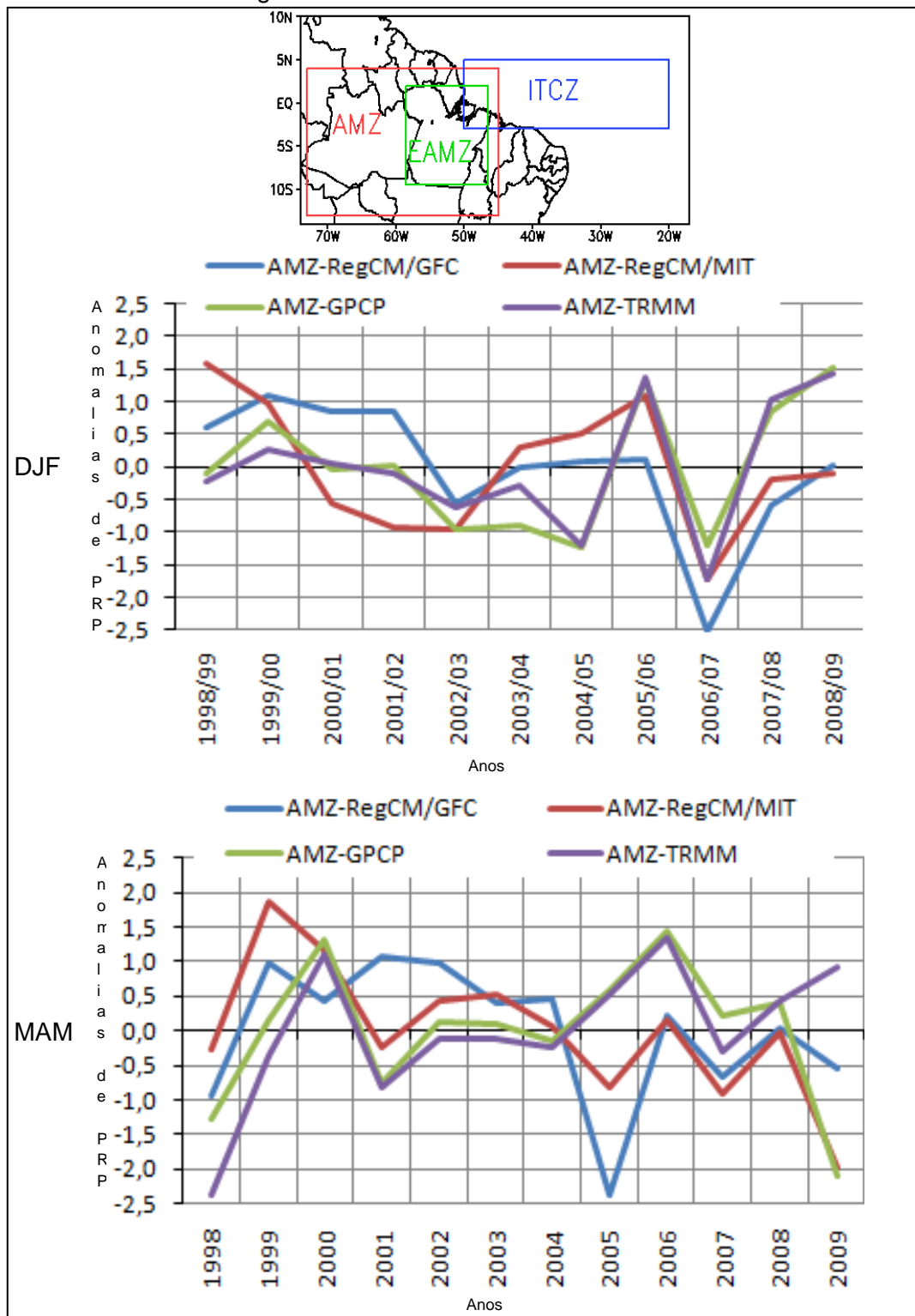


Fonte: Do autor.

3.3.2 Região AMZ

Na bacia AMZ, na figura 10, os gráficos mostram que as simulações dos esquemas GFC e MIT foram melhor para o trimestre de DJF do que para o período de MAM. Ambos os esquemas capturaram bem as condições da Amazônia úmida e seca, que ocorreu em 2006 e 2007, respectivamente. Há uma tendência de anomalias negativas, com um pico em 2006/07, representado pelo modelo GFC, em DJF, atingindo um valor de $-2,5$, isso se deu devido à ocorrência do fenômeno El Niño, que provoca uma diminuição da PRP na região em questão. E para o trimestre de MAM, continua a tendência de anomalias negativas, mas há um aumento nos padrões normais de anomalias. Ocorrendo também uma anomalia positiva de $+1,9$, estimada pelo esquema MIT, em 1999, e neste ano houve a ocorrência da La Niña, considerado como um evento Forte, ocasionando o inverso do El Niño.

Figura 10. Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região AMZ, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.

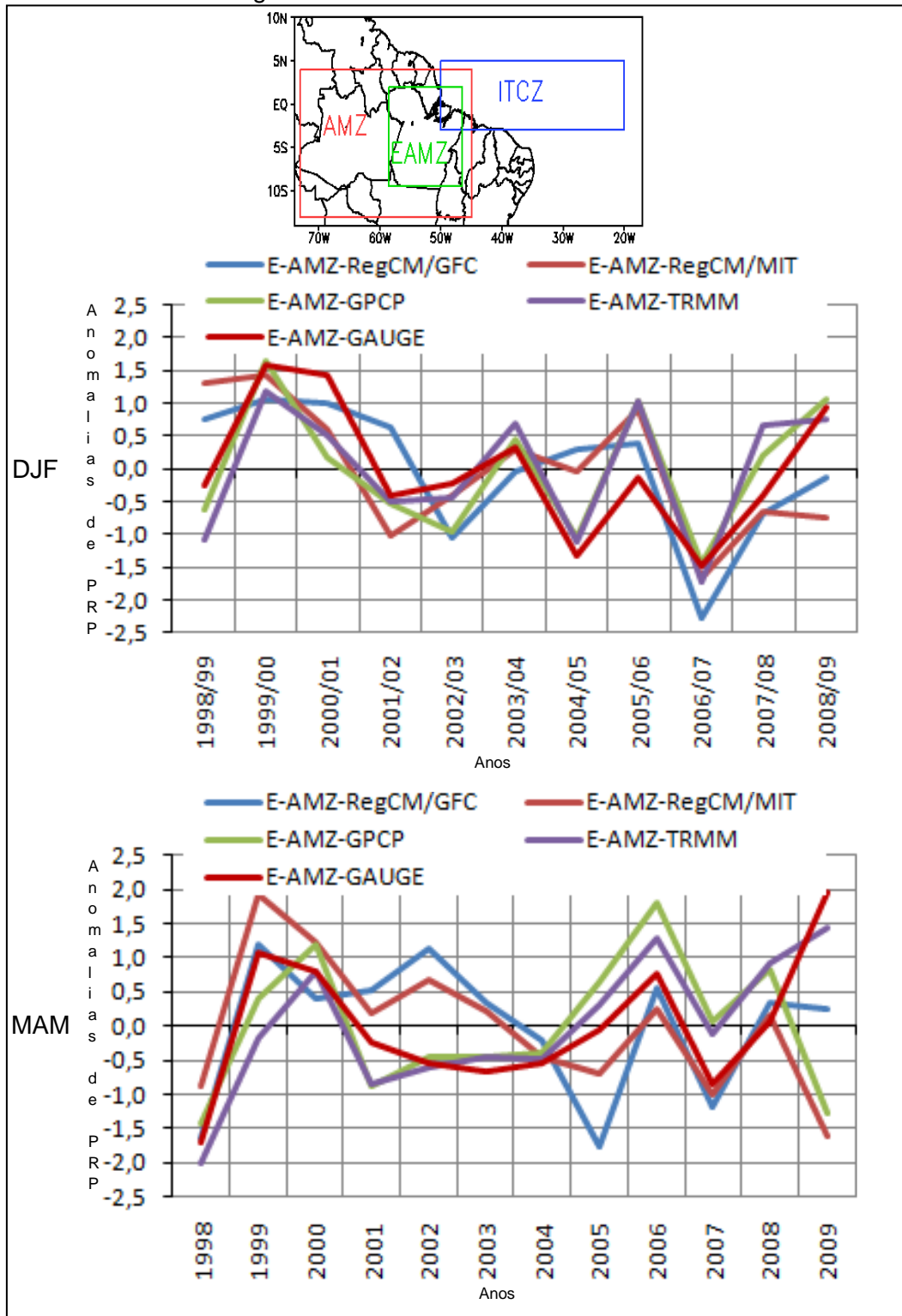


Fonte: Do autor.

3.3.3 Região EAMZ

Na figura 11, os gráficos mostram que para o trimestre de DJF, há um máximo na anomalia positiva (+ 1,5) para o ano de 1999/00, onde se tem a ocorrência da La Niña. No trimestre de MAM, continua a tendência de anomalias negativas, mas há um aumento de padrões normais de anomalias. Esses resultados foram os mais interessantes, pois apesar de subestimação e superestimação dos esquemas GFC e MIT, os mesmos concordaram bem com dados das variações de precipitação observadas do GPCP, TRMM e GAUGE, durante o período de DJF, no decorrer dos anos estudados. E para o trimestre de MAM, houve uma superestimação dos esquemas nos anos 2001 a 2003 (considerando-se que no decorrer desses anos, houve a ocorrência de El Niño), onde as variações de anomalias positivas de PRP foram de + 0,6 pelo MIT, e + 1,5 pelo GFC, enquanto que os dados observados foram de anomalias negativas. Nos demais anos, mantiveram o padrão.

Figura 11. Variações interanuais de anomalias padronizadas de precipitações observadas e simuladas sobre a região EAMZ, correspondente a 1998/99 a 2008/09 DJF (painel acima) e 1998-2009 MAM (painel abaixo). Mapa no topo indica os locais das regiões-chave.



Fonte: Do autor.

Para melhor comparar os resultados do modelo com as regiões-chave, foram calculadas correlações e RMSE, a partir dos esquemas GFC e MIT contra GPCP, TRMM e GAUGE (Tabela 1 e 2). No geral, os valores de correlações e RMSE são geralmente melhor em desempenho, como a região de interesse aumenta de tamanho, de modo que os resultados são mais consistentes para EAMZ, menor região, e não muito consistente para as grandes regiões AMZ e ITCZ. Estatisticamente, as simulações com o esquema MIT possui um melhor resultado com os maiores coeficientes de correlação e RMSE menor, em comparação com simulações GFC. As correlações obtidas nos períodos de DJF e MAM entre as anomalias de PRP observada e as anomalias simuladas, onde percebe-se na tabela 1, que para toda a região estudada a PRP observada pelo TRMM foi a que melhor apresentou correlação comparada com os esquemas simulados, para DJF, e que para o mesmo trimestre, a região EAMZ teve boa correlação nos dois esquemas, com a mais alta correlação, $r = 0,61$, para o esquema MIT em relação ao observado pelo GAUGE. Para o período MAM, o GPCP possui a melhor correlação para ambas as regiões para o simulado MIT, e o GAUGE para o simulado GFC na região EAMZ. Na tabela 2, o MIT no EAMZ tem correlações acima de $r = 4$.

Tabela 1. Correlações para os períodos de DJF e MAM entre os esquemas simulados do REgCM3, GFS e MIT, e GPCP, TRMM e GAUGE sobre as principais regiões (ZCIT, AMZ e EAMZ). Para EAMZ (Amazônia oriental) também usaram dados GAUGE.

	Regiões					
	ZCIT		AMZ		EAMZ	
	Período: DJF					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	-0,32	0,40	0,39	0,37	0,52	0,54
TRMM	-0,03	0,55	0,42	0,45	0,45	0,48
GAUGE	-	-	-	-	0,59	0,61
	Período: MAM					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	0,17	0,15	0,10	0,56	0,28	0,48
TRMM	0,12	-0,06	0,00	-0,04	0,29	0,21
GAUGE	-	-	-	-	0,51	0,25

Fonte: Do autor.

Tabela 2. RMSE para os períodos de DJF e MAM das precipitações simuladas pelo RegCM3, GFS e MIT, em relação aos dados observados GPCP e TRMM em relação as regiões-chave (ZCIT, AMZ e EAMZ). Para EAMZ (Amazônia oriental) também usaram dados GAUGE.

	Regiões					
	ZCIT		AMZ		EAMZ	
	Período: DJF					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	11,5	6,2	10,6	6,5	8,2	4,2
TRMM	11,3	5,4	9,0	7,2	9,7	5,3
GAUGE	-	-	-	-	9,3	5,1
	Período: MAM					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	16,2	10,2	12,8	5,5	15,8	4,5
TRMM	17,5	11,5	11,7	7,0	16,2	6,0
GAUGE	-	-	-	-	11,4	5,1

Fonte: Do autor.

4 CONCLUSÕES

Apesar dos recentes avanços obtidos em vários estudos de modelagem durante as últimas duas décadas, a representação numérica de processos convectivos e a capacidade de simular a quantidade de precipitação regional e seus padrões anormais ainda são um desafio para a comunidade científica, especialmente para regiões tropicais, como a bacia amazônica.

O presente trabalho apresenta uma contribuição sobre os estudos de modelagem climática com ênfase na variabilidade da precipitação sazonal sobre a bacia amazônica, durante o verão austral e outono chuvoso (DJF e MAM). Baseado em simulações climáticas do RegCM3 para um período de 12 anos - (1998/99 a 2008/09) usando domínio em alta resolução (40 km) e dois diferentes esquemas de convecção (Grell e MIT-Emanuel), investigou-se o desempenho do modelo para simular a distribuição pluviométrica regional com referência aos dados GPCP, TRMM e GAUGE.

Pode-se concluir que, comparado a precipitação observada, os esquemas empregados pelo modelo (MIT e GFC) demonstraram capturar satisfatoriamente o padrão da distribuição espacial da precipitação em grande parte do domínio para a simulação da estação chuvosa (DJF e MAM). Entretanto, em alguns setores, como o Norte e o Nordeste, ocorreram erros sistemáticos, tais como: uma dificuldade da parametrização/GFC na representação da ZCIT, a qual constitui um importante sistema meteorológico na precipitação para estes setores. Isto é, provavelmente, devido a intensificação da circulação troposférica localizado no lado oriental do Oceano Atlântico equatorial. A parametrização/MIT representou o comportamento da chuva ao longo da estação chuvosa, ele se mostrou mais sensível, no qual o período de maior ocorrência de precipitação coincidiu na maioria das simulações com o período de ocorrência dos máximos observados, ou seja, mostrou ter mais correspondência com GPCP, TRMM e dados GAUGE, comparado com os resultados do GFC.

Em resumo, os resultados mostraram que o modelo RegCM3 apresenta problemas, no entanto, é capaz de reproduzir alguns importantes padrões anômalos de precipitação regionais, o que implica a sua viabilidade no monitoramento operacional e tarefas de previsão climática sobre a Amazônia. Portanto, o RegCM3 tem potencial para melhorar o conhecimento científico sobre a variabilidade do clima

tropical e, portanto, para um valor acrescentado na geração de informações sobre o clima útil aplicada à comunidade florestal local.

REFERÊNCIAS

- ADLER, R.F. et al. The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 1147-1167. 2003.
- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88–108. 2004.
- CUADRA, S.V.; ROCHA, R.P. **Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n. 2, p. 271-282. 2006.
- DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A.; KENNEDY, P.J. **Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model**. Boulder, Colorado: NCAR Technical Report, NCAR/TN-387, 1993. 72f.
- EMANUEL, K. A. A Scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.48, n.21, p.2313-2335. 1991.
- EMANUEL, K.A.; ZIVKOVIC-ROTHMAN, M. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, p. 1766-1782, 1999.
- GIORGI, F. et al. **Development of a second-generation regional climate model (RegCM2)**. Part II: convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 2814-2832, 1993b
- GIORGI, F.; MARINUCCI, M.R.; BATES, G.T. **Development of a second-generation regional climate model (RegCM2)**. Part I: boundary-layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 2794-2813, 1993a.
- GRELL, G.A. **Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations**. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 764-787, 1993.
- HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.35, n.12, p. 2222-2231. 1978.
- HOLTSLAG, A.; DE BRUIJN, E.; PAN, H. L. **A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting**. *Monthly Weather Review*, v.118, p.1561-1575. 1990.
- HUFFMAN, G.J.; R.F. ADLER; D.T. BOLVIN; G. GU; E.J. NELKIN; K.P. BOWMAN; Y. HONG; E.F. STOCKER; D.B. WOLFF. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. **J. Hydrometeorology**, v.8, n.1, p. 38-55. 2007.

KIEHL, J. T. et al. **Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3)**. Boulder, Colorado. NCAR Technical Note, NCAR/TN-420+STR, 152p. 1996.

LIEBMANN, B. et al. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v.12, p.1877-1891. 1999.

LOPES, M. N. G. **Aspectos regionais da variabilidade de precipitação no Estado do Pará: estudo observacional e modelagem climática em alta resolução**. Belém, 2009. 117 f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA, Belém, 2009.

LUCIO, P. S.; SILVA, F. D. S.; FORTES, L. T. G.; SANTOS, L. A. R.; FERREIRA, D. B.; SALVADOR, M. A.; BALBINO, H. T.; SARMANHO, G. F.; SANTOS, L. S. F. C.; LUCAS, E. W. M.; BARBOSA, T. F.; DIAS, P. L. S.: **Um Modelo Estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 1, 70 – 87, 2010.

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

PAL, J.S. et al. The ICTP RegCM3 and RegCNET: **regional climate modeling for the developing World**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 1, p. 1395-1409, 2007.

PAL, J.S.; SMALL, E.E.; ELTAHIR, E.A.B. Simulation of regional scale water and energy budgets: influence of a new moist physics scheme within RegCM. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.29, p. 579-594, 2000.

SETH, A. et al. **RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields**. Climate Dynamics, v. 28, p. 461–480, 2007.

SOUZA, E.B de. et al. **On the Influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998**. Acta Amazonica, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SOUZA, E.B.de; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. The **regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004.

SOUZA, E.B.de; et al. **Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará - RPCH**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 31, p. 6-13, 2007.

SOUZA, E. B. de et al. **Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.2, p. 111-124, 2009.