



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARLOS ALBERTO DIAS PINTO

ESTUDO DE CASO DE EVENTOS EL NIÑO, ANOMALIA DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM) NO OCEANO ATLÂNTICO E A PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL USANDO SIMULAÇÕES COM O MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REGCM4

Nº: 340

**Belém-PA
JANEIRO - 2014**

CARLOS ALBERTO DIAS PINTO

**ESTUDO DE CASO DE EVENTOS EL NIÑO, ANOMALIA DE TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE DO MAR (TSM) NO OCEANO ATLÂNTICO E A PRECIPITAÇÃO NA
AMAZÔNIA ORIENTAL USANDO SIMULAÇÕES COM O MODELO CLIMÁTICO
REGIONAL REGCM4**

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

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P659e Pinto, Carlos Alberto Dias

Estudo de caso de Eventos El Niño, Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico e a Precipitação na Amazônia Oriental usando Simulações com o Modelo Climático Regional RegCM4 / Carlos Alberto Dias Pinto;– 2014

30 f. : il.

Orientador: Everaldo Barreiros de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

1. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 2. El Niño. 3.

RegCM4. I. Título.

CDD 22. ed.: 551.57709811

CARLOS ALBERTO DIAS PINTO

**ESTUDO DE CASO DE EVENTOS EL NIÑO, ANOMALIA DE TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE DO MAR (TSM) NO OCEANO ATLÂNTICO E A PRECIPITAÇÃO NA
AMAZÔNIA ORIENTAL USANDO SIMULAÇÕES COM O MODELO CLIMÁTICO
REGIONAL REGCM4**

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: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

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

Prof.: José Danilo da Costa Souza Filho
Doutorando em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

Prof.: Edson José Paulino da Rocha
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

*“Em memória de Carlos Ribeiro,
Darlyce de Lima e Orlando Simões.
Aos esforços maternos ilimitados de
Maria Margarida e Ana Célia. E aos
Irmãos de sangue e alma, Gabriel,
Luciano, Orlando Junior e Samuel”.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade da vida.

À minha Essência Familiar, Maria Margarida, Ana Célia, Luciano Simões, Orlando Júnior, Gabriel e Samuel por sempre estarem presentes em minha vida e pelos momentos de reflexão e evolução intelectual e moral.

Ao meu professor e orientador Everaldo Barreiros de Souza, que foi essencial na elaboração deste trabalho e por ter proporcionado oportunidades de aprimorar meus conhecimentos sempre disposto a me auxiliar e impulsionar a seguir minha trajetória profissional e acadêmica e pelo voto de confiança ofertado em um momento delicado de minha vida.

Aos Amigos que jamais serão esquecidos:

Alex Rodrigo e Família, Alex Belém e Família, Alexandre Tenório, André de Gusmão, Antônio Carlos, Carlos Eduardo, Clívia Fernanda, Dona Elizeth, Dona Waldilene, Eden Paraense, Felipe Silva, Flávio D'Oliveira, Illelson Rafael, Jean dos Reis, Jéssica Neves, Jeymison Bezerra, Karina Jordene, Laíza Mendes, Lorena Monteiro, Luan Roosewel, Lucas Damasceno, Wendel Maradona, Maurício Moura, Maurício Ferreira, Michel Germano, Patrick Oliveira, Renan Silva, Ricardo Angelim, Rodrigo Angelim, Rubens Brito e Família, Sara Raquel, Seu Haroldo, Seu Lucivaldo, Seu Eyji, Thaianie Soeiro, Thiago Gomes, Tia Maria, Tio Antônio e Família, Vânia Franco, Verena das Chagas, Wanderson Lima e Wilson Leão e Família.

A professora Isabel Vitorino, que me concedeu a oportunidade de ser voluntário no Laboratório de Meteorologia Sinótica (LABSIN) no início da graduação e posteriormente a oportunidade da primeira iniciação científica e aprofundar meus conhecimentos na meteorologia.

Ao amigo Carlos Alexandre, na impressão de várias cópias deste trabalho.

A professora Julia Cohen e ao professor Paulo Souza, pelo grande desejo em ver o aluno crescer como profissional e como pessoa e pela honestidade que ambos carregam na personalidade.

Ao professor Danilo Filho, pelo constante ensinamento acadêmico e pelos conselhos de um futuro melhor.

Aos demais professores da Faculdade de Meteorologia, pelos ensinamentos durante o curso.

À Universidade Federal do Pará, onde encontrei a oportunidade para o passo inicial de minha jornada acadêmica que pretendo seguir ao longo de minha vida.

"Não sei como o mundo me vê, mas eu me sinto como um garoto brincando na praia, contente em achar aqui e ali, uma pedra mais lisa ou uma concha mais bonita, mas tendo sempre diante de mim, ainda por descobrir, o grande oceano de verdades".

Isaac Newton

RESUMO

O presente trabalho faz um estudo de caso de dois eventos El Niño através de modelagem climática regional. O objetivo é avaliar subjetivamente a performance das simulações do modelo climático regional RegCM4 em representar os padrões de precipitação sazonal do período chuvoso sobre a Amazônia durante dois eventos El Niño registrados em 1998 e 2010. Os dados observacionais utilizados foram: precipitação do satélite TRMM, e dados mensais de TSM e ROL. Utiliza-se a quarta versão do Modelo Climático Regional (RegCM4 – Regional Climate Model version 4) integrado nos anos de El Niño com três esquemas de parametrização convectiva: Grell com fechamento Fritsch-Chapell, MIT-Emanuel e Tiedke, com a finalidade de verificar qual esquema representa melhor os dados observados. Os resultados evidenciaram a presença de anomalias de TSM intensas atingindo valores de 2 a 3°C nos dois eventos. Notou-se também a ausência do Dipolo do Atlântico, sendo que este oceano tem sua contribuição através do deslocamento de massa em favor da ocorrência de chuva na região de estudo, por meio da alta subtropical, anomalias positivas de ROL sobre a Amazônia inibindo a formação de nebulosidade na em certa parte da região. Dos três esquemas convectivos o MIT- Emanuel foi o que apresentou melhor desempenho em relação ao dado observado, Grell vem em seguida, porém superestimou muito os valores de precipitação em certos períodos e Tiedke ao contrário, subestimou muito em todos os períodos. Os Estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá e Tocantins foram bem representados em relação as suas características de chuva sazonal. É importante ressaltar que o presente estudo se tratou apenas de uma análise de dois casos, sendo assim, não é apropriado generalizar tais resultados para todos os eventos El Niño, sendo necessárias mais simulações e mais casos para aprofundar as análises.

Palavras-chave: Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. El Niño. RegCM4.

ABSTRACT

The present study is a case study of two events El Niño through regional climate modeling . The goal is to subjectively evaluate the performance of the regional climate model simulations RegCM4 to represent the seasonal patterns of rainfall during the rainy season over the Amazon for two El Niño events recorded in 1998 and 2010 . The observational data used were from the TRMM satellite rainfall and monthly SST and OLR . We use the fourth version of the Regional Climate Model (RegCM4 - Regional Climate Model version 4) integrated in El Niño years with three convective parameterization schemes : Grell - Fritsch with lock Chapell , MIT - Emanuel and Tiedke , in order to verify which scheme best represents the observed data . The results showed the presence of intense SST anomalies reaching values 2-3 ° C in both events . It also showed the absence of the dipole of the Atlantic Ocean and this is his contribution through the mass shift in favor of the occurrence of rainfall in the study region , through the subtropical high , positive OLR anomalies over the Amazon inhibiting the formation Cloud in a certain part of the region . Of the three convective schemes MIT - Emanuel showed the best performance compared to the observed data , Grell comes next , but much overestimated precipitation values for certain periods and Tiedke contrary , very underestimated in all periods . The states of Pará , Amazonas, Acre, Amapá and Tocantins, were well represented in relation to their characteristics of seasonal rain. Importantly, the present study was merely an analysis of two cases, therefore, it is not appropriate to generalize these results to all El Niño events , more simulations and more cases are needed to deepen the analysis .

Keywords : Precipitation (Meteorology) - Amazon . El Niño . RegCM4

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -.Domínio geográfico do modelo RegCM4 na resolução horizontal de 50 km, mostrando a topografia (m). O quadrado destacado na linha pontilhada em roxo é a área a Amazônia Legal Brasileira

Figura 2 - .TSM (shaded, °C) e ROL (isolinha, W/m²) sazonal observados em DJF de 1997/1998 (mapa acima) e MAM de 1998 (mapa abaixo)

Figura 3 - TSM (shaded, °C) e ROL (isolinha, W/m²) sazonal observados em DJF de 2009/2010 (mapa acima) e MAM de 2010 (mapa abaixo)

Figura 4 -.Precipitação (shaded, mm/dia) sazonal observados em DJF de 1997/1998 (mapa à esquerda) e MAM de 1998 (mapa à direita)

Figura 5 -.Precipitação (shaded, mm/dia) sazonal observados em DJF de 2009/2010 (mapa à esquerda) e MAM de 2010 (mapa à direita)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

aTSM	Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar
BATS	Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
CMAP	<i>Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation</i>
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
ITCP	<i>International Centre for Theoretical Physics</i>
Km	Quilometro
M	Metros
MCG	Modelos de Circulação Geral
MM4	<i>Mesoscale Model version 4</i>
NCAR	<i>Atmospheric Research</i>
NCDC	<i>National Climatic Data Center</i>
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PRP	Precipitação
RegCM4	<i>Regional Climate Model Versão 4</i>
ROL	Radiação de Onda Longa
RPCH	Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Pará
SUBEX	<i>Subgrid Explicit Moisture Scheme</i>
SW	Sudoeste
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UFPA	Universidade Federal do Pará
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 DADOS OBSERVADOS.....	16
2.2 MODELO CLIMÁTICO REGIONAL (REGCM4).....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
3.1 PADRÕES DE TSM E ROL TROPICAL.....	19
3.2 PRECIPITAÇÃO SAZONAL	22
4 CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é conhecida por sua enorme diversidade biológica e étnica, além da sua extensão, e a mesma é considerada a maior floresta tropical do mundo.

O estudo da variabilidade climática de qualquer região é algo muito importante para o entendimento do clima de um ecossistema. A precipitação na Amazônia Oriental está ligada fortemente com os padrões oceano-atmosférico de grande escala no qual estão associados aos ciclos do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) que interferem de maneira significativa na estação chuvosa da região (PHILANDER, 1990; ROPELEWSKI ; HALPERT, 1992; SOUZA et al., 2000).

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 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, 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.

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) (HASTENRALH, 1978).

Os modelos climáticos globais e regionais são reconhecidos como ferramentas-chave, uma vez que os modelos podem representar o sistema climático 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.

Em geral, os modelos de circulação geral (MCG) não são capazes de resolver os detalhes da fisiografia, assim como aqueles da circulação local. Segundo Seth (2007), os MCG apresentam resolução espacial em torno de uma centena de quilômetros (Km) ou até mais, e assim 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 precipitação. 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.

Nesse contexto, os modelos regionais têm se tornado uma importante ferramenta em estudos climáticos e devido a isso o interesse em modelagem climática regional vem aumentando nas últimas décadas. Uma das vantagens desses modelos com relação aos globais é que eles representam o clima atual de forma mais realista (OYAMA, 2006), pois podem utilizar maior resolução horizontal, representando melhor aspectos topográficos em alta resolução.

Alguns estudos abordaram o uso de modelos regionais, mas a maioria fizeram simulações 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 precipitação simulada para o SE do Brasil bastante consistente com observações de National Climatic Data Center (NCDC), tanto em termos de média e anomalias de precipitação 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).

Da Rocha et al. (2009) mostraram que, apesar de diferenças regionais, o RegCM3 simula os principais aspectos observados na climatologia do verão associados com a

precipitação (Zona de Convergência Atlântico Sul - ZCAS) e a temperatura do ar (ar quente na parte central do continente e mais frio no leste do Brasil e Cordilheira dos Andes).

Estudos com a nova versão do RegCM, ou seja, a versão 4, têm sido feitos recentemente para a AS. Giorgi et al. (2012) utilizaram uma nova opção da versão do RegCM4 que combina duas parametrizações de convecção de cumulus, ou seja, esquema de Grell (GRELL, 1993) sobre o continente e MIT-Emanuel (EMANUEL, 1991) sobre o oceano. Os autores encontraram que, em termos de climatologia, a fase e intensidade do ciclo anual de precipitação simulado sobre a Amazônia e a Bacia do Prata seguem a análise global de precipitação diária do CPC-NOAA (Climate Prediction Center - National Oceanic and Atmospheric Administration).

Llopart e Rocha (2012) analisaram a sensibilidade dos fluxos de superfície e variáveis meteorológicas no RegCM4.1 com esquema de vegetação dinâmica, usando os esquemas convectivos de Grell (RegGrell) e Emanuel (RegEmanuel). Os autores encontraram que o RegEmanuel mostrou melhorias na representação dos fluxos de superfície, resultando em temperatura e precipitação semelhante ao observado (ERA-Interim) no período seco, enquanto que a concordância do RegGrell com a observação é grande durante o verão.

1.1 Objetivos:

O objetivo geral é avaliar subjetivamente a performance das simulações do modelo climático regional RegCM4 em representar os padrões de precipitação sazonal do período chuvoso sobre a Amazônia durante eventos de El Niño.

Os objetivos específicos são:

- Analisar os padrões oceânicos e de convecção tropical nos eventos El Niño registrados em 1998 e 2010;
- Verificar a performance do modelo em representar o comportamento da precipitação sazonal do período chuvoso sobre a Amazônia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados observados

Os dados observacionais de precipitação foram obtidos das estimativas de chuva do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), descritos por Huffman et al. (2007). Estes dados são gerados através de métodos de combinação de estimativas de precipitação multi-espectral disponíveis numa escala horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ para uma grade global no período de 1998 a 2012.

Usam-se ainda os dados mensais de temperatura da superfície do mar - TSM (REYNOLDS et al., 2002) e de radiação de ondas longas - ROL (Liebmann e Smith, 1996), disponíveis numa grade global com resolução horizontal de 2.5° (~ 280 km) em latitude e longitude para o mesmo período dos dados de precipitação. Os dados de TSM visam a investigação dos mecanismos climáticos tropicais sobre os oceanos Pacífico e Atlântico, enquanto que os de ROL fornecem uma estimativa da atividade convectiva associada a sistemas de nuvens que induzem a ocorrência de precipitação. Ambos os dados do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

2.2 Modelo climático regional (RegCM4)

Utiliza-se a quarta versão do Modelo Climático Regional (RegCM4 – Regional Climate Model version 4) descrita em detalhes por Giorgi et al. (2012) , cujo código fonte é mantido em constante aprimoramento atualização pelo *International Centre for Theoretical Physics* – ICTP (<http://gforge.ictp.it/gf/project/regcm/>). O RegCM foi desenvolvido pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR), a partir do modelo atmosférico Mesoscale Model version 4 (MM4) (ANTHES et al., 1987). A história da evolução das versões do RegCM até a terceira versão é apresentada em Pal et al. (2007). A base da dinâmica do RegCM4 é semelhante ao RegCM versões 2 e 3 (GIORGI et al., 1993a; GIORGI et al., 1993b; PAL et al., 2007; GIORGI et al., 2012), ou seja, é um modelo hidrostático, compressível, em coordenada vertical sigma-p e grade Arakawa B.

O RegCM4 incluiu o esquema de interação biosfera-atmosfera o Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) (DICKINSON et al., 1993) para representar processos de superfície, ou seja, interação solo-planta-atmosfera. O BATS descreve a transferência de energia, massa e momento entre a atmosfera e a biosfera. Nesta versão do modelo foram adicionadas ao BATS dois novos tipos de uso da terra para representar ambientes urbanos e suburbanos, e a opção do Community Land Model, uma parametrização baseada em biogeofísica para descrever as trocas de energia, momento, água e carbono entre terra e atmosfera (GIORGI et al., 2012).

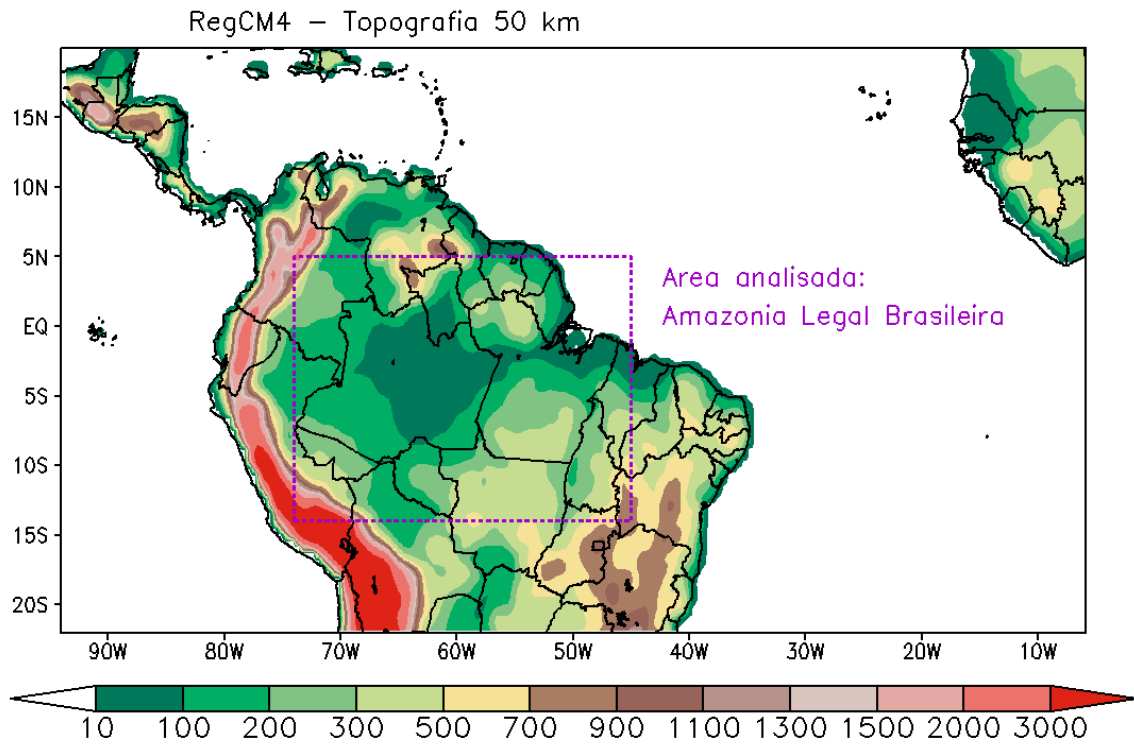
A precipitação de grande escala que é resolvida na escala da grade é representada pelo Subgrid Explicit Moisture Scheme (SUBEX) (PAL et al., 2007). O SUBEX considera a variabilidade da nuvem em escala de subgrade e inclui auto conversão da água da nuvem em água da chuva, o acréscimo das gotículas de nuvem pelas gotas de chuva caindo, e a evaporação dessas gotas de chuva. A cobertura de nuvem é calculada a partir da umidade relativa e a nuvem se forma quando a umidade relativa excede um determinado limiar. Em adição, o limiar de água líquida na nuvem para formação de chuva é baseado em observações empíricas de quantidade de água líquida na nuvem.

Os esquemas de parametrização convectiva usados são o Grell com fechamento Fritsch-Chapell, MIT-Emanuel e o Tiedke.

As simulações regionais com o RegCM4 para o presente trabalho foram geradas num domínio centrado na Amazônia (4S-59W), utilizando a projeção Mercator normal com 192/96/18 pontos na direção zonal/meridional/níveis verticais, espaçamento de grade de 50 km e passo de tempo de 30 minutos. O modelo foi inicializado com as condições de contorno laterais de 6/6 horas provenientes do ERA-Interim (Simmons et al., 2007) e dados mensais de TSM OISST (REYNOLDS et al., 2002). O período de simulação ou integração do modelo foi de 13 meses, iniciando em dezembro de 1997 e finalizando em 31 de dezembro de 1998, sendo que o primeiro mês foi considerado como *spin-up* (descartado) e assim tem-se disponível 12 meses (Janeiro a Dezembro de 1998) de dados simulados pelo RegCM4. O mesmo procedimento foi feito para o ano de 2010. Para cada ano (1998 e 2010) foram feitas as rodadas usando os três esquemas de chuva convectiva (Grell, MIT e Tiedke), com a finalidade de verificar qual esquema representa melhor os dados observados.

A Figura 1 ilustra o domínio usado nas simulações com o RegCM4 englobando grande parte da América do Sul e oceano Atlântico tropical, sendo que as análises serão feitas na região da Amazônia legal, destacada no quadrado pontilhado na Figura 1.

Figura 1 – Domínio geográfico do modelo RegCM4 na resolução horizontal de 50 km, mostrando a topografia (m). O quadrado destacado na linha pontilhada em roxo é a área da Amazônia Legal Brasileira analisada no presente estudo.



Fonte: do autor

O seguinte procedimento de análise foi adotado:

Foram plotados os mapas sazonais de chuva observada do TRMM e da chuva simulada pelo RegCM4 usando os esquemas Grell, MIT e Tiedke. As análises comparativas serão subjetivas, ou seja, através da inspeção visual de cada mapa de chuva observada e simulada com a finalidade de se verificar a performance do modelo em representar os dados observados. Neste trabalho, o foco é a investigação do comportamento da precipitação sazonal do período chuvoso, ou seja, durante os trimestres de dezembro a fevereiro (DJF) e março a maio (MAM).

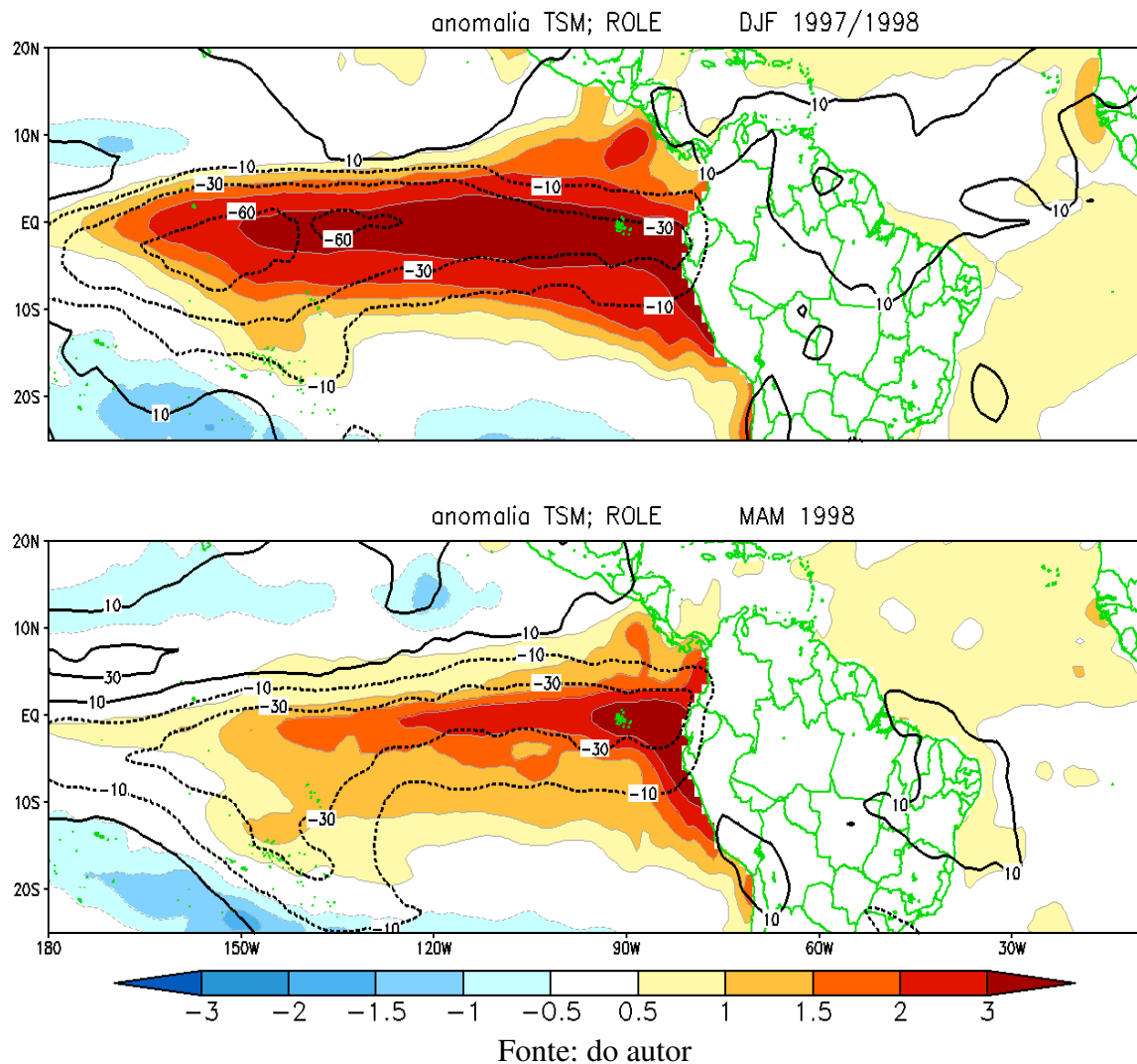
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Padrões de TSM e Rol tropical

As Figuras 2 e 3 mostram os dois episódios de El Niño estudados, 1997/1998 e 2009/2010.

A Figura 2 mostra o primeiro evento de El Niño estudado para as anomalias de TSM (shaded) e anomalias de ROL (isolinhas), nos trimestres de DJF (1997/1998) (mapa acima) e de MAM (1998) (mapa abaixo). Observa-se a configuração do fenômeno El Niño com a presença de anomalias positivas de TSM atingindo a intensidade bem forte (3°C) sobre a porção tropical centro-leste do Oceano Pacífico durante o trimestre DJF e MAM, tendo DJF uma proporção muito mais ampla. Em MAM as anomalias são mais intensas na porção leste da bacia, próxima à costa do Equador e Peru, e sua proporção é pequena. Sobre o Atlântico tropical notam-se padrões bem pequenos positivamente, praticamente neutros em DJF e MAM. Analisando as anomalias de ROL (isolinhas) na Figura 2, em DJF verifica-se a presença de anomalias negativas elevadas sobre a região de TSM anormalmente aquecida no Pacífico tropical. Particularmente sobre a Amazônia, na área de atuação da ZCIT, percebe-se a manifestação de uma grande área contendo anomalias positivas de ROL nos meses de DJF, indicando a inibição da atividade convectiva (formação de nuvens) que acarretam em condições de chuva abaixo da média. Em DJF e MAM percebem-se anomalias positivas de ROL nas limitações da área de estudo e principalmente no Oceano Atlântico. Sendo assim, o comportamento anômalo da TSM irá influenciar nas circulações de grande escala, isto é, nos padrões de Walker, proporcionando movimentos subsidentes significativos principalmente na Amazônia oriental e no Nordeste Brasileiro (conforme Fig.1 de SOUZA et al., 2005). No oceano Atlântico em geral, nota-se apenas anomalias de TSM nas quais não configuram a ocorrência de Dipolo, e também a existência da alta subtropical, no qual está de acordo com a ausência de nebulosidade, e pela ocorrência de chuva nas áreas continentais, próximo a região de estudo.

Figura 2 – Anomalias de TSM (shaded, °C) e ROL (isolinha, W/m²) sazonal observados em DJF de 1997/1998 (mapa acima) e MAM de 1998 (mapa abaixo).

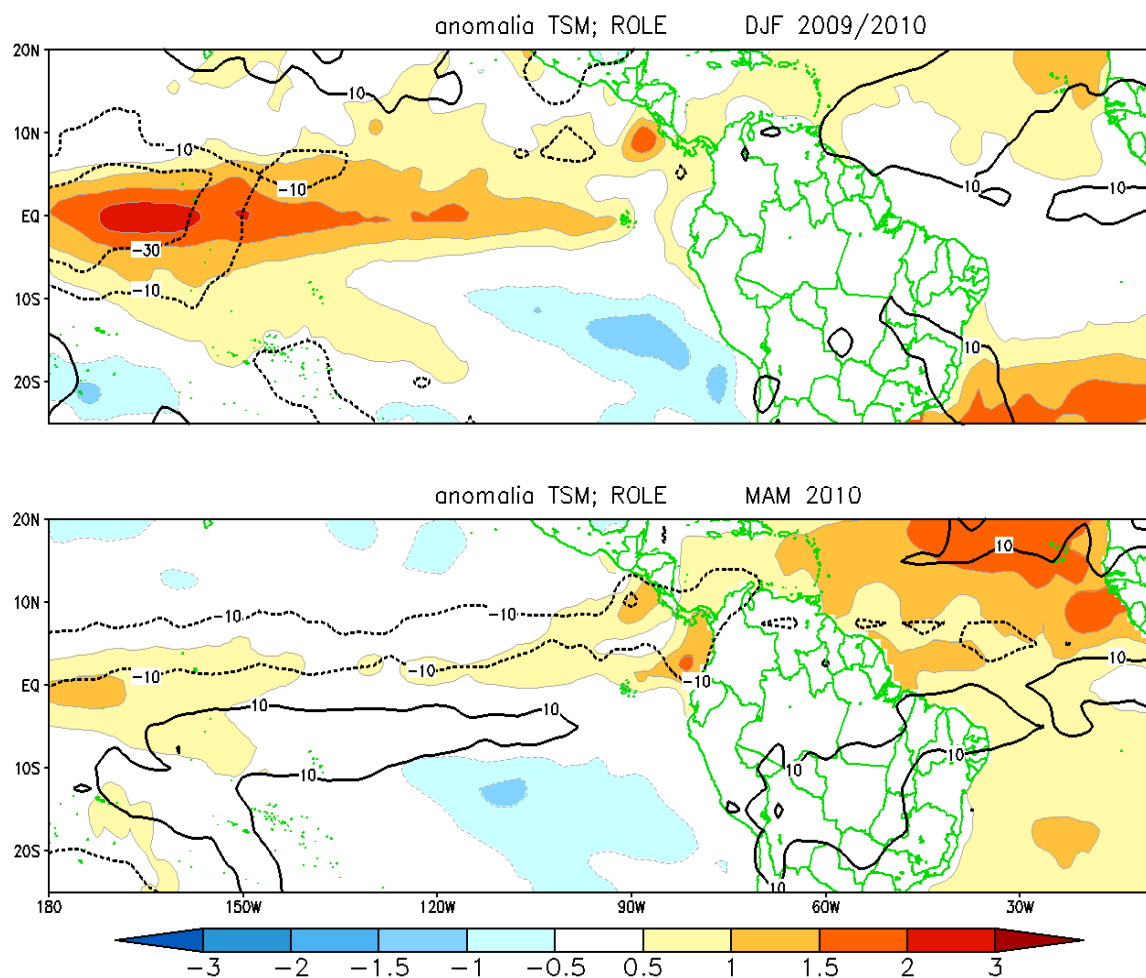


Fonte: do autor

A Figura 3 mostra o segundo evento El Niño para as anomalias de TSM (shaded) e anomalias de ROL (isolinhas), nos trimestres de DJF (2009/2010) (mapa acima) e de MAM (2010) (mapa abaixo). Observa-se a configuração do fenômeno El Niño com a presença de anomalias positivas de TSM atingindo intensidade forte (2°C) sobre a porção central do Oceano Pacífico durante o trimestre DJF. Sobre o Oceano Atlântico percebem-se anomalias positivas na bacia norte e condições de neutralidade (áreas brancas) na bacia sul. Em MAM a configuração do El Niño diminui e as anomalias positivas ficam restritas a uma faixa zonal bem estreita ao longo do equador, com valores em torno 0,5°C até 1°C. No Oceano atlântico as anomalias positivas se intensificam para valores de até 2°C em toda a bacia norte, enquanto que a bacia sul apresenta anomalias positivas fracas entre 0.5 e 1°C.

Em relação aos valores de ROL em DJF, percebe-se ausência da anomalia no Pacífico leste e presença de anomalias negativas no Pacífico oeste, coincidente com a área de maior aquecimento (anomalias positivas de TSM). Sobre a Amazônia e na área de atuação da ZCIT no Atlântico equatorial não observam-se anomalias de ROL. Em MAM percebem-se anomalias negativas de ROL na faixa equatorial do Pacífico e também numa faixa estreita sobre o Atlântico norte em torno de 10°N. Anomalias positivas de ROL predominam na Amazônia oriental e no Nordeste do Brasil. Em geral no oceano Atlântico, nota-se novamente anomalias de TSM, um pouco mais intensas positivamente, no entanto não configuram ou correspondem a existência do Dipolo. Percebe-se também pela ausência do ROL, que a alta subtropical está presente, favorecendo o deslocamento de massa para a região amazônica.

Figura 3 – Anomalias de TSM (shaded, °C) e ROL (isolinha, W/m^2) sazonal observados em DJF de 2009/2010 (mapa acima) e MAM de 2010 (mapa abaixo).



Fonte: do autor

3.2 Precipitação sazonal

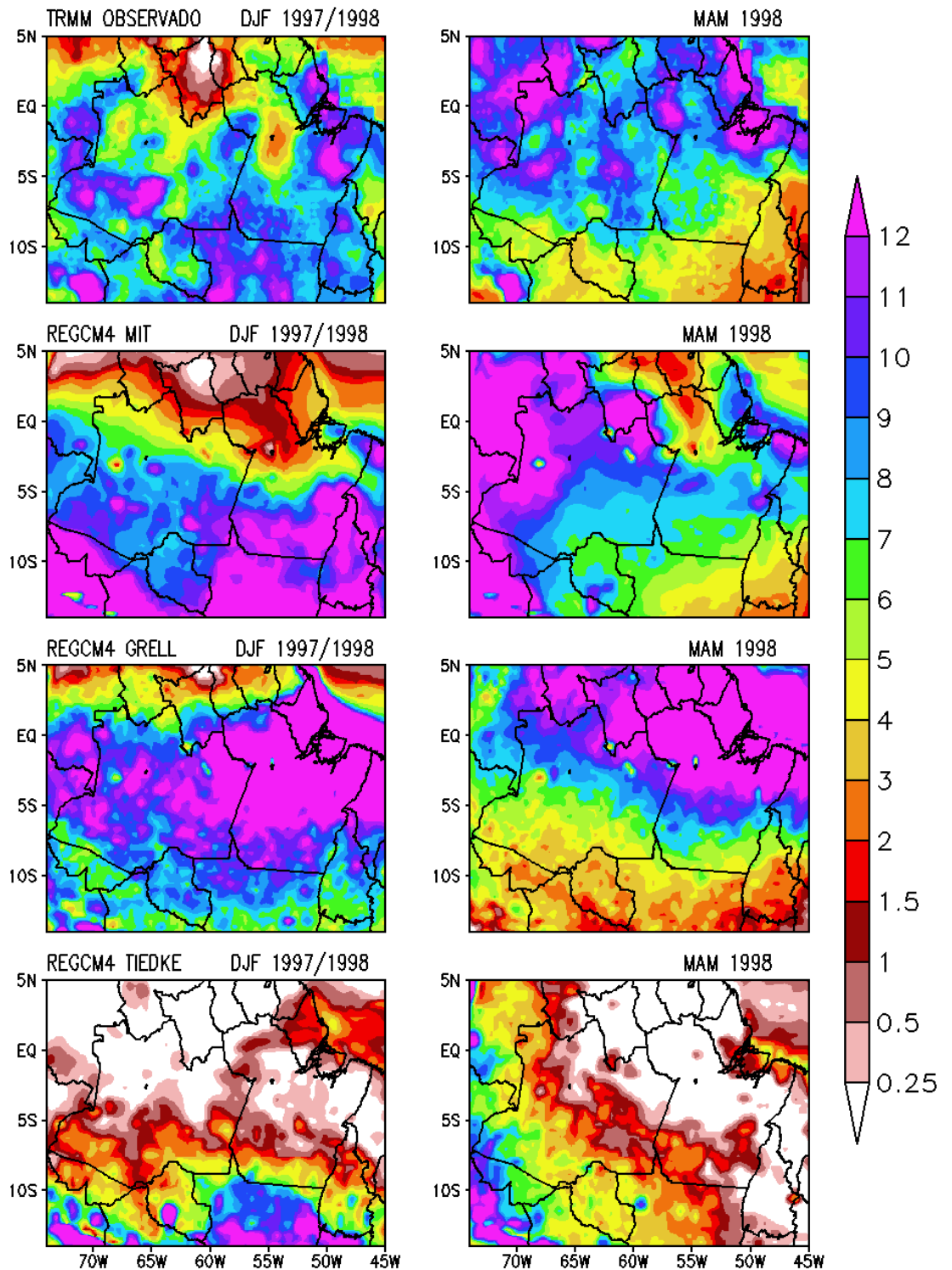
No esquema Grell (1993) as nuvens são representadas por correntes ascendentes (updraft) e descendentes (downdraft) que só se misturam no topo e na base da nuvem de modo que o fluxo de massa nas correntes é constante com a altura. O entranhamento e desentranhamento do ar ocorrem ao longo das bordas da nuvem. O esquema convectivo de MIT-Emanuel utiliza a física de forma mais realista, sendo uma parametrização de convecção cumulus com modificações bem atuais para o modelo RegCM4. Este esquema considera que a mistura nas nuvens é altamente heterogênea, cujos fluxos convectivos são reflexos de um modelo de correntes ascendentes e descendentes de escalas de sub-nuvens (EMANUEL, 1991). A convecção inicia quando o nível de convecção livre 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 precipitação, enquanto a outra parte restante forma nuvem (EMANUEL; ZIVKOVIC-ROTHMAN, 1999). O esquema proposto por Tiedke (1989) é um simples esquema de convecção de fluxo de massa. Nessa formulação a convecção ocorre num conjunto de nuvens com equações específicas para o transporte vertical (nas correntes ascendentes e descendentes) de massa, calor e umidade. O fluxo de massa na base da nuvem é controlado pela convergência de umidade em grande escala na camada entre a superfície e a base da nuvem.

As Figuras 4 e 5 mostram os mapas de precipitação sazonal observada (TRMM) e simulada pelo RegCM4 usando os três esquemas convectivos (Grell, MIT e Tiedke) para os dois episódios El Niño.

A Figura 4 mostra os padrões observados de precipitação no período El Niño de 1997/1998 através do TRMM e os resultados gerados pelo modelo em cada esquema convectivo. Em DJF, nota-se a diminuição nas chuvas ao norte da Amazônia, principalmente nos estados do Amazonas e Pará e em MAM os valores menores ocorrem em toda a porção centro-sul dos estados da Amazônia. Observa-se que o esquema convectivo de Grell nos dois períodos sazonais (DJF e MAM) superestimou muito a precipitação em relação aos valores observados na parte central da Amazônia, do Equador a 5°S para DJF, englobando quase todo o estado do Pará, todo o Amapá e maior parte do Amazonas e de 5°S a 5°N em MAM, englobando o norte do Pará e do Amazonas e novamente todo o Amapá. Para este período

(MAM). Ao contrário, o esquema convectivo de Tiedke apresentou subestimativa comparado aos valores observados nos dois períodos sazonais. O esquema de MIT-Emanuel foi o que mais se aproximou do observado em relação aos dois períodos (DJF e MAM). Em um estudo utilizando o RegCM3 Souza et al. (2009) e de Silva et al. (2010), o esquema convectivo de MIT-Emanuel se mostrou o mais realista em relação aos dados observacionais estudados sobre a região amazônica.

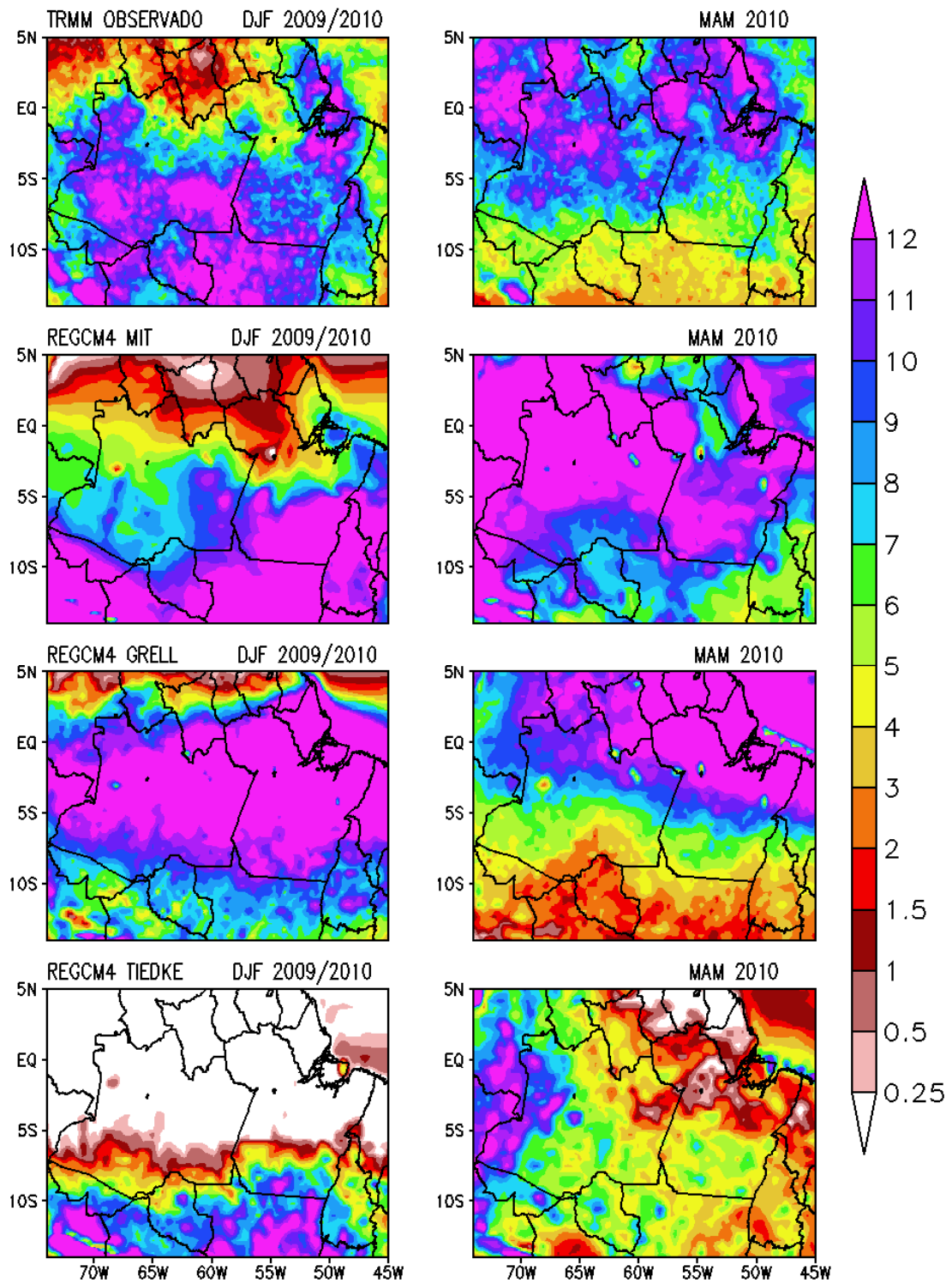
Figura 4 – Precipitação (shaded, mm/dia) sazonal observados em DJF de 1997/1998 (mapa à esquerda) e MAM de 1998 (mapa à direita).



Fonte: do autor

A Figura 5 mostra os padrões observados de precipitação no período El Niño de 2009/2010 através do TRMM e os resultados gerados pelo modelo em cada esquema convectivo. Em DJF, a precipitação se fez mais intensa na parte sul da região amazônica e em alguns pontos ao norte do Pará e Amazonas. Em MAM, nota-se o inverso, valores intensos, porém desfragmentados, encontram-se ao norte da região amazônica. Percebe-se novamente que o esquema convectivo de Grell, nos dois períodos sazonais (DJF e MAM), superestimou a precipitação em relação aos valores observados. No entanto, para MAM a simulação se mostrou mais próxima do observado em relação aos demais esquemas convectivos. A superestimativa foi na parte central da Amazônia, de 5°N até aproximadamente 10°S para DJF, englobando quase todo o Estado do Pará, do Amazonas e todo o Estado do Amapá e para MAM, de 5°N até aproximadamente 5°S englobando o norte do Pará e do Amazonas e todo o Estado do Amapá. Ao contrário, o esquema convectivo de Tiedke subestimou comparado aos valores observados, para o período de DJF. Para MAM, a simulação mostrou uma precipitação com valores medianos por toda a região de estudo. O esquema de MIT-Emanuel foi o que mais se aproximou do observado comparado aos demais esquemas.

Figura 5 – Precipitação (shaded, mm/dia) sazonal observados em DJF de 2009/2010 (mapa à esquerda) e MAM de 2010 (mapa à direita).



Fonte: do autor

4 CONCLUSÕES

Dos três esquemas convectivos (Grell, MIT- Emanuel e Tiedke) usados nas simulações com o modelo RegCM4, para o período de 1997/1998 nas duas sazonalidades (DJF e MAM), MIT- Emanuel foi o que mais se aproximou do valores observacionais do TRMM, em seguida vem Grell que superestimou muito os valores de precipitação e por último Tiedke que subestimou demais os valores. Nos dois períodos, MIT- Emanuel e Grell, mostraram um bom desempenho comparados aos valores observacionais, porém MIT- Emanuel se mostrou adequado apenas para os meses DJF e em MAM a simulação superestimou além do normal, enquanto que o esquema de Grell para os meses MAM se mostrou bem semelhante ao observacional. O esquema convectivo de Tiedke não foi adequado para nenhum período, pois subestimou de maneira elevada, chegando ao ponto de zerar a precipitação em áreas nas quais as características termodinâmicas não são favoráveis a tal situação mesmo no período de estudo (El Niño). Portanto, de forma geral, a melhor performance do RegCM4 foi através do esquema convectivo de MIT- Emanuel em relação ao período estudado.

As anomalias de TSM no Atlântico, mostraram que de fato não ocorreu Dipolo, e que tais variações sem dúvida estão relacionadas com a dinâmica do escoamento na atmosfera, como é o caso da alta subtropical, influenciando no deslocamento de massa para a região de estudo, favorecendo assim a ocorrência de precipitação em alguns pontos na mesma área.

Os Estados que mais se aproximaram da realidade em relação às simulações no período estudado foram Pará, Amazonas, Amapá, Acre e Tocantins. Os valores de precipitação ficaram de acordo com as características reais em relação aos dados observacionais.

É importante observar que o presente estudo, se tratou apenas de uma análise de caso, sendo assim, não seria apropriado generalizar tais resultados para todos os eventos El Niño, sendo necessário mais simulações e mais casos para aprofundar as análises.

REFERÊNCIAS

- ANTHES, R.; HSU, E. Y.; KUO, Y. H. Description of the penn state/ncar mesoscale model version 4 (mm4). *NCAR Tech. Note*, NCAR/TN-282+STR, p. 66p, 1987.
- 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. Biosphereatmosphere-transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to NCAR Community Climate Model. *NCAR Tech. Note*, Natl. Cent. For Atmos. Res., Boulder, Colorado., 1993.
- EMANUEL, K. A. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal Atmospheric Sciences*, v. 48, 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.; MARINUCCI, M.; BATES, G. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*; (United States), v. 121, n. 10. 1993a.
- GIORGI, F.; MARINUCCI, M.; BATES, G.; De Canio, G. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 121, n. 10, p. 2814-2832, 1993b.
- GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G.; NAIR, V.; GIULIANI, G. et al. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim. Res*, v. 52, p. 7-29. 2012.
- GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *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.
- 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.
- LLOPART, M.; ROCHA, R. P. da. CLM Coupled in the RegCM4. 1 Model: Sensitivity to the Cumulus Convective Schemes over the Amazon Rainforest. In: EGU GENERAL ASSEMBLY *Conference Abstracts*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 14, p. 6386.

MADDEN R.A.; JULIAN, P.R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation - review. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 814-837, 1994.

OYAMA, M. Erros sistemáticos no clima da região tropical da América do Sul simulado pelo modelo regional MM5 em baixa resolução horizontal. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 1, p. 118-133. 2006.

PAL, J. S.; GIORGI, F.; BI, X.; ELGUINDI, N.; SOLMON, F.; GAO, X.; RAUCHER, S. A.; FRANCISCO, R. A.; ZAKY, A.; WINTER, J.; AHFAQ, M.; SYED, F. S.; BELL, J. L.; DIFFENBAUGH, N. S.; ARMACHARYA, J. K.; KONAR_E, A.; MARTINEZ, D.; ROCHA, R. P. da; SLOAN, L. C.; STEINER, A. L. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. *American Meteorological Society*, v. 88, p. 1397-1409, January 2007.

PHILANDER, S.G. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. San Diego, California: Academic press, INC. 1990.

ROCHA, R. da; MORALES, C.; CUADRA, S.; AMBRIZZI, T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over south America: An evaluation of regional climate model version 3 simulations. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 114, n. D10, p. D10108. 2009.

ROPELEWSKI C. F. , HALPERT M. S. Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. Washington, D.C.: *Climate Analysis Center*, 1992.

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.

SILVA, D. F. da et al. Observações e simulações de precipitação com o RegCM3 no leste da Amazônia, nos anos de 1997 a 2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-PA. *Anais...* Belém-PA: SBMET, 2010.

SOUZA, E.B. de; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 81, p. 177–191. 2005.

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; KAYANO, Mary T ; TOTA, Julio ; PEZZI, Luciano P ; FISCHER, Gilberto ; NOBRE, Carlos . On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, Brasil, v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.

SOUZA, E. B. de; ROCHA, E. J. P. Diurnal variation of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristic and extremes events. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3a, p.142-152. 2006.

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 et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, p.111-124. 2009.

STEINER, A. L. et al. Land surface coupling in regional climate simulations of the West African monsoon. *Climate Dynamic*, 33, p.869-892. 2009.

TIEDKE, M. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1779-1800. 1989.