

MODELO DE PREVISÃO NUMÉRICA PARA AVALIAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS EM PROCESSOS CONVECTIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Alvaro José Reis Ramos¹; Nisia Krusche²; Andreone Marcelo Ferreira de Almeida³; Juliana Costi⁴; Wiliam Correa Marques⁵

¹ Mestrando em Modelagem Computacional. Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
alvaroramos85@hotmail.com

² Doutorado em Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
nkrusche.furg@gmail.com

RESUMO

Diante da importância evidente acerca das previsões climáticas em diferentes aspectos, o presente estudo busca realizar contribuições relativas ao uso de modelos para previsão numérica em diferentes cenários climáticos referentes à pluviosidade média da região pertencente à Amazônia oriental, para tanto, foi utilizado o modelo global aderido à plataforma EDGCM 04 (*Educational Global Climate Modeling*) visando elaboração das simulações em diferentes condições forçantes para o período de 2041 a 2070. No trabalho, foram empregados produtos de reanálise do NCEP derivado do CPC (*Climate Prediction Center*) e condições de contorno iniciais provenientes do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). As informações adquiridas após o processamento de dados e elaboração das simulações permitem descrever diminuições nos índices pluviométricos locais para a região de estudo, sobretudo nas porções sul e sudeste do estado do Pará, onde as diferenças sugerem reduções de 0.14 a 0.77 mm/dia em taxas de chuvas anuais nos cenários considerados críticos. As condições previstas demonstram situações atmosféricas incomuns para a região avaliada, revelando possibilidades de profundas estiagens em porções do estado, e preconizam medidas que busquem amenizar tais evidências. Se ressalta a volubilidade dos modelos globais para este tipo de estudo, e a consideração de fatores extrínsecos ao movimento de massas atmosféricas e equações de movimento gerais, mas que demonstram certa preponderância nos processos convectivos na região amazônica.

Palavras-chave: Modelagem numérica. Precipitação. Previsão climática.

Área de Interesse do Simpósio:
Mudanças Climáticas.

1. INTRODUÇÃO

Segundo De Souza et al. (2009), uma das características singulares do clima na Amazônia é a existência de um amplo espectro de alternâncias no espaço e tempo da atividade convectiva tropical e precipitação, onde estes se notabilizam como as variáveis climáticas consideráveis da região. Autores como Correia et al.(2007) e Machado et al. (2004) evidenciam que, os sistemas meteorológicos precipitantes região amazônica ocorrem em escalas distintas de tempo-espaço, salientando como principais componentes: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Linhas de Instabilidade (LI), Sistemas Frontais (SF) e Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN).

A respeito da dinâmica climática tropical, é observado que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa amazônica é modulada principalmente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, estes por sua vez, se encontram relacionados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional interhemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Atlântico intertropical (De Souza et al., 2000). Diante da importância das características pluviométricas na região, o autor salienta que as previsões climáticas, principalmente por meio de modelos numéricos globais, atuam como ferramentas importantes no planejamento socioeconômico regional, avaliando tendências mitigatórias e no uso de recursos financeiros, além de componentes ligadas aos recursos naturais.

Diferentes estudos buscam realizar abordagens gerais acerca da importância dos índices pluviométricos na dinâmica global e possíveis previsões referentes a esta variável, se destacando os modelos globais e regionais através de simulações numéricas, tais modelos são descritos por Liang et al.(2006) como ferramentas capazes de evidenciar os efeitos de alterações em diferentes variáveis, passando a gerar informações relacionadas aos Modelos de Circulação Geral (MCG). Para Quian et al. (2003) os MCG da atmosfera que apresentam domínios globais, possuem algumas deficiências na previsão climática diante da baixa resolução na qual trabalham, ressaltando contudo que, os MCG são capazes de representar satisfatoriamente os sistemas em grandes escalas, responsáveis por variabilidades de pluviometria e temperatura no globo, como a ZCIT, demonstrando contudo algumas limitações por não retratar de modo razoável variáveis importantes nos processos em escala regional, como os efeitos de brisa marítima por exemplo.

Diante do exposto o presente estudo tem por objetivo avaliar as mudanças nos padrões de pluviosidade média na região intertropical amazônica, abordando os domínios pertencentes à Amazônia oriental, utilizando o modelo EDGCM 04 (*Educational Global Climate Modeling*) para geração de modelos climáticos globais de previsão numérica em diferentes cenários, caracterizando o padrão sazonal da estação chuvosa para a região Amazônica e possíveis tendências futuras.

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo ocorreu na porção oriental amazônica, em regiões pertencentes ao estado do Pará, localizado na região norte do país. É o segundo maior estado brasileiro totalmente situado na Amazônia Legal. Em termos populacionais o estado possui cerca de 7.581.051 habitantes e uma área total de 1.247.689,515 km². É formado por 144 municípios, contando com o recém-formado município de Mojuí dos Campos, desmembrado do município de Santarém. O Pará faz fronteira com Suriname e o Amapá ao norte, o oceano Atlântico a nordeste, o Maranhão a leste, Tocantins a sudeste, Mato Grosso a sul, o Amazonas a oeste e Roraima e a Guiana a noroeste (Luz et al., 2013).

2.2 MODELO CLIMÁTICO GLOBAL

Para elaboração das simulações referentes ao modelo climático global foi utilizado o projeto apoiado no EDGCM (*Educational Global Climate Modeling*), desenvolvido pela Universidade de Columbia, e que objetiva oferecer recursos que viabilizem a previsão de mudanças climáticas globais em caráter acadêmico, gerando informações acessíveis e permitindo o fomento de discussões acerca de possíveis situações futuras encontradas em diversos cenários de experimentos climáticos.

No equacionamento do modelo numérico, as simulações são baseadas em equações físicas fundamentais, não buscando estabelecer as relações de causa e efeito, mas explorar seus mecanismos utilizando medição de temperatura (T), pressão (P), ventos (U, V, W) e umidade específica(Q), além de equações baseadas em modelos teóricos utilizadas para parametrização de diferentes variáveis, como exemplo das interações de radiação.

O modelo climático utilizado pela plataforma foi desenvolvido no Instituto Goddard para Estudos Espaciais (NASA/GISS), no qual estabelece a superfície terrestre como pontos de grade, possuindo 7776 células e cada coluna horizontal correspondendo a 08° de latitude por 10° de longitude e contendo 09 camadas verticais. O modelo busca resolver numericamente as equações fundamentais que descrevem a conservação de massa, momento e energia das células, observando o transporte de quantidade entre as grades. Posteriormente, utiliza a lei dos gases ideais para relacionar a pressão à temperatura, duas das mais importantes variáveis.

O MCG descreve um modelo de equações físicas fundamentais da atmosfera terrestre, as soluções numéricas buscam descrever o estado evolutivo da atmosfera, sendo a conservação de massa (1), conservação de energia (2), conservação de momento (3), conservação da umidade (4) e lei dos gases ideais (5) as mais importantes descritas, esta última visando aproximar a equação de estado.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -(V \cdot \nabla)V - \rho(\nabla - V) \quad (1)$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -c_p \rho (V \cdot \nabla)T - \nabla \cdot R + \nabla \cdot (K \nabla T) + C + S \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -(V \cdot \nabla)V - \frac{1}{\rho} \nabla p - g - 2\Omega \cdot V + \nabla(K \nabla V) - Fd \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -(V \cdot \nabla)q + \nabla \cdot (K \nabla q) + Sq + E \quad (4)$$

$$p = \rho R d T \quad (5)$$

Onde: V corresponde à velocidade; T = temperatura; p = pressão; ρ = densidade; q = umidade específica; g = gravidade; Ω = rotação da terra; Fd = força de arrasto da terra; R = vetor radiação; C = aquecimento condutivo; c_p = capacidade de calor; E = evaporação; S = calor latente; Sq = fonte de mudança de fase; K = coeficiente de difusão e Rd = constante de gás em ar seco.

2.3 CONDIÇÕES INICIAIS E FORÇANTES CLIMATOLÓGICAS

Para inicialização das simulações é necessário indicar o estado inicial do sistema para geração do modelo, observando a atmosfera, os principais componentes iniciais os quais devem ser avaliados são as condições locais de temperatura, pressão, ventos e umidade, pequenas alterações em qualquer variável permite a obtenção de diferentes cenários globais. O EDGCM

utiliza componentes de médias mensais obtidos a partir de 1958, no presente estudo o cenário padrão corresponde aos intervalos de 1981 a 2010 para simulação inicial controle, tendo as variáveis do ano de 1980 como componentes iniciais para discretização de cenários.

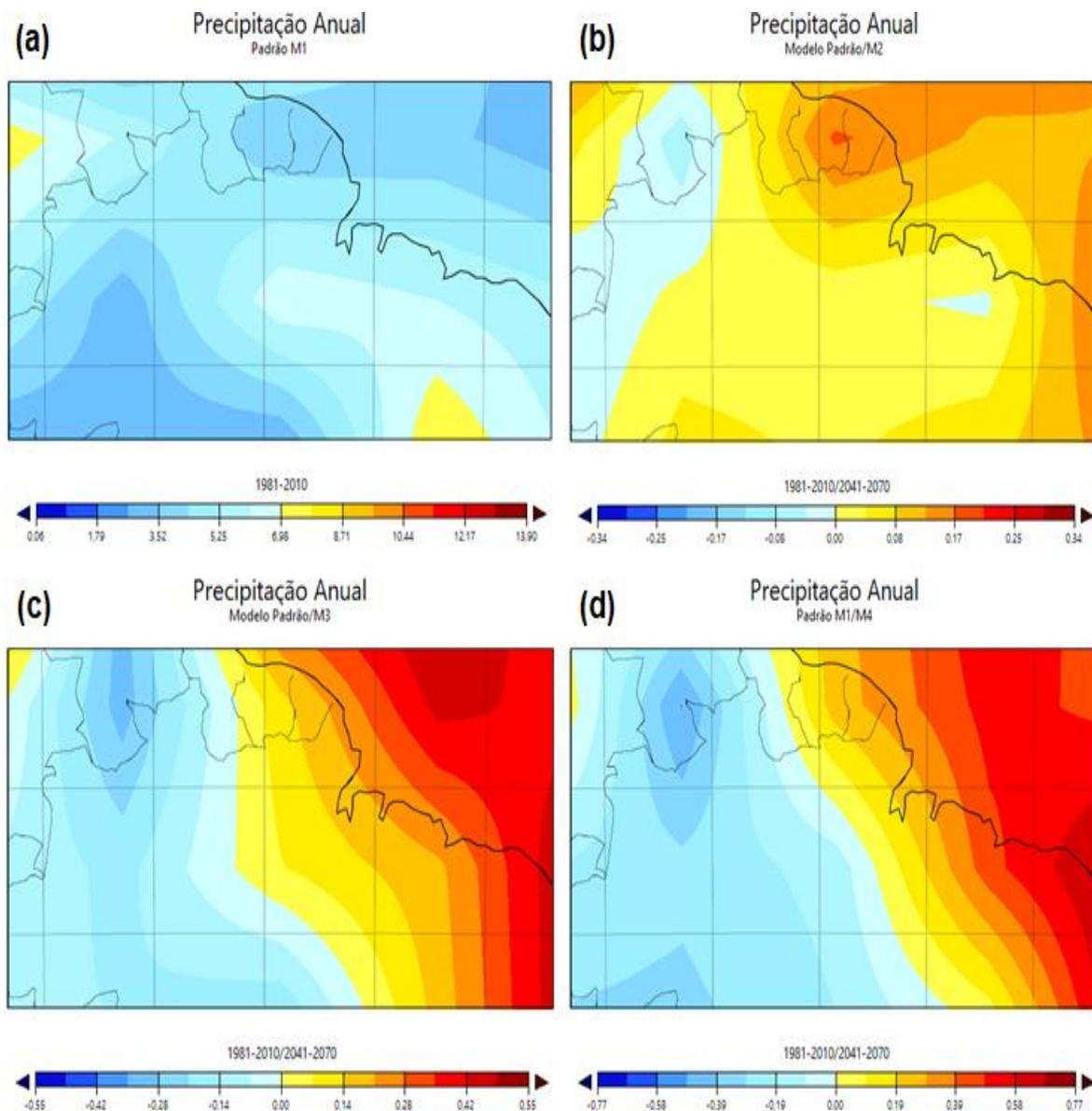
A posteriori, o experimento denota a utilização de forçantes climatológicas, tais variáveis devem ser fornecidas adequadamente, e posteriormente serão calculadas numericamente, observando fenômenos que alteram os padrões globais normais, como o aquecimento global, modificando seus valores ao longo do tempo de simulação, provocando alterações nas diferentes variáveis especificadas. Neste aspecto, o modelo especificado utilizado no estudo descreve forçantes atmosféricas onde valores de CO₂ corresponderam a 337,9 ppm, N₂O a 0,3005, Tricloromonofluormetano igual a 0,1657 ppt, Diclorodifluorometano de 0,2988 ppt, luminosidade de 1366,6693 W/m², para uma excentricidade 0,0167 e inclinação axial de 23,44. As simulações foram rodadas utilizando produtos de reanálise do NCEP derivado do CPC (*Climate Prediction Center*) apresentando contorno lateral de 6 horas, armazenados em formato NetCDF e distribuídas sobre grades gaussianas de cobertura espacial 192x94, buscando estabelecer modelos para 03 diferentes cenários sob forçantes adquiridas a partir de relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de precipitação climatológica controle, simulada para a região da Amazônia oriental, demonstra médias diárias aparentes localizadas no intervalo entre 5.25 e 8.60 mm/dia, tais padrões são os cenários comumente encontrados para o local, o qual demonstra duas estações anuais definidas, caracterizadas como verão e inverno amazônicos.

A figura 01 expõe os mapas climatológicos de precipitação durante os períodos de análise e cenários futuros, avaliando as configurações anuais observadas, demonstrando os padrões constatados entre 1981-2010 denominado grupo de controle M1 e as possíveis situações em diferentes cenários regulados de 2041-2070.

Figura 1 - Modelos de diferenças na precipitação anual (mm/dia) onde: (a) Grupo controle M1 1981-2010, (b) Cenário de diferença entre M1 e M2, (c) Cenário da diferença M1/M3 e (d) Cenário com alterações abruptas nas forçantes (M4) e diferenças M1/M4.



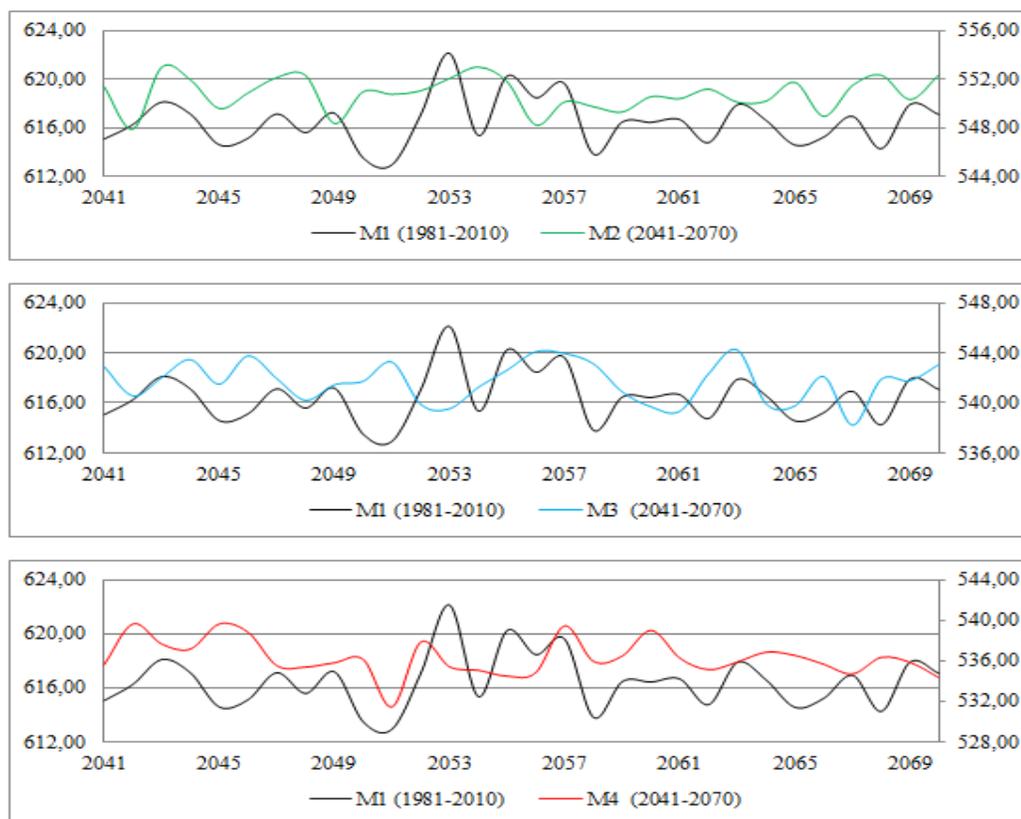
Fonte: do autor (2018).

Para De Souza e Ambrizzi (2003), tais situações podem ser explicadas primeiramente por influências da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que apresenta maiores frequências durante os meses de dezembro a janeiro, passando a influenciar fortemente o regime de precipitação na Amazônia, caracterizando deste modo o início da estação chuvosa. Para a estação considerada

verão, o modelo obtido evidencia que o regime pluviométrico revela propriedades inteiramente zonais, indicando concentração de chuvas em locais restritos, distribuídas prioritariamente nas porções costeiras do estado, onde é possível constatar os maiores valores médios desta variável; circunstância também encontrada por De Souza et al. (2004), em estudo que buscava abordar a dinâmica de variabilidade no regime de precipitação na Amazônia oriental, concluiu que a concentração de elevados índices pluviométricos em suas faixas litorâneas possui profundas relações com a Zona de convergência intertropical nas quais, segundo os mesmos autores, o posicionamento central das bandas de nebulosidade tropical se encontram posicionadas nas latitudes equatoriais durante estes meses.

Relacionado ao conjunto de informações obtido analisando diferentes cenários futuros para o território, são verificadas expansão de zonas contendo baixas pluviométricas a partir da intensificação das forçantes climatológicas simuladas (figura 02), sobretudo nos trimestres que abrangem os meses de Janeiro, Fevereiro e Março. Contudo, o fenômeno inverso ocorre na porção costeira nordeste do estado do Pará. Tais ponderações corroboram com informações encontradas por DE SOUZA et al. (2012) em pesquisa que buscava avaliar o comportamento sazonal da precipitação sobre a Amazônia legal brasileira utilizando o modelos REGCM4, indicando que para os dois trimestres do período considerado chuvoso, são demonstradas intensificações no regime de precipitação, onde seus percentuais variam entre +5% e +15% sobre os estados do Acre, Amazonas, Pará e Maranhão, para Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Observando também relativa retração destas áreas espaciais no trimestre pertencente a Março, Abril e Maio, no qual o modelo indica aumento da precipitação de até +10% no norte do Amazonas e nordeste do Pará. Contudo, análogo a isto, o modelo indica diminuição da precipitação em Dezembro, Janeiro e Fevereiro na porção nordeste do Mato Grosso, sendo que essa área pode se expandir e intensificar o fenômeno.

Figura 2 - Representação das condições simuladas para precipitação anual encontradas para os modelos padrão M1, M2, M3 e M4.



Fonte: do autor, 2018.

As análises demonstram intensificações das distinções entre os modelos elaborados com notória acentuação na direção M3 (modelo com baixas alterações nas forçantes)- M4 (modelo com alterações atmosféricas mais abruptas de cenários). Neste contexto, o modelo M2 manifesta o cenário considerado ideal, pois se aproxima dos padrões observados para o período considerado. Durante todo o período avaliado, os valores intensos de precipitação ocorrem notadamente sobre os municípios considerados costeiros do estado, pertencentes ao nordeste da região, inclusive em períodos de verão, este comportamento acentuado no regime de chuvas no nordeste paraense são descritos por Carvalho et al.(2002) como associadas essencialmente à atuação de sistemas frontais, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos singulares da região oriental amazônica.

4. CONCLUSÃO

A partir do estudo para geração de simulações, é inelutável constatar que atualmente grandes avanços na geração de modelos numéricos e computacionais permitem representar cada vez mais fielmente os aspectos intrínsecos relacionados aos processos convectivos em diferentes regiões do planeta, apesar do desenvolvimento de novas técnicas ainda são encontradas dificuldades para geração destes modelos, sobretudo na região amazônica, principalmente pela alta dinâmica espacial influenciando na variabilidade convectiva.

As simulações de cenários padrões atuais encontrados no modelo condizem com as situações comumente evidenciadas na região sob duas estações definidas, se ressalta que, em relação aos cenários previstos pelo modelo adotado as previsões demonstram relativa queda no índice pluviométrico na direção SE, estas condições de estiagens extremas denotam um clima predominantemente mais seco, fornecendo indícios que prenunciam elevação de estiagens e número de focos de queimadas para esta porção do território. É importante notabilizar que as grades espaciais adotadas no modelo global em baixa escala espacial empregada neste estudo dificultam a obtenção de informações mais claras acerca do tema, deste modo são indicados modelos climatológicos regionais para o alcance de informações referentes á modelagem climática aplicada com maior precisão.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio e fomento à pesquisa e à Dr^a. Nisia Krusche, que junto ao Núcleo de Física Ambiental (NFA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) forneceram informações e orientações imprescindíveis para elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; SILVA DIAS, M. A. F. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in Tropical South America during the TRMM-LBA campaign. **Journal of Geophysical Research.**, v. 29, n. 10. 2002.

CORREIA, F. W. S; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n.3. jul./set. 2007.

DE SOUZA, E.B. 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.

DE SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v. 1, p. 1-20, 2003.

DE SOUZA, E.B. Principais mecanismos dinâmicos associados a variabilidade de precipitação diária sobre a Amazônia oriental durante a estação chuvosa. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 29/08 a 03/09/2004, FortalezaCE. Anais. Fortaleza: SBMET, 2004.

DE SOUZA, E.B. 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.

DE SOUZA, E.B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J.P.; SOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. **Revista brasileira de climatologia**. vol. 18. 293-306 p. 2012.

LIANG, X.; PAN, J.; ZHU, J.; KUNKEL, K. E.; WANG, J. X. L.; DAI, A. Regional climate model downscaling of the U. S. summer climate and future change. **Journal of Geophysical Research**, v. 111. 2006.

LUZ, L.M.; RODRIGUES, J.E.C.; PONTE, F.C.; DA SILVA, C.N. Atlas geográfico escolar do estado do Pará. 1º ed. GEPTA/UFGA, 2013, 64 p.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia – A comparison of different vegetation types and large scale forcing. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 61-77, 2004.

QUIAN, J. H.; SETH, A.; ZEBIAK, S. Reinitialized versus continuous imulations for regional climate downscaling. **Monthly Weather Review**, v. 131. n. 11. p. 2857-2874. 2003.