

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

**REVISTA DE GEOGRAFIA
(RECIFE)**

<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia>

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

PROJEÇÃO DAS CHUVAS PARA O TRIÂNGULO MINEIRO UTILIZANDO DADOS DE MODELAGEM CLIMÁTICA

Fabio Sanches¹ e Ricardo Vicente Ferreira²

1 - Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Prof. Adjunto na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Laboratório de Geomorfologia, Clima e Solos (LAGECS). E-mail: fsanches.73@gmail.com.

2 - Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP). Prof. Adjunto na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento (CARTOGEO). E-mail: rcdvf@gmail.com.

Artigo convite - 40 anos do lançamento da obra Teoria e Clima Urbano do Professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro

RESUMO

Modelos climáticos têm sido amplamente usados visando à projeção de possíveis condições climáticas futuras devido às mudanças climáticas. O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade do modelo HadCM3/Eta/CPTEC em representar os dados pluviométricos para a região do Triângulo Mineiro até meados do século XXI. O modelo gerou dados de precipitação para os *time-slices* 1961-1990 e 2011-2040, os quais foram comparados aos dados observados nos postos do INMET de Uberaba e Capinópolis. A validação dos dados do modelo foi feita por meio de análise estatística, aplicação de testes estatísticos (Correlação de Pearson e Teste *t* de Student) e a tendência dos dados futuros, avaliada por meio do Teste de Mann-Kendall. Os resultados sugerem tendência de aumento nos valores pluviométricos para os meses de julho até meados do século XXI, em ambos os postos estudados. O aumento dessas precipitações estaria relacionado a mudanças no Sistema de Monções da América do Sul (SMAS), intensificando fenômenos frontais estacionários, devido ao aumento das temperaturas projetadas para meados do século XXI.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, testes estatísticos, HadCM3.

PROJECTION OF RAINFALL FOR TRIANGULO MINEIRO REGION USING MODELING CLIMATE DATA

ABSTRACT

Climate models have been used aiming at the projection of possible future climate conditions due to climate change. The aim was to evaluate the model's ability HadCM3 / Eta / CPTEC to represent the rainfall data for the *Triangulo Mineiro* region until the mid-twenty-first century. The model generated precipitation data for the *time-slices* 1961-1990 and 2011-2040 and then compared to the data observed in INMET stations *Uberaba* and *Capinópolis*. The validation of model data was done by statistical analysis and application of statistical tests (Pearson correlation and Student t-test) and the trend of future data, assessed using the Mann-Kendall test. The results suggest an increasing trend in rainfall values for the months of July to the middle of the century, in both studied stations. The increase of these rainfall would be related to changes in the South America Monsoons System (SAMS), intensifying stationary frontal, due to rising temperatures projected for mid-twenty-first century.

Keywords: Climate Change, statistical testing, HadCM3.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais e suas repercussões nos níveis regionais e locais tem sido pauta constante em publicações científicas nos últimos anos (Orlowsky & Seneviratne, 2012; Choi *et al.*, 2014; Sharma & Balbeb, 2014; Barbu *et al.*, 2015; Guan *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2015; Parak, 2015; Alexander, 2016; Rao *et al.*, 2016 entre outros). Paralelo a esse tema (mudanças climáticas), discute-se, também, o uso de modelos matemáticos/estatísticos para se projetar as possíveis condições climáticas futuras (Reboita *et al.*, 2013; Screen *et al.*, 2015; Melia *et al.*, 2015; Mello *et al.*, 2015; Mourão *et al.*, 2015; Freitas *et al.*, 2016; Lyra *et al.*, 2016 entre outros).

Os trabalhos de Marengo (2007), Marengo e Valverde (2007), Nobre *et al.* (2008), Betts *et al.* (2011), Mello *et al.* (2015) entre outros, são categóricos ao afirmarem que as melhores ferramentas para projeção e avaliação dos cenários climáticos futuros são os Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). Tais modelos levam em conta de forma quantitativa (numérica e tridimensional) a dinâmica dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, ciclos biogeoquímicos, etc.) descrevendo os principais processos termodinâmicos (Freitas *et al.*, 2016).

Esses modelos são capazes de simular climas futuros em nível global e regional como resposta a mudanças de concentração de gases de efeito estufa e de aerossóis, bem como simular os climas regionais e globais a partir de informações sobre as mudanças no uso e ocupação da superfície, desmatamento e outras atividades associadas ao uso da terra e à construção de grandes áreas urbanas.

Os modelos climáticos vêm sendo amplamente usados e muito bem aceitos como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, a partir de cenários futuros de forçamento climáticos (gases de efeito estufa e aerossóis) (Reboita *et al.*, 2013; Mello *et al.*, 2015). As incertezas encontradas estão associadas às diferenças observadas nas saídas dos diversos modelos climáticos usados pelo *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC) nas projeções climáticas para o século XXI.

Como já descrito por Sanches *et al.* (2014) e por outros, a habilidade dos AOGCMs em simular climas regionais depende de seu *grid* (resolução espacial), uma vez que as respostas dos modelos seriam mais restritas nos modelos globais (*grid* de 300-400 km) em relação ao uso de modelos regionais (*grid* de 10-50 km). Diante da dimensão

espacial do território brasileiro, o uso dos modelos AOGCMs pode contribuir com informações sobre as características gerais do clima futuro.

Por sua vez, Marengo e Soares (2003) também afirmam que os modelos mais sofisticados utilizados são, na verdade, representações aproximadas de um sistema muito complexo, e que não são infalíveis na projeção do clima futuro. Esse grau de incerteza do futuro cenário climático é ainda maior quando se busca projetá-los para níveis regionais.

Entretanto, Nobre *et al.* (2008) acreditam que o avanço do conhecimento científico com relação ao funcionamento do complexo sistema climático levará, em pouco tempo, à diminuição dessas incertezas nas projeções das alterações das mudanças climáticas em escala regional.

Diante disso, o objetivo desse trabalho consiste na análise da capacidade do modelo climático HadCM3/Eta/CPTEC - 20 km em representar o comportamento das precipitações no Triângulo Mineiro, bem como avaliar o projeção das chuvas regionais para meados do século XXI.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região do Triângulo Mineiro possui uma área de 52.760 km² e localiza-se entre 18°00'00" e 20°30'00" de latitude Sul e 51°00'00" e 47°30'00" de longitude Oeste (Figura 1). O limite oriental da área engloba parte da região administrativa do Alto Paranaíba (IBGE, 2016).



Figura 1 - Localização do Triângulo Mineiro e dos postos meteorológicos de Uberaba e Capinópolis

O clima predominante é o do tipo *Aw* (Tropical de Savana com estação seca de inverno) com temperatura média anual entre 22°C e 26°C e chuvas anuais entre 1.100 e 1.750 mm, com estação seca entre os meses de maio, junho e julho, sendo considerado como Tropical semi-úmido (Sá Junior, 2009). O Cerrado (formações florestais, savânicas e campestres) compreende a cobertura vegetal natural ocupando, atualmente, 20% das condições naturais (IBAMA, 2016).

MATERIAL E MÉTODOS

Para o trabalho foram utilizados dados de saída do AOGCM HadCM3 regionalizados (*downscaling*) pelo modelo Eta/CPTEC em uma resolução espacial (*grid*) de 20 km para a região do Triângulo Mineiro. O cenário *SRES A1B* foi adotado por descrever um mundo futuro com um equilíbrio entre todas as fontes de energia sem a dependência de uma ou duas matrizes energéticas (IPCC, 2013).

A componente atmosférica do modelo HadCM3 possui 19 níveis verticais com resolução horizontal de 2,5° de latitude e 3,75° de longitude, que produz uma grade global de 96 x 73 células (Figura 2). Cada célula equivalente a uma resolução superficial (*grid*) de aproximadamente 417 km x 278 km na região equatorial, sendo reduzida para 295 km x 278 km na latitude de 45°. A componente oceânica do modelo HadCM3 apresenta 20 níveis, com resolução horizontal de 1,25° x 1,25° (<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadcm3>).

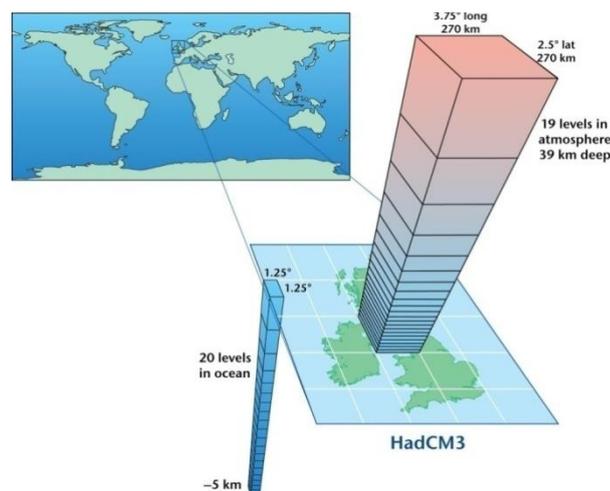


Figura 2 - Esquema do modelo climático acoplado oceano-atmosfera HadCM3. Fonte: <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/22813>

Os dados de larga escala do HadCM3 foram regionalizados (*downcaling*) pelo modelo Eta/CPTEC para a resolução espacial (*grid*) de 20 km gerando dados diários organizados em duas fatias de tempo (*time-slice*): 1961-1990 e 2011-2041. Foram gerados dados para os postos de Uberaba (OMM: 83577) e Capinópolis (OMM: 83514).

Inicialmente os dados de saída do Modelo HadCM3/Eta/CPTEC foram agrupados em totais mensais, totais trimestrais (verão: JFM; outono: AMJ; inverno: JAS e primavera: OND) e totais anuais para, posteriormente, serem comparados com os dados de Uberaba e Capinópolis, obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Pesquisa e Ensino do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP/INMET).

A verificação da qualidade dos dados do modelo foi feita a partir da aplicação da Correlação de Pearson aos totais mensais (dados observados e gerados pelo modelo), análise de resíduo em função da média (Coelho *et al.*, 2015) e a aplicação de testes de homogeneidade entre ambos os conjuntos (observados e gerados pelo modelo) para os dois postos. Para esse trabalho foi adotado o Teste *t* de *Student* (Spiegel, 1993).

Assim, para o Teste *t* de *student*, adota-se que:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}} \quad (1)$$

onde

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2)$$

e

$$s^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i - \mu)^2}{N - 1} \quad (3)$$

Dessa forma, considera-se que μ_1 e μ_2 correspondem às respectivas médias mensais dos dados reais e sintéticos, N_1 e N_2 são as amostras mensais analisadas, σ o desvio padrão entre as séries e s_1^2 e s_2^2 as respectivas variâncias de cada série. Para o grau de liberdade da distribuição *t*, adotou-se que:

$$V = N_1 + N_2 - 2 \quad (4)$$

Após a verificação da homogeneidade entre os conjuntos de dados observados e os gerados pelo modelo, os dados da fatia de tempo 2011-2014 foram avaliados quanto a tendência a partir da aplicação do Teste de Mann-Kendall (Siegel, 1975).

O Teste de Mann-Kendall (MK) adota a hipótese da estabilidade da série temporal (H_0), onde os valores (X_i) devem ser independentes e, sua probabilidade deve permanecer sempre a mesma. Sendo assim, para a comprovação de H_0 , deve-se calcular a posição de cada elemento em relação aos outros valores da série, de forma que R_n representa a sequência de números que especificam a ordem relativa da série temporal de X_i . O próximo passo consiste em se determinar o sinal para cada número-ordem pelas funções sinal ($R_j - R_i$), conforme sugerem Folhes e Fisch (2006) e Blain (2009) onde:

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1; \text{para } R_j - R_i > 0 \\ 0; \text{para } R_j - R_i = 0 \\ -1; \text{para } R_j - R_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Dessa forma, considerando a hipótese nula (H_0), o teste consiste no somatório apresentado na equação abaixo:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(R_j - R_i) \quad (6)$$

Adotando-se que a hipótese H_0 como verdadeira, a estatística S apresenta uma distribuição aproximadamente normal gaussiana, com média igual a zero e variância (VAR) conforme a seguinte equação:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1) \cdot (2n+5)}{18} \quad (7)$$

Finalmente, o valor da estatística de MK é dado por:

$$MK = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Ao concluir-se a análise estatística de MK, necessita-se tomar a decisão final de aceitar (ou não) a hipótese de que não há tendência na série analisada (H_0) ou, rejeitá-la a favor da hipótese alternativa. O sinal da estatística de MK indica se a tendência é crescente ($MK > 0$) ou decrescente ($MK < 0$).

Folhes e Fisch (2006) e Blain (2009) consideram que ao nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$), a hipótese H_0 , de que não há tendência nem positiva nem negativa na série, deverá ser rejeitada sempre que o valor MK encontrado estiver $-1,96 < MK < +1,96$.

RESULTADOS

Preparação dos dados

Os dados diários de precipitação de Uberaba (1961-1990) gerados pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC foram organizados em totais mensais para verificação de sua correlação com os dados observados pelo INMET. Já para a série de Capinópolis, foram correlacionados com os respectivos dados do INMET para o período de 1970-1990 (Figura 3).

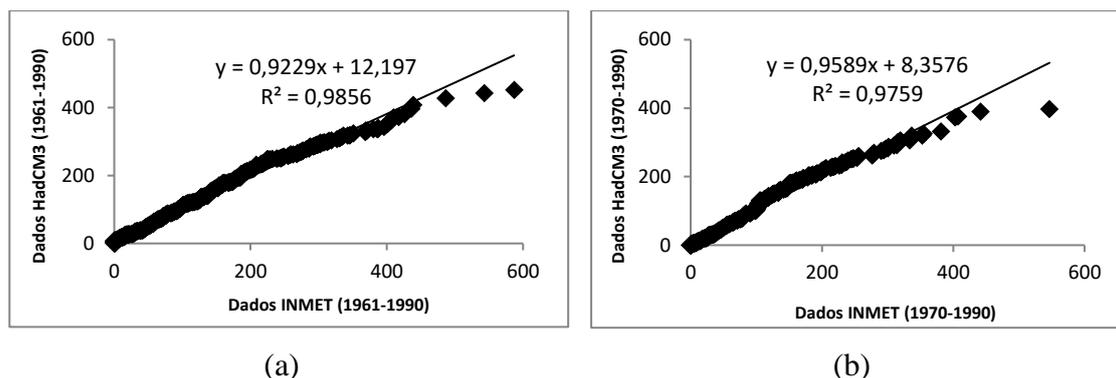


Figura 3 - Correlação de dados entre INMET e HadCM3/Eta/CPTEC para Uberaba (a) e Capinópolis (b)

Verifica-se, em ambos os postos, que houve uma excelente correlação entre os dados observados pelo INMET e os gerados pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC.

Outra metodologia capaz de avaliar a capacidade do modelo HadCM3/Eta/CPTEC em representar o comportamento dos totais anuais de precipitação é por meio da análise de resíduo em função da média observada (Figura 4).

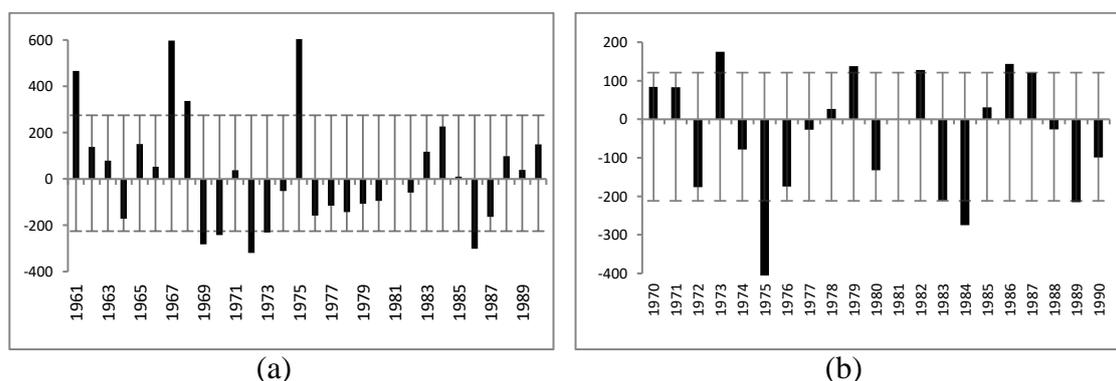


Figura 4 - Análise de resíduo dos totais pluviométricos anuais (mm) propostos pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC para Uberaba (a) e Capinópolis (b) e desvio padrão das séries

A análise de resíduo dos totais anuais gerados para Uberaba (Figura 4a) demonstra que o modelo encontrou dificuldade em representar os totais pluviométricos

para Uberaba nos anos de 1961, 1967, 1968, 1969, 1972, 1975 e 1986 já que os desvios ultrapassaram os limites superiores e inferiores do desvio padrão. Já, em relação aos totais anuais em Capinópolis (Figura 4b), o modelo encontrou dificuldades em representar, efetivamente, os anos de 1975 e 1984 já que a maior parte dos resíduos mostrou-se inferiores ao valor médio da série.

Nessa perspectiva, o trabalho de Minuzzi *et al.* (2010), ressalta o papel dos fatores naturais resultantes da interação oceano-atmosfera como o El Niño Oscilação Sul (*El Niño Southern Oscillation - ENSO*), a Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*), a Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation - NAO*), a Oscilação Madden-Julian (*Madden-Julian Oscillation - MJO*), além de outras oscilações climáticas naturais, que resultam em flutuações interanuais e decadais em algumas regiões do globo, e que, particularmente no Brasil, as influências dessas oscilações climáticas naturais em escala interdecadal, infelizmente, ainda são pouco conhecidas.

A análise de resíduo também foi aplicada aos totais mensais subtraindo o valor proposto pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC do valor observado pelo INMET (Figuras 5 e 6).

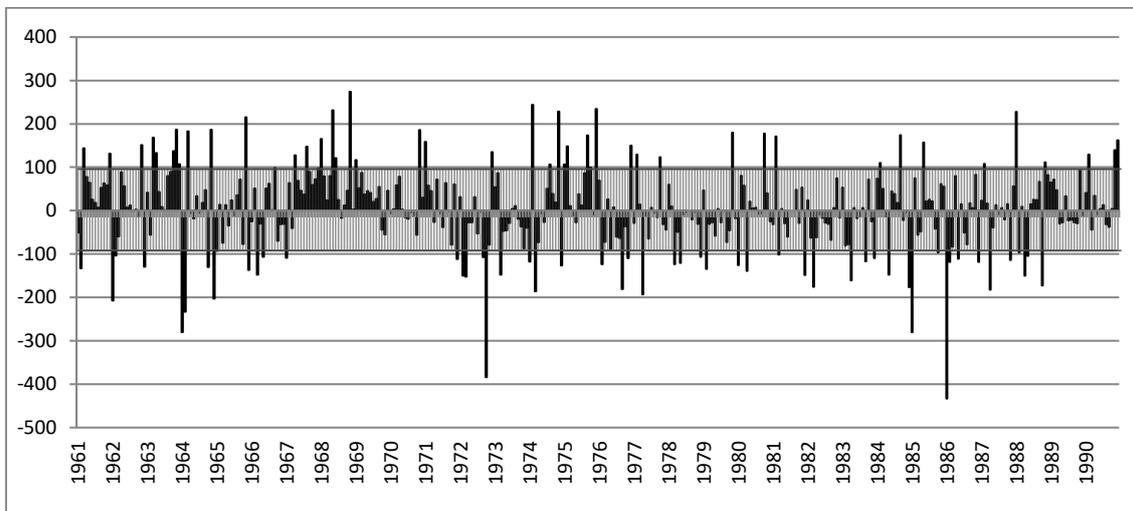


Figura 5 - Resíduo pluviométrico mensal (mm) para Uberaba 1961-1990 e desvio padrão da série

Observa-se no gráfico da Figura 5 que a maior parte dos dados, produtos do resíduo entre os valores observados e os propostos pelo modelo climático, encontram-se dentro do intervalo de confiança do desvio padrão da série. Os resíduos negativos observados nos anos de 1972/1973 e 1986/1987, muito provavelmente, são resultantes da ação anômala do fenômeno ENOS (*El Niño*).

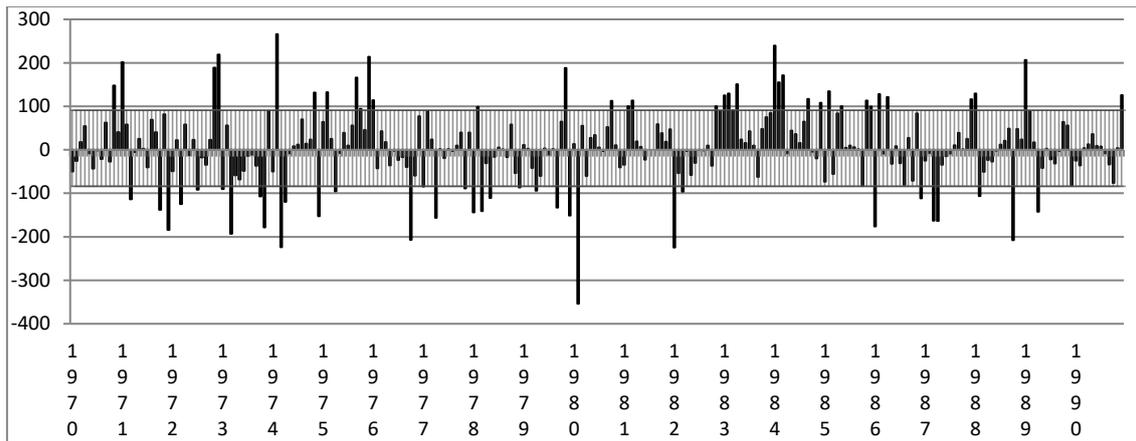


Figura 6 - Resíduo pluviométrico mensal (mm) para Capinópolis 1970-1990 e desvio padrão da série

Da mesma forma como na Figura 5, a maior parte dos resíduos mensais para Capinópolis encontram-se dentro do intervalo do desvio padrão da série (Figura 6). Já os desvios que extrapolaram os limites superior e inferior do desvio padrão da série podem estar associados às oscilações de curto e de longo período descritas por Minuzzi *et al.* (2010), as quais carecem de maiores estudos.

Por fim, o último procedimento para avaliar a capacidade de o modelo climático representar o comportamento das chuvas no Triângulo Mineiro foi por meio da aplicação do teste de homogeneidade.

A homogeneidade dos totais anuais e dos totais trimestrais foi avaliada aplicando-se a estatística *t* de Student, em um nível de 95% de confiança. Os resultados (Tabela 1) revelaram que, na escala temporal anual e trimestral, as séries podem ser consideradas estatisticamente homogêneas visto que os escores estão dentro do intervalo de confiança ($-1,96 \geq z \geq 1,96$).

Tabela 1 - Valor do escore da estatística *t* de Student para os totais anuais e totais trimestrais entre dados INMET e HadCM3.

	JFM	AMJ	JAS	OND	T. Anuais
Uberaba	0,57	0,47	-0,98	-1,14	-0,29
Capinópolis	-0,25	1,25	-0,65	-1,38	-0,52

Da mesma forma, os totais mensais de ambos os postos (Uberaba e Capinópolis), também foram submetidos à avaliação de sua homogeneidade aplicando-se a mesma estatística (Teste *t* de Student).

Tabela 2 - Valor do escore da estatística *t* de Student para os totais mensais entre dados INMET e HadCM3 para Uberaba (1961-1990) e Capinópolis (1970-1990).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez

Uberaba	0,54	-0,62	1,21	1,04	0,56	-1,79	-0,12	-1,56	-0,68	0,86	-3,20	0,41
Capinópolis	-0,13	-1,44	1,36	1,09	1,12	0,11	0,99	-0,71	-0,99	0,92	-2,19	-10,5

Por meio da Tabela 2 é possível verificar que, com exceção dos meses de novembro, a estatística *t* de *Student* considerou que os dados gerados pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC são, estatisticamente, homogêneos em relação aos dados observados nas estações do INMET para Uberaba e Capinópolis.

Dessa forma, o passo seguinte consistiu na análise de tendência dos dados gerados pelo modelo climático para a fatia de tempo 2011-2040.

Análise de Tendência

Submetidos ao Teste de Mann-Kendall (MK), os totais anuais e totais trimestrais revelaram que não há tendência significativa para mudança de comportamento projetada para Uberaba e Capinópolis, no período de 2011-2040 (Tabela 3). Embora as tendências observadas possam ser positivas em alguns casos e negativas em outros, os escores da estatística MK sugerem que elas estejam dentro da normalidade das séries.

Tabela 3 - Resultado do Teste de Mann-Kendall para a tendência dos totais pluviométricos anuais e trimestrais projetados para Uberaba (2011-2040) e Capinópolis (2011-2040).

	Totais anuais	JFM	AMJ	JAS	OND
Uberaba	-0,67	-1,14	0,01	0,96	-0,24
Capinópolis	0,21	-0,07	-0,21	1,15	0,57

Por sua vez, ao serem analisados os totais mensais projetados pelo modelo climático para o mesmo período (Figuras 7 e 8), os resultados da estatística MK apontam um incremento nas precipitações para os meses de julho em ambos os postos de análise (Tabela 4).

De acordo com as projeções propostas, em Uberaba, o incremento nas chuvas para o mês de julho de 2040 seria de 31,7 mm em média. Já para Capinópolis, o modelo projetou um incremento médio de 18,1 mm para julho de 2040.

A projeção de aumento significativo das chuvas para meses tipicamente secos (inverno tropical) sugere que a dinâmica sinótica para a América do Sul assumiria novas configurações. É possível considerar que o aumento projetado para as precipitações esteja associado, por exemplo, ao maior tempo de permanência de sistemas frontais, fato que levaria a compreensão de tal aumento.

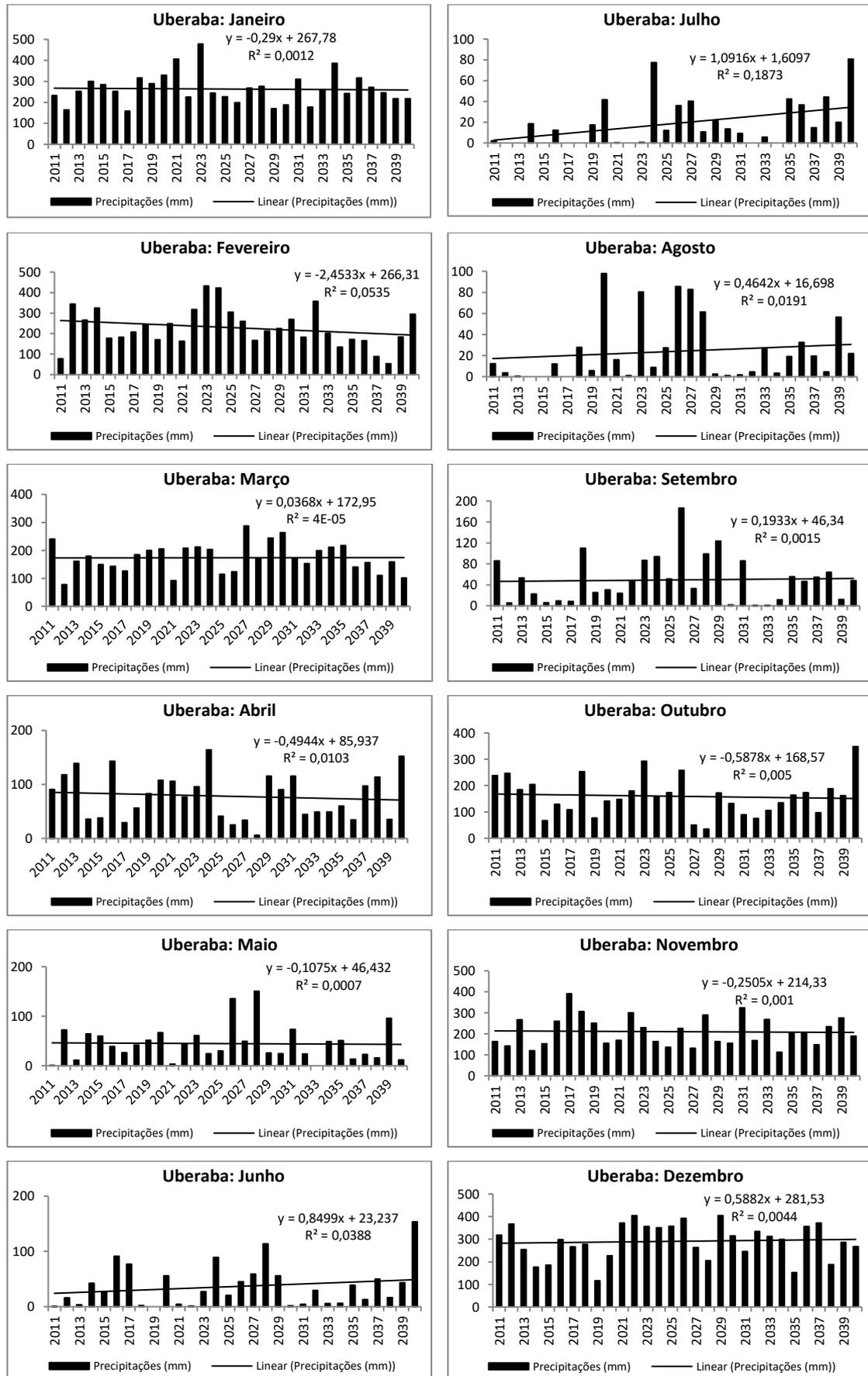


Figura 7-Tendência linear dos totais pluviométricos mensais para Uberaba (2011-2040)

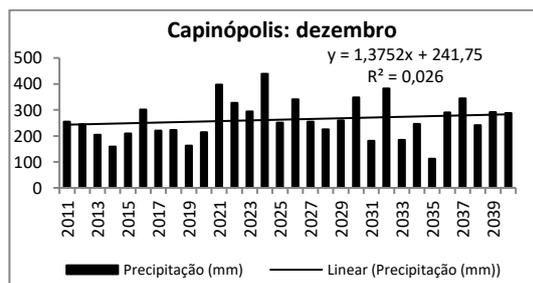
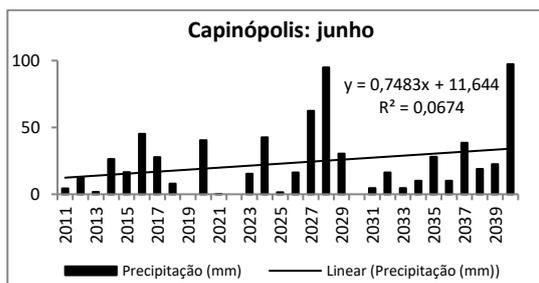
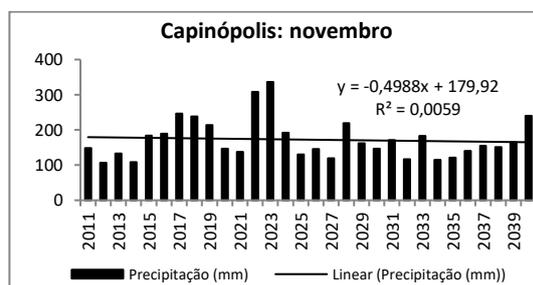
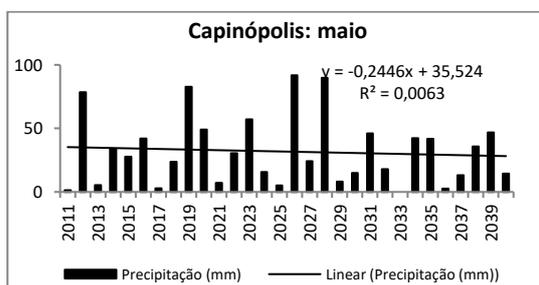
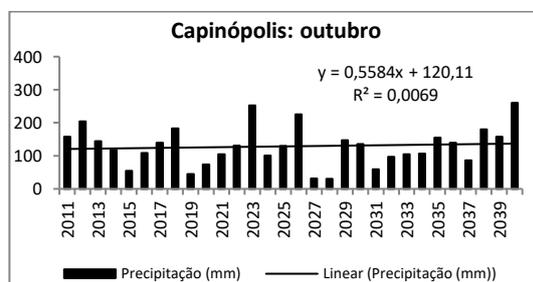
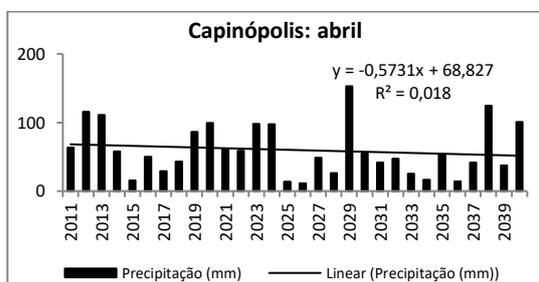
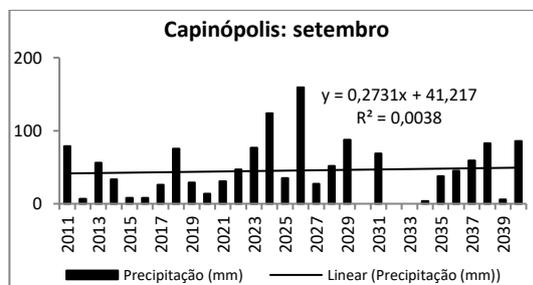
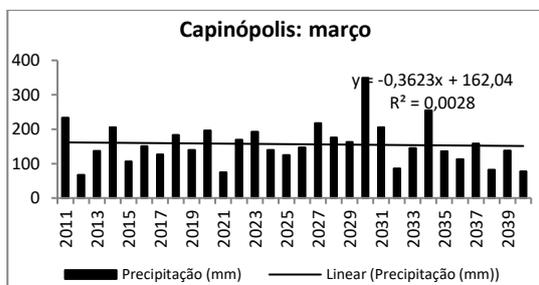
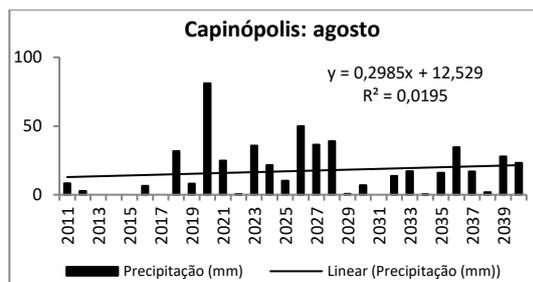
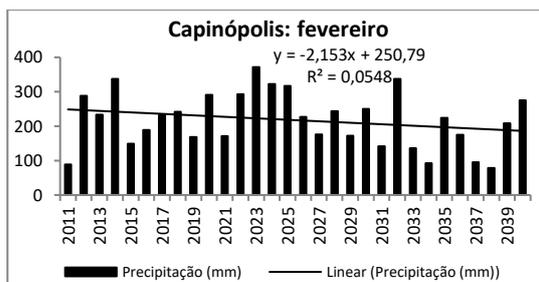
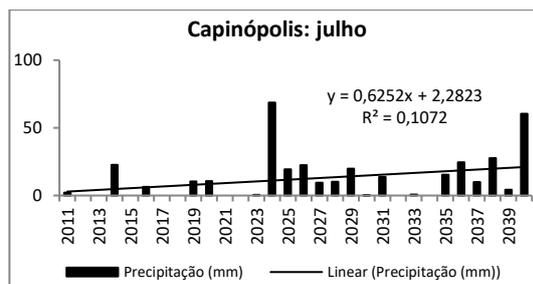
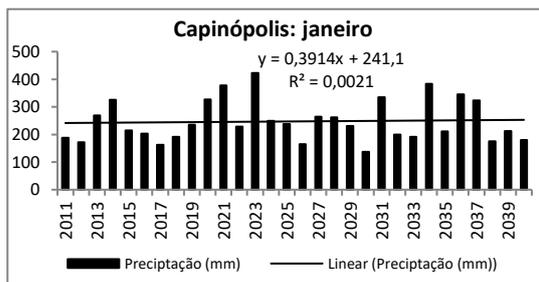


Figura 8-Tendência linear dos totais pluviométricos mensais para Capinópolis (2011-2040)
Tabela 4 - Resultado do Teste de Mann-Kendall para a tendência dos totais pluviométricos mensais projetados para Uberaba (2011-2040) e Capinópolis (2011-2040).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Uberaba	-0,21	-1,42	0,0	-0,33	-0,89	1,35	2,52	1,55	0,57	-0,39	-0,10	1,17
Capinópolis	0,21	-1,15	-0,57	-1,32	-0,10	1,37	2,17	1,50	0,55	0,28	-0,01	1,14

Outra possibilidade, que se mostra igualmente plausível, é de que, com o aumento das temperaturas projetado pelos modelos ao longo do século XXI, os sistemas de alta pressão atuantes sobre o centro da América do Sul (responsáveis pela massa de ar Tropical Atlântica - mTa), permaneceriam atuando por mais tempo. Dessa forma, esses sistemas se configurariam como bloqueios atmosféricos duradouros, modificando o padrão circulatório das monções e impactando criticamente no ciclo hidrológico na América do Sul como sugerem Carvalho e Cavalcanti (2015) e Ribeiro *et al.* (2015).

Dada as condições sinóticas na América do Sul para essa época do ano, haveria um favorecimento a formação de sistemas estacionários, os quais promoveriam sequências diárias e ininterruptas de precipitações com duração média entre três e cinco dias.

Esse tipo de fenômeno foi estudado por Sanches *et al.* (2015), o qual revelou que tais arranjos sinóticos têm se tornado mais intensos e frequentes nos últimos 50 anos.

Ao analisarem os eventos acumulados de chuvas intensas no norte do Rio Grande do Sul, por meio da técnica das pântadas, os autores verificaram que os sistemas estacionários, responsáveis por dias sequenciais com elevados valores pluviométricos, têm se tornado recorrente, sobretudo, entre as pântadas de número 30 (início de maio) e 47 (final de agosto), ou seja, durante o inverno.

Para os autores, o aquecimento basal, responsável pela tendência de elevação das temperaturas observadas sobre o Brasil central, mostra-se responsável pelo aumento do tempo de atuação da mTa configurada como anticiclone estacionado sobre o centro do país (Borsato e Souza Filho, 2010; Carvalho & Cavalcanti, 2015).

Cabe destacar que a configuração desses sistemas estudados por Sanches *et al.* (2015) evoluem lentamente, mantendo o padrão de deslocamento à medida que avançam no mesmo sentido dos sistemas frontais. Esses sistemas promovem a conexão dos ventos quente e úmidos, produto dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) da Amazônia, com os ventos frios oriundos do anticiclone migratório polar, responsáveis pela massa Polar Atlântica (mPa).

Dessa forma, é possível associar que o provável aumento das chuvas projetadas para os meses de julho tenham relação com uma possível intensificação de sistemas estacionários, decorrentes de bloqueios atmosféricos. Acredita-se que no futuro, com o mundo tropical mais aquecido, mudanças no Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) sejam responsáveis por alterações tanto no volume como na variabilidade das chuvas sobre a América do Sul.

Por fim, outra forma de verificar a qualidade dos dados projetados pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC, para o *time-slice* 2011-2040, é comparando-os com os dados observados em períodos já existentes (2011-2015).

A avaliação entre ambos revelou por meio do Teste *t* de *Student* que, mesmo no curto período (2011-2015), os dados podem ser considerados estatisticamente homogêneos ($-2,77 \geq z \geq 2,77$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Valor do escore da estatística *t* de *Student* para os totais mensais entre dados INMET e HadCM3 para Uberaba (2011-2015) e Capinópolis (2011-2015).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Uberaba	0,08	-0,56	1,76	1,40	0,44	1,07	1,88	-0,93	0,37	-2,41	0,85	-0,35
Capinópolis	0,10	-0,19	2,57	-0,21	0,52	1,08	1,34	-1,59	0,35	-1,78	1,69	-0,79

A análise de resíduos mensais, também, demonstrou que o modelo conseguiu capturar o padrão climatológico das chuvas para a região do Triângulo Mineiro (Figura 9). No entanto, as anomalias ocorridas nos verões de 2013 e 2014 (Coelho *et al.*, 2015; Marengo *et al.*, 2015) não foram projetadas pelo modelo e representam mais um desafio no desenvolvimento de novos produtos oriundos de modelagem matemática.

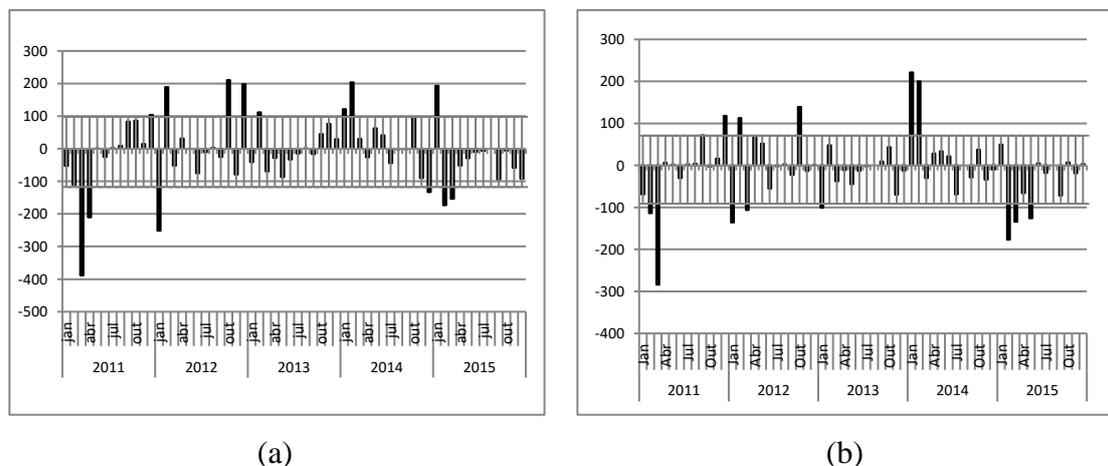


Figura 9 - Resíduo pluviométrico mensal (mm) para Uberaba 2011-2015 (a) e Capinópolis 2011-2015 (b) e desvio padrão da série

CONCLUSÕES

Tendo em vista a utilização dos dados de saída do AOGCM HadCM3/Eta/CPTEC projetados para o Triângulo Mineiro até meados do século XXI, é possível considerar que o modelo em tese conseguiu representar o padrão climatológico das chuvas regionais. Já os eventos associados a fenômenos anômalos não foram plenamente representados pelo modelo.

A análise de tendência dos dados projetados para meados do século XXI demonstrou que as chuvas tendem a aumentar nos meses de inverno, sobretudo, as chuvas no mês de julho no Triângulo Mineiro. O modelo sugere que haja um incremento médio de 31,7 mm para a região de Uberaba e 18,1 mm para a região de Capinópolis.

Uma das prováveis responsáveis pelo aumento projetado das chuvas no inverno sejam mudanças no comportamento do sistema de monções na América do Sul. O aumento do tempo de permanência de sistemas frontais ou aumento na frequência de sistemas estacionários podem ser os responsáveis pelo incremento das chuvas na estação.

Acredita-se que a mudança no comportamento das massas de ar que atuam sobre a América do Sul esteja relacionada à tendência de aumento das temperaturas superficiais, decorrentes do aquecimento global.

Sendo assim, com base no presente estudo, é possível considerar o uso de dados oriundos de modelagem climática como uma importante ferramenta na compreensão das possíveis condições climáticas futuras em escala regional.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, L.V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*. v.11, 2016. p.4–16.
- BARBU, N.; CUCULEANU, V.; STEFAN, S. Investigation of the relationship between very warm days in Romania and large-scale atmospheric circulation using multiple linear regression approach. *Theoretical and Applied Climatology*. p.1-12. 2015.
- BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R. BETTS, R.; KAY, G. *Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia*. 2011.

- BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.1, 12-23, 2009.
- BORSATO, V.A.; SOUZA FILHO, E.E. A participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do rio Paraná no período 1980 a 2003. *Revista Brasileira de Climatologia*. v.7, n.6, 2010.
- CARVALHO, L.M.V.; CAVALCANTI, I.F.A. The South American Monsoon System (SAMS). In: CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. *The Monsoons and Climate Change*. Springer, 2015.
- CHOI, W.; TAREGHIAN, R.; CHOI, J.; HWANG, C. Geographically heterogeneous temporal trends of extreme precipitation in Wisconsin, USA during 1950–2006. *International Journal of Climatology*, 34: 2841–2852. 2014.
- COELHO, C.A.S.; OLIVEIRA, C.P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.S.; CARPENEDO, C.B.; CAMPOS, J.L.P.S.; TOMAZIELLO, C.N.; PAMPUCH, L.A.; CUSTÓDIO, M.S.; DUTRA, L.M.M.; ROCHA, R.P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral Summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climatic Dynamics*, August, 2015.
- FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). *Ambi-Água, Taubaté*, v.1, n.1, p.61-71, 2006.
- FREITAS, S.R. et al. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geoscientific Model Development Discussions*. 1-55, 2016.
- GUAN, Y.; ZHANG, X.; ZHENG, F.; WANG, B. Trends and variability of daily temperature extremes during 1960–2012 in the Yangtze River Basin, China. *Global and Planetary Change*. v.124, p.79–94. 2015.
- HU, C.; XU, Y.; HAN, L.; YANG, L.; XU, G. Long-term trends in daily precipitation over the Yangtze River Delta region during 1960–2012, Eastern China. *Theor Appl Climatol*. 2015.
- IBAMA - (2016) - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (<http://www.ibama.gov.br>).
- IBGE - (2016) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>).
- IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>>. Acesso em outubro de 2013.
- LYRA, A.; CHOU, S.C.; SAMPAIO, G. Sensitivity of the Amazon biome to high resolution climate change projections. *Acta Amazonica*. v. 46(2), 2016. p.175-188.

MARENGO, J.A.; SOARES, W, Impacto das modificações da mudança climática. Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6. In: *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, 2003.

MARENGO, J.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M.E.; CUANTAS, A.; ALVES, L.M.; MEDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, São Paulo: n.106; p.31-44, 2015.

MARENGO, J.A. Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC. Relatório nº 1. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a diversidade. MMA. CPTEC/INPE, São Paulo: 2007

MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C. Caracterização do clima no Século XX e Cenários de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, edição n. 8 - maio, Mudanças Climáticas, Campinas: 2007.

MELIA, N.; HAWKINS, E.; HAINES, K. Improved Arctic sea ice thickness projections using bias-corrected CMIP5 simulations. *The Cryosphere*. 9(6):2237-2251 · December 2015.

MELLO, C.R.; ÁVILA, L.F.; VIOLA, M.R.; CURI, N.; DARRELL, N.L. Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences* 73(12); May 2015.

MINUZZI, R.B.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.25, n.2, p.227-236, 2010.

MOURÃO, C.; CHOU, S.C.; MARENGO, J. Downscaling Climate Projections over La Plata Basin. *Atmospheric and Climate Sciences* 06(01):1-12 · December 2015.

NOBRE, A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática pra a América do Sul para o final do século XXI. *Parcerias e Estratégias*. Brasília: n.27, dezembro, 2008.

ORLOWSKY, B.; SENEVIRATNE, S.I. Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 110:669–696. 2012.

PARAK, F., ROSHANI, A., JAMALI, J.B. Trends and anomalies in daily climate extremes over Iran during 1961–2010. *Journal of Environmental & Agricultural Sciences*. 2:11. 2015.

RAO, V.B., FRANCHITO, S.H., SANTO, C.M.E., GAN, M.A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. *Int. J. Climatol*. 36: 291–302. 2016.

REBOITA, M.S.; DUTRA, L.M.M.; ROCHA, R.P. RegCM4 Dynamical Downscaling of Seasonal Climate Predictions over the Southeast of Brazil. *Geophysical Research Abstracts*. v.15. EGU-2013. 2013.

RIBEIRO, B.Z.; SELUCHI, M.E.; CHOU, S.C. Synoptic climatology of warm fronts in Southeastern South America. *International Journal of Climatology* 36(2), 2015.

SÁ JUNIOR, A. (2009). Aplicação da classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. 101f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras (UFV), Lavras.

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G. Projeção das chuvas no século XXI para o sudoeste do Rio Grande do Sul/Brasil utilizando o modelo HadCM3/Eta/CPTEC. In: SILVA, C.A.; FIALHO, E.S.; STEINKE, E.T. Experimentos em Climatologia Geográfica. Dourados: UFGD, 2014.

SANCHES, F.O.; BALEN, D.S.; SILVA, R.V.; ROSA, K.K.; RADÜNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no Alto Uruguai Gaúcho. *Revista Brasileira de Geografia*. v.15, n.10, 2015.

SCREEN, J.A.; DESER, C.; SUM, L. Projected changes in regional climate extremes arising from Arctic sea ice loss. *Environmental Research Letters*. 10(8) · July 2015.

SHARMAA, D.; BABELB, M.S. Trends in extreme rainfall and temperature indices in the western Thailand. *International Journal of Climatology*. 34: 2393–2407. 2014.

SIEGEL, S. Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento. McGraw-Hill, Brasil. 1975.

SPIEGEL, M. R. Estatística. Trad. e rev. de CONSENTINO, P. 3.ed. São Paulo: Pearson Makron Books/McGraw-Hill do Brasil, 1993.