ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Prognóstico sazonal da precipitação pluviométrica para o verão e outono austral da Amazônia oriental

Vânia dos Santos Franco¹, Everaldo Barreiros de Souza², Claudia Priscila Wanzeler da Costa³, Douglas Batista da Silva Ferreira⁴, Juarez Ventura de Oliveira⁵, Giordani Rafael Conceição Sodré⁶, Paulo Afonso Fisher Kuhn⁷, Franklin Thiago Mota de Azevedo⁸

¹Mestre em Ciências ambientais, Bolsista CNPq - Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 98132-7254. vsanfranco@yahoo.com.br (autor correspondente) ²Dr. em Meteorologia, Professor Titular, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA. 66075-110. (91) 98864-7225. everaldo@ufpa.br. ³Dra em Clima e Ambiente, Pesquisadora do Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 98203-7922. claudia.wanzeler@gmail.com. ⁴Mestre em Ciências Ambientais, Pesquisador do Instituto Tecnológico Vale (ITV) Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 98807-3029. douglas.bs.ferreira@gmail.com. ⁵Mestre em Ciências Ambientais, Bolsista FAPESP-Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 99320-5822. juarez.vo@hotmail.com. ⁶Mestre em Ciências Ambientais, Bolsista FAPESP-Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 98702-1863. rafaelsodre2009@hotmail.com. ⁷Dr. em Meteorologia, Bolsista CNPq-Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 99146-0534. paulokuhn.1@gmail.com. ⁸Mestrando-Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955 - Umarizal - CEP 66055-090 - Belém/PA. (91) 98130-1286. franklintma@gmail.com.

Artigo recebido em 13/06/2018 e aceito em 26/01/2019

RESUMO

Esta pesquisa é uma contribuição científica aos estudos de modelagem estatística, particularmente para a Amazônia oriental, com o objetivo de desenvolver um modelo estatístico de prognóstico sazonal para a região. Utilizou-se o método da regressão linear tendo como variável dependente a precipitação pluviométrica das estações do Instituto Nacional de Meteorologia e como variável explicativa a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos adjacentes a América do Sul. As melhores correlações entre a precipitação e a TSM ocorrem nas áreas do Pacífico Tropical, Pacífico Leste e o Atlântico Subtropical Norte. O modelo desenvolvido através do método de regressão linear, para a Amazônia oriental, mostrou boa acurácia, pois os dados previstos acompanharam os dados observados no verão e outono austral. Além disso, obteve-se resultados satisfatórios tanto no coeficiente de determinação quanto no índice de Willmott, estes apontaram para uma boa capacidade de previsão e grau de acerto do modelo, e ainda baixo erro demonstrado a partir do erro percentual absoluto médio.

Palavras-chave: modelagem estatística, regressão linear, temperatura da superfície do mar.

Seasonal prognosis for the southern summer and autumn in the Eastern Amazon

ABSTRACT

This research is a scientific contribution to statistical modelling studies, mainly at Eastern Amazon, and it is objective was to develop a seasonal statistical model for this region. The used method was linear regression, with precipitation from the stations of the Brazilian National Institute of Meteorology as dependent variable and sea surface temperature (SST) of South America oceans as explanatory variable. The highest correlation between precipitation and SST were at Tropical and west Pacific, and North Subtropical Atlantic. The linear regression model developed for Eastern Amazon showed good accuracy, because its forecast values followed those observed by the stations during austral summer and fall. In addition, the determination coefficient and the Willmott's index presented satisfactory scores, indicating the model's good forecast capability. Also, the model presented low mean absolute percentual error.

Keywords: statistical modeling, linear regression, sea surface temperature.

Introdução

Nas últimas décadas as previsões climáticas passaram a ser uma ferramenta extremamente útil ao planejamento social e econômico da sociedade, pois é por meio das simulações climáticas que as decisões políticas serão ponderadas no sentido de minimizar o máximo possível os efeitos dessas alterações sobre sociedade, ambiente, meios de produção e a economia global.

Os modelos de previsão sazonal são, potencialmente, ferramentas úteis na gestão de riscos devido à instabilidade climática e, por isso, os que preveem o tempo andam constantemente à procura de formas de melhorarem o seu desempenho, competências e menor custo (Davis, 2011). Com isso, os modelos estatísticos vêm destacando-se no meio científicos, devido principalmente a baixa complexidade no desenvolvimento das rotinas bem como da capacidade computacional para sua execução, em virtude de os mesmos necessitarem apenas das series temporais de dados e programas estatísticos computacionais de fácil aquisição (Marinho Filho *et al.*, 2012). Estes vêm sendo utilizados para se fazer as previsões seja climática (Hastenrath; Greischar, 1993; Pezzi; Ubarana; Repelli, 2000) ou hidrológica (Zhao *et al.*, 2011), porém ainda são pouco utilizados em estudos científicos no Brasil para a Amazônia, apenas Azevedo *et al.*, 2017 utilizou modelagem estatística.

Para se fazer previsão para o clima na região Amazônica, é necessário saber que ele é caracterizado por uma variabilidade climática na qual a precipitação é a variável que melhor a define do ponto de vista meteorológico (Fisch *al.*, 1998). Sendo assim, Espinoza Villar *et al.* (2009) demonstraram em seus estudos que na bacia Amazônica não existe uma pluviometria homogênea em sua totalidade. E um dos principais sistemas indutores das chuvas sobre a Amazônia é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) - (De Souza e Rocha, 2006; Satyamurti *et al.*, 1998). A ZCIT é influenciada direta ou indiretamente pela variabilidade climática de grande escala presentes sobre os oceanos tropicais adjacentes. Estudos como o de Sodré *et al.* (2015) observaram que a precipitação da Amazônia é influenciada pelos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico. Assim, o sinal e intensidade da TSM nesses oceanos são utilizados como preditores na previsão da

precipitação (Hastenrath e Greischar, 1993). Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo estatístico de prognóstico sazonal da precipitação para a estação chuvosa da Amazônia oriental, tendo como dados de entrada a precipitação e a TSM.

Material e métodos

Utilizou-se dados mensais de precipitação de 21 estações meteorológicas situadas nos estados do Pará (PA), Tocantins (TO) e Maranhão (MA), localizados sobre a Amazônia oriental conforme tabela 1 e figura 1. Estes dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET encontrados no BDMET-estações convencionais, para o período de 1982 a 2016. Foram utilizados também dados mensais de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) para o mesmo período da precipitação, extraídos do Climate Prediction Center (CPC), pertencente ao National Centers for Environmental Prediction (NCEP) dos Estados Unidos da América, os quais se encontram disponíveis em Silva *et al.* (2007) e foram gerados através da interpolação espacial dos dados observados nas estações meteorológicas de superfície, reportados na codificação SYNOP das 1200UTC, com resolução específica ($1^\circ \times 1^\circ$ de latitude-longitude).

Calculou-se a climatologia (34 anos) para cada estação estudada (Tabela 1 e Figura 1). Tal cálculo foi realizado a partir das médias da precipitação dos trimestres (DJF e MAM) referente ao período de 1982 a 2016.

A fim de se obter as áreas predictoras (áreas com correlação significativa) foi empregada a correlação de Pearson entre a precipitação (dados das estações) e o sinal e intensidade da TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico para o período de 1982 a 2016, sendo que os dados de TSM selecionados com defasagem lag -1 (um) lag -2 (dois meses) e lag -3 (três meses) antes dos trimestres de previsão. De acordo com Wilks (2006) e Naghettini (2007) a correlação é uma associação numérica entre duas variáveis, descrito na equação 1:

$$r_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{S_x S_y} \quad (1)$$

Onde: $Cov(x,y)$ é a covariância entre as duas variáveis aleatórias x e y que é uma medida numérica de associação linear existente entre elas; $S_x S_y$ é o desvio padrão das variáveis.

Tabela 1. Estações meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizadas nos estados do Pará, Tocantins e Maranhão.

Estações	Siglas	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Altitude (metros)
Altamira (PA)	ALTA	3,21	52,21	74,04
Araguaína (TO)	ARAG	7,2	48,2	228,52
Bacabal (MA)	BACA	4,21	44,76	25,7
Balsas (MA)	BALS	7,53	46,03	259,38
Barra do Corda (MA)	BCOR	5,5	45,23	153
Belém (PA)	BELE	1,43	48,43	21
Breves (PA)	BREV	1,68	50,48	11
Cametá (PA)	CAME	2,25	49,5	10
Carolina (MA)	CARO	7,33	47,46	192,83
Colinas (MA)	COLI	44,25	6,03	179,75
Conceição do Araguaia (PA)	CARA	8,26	49,26	156,85
Imperatriz (MA)	IMPE	5,53	47,48	123,3
Marabá (PA)	MARA	5,36	49,13	95
Porto de Moz (PA)	PMOZ	1,73	52,23	15,93
São Félix do Xingu (PA)	SFXI	6,63	51,96	206
São Luís (MA)	SLUI	2,53	44,21	50,86
Soure (PA)	SOUR	0,73	48,52	10,49
Tracuateua (PA)	TRAC	1,06	46,9	36
Tucuruí (PA)	TUCU	3,76	49,66	40
Turiação (MA)	TURI	1,56	45,36	44,06
Zé Doca (MA)	ZDOC	3,26	45,65	45,28

Figura 1. Distribuição espacial das estações do Instituto Nacional de Meteorologia sobre a Amazônia Oriental (mapa a direita). A esquerda, mapa de localização da Amazônia Oriental no Brasil.

Utilizou-se o método da Regressão Linear para o desenvolvimento dos modelos de previsão sazonal da precipitação no verão (Dezembro, janeiro e fevereiro - DJF) e outono austral (Março, abril e maio - MAM) levando em conta os dados de TSM dos meses anteriores aos da previsão: lag-1 (fevereiro), lag-2 (janeiro e fevereiro), e lag-3 (dezembro, janeiro, fevereiro) para a previsão da precipitação do trimestre MAM; e lag-1 (novembro), lag-2 (outubro e novembro) e lag-3 (setembro, outubro e novembro) para a previsão da precipitação do trimestre DJF. De acordo Levine *et al.* (2008) o princípio pode ser simples (utiliza uma variável explicativa) e múltipla (utiliza a partir de duas variáveis) e consiste em modelar uma variável quantitativa dependente Y através da combinação linear de p variáveis explicativas quantitativas $X_1, X_2, \dots, X_p$. O modelo estatístico pode ser escrito para observações i conforme equação 2:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Sendo Y_i o valor estimado para a variável dependente (precipitação) e observação i , e X_{ij} é o valor considerado pela variável j e observação i para a variável explicativa (TSM em áreas selecionadas sobre os oceanos Pacífico e Atlântico), β_0 é o coeficiente linear, β_j coeficiente angular e ε_i é o erro do modelo.

Os resultados contendo correlações significativas entre a precipitação dos trimestres (DJF e MAM) e a TSM foram usados para a montagem dos modelos de regressão simples (uma área oceânica como variável explicativa da precipitação) e múltipla (duas ou mais áreas oceânicas como variáveis explicativas). Assim, foram montados modelos ora utilizando áreas somente do oceano Pacífico, ora do oceano Atlântico e modelos considerando as áreas dos dois oceanos. Os modelos foram gerados considerando o período de treinamento de 30 anos (1982 a 2012) e o modelo foi avaliado para o período de previsão de 10 anos (2007 a 2016), sendo que apresentaremos somente o resultado da previsão para 2015/2016. Tanto para as análises de correlações, como para os modelos de regressão são considerados a significância estatística ao nível de 95% ($p = 0,05$).

Para avaliar a capacidade do modelo de previsão, utilizou-se o parâmetro Coeficiente de determinação (R^2) interpretado como a proporção

da variabilidade da variável dependente do modelo (Floriano *et al.*, 2006), como segue.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2}$$

$$\text{Com: } \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i y_i \quad (3)$$

Sendo w o peso usado para estimar os coeficientes da equação de regressão. Quanto mais próximo de 1 melhor será a performance do modelo.

E para validar a concordância ou desacordo entre os dados observados e previstos, utilizou-se o Índice de Concordância (d), em que o valor ótimo de d é 1, o que significa que todos os valores modelados correspondem às observações (Willmott 1981, 1982). De acordo com Rasel *et al.* (2016) a medida de Willmott é a mais apropriado para a investigação de validação de um modelo.

O índice de concordância (d) é expresso como:

$$d = \left(\frac{1 - (\sum (P_i - O_i)^2)}{[\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2]} \right) \quad (4)$$

Em que P_i corresponde aos valores previstos, O_i os valores observados e $\bar{O}$ é valor médio observado.

Para se calcular os erros das previsões utilizou-se a medida de erro MAPE (Mean Absolute Percentage Error). MAPE é considerado como uma das medidas de erro mais usadas para se avaliar os métodos de previsão (Lewis, 1997).

O erro percentual absoluto médio é a média de todos os erros absolutos percentuais, fornecendo uma indicação do tamanho médio do erro, expresso como uma porcentagem do valor observado.

O método de interpolação utilizando o IDW (Inverse Distance Weighting) foi aplicado a fim de espacializar os resultados da correlação entre a precipitação e a TSM e o resultado das previsões da precipitação para o trimestre DJF (2015/2016) e MAM (2016). De acordo com Melo *et al.*, (2003) e Meng *et al.* (2013) essa técnica possibilita a construção de um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos. A interpolação utilizando o inverso do quadrado da distância foi feita da seguinte forma:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_i^2} \cdot X_i \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_i^2} \right]} \quad (5)$$

Onde: X_n : variável interpolada; X_i valor da variável da i -ésima localidade vizinha; d_i : distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

Resultados e discussão

Regime climatológico da precipitação do verão e outono austral

A Figura 2 refere-se a climatologia sazonal da precipitação nos trimestres de DJF e MAM sobre a Amazônia oriental para o período de 1982 a 2016 (34 anos de dados). Nesta Figura observa-se que os maiores volumes de precipitação do verão austral (DJF) estão nos municípios de Belém (estação BELE), Soure (estação SOUR) e Conceição do Araguaia (estação CARA), tais valores são superiores a 1000 mm. Os menores volumes climatológicos estão situados sobre o leste da região de estudo (BALS, COLI e TURI), com volumes pluviométricos inferiores a 600 mm. O valor máximo histórico (superior a 2000 mm) de precipitação do período foi registrado na estação de SOUR, e o mínimo (150 mm) sobre a estação de SLUI. Os resultados da climatologia do trimestre DJF se devem à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), banda de nebulosidade posicionada mais próxima do Equador neste período (De Souza *et al.*, 2004). O máximo volume por exemplo em Conceição do Araguaia (CARA) está associado à manifestação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), na qual está em sua máxima atuação nos meses de dezembro e janeiro (Carvalho *et al.*, 2004).

Quanto a precipitação do trimestre (MAM), o regime pluviométrico sazonal tem um aumento considerado nas estações de PMOZ, BELE, CAME com volumes pluviométricos superiores a 1200 mm, isto se deve a posição mais ao sul da ZCIT no mês de março (Nobre e Shukla, 1996), sendo o principal indutor de chuvas na região. Já na parte sul e sudeste da Amazônia oriental ocorre uma diminuição da precipitação devido a retração da ZCAS (De Souza e Ambrizzi, 2004) neste período. O trimestre MAM mostra uma variabilidade mais acentuada em relação a DJF, e ainda, a mínima histórica ocorreu no centro sul da Amazônia oriental (ver figura 1) com volume

inferior a 110 mm no trimestre e o máximo chegou próximo de 1600 mm no norte da região

Correlação entre TSM e precipitação sazonal

A Figura 3 mostra as áreas-chave de TSM dos oceanos adjacentes a América do Sul utilizadas nas correlações com a precipitação das 21 estações ao longo da Amazônia Oriental, estas áreas foram: Pacífico Oeste (PO), Pacífico Leste (PL), Pacífico Tropical (PT), Atlântico Tropical Norte (ATN), Atlântico Subtropical Norte (ASN), Atlântico Equatorial (AE) e Atlântico Tropical Sul (ATS).

O resultado das correlações (1982 a 2016) entre TSM e a precipitação interpoladas através do método de IDW são mostrados nas Figuras 4 e 5, onde as letras de (a) a (c) correspondem às correlações entre a precipitação observada e a TSM das áreas do Pacífico, e as letras de (d) a (g) referem-se à correlação entre a precipitação observada e a TSM das áreas do Atlântico.

Nota-se na Figura 4 de (a) a (c) que a configuração das correlações é semelhante nas áreas do oceano Pacífico. No geral, as correlações são negativas e significativas com valor de até 0.8, sendo mais notada na figura 4(a), na porção centro leste da Amazônia oriental. No centro sul, (Figura 4a e 4b), observa-se uma porção com correlação positiva (0.2 e 0.4).

Nas correlações entre a precipitação e a TSM das áreas do oceano Atlântico (Figuras de (d) a (g) percebe-se que a correlação com área do Atlântico Tropical Norte (Figura 4d) apresenta, na maior parte da região, valores entre -0.2 e 0.2. Na porção centro norte, nota-se correlação positiva entre 0.2 e 0.6 e na porção sudeste da Amazônia oriental correlação positiva acima de 0.8 e na porção sudoeste correlação negativa com valor entre 0.2 e 0.6. Na figura 4e (correlação entre a PRP e a TSM na área do Atlântico Equatorial) predomina correlação negativa com valores entre 0.2 e acima de 0.8, na porção centro sul da área de estudo observa-se correlação positiva (0.2 a 0.6). Nota-se que as correlações da figura 4 (f) e (g) são semelhantes com valores, em sua maior parte, positivos entre 0.2 e acima de 0.8.

Assim como na figura 4, as correlações entre a PRP do trimestre MAM e TSM do trimestre DJF nas áreas do oceano Pacífico (Figura 5a a 5c) mostram correlações negativas, na maior parte da Amazônia oriental, com valores entre 0.2 e 0.8, no qual o valor 0.8 é predominante na região sul da área de estudo (Figura 5a e 5b). Na região do noroeste da área de estudo, nota-se correlação

positiva (0.2 a 0.8) e na região com sentido norte - oeste, a correlação fica entre -0.2 e 0.2.

Figura 2. Climatologia da precipitação dos trimestres DJF e MAM das estações do Instituto Nacional de Meteorologia situadas sobre a Amazônia Oriental.

Figura 3. Áreas-chave de TSM dos oceanos adjacentes a América do Sul utilizadas como preditoras nos modelos de regressão linear, sendo que as caixas no Pacífico (PO= Pacífico Oeste, PT = Pacífico Tropical linha pontilhada e PL = Pacífico Leste) e Atlântico (ATN = Atlântico Tropical Norte -linha pontilhada, ASN = Atlântico Sutropical Norte, AE = Atlântico Equatorial – linha pontilhada e ATS = Atlântico Tropical Sul).

Nas áreas do Atlântico (Figura 5 d-g) observa-se que das quatro regiões do oceano Atlântico em duas dessas nota-se correlações negativas significativas (correlações atingindo valores superiores a 0.8) principalmente na figura 5e. Nas figuras 5f e 5g, percebe-se uma semelhança dos valores de correlações em toda a área de estudo.

Através destes resultados percebe-se que a precipitação da Amazônia Oriental, no período de DJF, apresenta melhor correlação com a Temperatura do Oceano Pacífico, especialmente com as áreas do Pacífico Tropical e Pacífico Leste e que no trimestre MAM, apesar da grande

influência do oceano Pacífico, nota-se um aumento considerável dos valores das correlações entre a TSM das áreas do oceano Atlântico com a precipitação observadas nas estações situadas na Amazônia Oriental. Tal influência dos oceanos adjacentes a América do Sul na precipitação da Amazônia foi observada e analisada nos estudos de Sodré *et al.* (2015), Hastenrath e Greischar (1993), Pezzi *et al.* 2000, Ferreira *et al.*, 2012 e De Souza *et al.* (2009) que demonstraram em seus estudos relações diretas e indiretas entre a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico com a precipitação na Amazônia.

Figura 4. Correlação espacializada entre a temperatura da superfície do mar (SON) dos oceanos Pacífico e Atlântico e a precipitação das estações do INMET do trimestre DJF, das estações localizadas sobre a Amazônia Oriental. Onde (a) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Oeste (PO); (b) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Tropical (PT); (c) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Leste (PL); (d) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Tropical Norte (ATN); (e) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Subtropical Norte (ASN); (f) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Equatorial (AE) e (g) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Tropical Sul (ATS).

Figura 5. Correlação espacializada entre a temperatura da superfície do mar (DJF) dos oceanos Pacífico e Atlântico e a precipitação, do trimestre de MAM, das estações localizadas sobre a Amazônia Oriental. Onde (a) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Oeste (PO); (b) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Tropical (PT); (c) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Pacífico Leste (PL); (d) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Tropical Norte (ATN); (e) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Subtropical Norte (ASN); (f) Atlântico Equatorial (AE) e (g) correlação entre a precipitação e a TSM da área do Atlântico Tropical Sul (ATS).

Prognóstico Sazonal da precipitação

A Figura 6 mostra a precipitação observada e prevista sobre a Amazônia Oriental para o verão (DJF) e outono (MAM) austral dos anos de 2015 e 2016. Observa-se que, no geral, a precipitação prevista para os dois trimestres (DJF e MAM) acompanham os dados observados. Nota-se ainda que o modelo representou bem a precipitação nos dois trimestres, mostrando uma boa previsão em relação aos dados observados da precipitação na Amazônia Oriental. Poucas diferenças são percebidas entre os dados observados e previstos em ambos os trimestres demonstrando boa acurácia.

Tal acurácia pode ser comprovada nos resultados apresentados na figura 7 (Coeficiente de determinação – 7a e 7b, e índice de Willmott – 7c e 7d) no qual mostra valores estatísticos significativos (0.6 a 0.9), em algumas áreas atinge o valor máximo nos dois trimestres estudados. A partir dos resultados do índice de Willmott e R^2 conclui-se que o modelo é válido para a previsão da precipitação na Amazônia Oriental,

especialmente nas áreas em que o modelo representou bem os dados observados.

As Figuras 8 e 9 mostram os valores do Mean Absolute Percentage Error (MAPE) em cada estação do INMET, localizadas na Amazônia oriental, dos trimestres DJF e MAM, respectivamente. A figura 8 apresenta os valores de MAPE do trimestre DJF, os quais observa-se que, em geral, os valores foram em torno 10%, os menores valores (inferiores a 5%) foram nas estações de São Félix do Xingu (SFXI) e Soure (SOUR) e os maiores valores (inferior a 23%) ocorreram nas estações Barra do Corda (BCOR) e Turiaçu (TURI).

Na figura 9 (MAPE do trimestre MAM) nota-se que os erros nas estações, em geral, são inferiores a 15% e que o maior valor do MAPE ocorreu nas estações BACA (Bacabal) e BCOR (Barra do Corda) 21 e 25% respectivamente, e os menores valores foram nas estações Pomo (Porto de Moz) e BELE (Belém) com 6,6 e 6,8% respectivamente.

Figura 6. Previsão sazonal da precipitação para os trimestres DJF (2015-2016) e MAM (2016) para a Amazônia Oriental. Onde: precipitação observada (a), prevista (b) de DJF, e precipitação observada (c), prevista (d) de MAM.

Figura 7. Valores espaciais do parâmetro do coeficiente de determinação $-R^2$, onde: a) DJF e b) MAM, e o índice de Willmott – d, onde: c) DJF e d) MAM.

Figura 8. Valores do Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) calculado nas estações do INMET, para o trimestre DJF.

Figura 9. Valores do Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) calculado nas estações do INMET, para o trimestre MAM.

Conclusões

Este artigo apresentou uma contribuição científica aos estudos de modelagem climática estatística, especialmente para a Amazônia oriental. A contribuição da temperatura dos Oceanos adjacentes a América do Sul tem grande importância para precipitação da Amazônia.

As áreas do Pacífico Leste e Pacífico Tropical são as que tem melhor correlação com a

precipitação dos trimestres estudados. As áreas do Atlântico Equatorial e Atlântico Sul tem melhor correlação com a precipitação do trimestre de DJF e as áreas do Atlântico Subtropical Norte e Atlântico Norte com a do trimestre MAM. As correlações entre a Precipitação e a TSM mostraram que as melhores previsões são as utilizadas com defasagens de lag-1.

O modelo estatístico de prognóstico da precipitação sazonal desenvolvido para a

Amazônia oriental mostrou boa acurácia, comprovada através dos resultados do coeficiente de determinação e do índice de Willmott, além de serem mostrados os baixos erros médios percentuais, sendo, portanto, válido para tais previsões.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da Bolsa, ao INMET pela disponibilidade dos dados de precipitação, ao Climate Prediction Center pela concessão dos dados de temperatura da superfície do mar.

Referências

- Azevedo, F. T. M., Souza, E. B., Franco, V. S., Souza, P. F. S. 2017. Prognóstico sazonal de precipitação regionalizada na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 1520-1534.
- Carvalho L. M. V., C. Jones and B. Liebmann, 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate* 17, 88–108.
- Davis, C. L. 2011. Risco Climático e Vulnerabilidade: Manual para a África Austral, Conselho para a Investigação Científica e Industrial (CSIR), Pretória, África do Sul, p. 92.
- De Souza E. B., M. Kayano, T. Ambrizzi, 2004. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 2, 113–122.
- De Souza E. B. and T. Ambrizzi, 2004. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise* 2, 1, 1-20.
- De Souza, E.B.; Rocha, E.J.P., 2006. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21(3a), 142-152.
- De Souza E. B., M. Lopes, N. G. Rocha, E. J. P. Souza, J. R. S. Cunha, A. C. Silva, R. R. Ferreira, D. B. S. Santos, D. M. Carmo, A. M. C. Sousa, J. R. A. Guimarães, P. L. M. Mota, A. S. Makino, M. Senna, R. C. Sousa, M. L. Mota, G. V. P. A. F. Kuhn, P. F. Souza and M. I. Vitorino, 2009. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 111-124.
- Espinoza Villar J. C. E., J. Ronchail, J. L. Guyot, G. Cochonneau, F. Naziano, W. Lavado, E. Oliveira, R. Pombosa, P. Vauchel, 2009b. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International journal of climatology*.
- Ferreira, W. R. S., Vitorino, M. I., Souza, E. B., do Carmo, A. M. C. 2012. Sazonalidade da Precipitação para a Amazônia usando o modelo REGCM3: Avaliando apenas a forçante do Atlântico Equatorial. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 435 – 446.
- Fisch, G. F., J. A. Marengo, C. A. Nobre, 1998. Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta amazônica* 28, 101-126.
- Floriano, E. P.; Muller, I.; Finger, C. A. G.; Schneider, P. R. 2006. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. *Ciência Florestal* 16, 177-199.
- Hastenrath, S., 1990. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate* 3, 893-904.
- Hastenrath, S., L. Greischar, 1993. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. *Journal of Climate* 6, 743-758.
- Levine D. M., Stephan, F. David, Krehbiel, C. Timothy, Berenson, L. Mark., 2008. *Estatística – Teorias e Aplicações*. 5. Ed. Rio de Janeiro.
- Lewis, C. D. *Demand Forecasting and Inventory Control*. New York: Wiley, 1997.
- Marinho Filho G. M., R. S. Andrade, J. C. Zukowski Junior, L. N. L. Magalhães Filho, 2012. Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais* 6, 35 - 47.
- Meng, Q. Liu, Z. and Borders, B. E. 2013. Assessment of regression kriging for Spatial interpolation—Comparisons of seven GIS interpolation methods. *Cartography and geographic information science* 40, 28–39.
- Naghettini, M., E. J. A. Pinto, 2007. *Hidrologia Estatística*. 1. Ed. Belo Horizonte. 552 pp.
- Nobre, P.; J. Shukla, 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9, 2464-2479.
- Pezzi, L. P., V. Ubarana, e C. Repelli, 2000. Desempenho e Previsões de um Modelo Regional Estatístico para a Região Sul do

- Brasil. Revista. Brasileira de Geofísica 18, 129-146.
- Rasel H. M., M. A. Imteaz, F. Mekanik, 2016. Investigating the Influence of Remote Climate Drivers as the Predictors in Forecasting South Australian Spring Rainfall. *J. Environ. Res.* 10, 1-12.
- Satyamurty P, Mattos LF, Nobre C.A., Silva Dias P.L., 1998. Tropics - South America, in: Kauly, D. J., Vincent, D. G.. *Meteorology of the Southern Hemisphere*. American Meteorological Society, Boston, pp. 119-139.
- Silva, V. B. S; Kousky, V; Shi, W. E; Higgins, R. W. 2007. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal of Hydrometeorology* 8, 847-861.
- Sodré G. R., B. C. Moraes, D.S. Ferreira, J. V. Oliveira, E. B. Souza, 2015. Teleconexões oceânicas nos padrões climáticos da Amazônia oriental: análises dos últimos 40 anos (1974-2013). *Revista Brasileira de Climatologia*, 17, 53-66.
- Willmott C. J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography* 2, 184-194.
- Willmott C. J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63, 1309-1313.
- Wilks D. S., *Statistical methods in the atmospheric sciences*. San Diego: Academic Press, 2006 pp.
- Zhao Q. H., S. L. Liu, L. Deng, S. K. Dong, C. Wang, J. J. Yang, 2011. Assessing the damming effect ts on runoff using a multiple linear regression model: A case study of the Manwan Dam on the Lancang River. *Procedia Environmental Sciences* 13, 1771 – 1780.