

ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DERIVADAS DO SATÉLITE TRMM PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAPEBA, MG

Estimations for rainfall extract from the TRMM satellite for the Paraopeba River Watershed

Wilson Ricardo Venâncio Aires ^{1*}; José de Oliveira Melo Neto ²; Carlos Rogério de Mello ³

¹Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola; UFV; wvaires@gmail.com

²Doutor em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia; UFLA, josneto_86@hotmail.com

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia; UFLA, crmello@deg.ufla.br

Artigo enviado em 17/04/2016, aceito em 19/10/2016 e publicado em 20/12/2016.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi analisar a precisão das estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM e verificar qual método de interpolação melhor ajusta os dados estimados sobre a Bacia do Rio Paraopeba, MG. Para aferição dos valores do TRMM foram utilizados dados de estações meteorológicas da rede de monitoramento do INMET. As séries utilizadas possuem duração de 11 anos (2000-2010). Na análise de precisão entre os dados das estações terrestres e as informações orbitais foram aplicados os coeficientes de Wilmott (d), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E), Correlação (r), PBias e Erro Médio Absoluto (EMA). Após a análise da estatística de precisão, foram utilizados o IQD e o IPL para a espacialização dos dados. Foi obtida boa precisão entre os dados estimados e os observados, com valores de d variando de 0,93 a 0,98, e os valores de E em torno de 0,87 a 0,91. Em relação aos interpoladores, ambos apresentaram resultados semelhantes, no entanto o IPL gerou o menor erro no ajuste dos dados.

Palavras-Chave – Estatística de precisão, sensor orbital, análise espacial da precipitação

Abstract – The aim of the study was to analyze the accuracy of the estimations for rainfall extract from the TRMM and verify what interpolation method best fits the estimated data on the basin of Rio Paraopeba, MG. For validation of TRMM values, it was taking into account weather stations under operation of Brazilian National Meteorology Institute (INMET). The monthly rainfall series used have a duration of 11 years (2000-2010). For Correlation analysis between the INMET rain gauges and the orbital satellite data, it was applied the Wilmott coefficient, Nash - Sutcliffe and Correlation Coefficients, PBias and Middle Absolute Error. After analyzing the statistical accuracy, the IQD and the IPL were used for the spatial rainfall for the locations that do not have rainfall monitoring on the ground processes. Good accuracy between the estimations and observed data was obtained, with d -values ranging from 0,93 to 0,98, and E values around 0,87 to 0,91. Regarding the interpolation, both produced similar results, however IPL produced a minor errors.

Keywords – Statistical precision, orbital sensor, spatial analysis of precipitation.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da precipitação no Brasil ocorre, primordialmente, através de estações terrestres convencionais que integram as redes de monitoramento dos principais centros operacionais do país (MELO NETO, 2012). Em estudos climáticos, são necessários o emprego de séries temporais de dados, no entanto, muitas destas séries apresentam falhas, o que muitas vezes, inviabiliza a utilização destes dados (OLIVEIRA et al., 2010).

A obtenção dos dados de precipitação está restrita aos locais monitorados, sendo necessária a aplicação de métodos estatísticos para a espacialização da precipitação pluvial (MELO NETO, 2012). Entretanto, a falta de informação torna-se um obstáculo para determinar sua espacialização e conseqüentemente modelar a sua variabilidade (WANDERLEY et al., 2012). Além de que, precipitações isoladas que podem ocorrer em determinada área e que não são contabilizadas na estação meteorológica mais próxima, podem influenciar significativamente nas análises (PEREIRA et al., 2013). Desta forma, diversos estudos

vêm sendo desenvolvidos com o objetivo verificar a confiabilidade de fontes alternativas da medição da precipitação em relação aos dados observados (SALDANHA et al., 2015).

A utilização de sensores orbitais pode ser de grande auxílio para contornar as dificuldades de monitoramento, pois através de sensoriamento remoto é possível obter informações da variabilidade da precipitação, sendo vantajoso especialmente em localidades em que é inviável a instalação de estações meteorológicas (LI et al., 2012).

Dentre os métodos de medição da precipitação por sensoriamento remoto, o satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), lançado em 1990, permite obter dados de precipitação pluvial com uma resolução espacial de 28 x 28 km e resolução temporal em escala mensal e diária desde o ano 1997 (PEREIRA et al., 2013). O TRMM é formado por diversos produtos de estimativas de chuvas, cujo objetivo é o melhoramento da medição da precipitação tropical por sensoriamento remoto (SODRÉ et al., 2012).

A utilização do TRMM demonstra que os dados estimados são boa alternativa para localidades em que se observa baixa densidades de pluviômetros, como é o caso de grandes bacias hidrográficas em que se emprega os dados estimados pelo TRMM como entrada em modelos hidrológicos (PIRES; COSTA, 2013; PAIVA et al., 2013; BUARQUE et al., 2011).

Porém, é necessário a aplicação de metodologias que visam validar estas séries temporais de dados de sensor remoto em relação aos dados registrados de superfície, para verificar se os dados estimados estão em concordância com os valores observados (Li et al., 2012). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM através da comparação com dados de superfície medidos por estações meteorológicas convencionais e verificar qual método de interpolação melhor ajusta-se aos dados estimados sobre a Bacia do Rio Paraopeba, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (BHRP) localizada na região central de Minas Gerais (Figura 1), na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) Alto São Francisco (SF03), nas coordenadas geográficas aproximadas de 20°51'S e 18°35'S e de 45°11'W e 43°38'W e possui área de drenagem de 13.642 km².

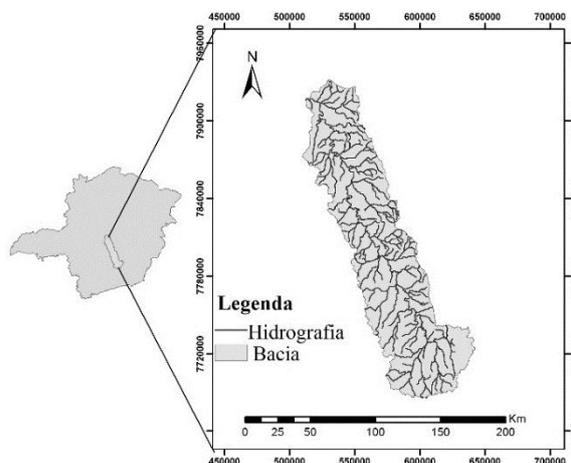


Figura 1 - Localização da Bacia do rio Paraopeba

As séries temporais de precipitação medidas pelo TRMM utilizadas foram obtidas junto ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado a Agricultura e Floresta (LAF), através da ferramenta *Series View*, que apresentam período de observação de 11 anos (2000 a 2010).

A precipitação estimada pelo TRMM foi originada do produto TRMM 3B43 versão 6, o qual fornece estimativa de precipitação derivada de dois outros produtos: a estimativa com frequência de 3 horas do algoritmo 3B42 V6 e a precipitação observada por pluviômetros do projeto *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) (MENG et al., 2014). Apresenta também uma cobertura geográfica de 50° S a 50° N e uma resolução espacial de 28 x 28 km (HUFFMAN et al., 2007; MENG et al., 2014; BUARQUE et al., 2011).

O produto TRMM 3B42 V6, por sua vez, realiza duas operações para efetuar a estimativa de precipitação. Na primeira etapa o algoritmo combina a precipitação estimada pelo *Microwave Imager* (TMI), que é um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação, com o perfil de precipitação do *Precipitation Radar* (PR), instrumento que fornece mapas tridimensionais da estrutura da precipitação (MENG et al., 2014; POMBO; OLIVEIRA, 2015). Este procedimento gera o produto 3B31 com dados mensais e resolução 28 x 28 km. Na segunda etapa, o 3B31 é empregado para corrigir as estimativas de precipitação efetuadas pelo satélite

GOES que é dada a cada 3 horas (SILVIA et al., 2012; POMBO; OLIVEIRA, 2015).

Para refinar as medições do TRMM existe um programa de validação de campo (*Ground Validation*), contando com radares meteorológicos. No Brasil, o radar utilizado para a validação dos dados estimados pelo TRMM está localizado em São Paulo, na latitude de -23,58 S (COLLISCHONN, 2006).

As estações terrestres empregadas para validação das precipitações estimadas pelo TRMM pertencem à rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016). Desta forma, comparou-se os valores de precipitação média acumulada mensal observados e os estimados pelo TRMM, sendo que os pixels amostrados do TRMM para referida validação são concordantes com as coordenadas onde estão localizadas as estações terrestres.

Para identificar as estações que apresentam área de influência sobre a bacia foi aplicado o método de determinação da precipitação denominado de Polígono de Thiessen utilizando o ArcGis 10.2 (TUCCI, 2001). Desta forma, as estações identificadas estão localizadas em: Curvelo, Barbacena, Florestal, Ibirité, Oliveira, Pompéu e Sete Lagoas.

Na análise de correlação entre os dados das estações terrestre e as informações orbitais foram aplicados os coeficientes de Wilmott (d), Nash – Sutcliffe (E), Correlação (r), Porcentagem do viés (Pbias) e Erro Médio Absoluto (EMA).

O índice de concordância (d) proposto por Wilmott é empregado para identificar o grau de concordância entre o valor observado e sua estimativa (KRAUSE et al., 2005), e pode ser obtido através da Equação 1.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad Eq. 1$$

Em que, \bar{O} é a média dos valores observados, O_i representa os dados observados e E_i os valores estimados.

Foi aplicado o coeficiente de Nash – Sutcliffe (E), que é definido como um menos a soma das diferenças absolutas ao quadrado entre os valores estimados e observados normalizados pela variância dos

dados observados no período de análise (KRAUSE et al., 2005), conforme a Equação 2.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad Eq. 2$$

Em que O_i e P_i são os valores observados e estimados respectivamente e \bar{O} representa a média dos valores observados.

O coeficiente de correlação (r) indica o grau de dispersão dos valores obtidos em relação à função de ajustamento, e dado pela Equação 3.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad Eq. 3$$

O índice de Pbias é utilizado para medir a tendência média dos dados simulados (maiores ou menores que os valores observados), e poder pode ser calculado através da Equação 4.

$$Pbias = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i} \cdot 100 \quad Eq. 4$$

Em que n é o número de dados medidos; O_i e S_i são dados observados e estimados respectivamente, no tempo i .

O Erro Médio Absoluto (EMA) mede o afastamento médio das estimativas em relação aos valores observados, e se constitui na média dos erros da estimativa, conforme a Equação 5.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad Eq. 5$$

O EMA, O_i é o valor observado na posição i , P_i é o valor de estimado na posição i e n é o tamanho da amostra.

Após a verificação da acurácia dos dados, os valores de precipitação estimados pelo TRMM foram especializados para regiões que não possuem estações meteorológicas na bacia. Para isso, foi feita uma grade na bacia contendo 27 pontos, espaçados em 28 km x 28 km, que corresponde a um pixel do TRMM. Para cada ponto se obteve a série histórica de precipitação média

acumulada mensal, permitindo caracterizar a estimativa da precipitação média sobre a BHRP.

Na interpolação foram feitas três análises do comportamento da precipitação. A primeira foi a análise mensal, para o período de 11 anos. Na segunda análise, verificou-se o comportamento anual da precipitação e na terceira análise, foram avaliados os períodos seco (abril-setembro) e chuvoso (outubro-março).

Estas análises foram feitas através da ferramenta *geostatistical Analyst* do software ArcGis 10.2. As técnicas de interpolação desta ferramenta são utilizadas para criar uma superfície contínua dos dados medidos e em seguida extrapolar estes dados para regiões em que se pretende prever os valores não medidos (KUMAR et al., 2007).

Para a espacialização dos dados de precipitação na BHRP, foram aplicados os interpoladores determinísticos Inverso Quadrado da Distância (IQD) e a Interpolação Polinomial Local (IPL), sendo o IQD um interpolador exato, ou seja, prediz valores idênticos ao medidos nas mesmas posições de amostragem, e o IPL inexato, em que se obtém valores que podem ser diferentes do medido nas mesmas posições da amostra (LIU et al., 2014).

O IQD consiste na média ponderada pelo inverso da distância entre a localidade que se deseja estimar uma dada variável em relação as localidades vizinhas, das quais são conhecidos os valores da variável. A Formula geral do cálculo do IQD para estimativa da precipitação está representada pela Equação 6.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\left(\frac{1}{d_i^n} \right) P_i \right)}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{d_i^n} \right)} \quad \text{Eq. 6}$$

Em que P_i é a precipitação nos postos vizinhos, conhecida; d_i é a distância euclidiana da respectiva estação ao ponto a ser estimado, n é o expoente da distância, no qual foi utilizado o valor 2, ou seja, o inverso do quadrado da distância, e m é o número de estações utilizadas.

O método IPL pode ser visto como a combinação de métodos globais e o procedimento de média móvel. Assim, ao invés de ajustar um polinômio para o conjunto de dados inteiro, é montado um

subconjunto local definido por uma janela que engloba uma parcela deste conjunto. Desta forma, o método IPL ajusta vários polinômios para descrever a superfície (XIE et al., 2011).

Esta janela é movida na superfície e para cada posição é estimado um valor $\mu_0(x, y)$ da região central da mesma. O ajuste dos dados entre o valor estimado e o observado de forma a minimizar os erros é feito através dos mínimos quadrados ponderados, conforme Equação 7.

$$\sum_{i=1}^n w_i (Z(x_i, y_i) - \mu_0(x_i, y_i))^2 \quad \text{Eq. 7}$$

Em que $Z(x_i, y_i)$ é o valor observado na posição x_i, y_i , $\mu_0(x_i, y_i)$ é o valor estimado e w_i é o peso atribuído a distância, representado pela Equação 8.

$$w_i = \exp\left(\frac{-3d_{i0}}{a}\right) \quad \text{Eq. 8}$$

Onde d_{i0} é a distância do ponto e o centro da janela e a é um parâmetro que controla o decaimento do peso em relação à distância.

A representação do polinômio de primeira pode ser obtido pela Equação 9.

$$\mu_0(x_i, y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 y_i \quad \text{eq. 9}$$

Em que β_i são parâmetros obtidos a partir do mínimo quadrado ponderado. Na maior parte dos casos, são utilizados de polinômios até o terceiro grau, porém a escolha da ordem deste polinômio depende do comportamento da base de dados (JOHNSTON et al., 2001).

Para comparação dos métodos de interpolação foi utilizada a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) representado pela equação 10.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - z(x)]^2} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que $Z(x_i)$ é o valor observado na posição i , $Z^*(x_i)$ é o valor de interpolação na posição i e n é o tamanho da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise de precisão, relacionando os valores de precipitação acumulada mensal estimados pelo TRMM com os dados observados nas estações terrestres podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatísticas de precisão entre os valores observados nos postos do INMET e aqueles estimados pelo TRMM.

	Curvelo	Barbacena	Ibirité	Florestal	Pompéu	Sete Lagoas	Oliveira
d	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,98	0,93
E	0,87	0,88	0,89	0,88	0,81	0,91	0,9
EMA	26,3	28,4	27,2	27,1	31,1	22,9	33,5
r	0,93	0,94	0,95	0,94	0,9	0,95	0,86
Pbias	2,39	8,35	8,22	11,59	21,89	3,76	17,4

b

Observa-se que existe concordância entre os valores observados e estimados, já que o índice de Wilmott (d), apresentou valores próximos a 1.

O resultado obtido para o coeficiente de Nash-Sutcliffe (E), demonstra que os dados estão bem ajustados, em que o menor valores observado em Curvelo com 0,87. De acordo com Pereira et al., 2016, valores de E igual a 1, significa ajuste perfeito dos dados, para valores de E menores que 0,75, o ajuste é considerado adequado e bom.

O Erro Médio Absoluto (EMA) apresentou baixa magnitude em relação aos totais, como pode ser verificado na Tabela 2. Pode-se observar que a estação de Sete Lagoas apresentou o menor valor do EMA com 22,9 mm. Já na estação de Oliveira, foi identificado o maior erro com 33,5 mm. Pereira et al. (2013) obtiveram erro de até 53 mm na comparação entre os dados estimados pelo TRMM e os valores observados nas estações de superfície nas regiões centro-oeste e Norte para o período chuvoso.

Para o coeficiente de correlação (r), em todas as estações foram encontrados valores satisfatórios. Os números obtidos ficaram próximos de 1, o que indica a existência de correlação entre os dados observados e os estimados. No trabalho de Condom et al., (2011), que correlacionaram os valores estimados do TRMM com

estações terrestres para regiões de montanhas, obtiveram coeficientes de correlação entre 0,60 a 0,76.

O índice Pbias apresentou valores considerados adequados, conforme Van Liew et al. (2007), que considerou satisfatório o desempenho da simulação hidrológica para valores de Pbias menores que 25%. Os valores de Pbias obtidos são positivos, o que indica que os dados estimados pelo TRMM tendem a superestimar os valores observados em superfície. Observa-se que a estação de Pompeu apresentou o maior valor de Pbias, com 21,89% e a estação de Curvelo, o menor valor com 2,39%. Segundo Pereira et al. (2013), o TRMM tem uma tendência média de superestimar os dados de precipitação em 15%. Soares et al., (2016) também observou superestimativa dos dados do TRMM em relação aos valores observados, com desvio de 34 mm, nas regiões em que se observa menores índices pluviométricos.

Na Tabela 2, pode-se observar a análise comparativa entre os valores médios de precipitação obtidos pelos interpoladores IQD, IPL e Polígono de Thiessen em comparação com o valor médio da precipitação estimada pelo TRMM na grade de pontos.

De maneira geral, os interpoladores subestimaram os valores médios de precipitação, em que apenas no mês de julho os três métodos de

especialização apresentaram superestimativa dos dados, com exceção dos meses de novembro e dezembro em que o IQD e IPL apresentaram erro positivo e maio e agosto, em que o IQD e o Polígono de Thiessen apresentaram superestimativa respectivamente.

Observa-se também que os valores obtidos pelos interpoladores foram superiores aos encontrados aplicando-se o método dos Polígonos de Thiessen, com exceção dos meses de julho e agosto, em que ambos os interpoladores apresentaram valor menor, e também em janeiro, em que o IPL apresentou menor valor em relação aos outros métodos. Porém, verifica-se que os

dados de precipitação não demonstram grande diferença, em que na análise anual, nota-se que o IPL e o IQD apresentaram uma variação de 72,7 mm e 79,06 mm, respectivamente, em relação ao método do Polígono de Thiessen.

Os valores superiores obtidos pelos interpoladores em comparação com o Polígono de Thiessen, podem estar relacionados com a classificação climática predominante, cerca de 45% da área da bacia, predomina-se o clima Cwa, os quais apresentam valores menores de precipitação. Como o método de Thiessen

Tabela 2 - Valores de precipitação obtidos através dos interpoladores e o polígono de Thiessen e erro relativo.

Período	Média Observada	IQD	IPL	Polígono de Thiessen	Erro IQD (%)	Erro IPL (%)	Erro Polígono de Thiessen
Janeiro	288,84	282,97	286,53	283,94	-2,00%	-0,80%	-1,70%
Fevereiro	157,53	153,8	155,53	146,49	-2,40%	-1,30%	-7,00%
Março	189,28	186,45	188,51	171,78	-1,50%	-0,40%	-9,20%
Abril	61,38	60,71	60,97	51,54	-1,10%	-0,70%	-16,00%
Mai	28,16	28,33	27,98	20,1	0,60%	-0,70%	-28,60%
Junho	11,25	10,7	10,1	7,86	-4,90%	-10,20%	-30,10%
Julho	6,49	6,71	6,5	8,87	3,40%	0,10%	36,60%
Agosto	11,41	11,05	11,02	12,24	-3,20%	-3,40%	7,30%
Setembro	49,14	48,5	48,33	47,46	-1,30%	-1,70%	-3,40%
Outubro	100,25	100,18	99,74	96,09	-0,10%	-0,50%	-4,10%
Novembro	223,37	224,62	224,06	206,4	0,60%	0,30%	-7,60%
Dezembro	324,45	325,11	326,07	314,42	0,20%	0,50%	-3,10%
Período seco	167,84	166,9	165,72	148,07	-0,60%	-1,30%	-11,80%
Período Chuvoso	1283,72	1274,61	1280,53	1219,13	-0,70%	-0,20%	-5,00%
Anual	1451,56	1439,91	1446,26	1367,2	-0,80%	-0,40%	-5,80%

opera com a ponderação das áreas de influência dos postos meteorológicos, quanto maior a área maior será sua influência nos resultados da precipitação média sobre a bacia hidrográfica.

Na Tabela 3, pode-se analisar o erro de interpolação do IPL e IQD na espacialização das séries de dados estimados pelo TRMM sobre a BHRP, cujo os

valores verdadeiros foram obtidos nas coordenadas da grade de pontos construída sobre a bacia, utilizando-se a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE). O RMSE foi gerado por validação cruzada no processo de espacialização do software ArcGis 10.2, em que se comparou os dados espacializados com os valores das séries de precipitação estimados pelo TRMM.

De maneira geral, os interpoladores apresentaram resultados próximos, há pouca diferença nos valores obtidos pelo RMSE. Porém, o método IPL apresentou melhor ajuste, uma vez que apenas nos meses de dezembro e junho o IQD obteve o menor valor para o RMSE com 5,97 mm e 0,74 mm, enquanto que a IPL apresentou o RMSE de 6,17 mm e 0,76 mm, respectivamente.

Setembro	2,73	2,1
Outubro	4,74	3,73
Novembro	7,29	5,78
Dezembro	5,97	6,17
Anual	24,54	22,79
Período Seco	6,41	4,16
Período Chuvoso	20,25	19,3

Tabela 3 - Valores dos erros d o IQD e o IPL.

Período	RMSE (mm)	
	IQD	IPL
Janeiro	8,04	6,41
Fevereiro	4,65	3,6
Março	6,04	5,99
Abril	3,35	3,27
Maio	1,68	1,56
Junho	0,74	0,76
Julho	0,57	0,38
Agosto	1,13	0,8

Nas Figuras 2 a 4 pode-se analisar a espacialização sobre a BHRP. As Figuras de 2 e 3 representam a análise mensal da interpolação, sendo que foi empregado o IPL para a espacialização, com exceção dos meses de dezembro e junho em que se utilizou o IQD, o qual apresentou o menor erro. O aumento no volume precipitado ocorre no sentido norte-sul, onde se verifica o menor valor no extremo norte da bacia e o maior valor no extremo sul. Esta tendência também é confirmada na Figura 4 que representa a interpolação para a análise anual dos dados e para o período seco e chuvoso.

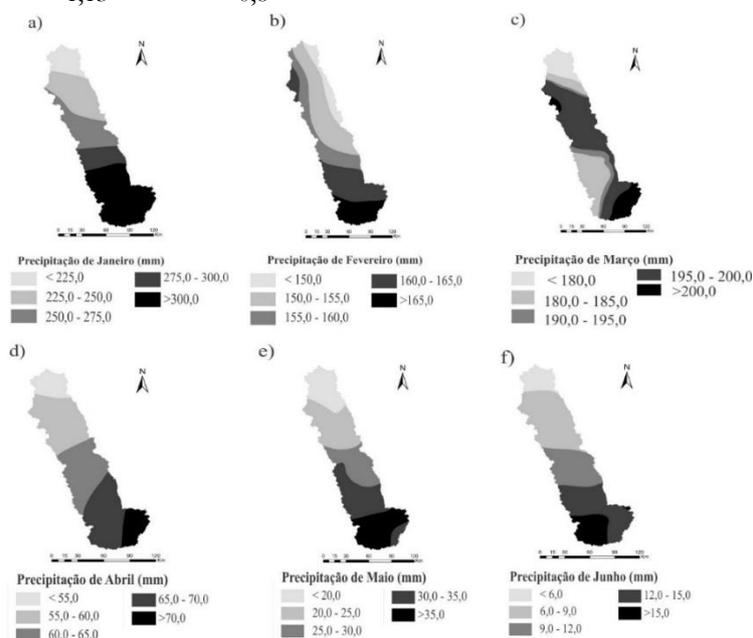


Figura 2 - Espacialização da precipitação para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f)

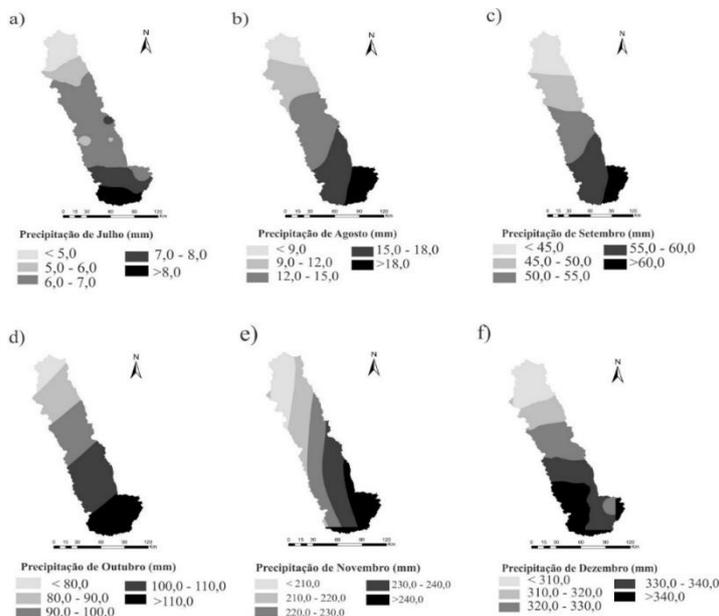


Figura 3 - Espacialização da precipitação para os meses de julho (a), agosto (b), setembro (c), outubro (d), novembro (e) e dezembro (f)

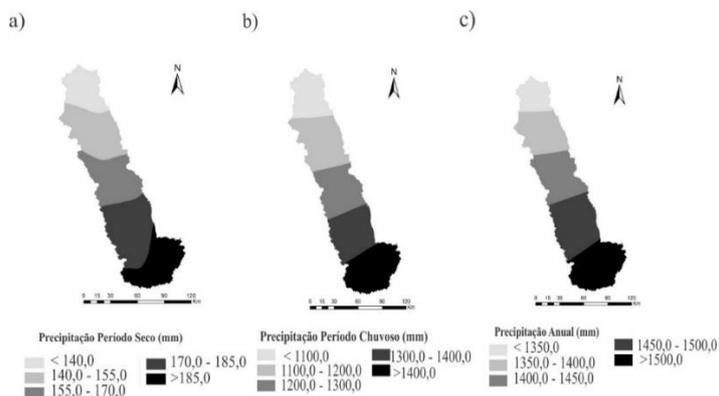


Figura 4 - Espacialização da precipitação para o período seco (a) e chuvoso (b) e anual (c)

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os dados de precipitação acumulada mensal estimados pelo TRMM apresentaram boa correlação com dados observados nas estações meteorológicas de superfície.

Como pode ser verificado, o índice de Wilmott apresentou valores próximos a 1, o que indica que existe uma boa concordância entre os dados estimados e os observados. O coeficiente de Nash – Sutcliffe demonstra que os dados estão bem ajustados, com valores variando entre 0,87 a 0,91. Desta forma, é possível a utilização das estimativas de precipitação derivadas do sensor TRMM em localidades que não possuem redes de monitoramento na BHRP.

Observa-se também que o índice de Pbias apresentou valores positivos, o que indica que, a utilização dos dados do TRMM tende a superestimar os valores observados de superfície.

Em relação aos interpoladores, o IQD e a IPL apresentaram resultados semelhantes, sendo possível o emprego de ambas as metodologias para a espacialização dos dados. Porém, foi obtido um menor erro, na maior parte dos casos, quando se utilizou a IPL, com exceção dos meses de junho e dezembro em que o IQD apresentou o RMSE de 0,74 e 0,76 respectivamente, enquanto que o IPL resultou em um RMSE de 5,97 e 6,16 para estes meses.

REFERÊNCIAS

- BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; CLARKE, R. T.; MENDES, C. A. B. A comparison of Amazon rainfall characteristics derived from TRMM, CMORPH and the Brazilian national rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, v. 116, p. 1 – 12, 2011.
- COLLISCHON, B. *Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. 2006. 126 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- CONDOM, T.; RAU, P.; ESPINOZA, J. C.; Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrological Processes*, v. 25, p. 1924-1933, 2011.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 38-55, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Instituto Nacional de Meteorologia*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 26 abr. 2016.
- JOHNSTON, K.; HOEF, J. M. V.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI: Redlands, 2001. p. 300.
- LI, X. H.; ZHANG, Q.; XU, C. Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, v. 426-427, p. 28-38, 2012.
- LIU, R.; CHEN, Y.; SUN, C.; ZHANG, P.; WANG, J.; YU, W.; SHEN, Z. Uncertainty analysis of total phosphorus spatial-temporal variations in the Yangtze River Estuary using different interpolation methods. *Marine Pollution Bulletin*, v. 86, p. 68 – 75, 2014.
- KRAUSE, P.; BOYLE, D. P.; BASE, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, v. 5, p. 89 – 97, 2005.
- KUMAR, A.; MAROJU, S.; BHAT, A.; Interpolating Environmental Data from observations. *Environmental Progress*, v. 26, p. 220-225, 2007.
- MELO NETO, J. O. *Análise de Sensibilidade Escalar do Modelo Hidrológico SWAT*. 2012. 149 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- MENG, J.; LI, L.; HAO, Z.; WANG, J.; SHAO, Q. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *Journal of Hydrology*, v. 509, p. 320-332, 2014.
- OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anua. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 11, p.1186-1192, ago. 2010.
- PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHON, W.; BONNET, M. P.; FRAPPART, F.; CALMANT, S.; MENDES, C. A. B. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resources Research*, v. 49, p. 1226-1243, 2013.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 3, p.139-148, set. 2013.
- PEREIRA, D. R.; ULIANA, E. M.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, D. D. Desempenho de um modelo hidrológico concentrado e de um semidistribuído na predição de vazões diárias. *Irriga*, v. 21, n. 2, p. 398 – 413, 2016.
- PIRES, G. F.; COSTA, M. H. Deforestation causes different subregional effects on the Amazon bioclimatic equilibrium. *Geophysical Research Letters*, v. 40, p. 3618-3623, 2013.
- POMBO, S.; OLIVEIRA, R. P. Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. *Journal of Hydrology*, v. 523, p. 663-679, 2015.
- SALDANHA, C. B.; RADINI, B.; CARDOSO, M. A. G.; RIPPEL, M. L.; FONSECA, L. L.; RODRIGUES, F. Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP vs observados para o estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, p. 297 – 308, 2015.
- SILVA, C. M. S.; LÚCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Distribuição Espacial da Precipitação sobre o Rio Grande do Norte: Estimativas Via Satélites e Medidas

por Pluviômetros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 3, p.337-346, fev. 2012.

SODRÉ, G.; BORGES, L.; VENTURA, J; MELLO, F. Análise Quantitativa e Qualitativa Horária de Dados do Radar, TRMM e Estações Meteorológicas na Região Amazônica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 1, p.110-117, dez. 2012.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no estado da Paraíba. *RBRH*, v. 21, p. 288-299, 2016.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Segunda Edição. Porto Alegre: Ed. Universidade/ ABRH, 2001, p. 943.

VAN LIEW, M.; VEITH, T.; BOSCH, D.; ARNALD, J. Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds. *Journal of Hydrological Research*, London, v.12, n.2, p. 173-189, 2007.

XIE, Y.; CHEN, T.; LEI, M.; YANG, J.; GUO, Q.; SONG, B.; ZHOU, X. Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*, n. 82, p. 468-476, 2011.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Variabilidade Espacial e Preenchimento de Falhas de Dados Pluviométricos para o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 3, p.347-353, maio 2012.