

AVALIAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO SATÉLITE TRMM PARA A BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA UHE ITUMBIARA (GO)

MARCELO PEDROSO CURTARELLI¹

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
mpedroso@dsr.inpe.br

Resumo: As técnicas de sensoriamento remoto para a estimativa de precipitação são uma alternativa para locais com ausência de dados, porém estas estimativas devem ser utilizadas com cuidado sendo necessário realizar uma avaliação e validação com dados obtidos *in situ*. O objetivo deste trabalho foi avaliar as estimativas de precipitação do produto 3B43 do satélite TRMM para a bacia de contribuição da UHE Itumbiara, utilizando dados de 60 estações pluviométricas da ANA e técnicas de interpolação geoestatística. Os resultados mostraram que os dados do produto 3B43 possuem boa consistência, com valores médios de precipitação semelhantes aos obtidos pelos dados *in situ* interpolados e os maiores erros ocorreram em áreas com baixa densidade de estações. Estes erros não devem ser interpretados como verdade absoluta, uma vez que a grade gerada por interpolação dos dados *in situ* também está sujeita a erros e incertezas, entretanto servem de referência para os locais onde ocorrem as maiores diferenças.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Precipitação, Avaliação, TRMM, Geoestatística, Remote sensing, Rainfall, Assessment, TRMM, geostatistics

1. INTRODUÇÃO

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas, topográficas e por seu clima, tendo a precipitação como o principal fator climático (Villela e Mattos, 1975; Bertoni e Tucci, 2007). A correta quantificação da precipitação e sua distribuição espacial são fundamentais e básicas para a maioria dos estudos hidrológicos, entretanto os postos pluviométricos convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento, gerando a necessidade de extrapolação dos dados (Collischonn et al. 2006).

As de técnicas de sensoriamento remoto para a estimativa da precipitação são uma alternativa para locais com ausência de dados ou de uma rede de monitoramento densa, como é o caso da maior parte do território brasileiro, com exceção de alguns estados e bacias. Entretanto os métodos de sensoriamento remoto utilizados para estimar a precipitação estão propensos a erros, sendo de grande importância a avaliação e validação dos dados obtidos via sensoriamento remoto com dados *in situ* obtidos por estações pluviométricas (Collischonn et al. 2006; Franchito et al. 2009).

O satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) é resultante de uma parceria entre a Agência Espacial Norte Americana (NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) e tem como objetivo acompanhar e estudar a

precipitação em regiões tropicais e subtropicais (Kummerow et al., 1998). O TRMM foi lançado em 27 de novembro de 1997 com tempo de vida estimado de três anos, no entanto, continua em atividade até o presente momento (NASA, 2001).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as estimativas de precipitação do produto 3B43 do satélite TRMM sobre a bacia de contribuição da UHE Itumbiara (GO), a fim de verificar se as estimativas fornecem boas respostas, tanto em termos médios sobre a bacia quanto em termos de superfícies de precipitação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a bacia de contribuição do reservatório da UHE Itumbiara (GO), localizada entre as coordenadas $49^{\circ}47'55''\text{O}$ $20^{\circ}27'37''\text{S}$ e $45^{\circ}39'8''\text{O}$ $15^{\circ}9'43''\text{S}$, compreendendo uma área de cerca de 98.000km^2 entre os estados de Goiás e Minas Gerais e o Distrito federal (Figura 1).

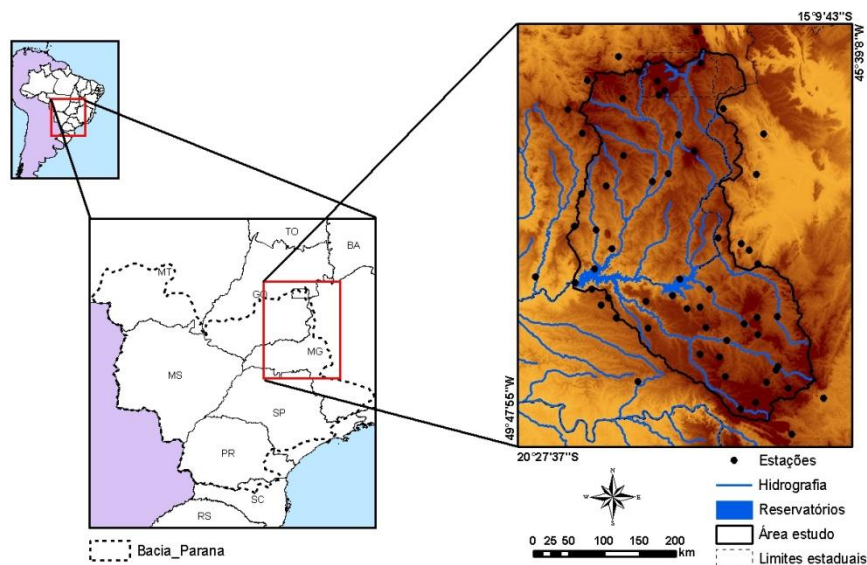


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2 Descrição dos dados de precipitação *in situ*

Para a realização do trabalho foram utilizados dados de precipitação mensal, janeiro de 2009, coletados em 60 estações de monitoramento, sob responsabilidade da Agência Nacional das Águas – ANA (Figura 1). Estes dados foram obtidos através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas

(SNIRH/ANA) via *download* pela *internet*. A Tabela 1 mostra relação das estações de monitoramento utilizadas no estudo.

Tabela 1. Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Nome	Estado	Operadora
1847003	ABADIA DOS DOURADOS	MG	CPRM
1548020	ÁGUAS LINDAS	GO	CPRM
1848010	ARAGUARI	MG	CPRM
1547014	ÁREA ALFA	DF	CSDF
1946019	ARGENITA	MG	CPRM
1547024	BRASÍLIA SUL - SE	DF	CPRM
1848008	BRILHANTE	MG	CPRM
1847007	CASCALHO RICO	MG	CPRM
1846002	CHARQUEADA DO PATROCÍNIO	MG	CPRM
1848007	CORUMBAZUL	GO	CPRM
1647002	CRISTALINA	GO	FURNAS
1748000	CRISTIANÓPOLIS	GO	FURNAS
2047037	DESEMBOQUE	MG	CPRM
1747007	ENGENHEIRO AMORIM	GO	FURNAS
1847001	ESTRELA DO SUL	MG	CPRM
1749001	FAZENDA BOA VISTA	GO	CPRM
1848004	FAZENDA CACHOEIRA	MG	CPRM
1948006	FAZENDA LETREIRO	MG	CPRM
1647008	FAZENDA LIMEIRA	MG	CPRM
1746018	FAZENDA LIMOEIRO	MG	CPRM
1548011	FAZENDA MARAJÁ	GO	FURNAS
1746017	FAZENDA POÇÕES	MG	CPRM
1946007	FAZENDA SÃO MATEUS	MG	CPRM
1548005	GAMA ETE ALAGADO	DF	CSDF
1649004	GOIANÁPOLIS	GO	CPRM
1846004	GUIMARANIA	MG	CPRM
1946004	IBIÁ	MG	CPRM
1847010	IRAÍ DE MINAS	MG	CPRM
1947025	ITAIPU	MG	CPRM
1748017	JUSANTE PONTE GO-213	GO	ANA
1846023	LAGAMAR	MG	CPRM
1748004	MARZAGÃO	GO	FURNAS
1847000	MONTE CARMELO	MG	CPRM
1748005	MONTES CLAROS	GO	FURNAS
1749003	MORRINHOS	GO	CPRM
1649009	OURO VERDE DE GOIÁS	GO	CPRM
1947007	PERDIZES	MG	CPRM

Cont... Código	Nome	Estado	Operadora
1749005	PIRACANJUBA	GO	CPRM
1548003	PIRENÓPOLIS	GO	FURNAS
1648001	PONTE ANÁPOLIS - BRASÍLIA	GO	FURNAS
1947006	PONTE JOÃO CÂNDIDO	MG	CPRM
1849016	PONTE MEIA PONTE	GO	CPRM
1647001	PONTE SÃO BARTOLOMEU	GO	FURNAS
1946010	PRATINHA	MG	CPRM
1946005	SALITRE	MG	CPRM
1947001	SANTA JULIANA	MG	CPRM
1846007	SANTANA DE PATOS	MG	CPRM
1646003	SANTO ANTÔNIO DO BOQUEIRÃO	MG	CPRM
1547027	SÃO GABRIEL DE GOIÁS	GO	FURNAS
1946011	TAPIRA	MG	CPRM
1946000	TAPIRAI - JUSANTE	MG	CPRM
1547013	TAQUARA	DF	CSDF
1847006	TRÊS RANCHOS	GO	CPRM
1848006	TUPACIGUARA	MG	CPRM
1849019	UHE ITUMBIARA	GO	FURNAS
2046013	VARGEM BONITA	MG	CPRM
1846015	VAZANTE	MG	CPRM
1948003	VERISSIMO	MG	CPRM
1648002	VIANÓPOLIS	GO	FURNAS
1848009	XAPETUBA	MG	CPRM

2.3 Descrição do produto 3B43 do TRMM

O objetivo do algoritmo 3B43 é produzir a melhor estimativa de taxa de precipitação e erro quadrático médio (RMSE) utilizando dados coletados pelos sensores do TRMM e outros dados produzidos pela *NOAA's Climate Prediction Center* e/ou pela *Global Precipitation Climatology Center (GPCC)*. As principais características do produto 3B43 do TRMM estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2. Características do produto 3B43 do TRMM

Cobertura temporal	01/01/°N98 – atual
Cobertura geográfica	Lat. 50°S-50°N; Long. -180°W-180°E
Resolução temporal	Mensal
Resolução horizontal	0,25° x 0,25°
Tamanho médio do arquivo	~4,5MB
Formato do arquivo	HDF

Os dados de precipitação do TRMM, produto 3B43, foram obtidos através do sítio eletrônico do *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* (GESDISC/NASA) via *download* pela *internet*. Para maiores informações sobre o algoritmo acesse: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b43.html>.

2.4 Interpolação dos dados de precipitação *in situ*

Para interpolação dos dados de precipitação de janeiro de 2009 foi utilizado o procedimento de interpolação geostatístico de krigagem. Segundo Drucks et al., (2004) este procedimento compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial, estando implícita a hipótese de que o processo em estudo é estacionário, isto é, o comportamento da estrutura de correlação espacial na região de estudo depende da distância relativa entre as amostras. Os estimadores de krigagem apresentam propriedade de não serem tendenciosos e de minimizarem os erros inferenciais, podendo ser classificados, de acordo com a hipótese considerada para a média ou tendência, como krigagem simples, krigagem ordinária e krigagem universal. Neste trabalho foram seguidas as etapas indicadas em Drucks et al., (2004) e utilizados os aplicativos Spring (Câmara et al., 1996) e R (R Development Core Team, 2010).

2.4.1 Análise exploratória dos dados

Esta é uma análise preliminar que teve como objetivo maximizar a obtenção de informação sobre os dados em questão, detectar comportamentos anômalos, testar se as hipóteses assumidas são válidas, escolher modelos, detectar *outliers*, entre outras finalidades (Tukey, 1977). Além disso, foi feita uma análise da densidade de estações dentro da área de estudo utilizando um estimador de *Kernel* simples (Equação 1).

$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), \quad d(u_i, u) \leq \tau \quad [1]$$

Onde, $\hat{\lambda}_{\tau}$ é o valor de densidade estimado, τ é o raio de influência, k é a uma função de estimação e d é a distância entre a posição e a i -ésima amostras.

2.4.2 Modelagem da estrutura de correlação espacial

Para a modelagem da estrutura de correlação espacial dos dados foi utilizado o módulo de análise geostatística do aplicativo Spring (Camargo, 1997).

Neste trabalho a precipitação foi considerada com comportamento isotrópico, ou seja, com o mesmo comportamento em todas as direções. Desta forma a determinação semivariograma experimental depende apenas da distância entre as amostras e não da direção entre elas, como é mostrado na Equação 2 (Drucks et al., 2004).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i) - z(u_i + h)]^2 \quad [2]$$

Onde, $\hat{\gamma}(h)$ é o semivariograma estimado, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $z(u)$ e $z(u + h)$, separados pelo vetor h .

Para a geração do semivariograma no aplicativo Spring foi definida a análise unidirecional, com amostragem irregular e como parâmetros de direção foram escolhidos apenas uma direção, com tolerância angular de 90° e largura de banda máxima. Os parâmetros de lag foram modificados de maneira iterativa até se obter um melhor resultado para o semivariograma experimental.

Após a geração do semivariograma experimental foi realizado o ajuste do modelo teórico através de um processo iterativo até se obter um ajuste satisfatório. Foram testados modelos isotrópicos com patamar como exponencial, esférico e gaussiano (Figura 2). Estes modelos também são conhecidos como modelos transitivos.

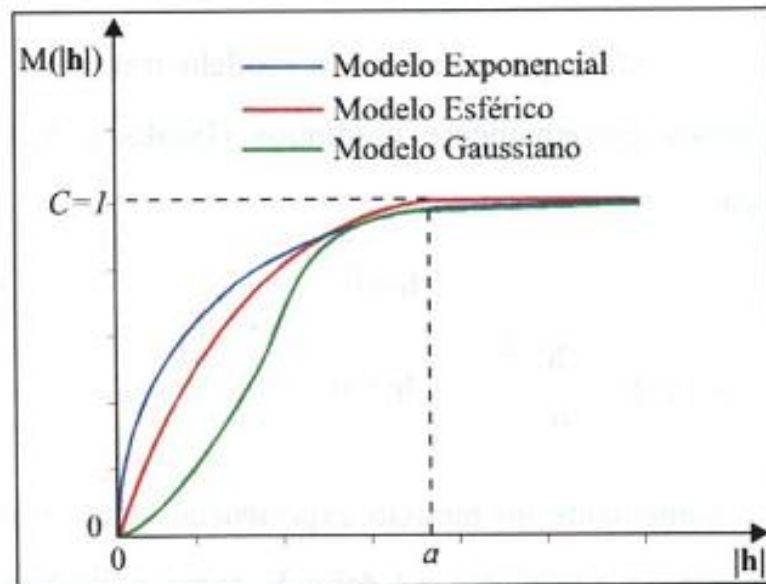


Figura 2. Representação gráfica de modelos transitivos.

Fonte: Camargo (1997).

A avaliação dos ajustes dos modelos foi realizada utilizando o critério de Akaike (AIC), conforme mostrado na Equação 3.

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad [3]$$

Onde, k é o número de parâmetros no modelo e L é o valor maximizado da função de máxima verossimilhança para o modelo ajustado.

Por fim foi realizada a validação do modelo que obteve o melhor ajuste, com o objetivo de avaliar a adequação do modelo de semivariograma ajustado no processo que envolve a re estimação dos valores amostrais observados, tornando possível avaliar o erro.

2.4.3 Interpolação estatística

A etapa de interpolação estatística também foi realizada utilizando o módulo de análise geoestatística do aplicativo Spring, sendo que esta etapa só foi aplicada ao modelo que obteve o melhor ajuste. Foi escolhida a técnica de krigagem ordinária, que admite a existência de flutuações locais da média, limitando o domínio da estacionaridade da média para uma vizinhança local (Drucks et al., 2004). O estimador de krigagem ordinária é dado pela Equação 4 (Journel, 1988):

$$\hat{Z}_{u_0} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(u_i), \quad \text{com } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [4]$$

Onde, $\hat{Z}_{u_0}$ é o valor estimado em um local qualquer, $Z(u_i)$ são os valores observados e λ_i é um parâmetro adicional que indica o peso de cada observação.

Foi escolhida uma resolução da grade de saída igual à resolução dos dados TRMM (0.25°), número de pontos no elipsóide de busca mínimo de 4, máximo de 20 e raio do elipsóide de busca igual ao alcance do modelo de semivariograma ajustado.

2.5 Avaliação dos dados 3B43/TRMM

Para avaliar as estimativas de precipitação do produto 3B43 primeiramente foi realizada a conversão dos dados de taxa horária (mm/h) para taxa mensal (mm/mês), conforme indicado em <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Em seguida a grade de precipitação do TRMM foi subtraída da grade de precipitação gerada com os dados *in situ* gerando

uma grade de erros, sendo assim possível analisar a sua distribuição espacial. Também foram comparados valores médios estimados para toda a bacia.

3. Resultados e Discussão

Os dados de precipitação correspondem ao total mensal acumulado em janeiro de 2009. A Tabela 3 mostra a estatística descritiva obtida a partir das amostras, os valores da média e da mediana são próximos (270 e 261, respectivamente), os valores dos dados variam entre 108 (mínimo) e 481 (máximo) com coeficiente de variação de 0.3, ou seja, 30%. As amostras apresentam baixa assimetria (0.51) e curtose (3.21) o que indica que as amostras possuem certa normalidade na sua distribuição.

Tabela 3. Estatísticas das amostras

Nº. Amostras	60
Mínimo	108
1 Quartil	219.5
Mediana	261.5
Média	270.4
3 Quartil	316.2
Máximo	481
Desvio padrão	81.54
C.V	0.302
Assimetria	0.51
Curtose	3.21
Variância	6648.772

Podem-se observar na Figura 3 os principais gráficos obtidos na análise exploratória das amostras. O gráfico Box-plot (3a) permite identificar valores discrepantes na amostra, possíveis *outliers* e uma leve assimetria na distribuição dos dados. O histograma das amostras (3b) indica que há normalidade na distribuição dos valores, o que é uma condição fundamental nos estudos geoestatísticos. Os gráficos de tendência (3c e 3 d) apresentam distribuição dos dados nas direções Sul-Norte (Latitude) e Oeste-Leste (Longitude), não se verificando uma forte tendência nesta distribuição, a medida por que se caminham nessas direções ($r^2 = 0.22$ e $r^2 = 0.23$, respectivamente), fato que atende ao princípio de não tendenciosidade, o qual é fundamental em geoestatística para a aplicação da hipótese de estacionaridade.

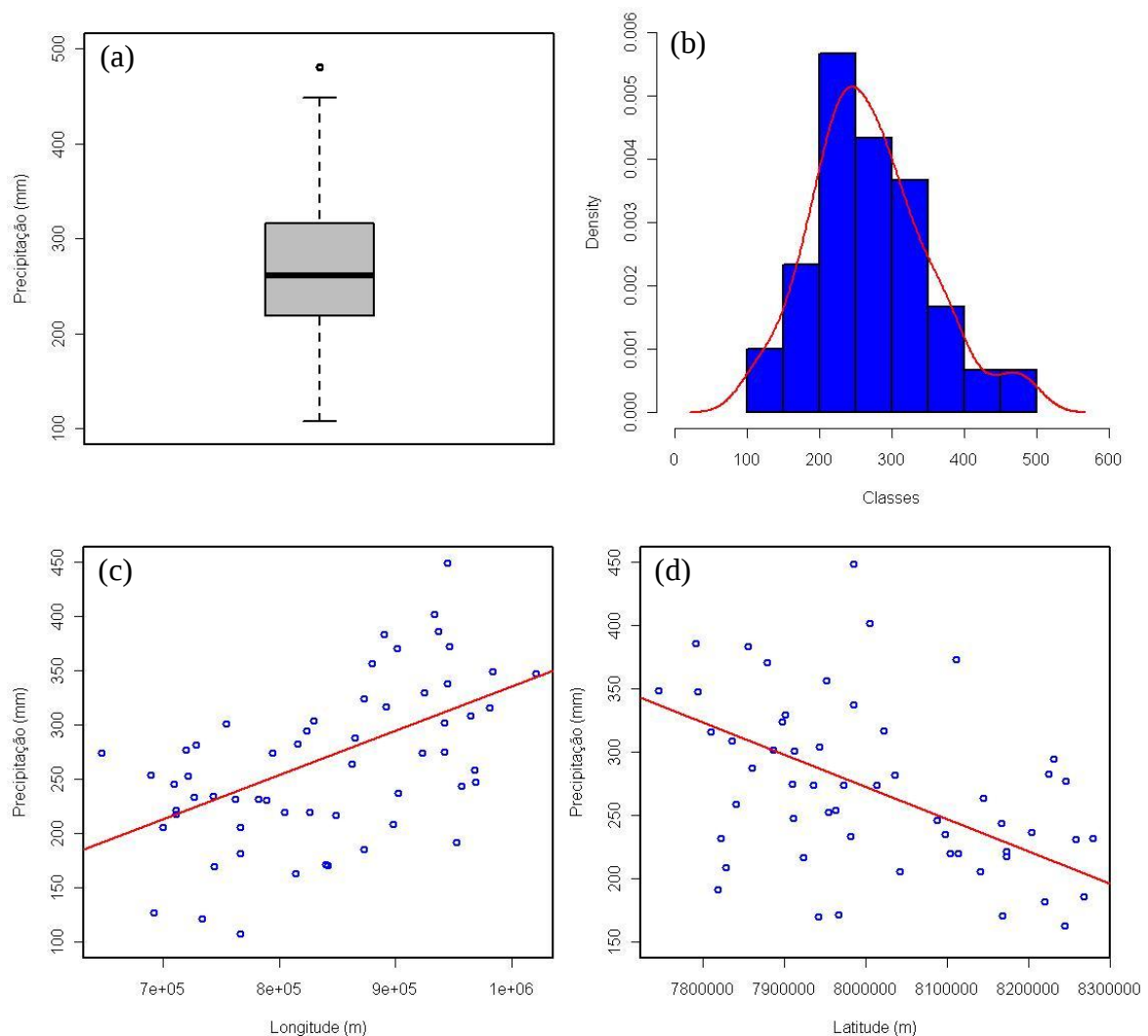


Figura 3. Análise exploratória dos dados: (a) Box-plot da precipitação total em janeiro de 2009, (b) Histograma com a distribuição da precipitação total em janeiro de 2009, (c) Dispersão entre a precipitação total em janeiro de 2009 e a longitude, (d) Dispersão entre a precipitação total em janeiro de 2009 e a latitude.

A Figura 4 mostra os modelos teóricos de semivariograma (gaussiano (4a), exponencial (4b) e esférico (4c)) ajustados ao semivariograma experimental. A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros obtidos para os três modelos. Nota-se que o modelo gaussiano foi o que apresentou o pior ajuste, obtendo o maior efeito pepita e o maior índice de Akaike. Os modelos, esférico e exponencial, obtiveram bons ajustes, sendo que o modelo esférico foi o escolhido para as etapas de validação e interpolação por apresentar o menor efeito pepita e um índice de Akaike não muito maior que o do modelo exponencial.

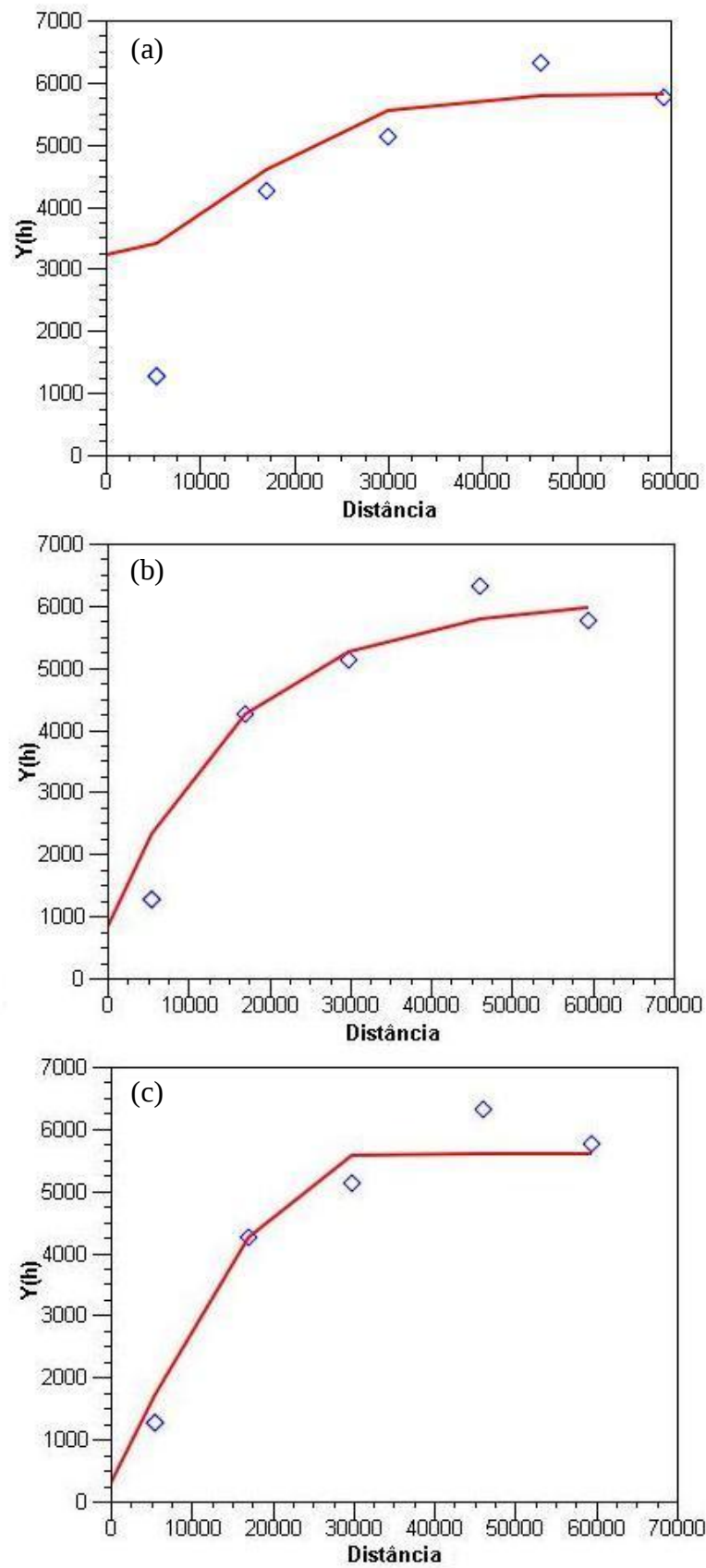


Figura 4. Modelos de semivariograma ajustados: (a) Gaussiano, (b) Exponencial e (c) Esférico.

Tabela 4. Parâmetros de ajuste do semivariograma

Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance	AIC
Exponencial	817.955	6115.747	50071.309	-29.201
Esférico	289.126	5568.920	31063.191	-24.182
Gaussiano	3211.960	5793.190	34347.120	-22.246

A Figura 5 mostra o resultado da validação do modelo de semivariograma escolhido. Podemos ver a dispersão entre os valores observados (amostras) e os valores estimados utilizando o modelo esférico (5a), nota-se uma certa correlação entre os valores com um coeficiente de correlação de *Pearson* de 0.56. O histograma com a distribuição dos erros (5b) mostra que a maior frequência observada é a dos menores erros (0-25 mm) e que os erros possuem uma distribuição próxima de uma gaussiana, com uma leve assimetria negativa. Os erros apresentam um coeficiente de variação de 0.22, assimetria de -0.52 e curtose de 4.14.

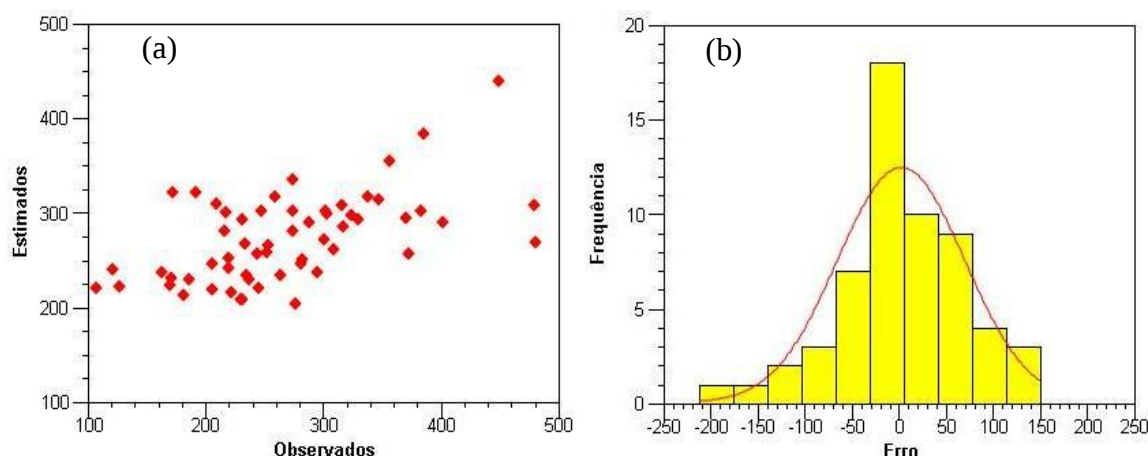


Figura 5. Validação do modelo esférico: (a) dispersão entre os valores observados e estimados e (b) histograma dos erros.

Houve uma grande variação nos valores dos erros, indo de aproximadamente -200 a 150, entretanto o erro médio, de cerca de 3 unidades, pode ser considerado baixo quando comparado com os valores observados nas amostras.

A Figura 6 mostra a densidade de estações dentro da bacia (6a) e a variância dos valores provenientes do processo de interpolação (6b). Observa-se que a bacia em questão não possui uma rede de monitoramento densa, apresentando uma densidade máxima de aproximadamente 0.001 estação por km², o que reflete em uma maior

variância dos valores (incertezas) nas áreas com menor densidade de estações. Na região central e sudoeste da bacia, onde ocorre baixa densidade de estações, é onde ocorre a maior variância nos dados interpolados.

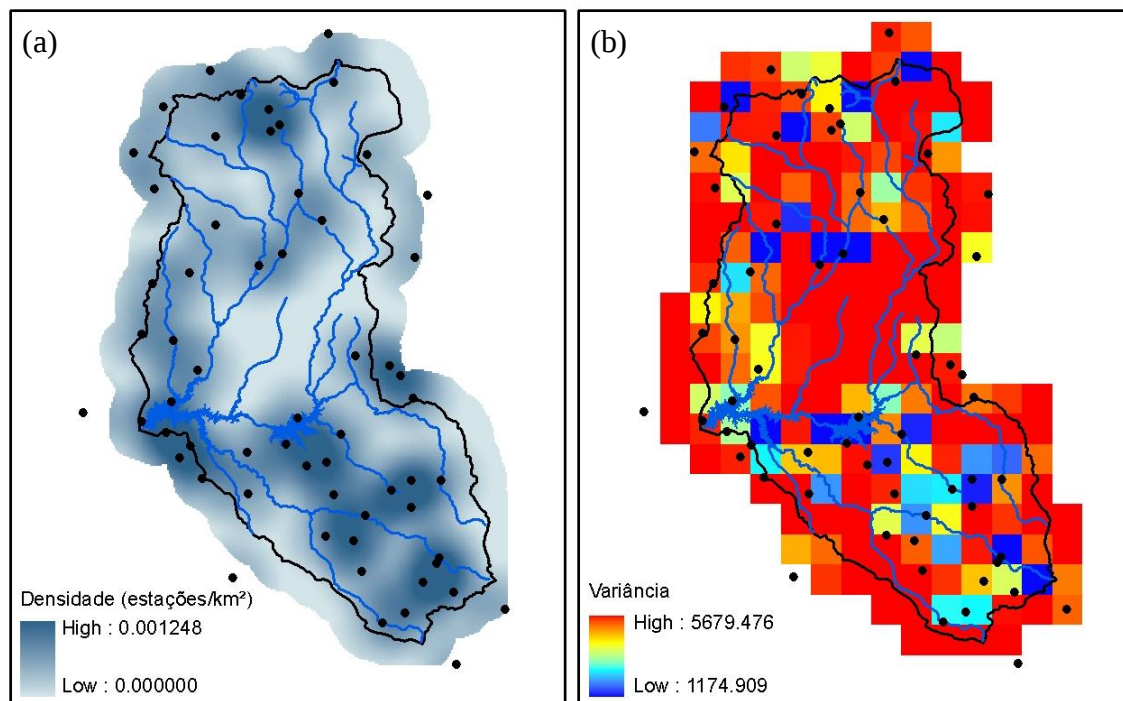


Figura 6. (a) Densidade de estações dentro da bacia e (b) espacialização das variâncias do processo de krigeagem ordinária.

A Figura 7 mostra os campos de precipitação sobre a bacia, em janeiro de 2009, obtidos utilizando os dados do produto 3B43 (7a) e os dados *in situ* interpolados (7b). A precipitação obtida sobre a bacia pelos dois métodos apresentaram amplitude semelhante, sendo que a precipitação obtida pelo produto 3B43 variou entre 169 e 413 mm e a precipitação obtida por interpolação variou entre 166 e 375 mm. Nota-se também que a distribuição espacial da precipitação é semelhante nos dois casos, com os maiores valores de precipitação ao sul e ao centro da bacia e menores ao norte da bacia e próximo ao reservatório de Itumbiara.

Os valores de precipitação média obtido para toda a bacia, pelos dois métodos, bem com outras informações sobre a precipitação estão resumidas na Tabela 5. Nota-se que os valores são bem próximos, com uma diferença de cerca de 5 mm, ou seja aproximadamente 2%. Os valores mínimos e máximos também foram semelhantes,

entretanto os valores obtidos pelo TRMM tiveram um coeficiente de variação maior do que os obtidos através da interpolação dos dados *in situ*.

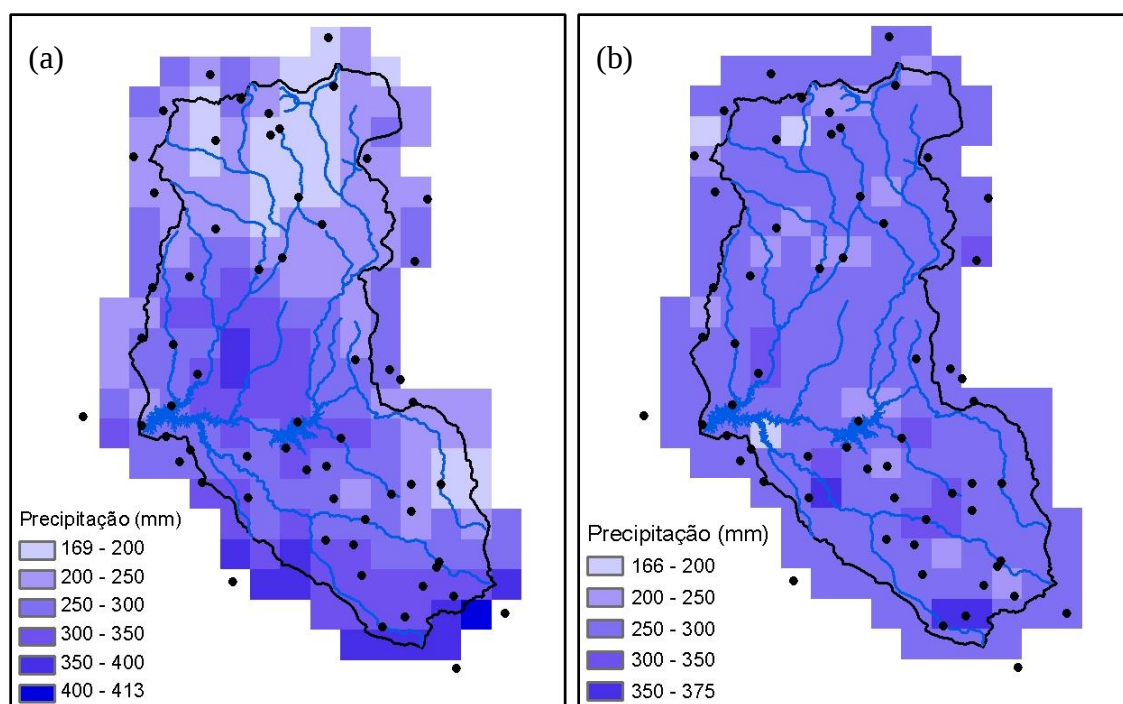


Figura 7. Campos de precipitação para janeiro de 2009: (a) TRMM e (b) Interpolação dos dados *in situ*.

Tabela 5. Resumo dos dados de precipitação sobre a bacia

Dado	P média (mm)	Min.	Max.	Desvio padrão	C.V.
3B43/TRMM	263.48	169.70	413.63	52.54	0.20
<i>In situ</i>	268.65	166.44	375.76	18.98	0.07

A Figura 8 (a) mostra os erros, em milímetros, das estimativas de precipitação feita pelo TRMM. Os valores dos erros estão entre -145 mm e 114 mm, sendo que os maiores erros estão localizados no sul/sudoeste, próximos ao limite da bacia, e na região central da bacia. Isso também pode ter ocorrido devido ao fato de serem locais em que havia as menores densidades de estações e maiores incertezas decorrentes do processo de interpolação dos dados *in situ*.

Observa-se na Figura 8 (b) que os erros apresentaram valores entre -65% (o satélite superestimou em 65% a precipitação total na célula) e +40% (subestimou em 40%). Entretanto, na maior parte das células o erro obtido está dentro de uma faixa aceitável, entre -12% a +12%.

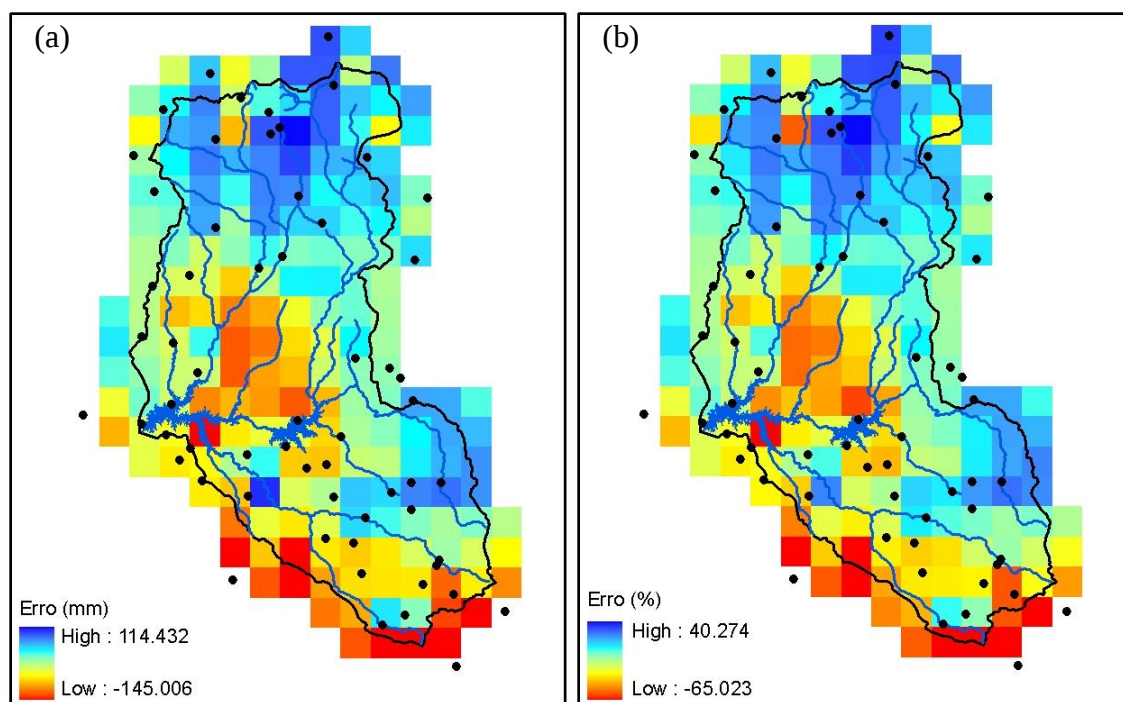


Figura 8. Distribuição espacial dos erros: (a) Erros em milímetros (mm) e (b) Erros em porcentagem (%).

4. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar a precipitação média e os campos de precipitação obtidos a partir dos dados do produto 3B43 do TRMM com os obtidos através da técnica de krigeagem ordinária utilizando dados *in situ* na bacia de contribuição do reservatório da UHE Itumbiara.

As estimativas de precipitação obtidas pelo produto 3B43 do TRMM apresentaram boa consistência para a data estudada (janeiro de 2009), apresentando valores de precipitação média semelhantes. Em relação aos campos de precipitação os maiores erros ocorreram em áreas com sub amostragem.

Os erros encontrados não podem ser supervalorizados, uma vez que se está comparando as estimativas do produto 3B43 do TRMM com um campo de precipitações obtido de uma rede esparsa de pluviômetros, ao qual está associada uma série de incertezas e que não pode ser considerada como a “verdade de campo”, sendo justamente em bacias como esta que as estimativas de satélite podem trazer boa contribuição.

Deve-se realizar novos estudos, em outras épocas do ano, a fim de verificar a qualidade do produto 3B43 do TRMM em diferentes estações. Recomenda-se também estudos que considerem a anisotropia dos dados na etapa de modelagem da estrutura de correlação espacial e utilização de outras técnicas de krigeagem que levem em consideração a tendência dos dados, mesmo que pequena como neste caso, como a krigeagem universal que considera a não estacionaridade dos dados.

Referências Bibliográficas

- BERTONI, J. C., TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizado por TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, A. L. L. 4. ed. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRGS, 2007. 943 p.
- CAMARA, G., SOUZA R. C. M., FREITAS U. M., GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (Krigagem) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 1997. 146 p.
- COLLISCHONN, B., ALLASIA, D., COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. M. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. (GEOPANTANAL), 2006, Campo Grande. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. p. 47-56. CD-ROM. ISBN 85-17-00029-3. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.10.52>. Acesso em: 22 nov. 2010.
- DRUCKS S., CARVALHO, M. S., CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004. 209 p.
- FRANCHITO, S. H., RAO, V. B., VASQUES, A. C., SANTO, C. M. E., CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**. v. 114, p. 1-9, 2009.
- JOURNEL, A. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. California: Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Sciences Department, 1988.
- KUMMEROW, C. et al. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. **Journal Atmospheric Oceanic Technology**, v. 15, p. 809-817, 1998.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **TRMM data users handbook**. 2001. Disponível em: www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/text/handbook_e.pdf. Acesso em: 15 de jul. de 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2010. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em 22 de set. 2010.
- TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. 1 ed. Addison-Wesley, 1977. 688 p.
- VILLELA, S. M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.
- Sites:**
- <http://www.ana.gov.br/portalsnirh/>
- <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?project=TRMM&tree=project>