

Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas

Raniéri Carlos Ferreira de Amorim^{1*}, Aristides Ribeiro², Christiane Cavalcante Leite¹, Brauliro Gonçalves Leal² e Jonathas Batista Gonçalves Silva²

¹Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36570-000, Centro, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: rcfamorim@gmail.com

RESUMO. Esta pesquisa foi realizada com base em dados de 50 estações climatológicas, a fim de avaliar o desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial no Estado de Alagoas, utilizando dois métodos de interpolação: o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), com expoente 2 e o Spline. Foram verificadas a distribuição espacial dos dados interpolados e a acurácia dos interpoladores por meio do método da validação cruzada. Os dois métodos mostraram-se adequados à realização da interpolação, porém foram observadas algumas diferenças expressivas. O método IQD é recomendado por subestimar o valor da precipitação em 2,2 mm, enquanto que o Spline superestimou em 4,3 mm. Em face da segurança necessária para o planejamento agrícola, recomenda-se, então, a utilização do método IQD, já que o mesmo apresentou também o menor desvio-padrão da média, apresentando uma menor margem de erro.

Palavras-chave: agrometeorologia, interpolação, IQD, Spline.

ABSTRACT. Performance evaluation of two rainfall spatialization methods for the state of alagoas. This study was conducted based on data from 50 climatological stations, with the objective of evaluating the performance of two rainfall spatialization methods in the State of Alagoas, using two interpolation methods: Inverse Distance Weighting (IDW), with an exponent of 2, and Spline. The space distribution of the interpolated data and the accuracy of the interpolators were verified through the method of cross-validation. Both methods were shown to be appropriate in accomplishing the interpolation; however, some expressive differences were observed. The IDW method is recommended for underestimating the value of precipitation in 2.2 mm, while Spline overestimated it by 4.3 mm. In face of the necessary safety for agricultural planning, the use of the IDW method is then recommended, as it also presented the lowest standard deviation of the mean, representing a smaller margin of error.

Key words: agrometeorology, interpolation, IDW, Spline.

Introdução

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil. Tal importância deve-se às conseqüências que estas podem ocasionar, quando ocorridas em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômico e social (agricultura, transporte, hidrologia etc.), causando enchentes, assoreamento dos rios, quedas de barreiras etc. A distribuição espacial e quantitativa de precipitação mensal e anual são as mais críticas entradas de modelos que simulam interações entre clima, terra e a biosfera (Amorim, 2005).

A demanda dos conjuntos de dados espaciais, em forma digital, tem aumentado muito nos últimos anos. Esta demanda tem sido fornecida pelo

amadurecimento de tecnologias computacionais, capacitando uma variedade de modelos de recursos naturais, hidrológicos, agrícolas e sistemas especializados relacionados ao Sistema de Informação Geográfica - SIG (Bishop *et al.*, 1998a; 1998b; Vogel *et al.*, 1999).

Os SIGs são sistemas destinados à manipulação de dados georreferenciados, ou seja, informações codificadas espacialmente de forma precisa, rápida e sofisticada (Goodchild, 1991). A utilização de técnicas de espacialização, disponíveis nos SIGs, facilita a verificação da forma como estas precipitações se distribuem no espaço, bem como a associação com diferentes fatores ambientais. Estas técnicas, conforme Caruso e Quarta (1998), permitem abranger grandes regiões com agilidade e

precisão.

O método de interpolação IQD é uma ferramenta de análise espacial que assume que cada amostra de ponto tem influência local que diminui com a distância. Este método admite que os pontos mais próximos, para o processamento da célula, influam mais fortemente que aqueles mais afastados. O uso de interpolador IQD é recomendado quando a variável a ser mapeada diminui com a distância na localização amostrada (Wei e McGuinness, 1973).

Enquanto que o método de interpolação Spline é um método utilizado para ajuste de uma superfície de curvatura mínima por meio dos dados pontuais de entrada, esse método é melhor para superfícies que representam tendências gradativas, como o caso das chuvas médias na bacia. Não é apropriado se houver grandes intervalos nas superfícies em uma pequena distância horizontal (Esri, 1999).

Um dos métodos utilizados para validar a espacialização é o processo de validação cruzada. Para isso, remove-se um dado do conjunto de dados amostrais e, usando-se um estimador e função ponderada relacionada com a distância, estima-se o valor retirado, utilizando-se as amostras remanescentes. Têm-se, assim, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado (Myers, 1997).

Tendo em vista a importância da precipitação pluvial para a ciência, a produção agrícola e para estimativa de produtividade, e por causa da carência de trabalhos científicos relacionados à espacialização de variáveis meteorológicas, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a

acurácia de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas.

Material e métodos

Para a realização deste trabalho, foi utilizada uma base de dados de precipitação das séries históricas de dados pluviométricos obtidas das estações meteorológicas do Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (NMRH-AL). Foram utilizadas médias mensais para um período de 27 anos (1963 a 1990 – período este comum a todas as estações). Foi utilizado um total de 50 estações meteorológicas distribuídas por todo o Estado, como ilustra a Figura 1.

O Estado de Alagoas possui um relevo onde cerca de 86% do território alagoano se encontra abaixo de 300 m de altitude e 61% abaixo de 200 m. Apenas 1% fica acima de 600 m. Existem três regiões básicas do relevo: a região de planalto ao norte, a região de depressão ao centro e a planície litorânea.

A geração dos mapas da distribuição espacial da precipitação foi realizada, utilizando o módulo de análise espacial (*Spatial Analyst*) do Sistema de Informação Geográficas (SIG) “ArcGIS Desktop 8.3” (ESRI), utilizando os interpoladores do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) com expoente 2 (Equação 1), bem como o interpolador Spline regularizado (Equação 2), gerando mapas mensais (Franke, 1982).

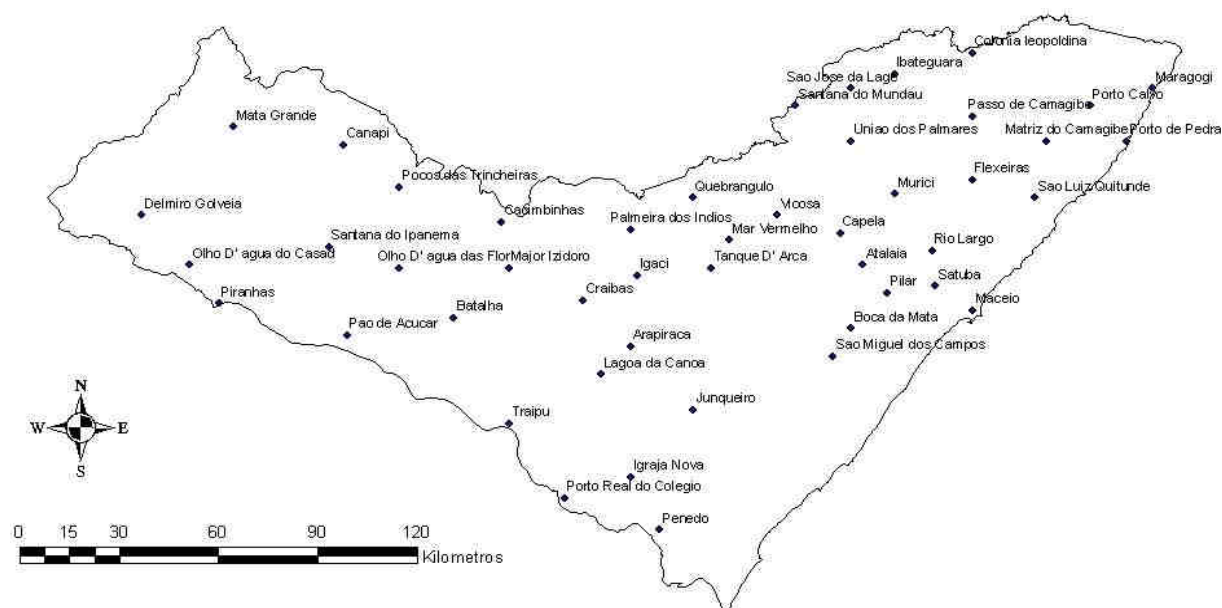


Figura 1. Mapa com a localização das estações utilizadas.

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j}{d_{ij}^k} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^k} \right)} \quad (1)$$

em que:

- x_i = valor estimado no ponto i ;
- d_{ij} = distância entre os pontos i e j ;
- x_j = valor amostrado de x no ponto j ;
- n = número de pontos da amostra;
- k = coeficiente da potência do interpolador.

$$S_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (2)$$

em que:

- N = é o número de estações;
 - $j = 1, 2, \dots, N$;
 - $S_{(x,y)}$ = valor estimado no ponto (x,y) ;
 - $T_{(x,y)}$ = parâmetro associado à tensão no ponto (x,y) ;
 - λ_j = são os coeficientes encontrados pela solução do sistema de equações lineares;
 - r_j = é a distância do ponto (x,y) ao ponto j -ésimo.
- Sendo:

$$T_{(x,y)} = a_1 + a_2x + a_3y$$

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \right\}$$

em que:

- τ^2 e φ^2 = parâmetros de entrada da linha de comando;
- r = distância euclidiana entre a estação e o ponto (x,y) ;
- a_i = coeficientes encontrados pela solução do sistema de equações lineares;
- K_0 = função Bessel modificada;
- c = constante 0.577215.

Para a verificação da acurácia dos interpoladores, foi realizada a Validação Cruzada (VC). A partir do arquivo base de dados de precipitação, que contém todas as estações meteorológicas, foram gerados novos arquivos, sendo que, de cada arquivo, foram extraídas aleatoriamente 17 estações e a interpolação realizada com o novo número de estações. Em seguida, repetiu-se o processo com outras 17 estações, também escolhidas aleatoriamente. Foram tomadas, nesta análise, as estações localizadas em diferentes regiões do Estado de Alagoas. O valor gerado para cada interpolador foi comparado com o valor real de precipitação das localidades e analisadas as diferenças observadas.

Neste estudo, foram utilizados os Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Relativo Médio (ERM), Erro Relativo Médio da Raiz Quadrada (ERMRQ) e o coeficiente de correlação (COR) para avaliar a performance dos métodos de interpolação, cujas equações estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas para análise dos dados das estações meteorológicas e para avaliar o desempenho da interpolação.

Estatística	Identificador	Definição
Erro absoluto médio	EAM	$\frac{1}{N} \sum Y_i - X_i $
Erro relativo médio	ERM	$\frac{1}{N} \sum \frac{Y_i - X_i}{X_i}$
Erro relativo médio da raiz quadrada	ERMRQ	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum \left(\frac{Y_i - X_i}{X_i} \right)^2}$
Coefficiente de correlação	COR	$\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}$

X_i : valor medido; Y_i : valor simulado para o procedimento da validação cruzada; N : número de amostras consideradas; \bar{X} : média de todos os valores medidos; \bar{Y} : média de todos os valores simulados.

Resultados e discussão

A Figura 2 ilustra a distribuição espacial dos dados de precipitação pluvial, gerados pelos interpoladores IQD com expoente 2 (Figura 2a) e o Spline (Figura 2b), para o Estado de Alagoas, durante os três meses mais secos (novembro, dezembro e janeiro) e os três meses mais chuvosos (maio, junho e julho). Observa-se, nas imagens apresentadas, que, de maneira geral, ocorreram pequenas variações entre os dois interpoladores utilizados.

Na Figura 2a, na qual são apresentadas as espacializações da precipitação pluvial obtidas com o interpolador IQD, observa-se, durante os meses secos, aumento dos maiores valores de precipitação no Litoral e os menores, nas regiões central e oeste do Estado, que varia entre 8,0 e 116,0 mm. Durante os meses chuvosos nota-se um comportamento semelhante com relação à distribuição da precipitação, no entanto, com intensidade maior (valores variando entre 8,0 e 332,0 mm) apresentando também aumento dos valores na região central do Estado. Utilizando o interpolador Spline (Figura 2b), a distribuição espacial da precipitação foi praticamente idêntica à distribuição obtida pelo interpolador IQD, porém apresentando intensidade menor nos meses secos (entre 4,0 e 113,0 mm) e maior, nos meses chuvosos (entre 4,0 e 386,0 mm).

Com relação aos valores observados nas estações, em geral, a precipitação variou de 43,1 a 235,7 mm. Houve um aumento dos valores de precipitação no extremo oeste do Estado, nos meses chuvosos, com relação aos valores obtidos com o IQD, nessa mesma região do mapa.

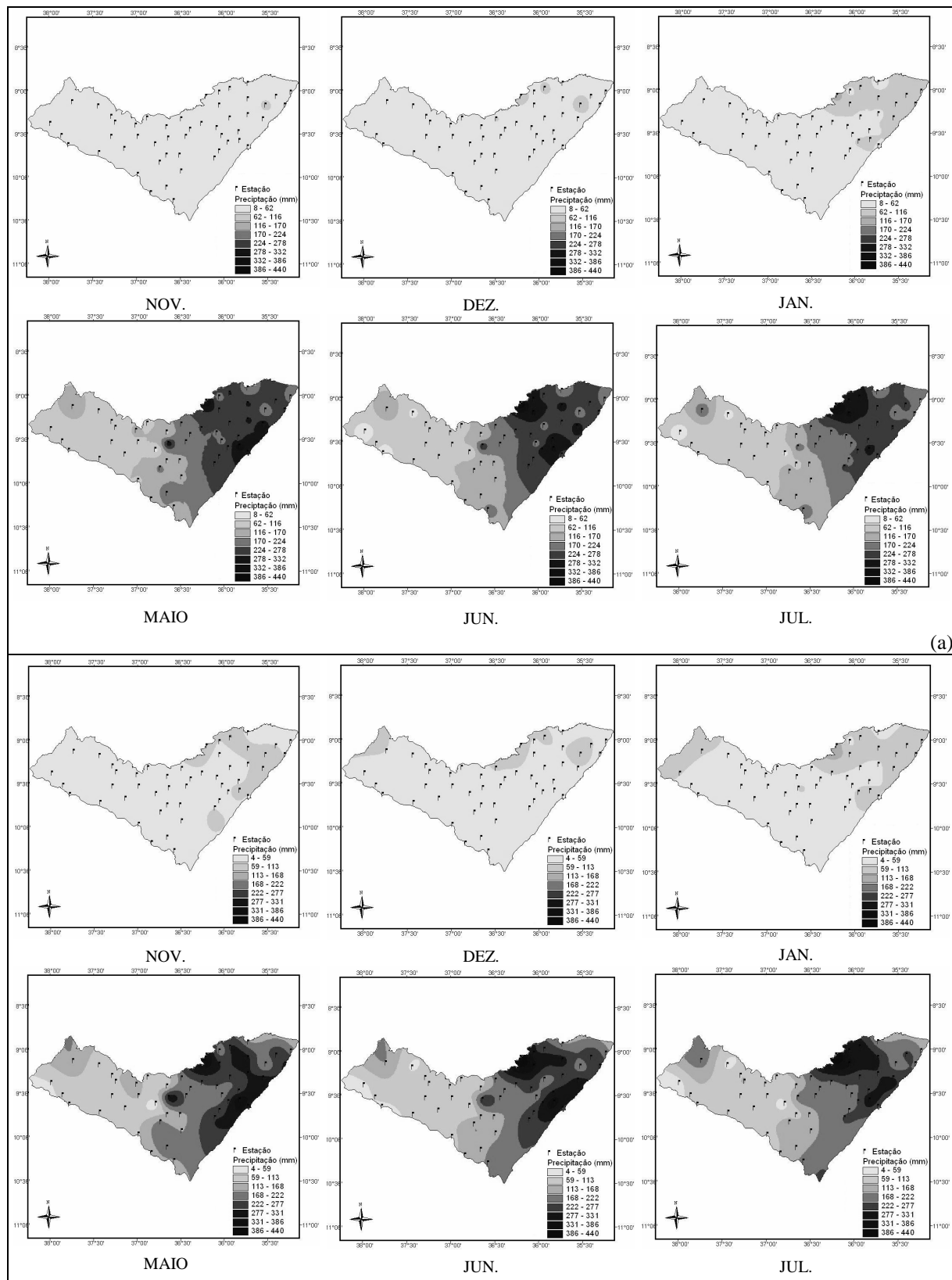


Figura 2. Mapas temáticos da precipitação pluvial durante os três meses mais secos (nov., dez. e jan.) e os três meses mais chuvosos (maio, jun. e jul.) gerados, utilizando o interpolador (a) IDW e (b) Spline.

Ambos os métodos foram capazes de estimar adequadamente a precipitação pluvial, embora a região estudada apresente variações espaço-temporal na chuva e espacial na altitude. Desta forma, estes resultados podem ser aplicados a outras regiões.

Na Tabela 2 são apresentadas as estatísticas básicas dos dados observados e estimados para o período estudado.

O ERMQR das estações testadas foi menor para o método IQD (25,7 mm), comparado ao ERMQR de 33,3 mm do método Spline. Estes valores foram similares aos encontrados, para a região nordeste da Espanha, por Vicente-Serrano *et al.* (2003) que verificaram erros de 34,5 mm e 28,3 mm, para os métodos IQD e Spline, respectivamente. O EAM, para o IQD, apresentou menor valor (20,2 mm) do que para o método Spline (22,6 mm) e Vicente-Serrano *et al.* (2003), encontraram um EAM de 26,7 mm para o IQD e 22,5 mm para Spline. O ERM foi menor para o método IQD do que para o Spline (-2,2 mm e 4,3 mm, respectivamente), apesar da proximidade destes valores. O Coeficiente de Correlação (COR) entre os valores observados e estimados pelo método IQD e Spline foram similares ($r = 0,84$ e $r = 0,80$, respectivamente). Estes valores estão relativamente coerentes com os encontrados por Vicente-Serrano *et al.* (2003) ($r = 0,94$ e $r = 0,97$).

Tabela 2. Tabela de resultados das estatísticas utilizadas para avaliar os dois interpoladores.

Estatísticas	IDW	Spline	Dados Observados
Média (mm)	104,9	108,3	107,3
DesvPad (mm)	40,6	51,4	48,4
EAM (mm)	20,2	22,6	
ERM (mm)	- 2,2	4,3	
ERMQR (mm)	25,7	33,3	
COR	0,84	0,80	

A média geral para o método Spline foi de 108,3 mm ($\pm 51,4$ mm) e 104,9 mm ($\pm 40,6$ mm) para o IQD, enquanto que para os dados observados a média geral foi de 107,3 mm ($\pm 48,4$ mm).

Conclusão

Em virtude dos resultados encontrados, é possível observar que os dois métodos se mostraram adequados à realização da interpolação, sendo, porém, observada algumas diferenças expressivas. Neste caso, o método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) com expoente 2 é mais adequado para a estimação da precipitação no Estado de Alagoas do que o método Spline, uma vez que o IQD apresentou melhor coeficiente de correlação com os dados observados e menor desvio-padrão, ou

seja, menor margem de erro comparado ao Spline. Os valores das outras estatísticas analisadas também foram menores para esse método. Em face da segurança necessária para o planejamento de projetos hidroagrícolas, faz-se necessária a utilização do método mais adequado para a interpolação evitando, assim, o aumento nos custos ou redução na eficiência de tais projetos. São necessários estudos mais detalhados para a recomendação de métodos de interpolação que sejam mais adequados às diferentes situações.

Referências

- AMORIM, R.C.F. *Espacialização de variáveis meteorológicas em áreas de relevo ondulado na bacia do Rio Doce*. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- BISHOP, G.D. *et al.* A comparison of mapped estimates of long-term runoff in the northeast United States. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v. 206, p. 176-190, 1998a.
- BISHOP, G.D. *et al.* Effects of improved precipitation estimates on automated runoff mapping: eastern United States. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, Middleburg, v. 34, n. 1, p. 159-166, 1998b.
- CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation methods comparison. *Comp. Math. Appl.*, Amsterdam, v. 35, p. 109-126, 1998.
- ESRI–Environmental Systems Research Institute. *User manual: help online, version 3.2*. 1999. Disponível em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: 15 ago. 2006.
- FRANKE, R. Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines. *Comp. Math. Appl.*, Amsterdam, v. 8, n. 4, p. 237–281, 1982.
- GOODCHILD, M. The technological setting of GIS. In: MAGUIRE, D.J. *et al.* (Ed.). *Geographical information systems: principles and applications*. London: Longman, 1991. v. 1, p. 45-54.
- MYERS, J.C. *Geostatistical error management: quantifying uncertainty for environmental sampling and mapping*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.
- VICENTE-SERRANO, S.M. *et al.* Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Clim. Res.*, Silver Spring, v. 24, p. 161–180, 2003.
- VOGEL, R.M. *et al.* Regional regression models of annual streamflow for the United States. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, Reston, v. 125, p. 148-157, 1999.
- WEI, E.C.; McGUINNESS, J.L. *Reciprocal distance squared method: a computer technique for estimating areal precipitation*. Illinois: Agricultural Research Service, Department of Agriculture, 1973. (Report ARS-NC-8).

Received on March 26, 2007.

Accepted on October 30, 2007.