

Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás

Elis Dener Lima Alves* e Francisco Arthur Silva Vecchia

*Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos, Rod. Domingos Innocentini, km 13, 13530-000, Itirapina, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: elisdener@hotmail.com*

RESUMO. A espacialização de variáveis meteorológicas, especialmente a precipitação pluvial, necessita de estudos constantes, visando ao aperfeiçoamento dos métodos de interpolação e desenvolvimento de mapas. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a acurácia de diferentes interpoladores (inverso quadrático da distância, krigagem, mínima curvatura e triangulação) sobre a precipitação anual do Estado de Goiás. Para isto foram utilizadas informações de 70 postos pluviométricos. Os interpoladores foram avaliados por meio do erro médio quadrático – RMSE, do desvio das médias – MBE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r). Os resultados mostraram que, entre os métodos analisados, o mapa resultante da triangulação não permitiu a extrapolação para fora do domínio dos postos pluviométricos amostrais, obtida a melhor acurácia pelo método da mínima curvatura, seguido pelo método do inverso quadrático da distância.

Palavras-chave: interpoladores, precipitação, mapas.

ABSTRACT. Analysis of different spatial interpolation methods for rainfall in the state of Goiás. The spatial distribution of meteorological variables, especially rainfall, requires constant study, aimed at improving methods for interpolation and development of maps. In this context, this study aimed to evaluate the accuracy of different interpolation methods (inverse square distance, kriging, minimum curvature and triangulation) on the annual rainfall in the state of Goiás. To that end, data from 70 rainfall stations were used. The interpolators were assessed using the root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), the coefficient of determination (r^2) and the Pearson correlation coefficient (r). The results showed that among the methods analyzed, the map resulting from triangulation did not allow extrapolation outside the domain of rainfall sampling stations. The best accuracy was obtained by the minimum curvature method, followed by the inverse square distance method.

Keywords: interpolators, rainfall, maps.

Introdução

Uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos é a precipitação. Essa importância deve-se às implicações que esta pode ocasionar, quando ocorrida em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômico e social (agricultura, transporte e hidrologia), causando enchentes, assoreamento dos rios, e quedas de barreiras (AMORIM et al., 2008).

O mapeamento da precipitação pluvial é de fundamental importância no setor agroflorestal, com destaque para ações diretamente associadas à modelagem da produção florestal, como em modelos ecofisiológicos. Tais modelos permitem compreender, prever e controlar todo o sistema florestal, especificamente, para auxiliar no zoneamento florestal e mapeamento da produção (VIOLA et al., 2010). No entanto, em termos climatológicos, uma investigação

mais aprofundada sobre o desempenho dos interpoladores mais aplicados ao mapeamento precisa ser conduzida, uma vez que os trabalhos desenvolvidos, até o momento, não demonstram, nem concluem, de forma efetiva, o melhor ou o mais indicado processo de interpolação espacial (MAZZINI; SCHETTINI, 2009; TAESOMBAT; SRIWONGSITANON, 2009; VIOLA et al., 2010).

Em diversos estudos, sobre os melhores métodos de interpolação, tem-se observado que para cada região um determinado método torna-se o mais apropriado, principalmente, pela variabilidade espacial.

Amorim et al. (2008) observaram o desempenho de dois métodos de espacialização (inverso quadrático da distância e mínima curvatura) da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas e concluíram que o inverso quadrático da distância foi o método que apresentou os melhores resultados.

Viola et al. (2010) avaliaram o desempenho dos interpoladores de krigagem, cokrigagem e inverso

quadrático da distância, para espacialização da precipitação média mensal, precipitação média do período seco e precipitação média anual, em Minas Gerais, e constatarem bom desempenho para a cokrigagem, que obteve menor erro em 50% das situações analisadas.

Na África do Sul, Coulibaly e Becker (2007) utilizaram vários métodos de interpolação (inverso quadrático da distância, krigagem comum, krigagem universal e cokrigagem) para a espacialização da precipitação de 545 estações. Os melhores resultados foram obtidos por krigagem ordinária, em que a definição dos parâmetros foi determinada por análises de sensibilidade. Na cidade de Lyon, Tao et al. (2009) não constatarem a superioridade do método de krigagem, sendo que o método do inverso ponderado da distância e da mínima curvatura apresentaram resultados mais satisfatórios.

Taesombat e Sriwongsitanon (2009) utilizaram interpoladores para uma aproximação das chuvas diárias na bacia hidrográfica do rio Upper Ping na Tailândia, e observaram que a técnica da mínima curvatura foi a mais apropriada.

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 como objetivo avaliar a acurácia de quatro métodos de espacialização (inverso quadrático da distância, krigagem, mínima curvatura e triangulação) da precipitação pluvial para o Estado de Goiás.

Material e métodos

Métodos de interpolação

O presente trabalho não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos de interpolação, mas sim sua aplicação prática. Os métodos foram escolhidos tentando-se abranger os principais encontrados na literatura. Decidiu-se trabalhar apenas com um programa, o Surfer® versão 9.8 (Golden Software™ Inc.). Os métodos utilizados foram o inverso quadrático da distância, krigagem, mínima curvatura e triangulação, esses métodos são descritos a seguir.

Método do inverso quadrático da distância

Este método pode ser classificado tanto como um interpolador exato como suavizante, faz com que os pesos dos dados sejam avaliados durante o processo de interpolação, tal que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da malha. O fator peso pode ser pré-determinado pelo usuário, sendo que quanto maior o valor escolhido, menor será a influência dos pontos mais distantes do nó. Inversamente, quanto menor for o peso, maior o efeito de pontos distantes sobre toda a malha. Uma

característica negativa deste método é a geração de efeito mira ao redor dos pontos observados. Este é um método rápido e requer pouco custo computacional (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Krigagem

Este não é um simples método de interpolação estocástico, pois utiliza geoestatística para efetuar a interpolação, o que em muitos casos é uma grande vantagem sobre outros métodos. A krigagem define o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras por semivariograma (CRESSIE, 1991). Uma vez modelado o semivariograma, é possível verificar o nível de anisotropia dos dados, e então definir os melhores pesos para as amostras. A krigagem pode ser um interpolador tanto exato como suavizador. Este método tenta expressar tendências sugeridas pelos dados, como por exemplo, pontos de elevada altitude ao longo de uma cadeia montanhosa podem ser conectados, ao invés de gerar 'efeito mira' (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Mínima curvatura

O nome deriva de uma ferramenta flexível de desenho técnico, e é um método de interpolação muito aceito e utilizado atualmente. Distinto de outros métodos de interpolações polinomiais, não utiliza apenas um polinômio de grande ordem para interpolação de todo o conjunto de dados, mas sim divide a série de dados em subconjuntos e utiliza polinômios de pequenas ordens para cada subconjunto (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Triangulação

É um interpolador exato e utiliza malha irregular com triangulação. Funciona melhor quando os dados estão distribuídos de forma regular ao longo do domínio. Dados que contenham áreas dispersas ou espaçadas tendem a apresentar feições triangulares no mapa (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Acurácia da interpolação

Para a interpolação, foram utilizadas as médias de precipitação anual de 70 postos pluviométricos do Estado de Goiás. Com a finalidade de se verificar o melhor método de interpolação, utilizou-se da técnica de validação cruzada como critério de comparação, que consiste em retirar temporariamente do conjunto de dados um valor observado e estimá-lo a partir dos outros, esse processo é feito para todos os valores observados. Posteriormente, foram calculados o erro médio quadrático (RMSE - root mean square error), o desvio das médias (MBE - Mean Bias Error) o coeficiente de determinação (r^2) e o coeficiente de correlação de Pearson (r).

O RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais

próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados, calculado pela Equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (1)$$

em que:

E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações. A desvantagem é que bastam alguns poucos valores discrepantes para que ocorra aumento significativo em sua magnitude (STONE, 1993). O MBE indica o quanto o modelo está sendo subestimado (valor negativo) ou superestimado (valor positivo). O ideal é valor de MBE tendendo a zero. Uma desvantagem apresentada é no cancelamento de um valor positivo por um negativo (STONE, 1993; ULGEN; HEPBASLI, 2009). Conforme Equação 2.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad (2)$$

O r^2 é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (Equação 3) (LAPPONI, 2005).

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

em que:

$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ corresponde à variação explicada, e $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ corresponde à variação não explicada.

Essa expressão mostra que o coeficiente de determinação é sempre um número positivo entre zero e um, que quanto maior for o r^2 , melhor será o poder de explicação da reta de regressão.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 4) mede o grau da correlação e a direção dessa correlação. Este coeficiente assume valores entre -1 e 1. Quando 1 significa correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, quando -1 significa correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui e quando 0 significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) - (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x}) \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Resultados e discussão

Conforme consta na Figura 1, nota-se que o erro médio quadrático apresentou variação de 11,6 a 90,5 mm, que o desvio das médias esteve entre 0,06 e 0,74 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,04 – 0,74 e 0,21 – 0,88.

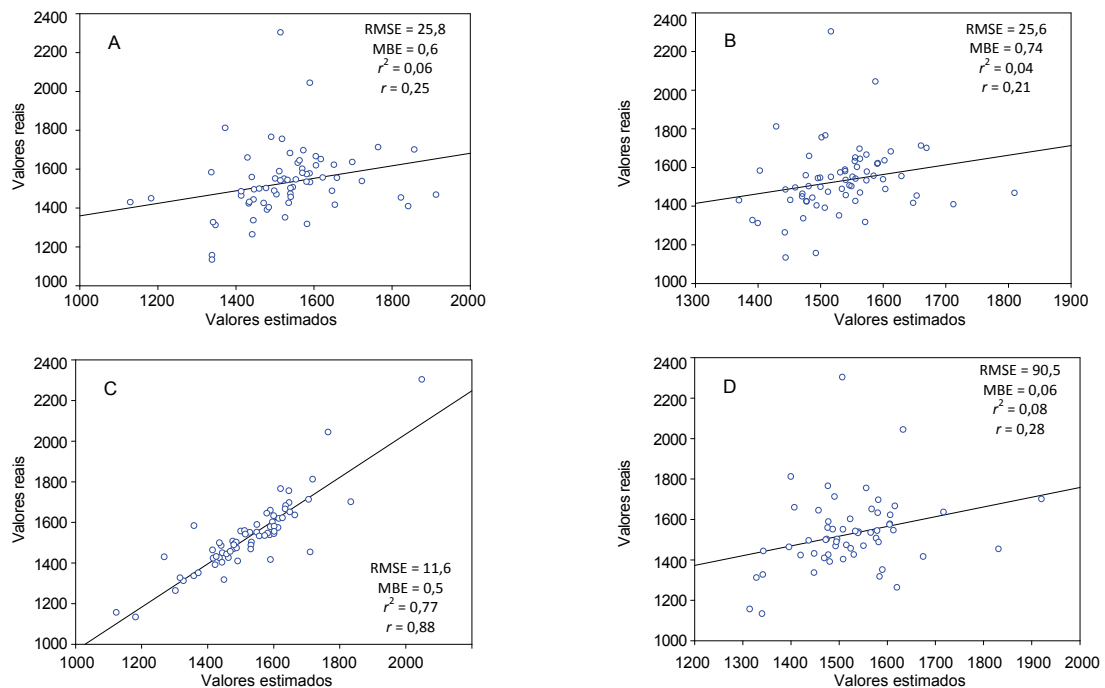


Figura 1. Resultados da validação cruzada, do erro médio quadrático - RMSE, do desvio das médias - MBE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), para os métodos de interpolação; inverso quadrático da distância (A), krigagem (B), mínima curvatura (C) e triangulação (D).

Sendo que o método da mínima curvatura apresentou os melhores resultados para a validação cruzada, para o erro médio quadrático, para o coeficiente de determinação e para o coeficiente de correlação. Somente o desvio das médias apresentou melhor resultado para o método de triangulação. Semelhante ao observado por Tao et al. (2009) em Lyon e Taesombat e Sriwongsitanon (2009) na bacia hidrográfica do rio Upper Ping na Tailândia.

O método de krigagem apresentou os piores resultados para o coeficiente de determinação e de

correlação, e o método de triangulação o pior resultado para o erro quadrático médio (Figura 1).

Na Figura 2 é apresentada a espacialização da precipitação pluvial anual no Estado de Goiás com os diferentes métodos de interpolação, assim como os resíduos de cada interpolação. Nela torna-se perceptível que o método da mínima curvatura apresentou a melhor acurácia, com os menores valores residuais, seguido do método do inverso quadrático da distância.

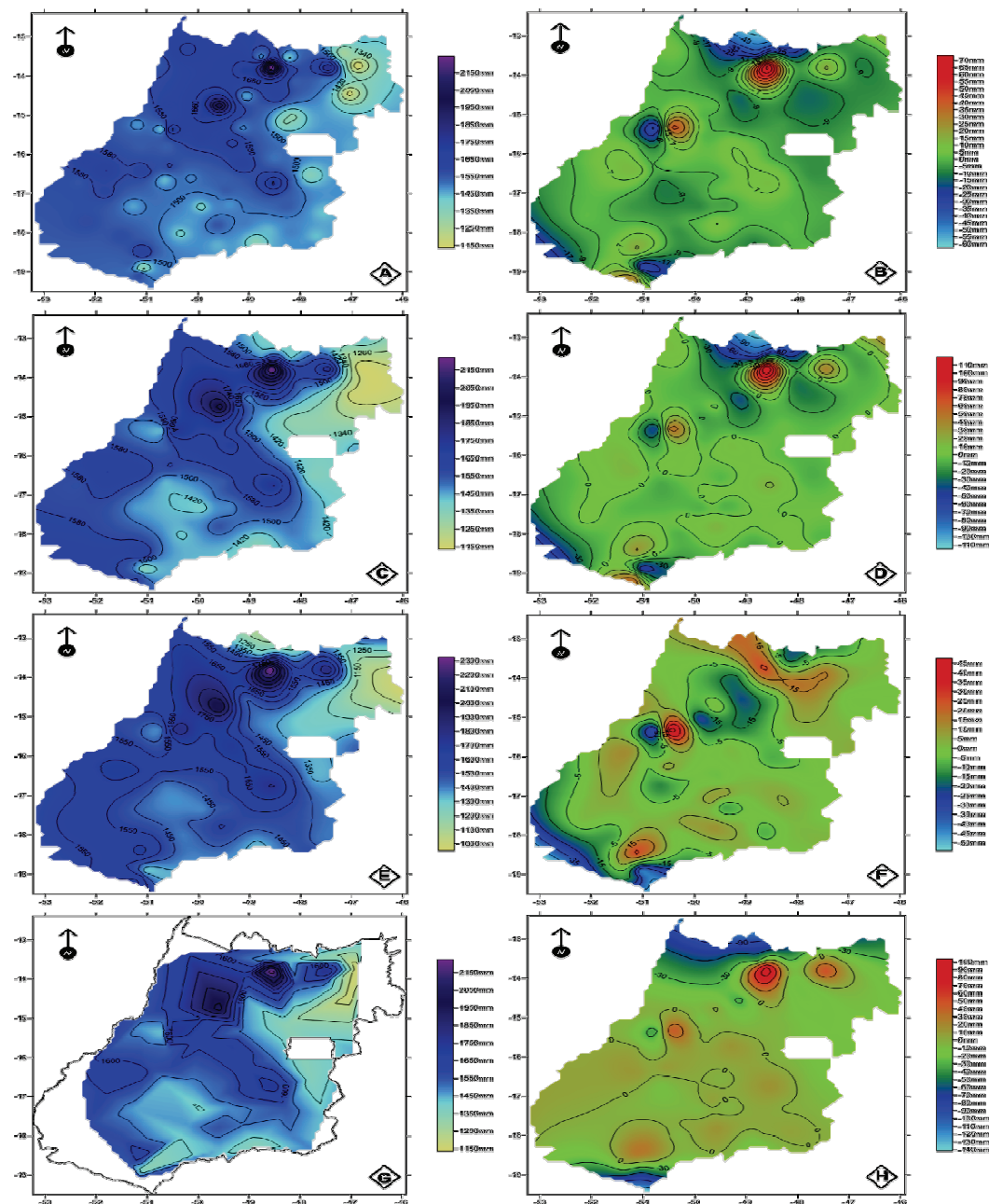


Figura 2. Mapas da distribuição espacial da precipitação no Estado de Goiás, com diferentes métodos de interpolação: método do inverso ponderado da distância (A); resíduos do método do inverso quadrático da distância (B); método de krigagem (C); resíduos do método de krigagem (D); método da mínima curvatura (E); resíduos do método da mínima curvatura (F); método de triangulação (G); resíduos do método de triangulação (H).

De todos os métodos, o mapa resultante da triangulação (Figura 2G) não permitiu extrapolação para fora do domínio dos postos pluviométricos. Isto é observado, principalmente, no canto inferior esquerdo e canto superior direito. Qualquer informação produzida nesta área é possivelmente irreal e sem qualquer significado físico.

O efeito mira foi observado, em maior número, no método do inverso quadrático da distância, nos postos pluviométricos amostrais mais afastados. Em todos os métodos, observa-se a presença de três efeitos mira no Norte do Estado de Goiás, provavelmente, pela distribuição dos postos amostrais.

Considerações finais

Entre os métodos analisados, o mapa resultante da triangulação não permitiu a extrapolação para fora do domínio dos postos pluviométricos amostrais. Os melhores resultados foram obtidos pelo método da mínima curvatura, seguido pelo inverso quadrático da distância.

Considerando-se que a interpolação fornece apenas uma estimativa de um valor baseado em outros valores conhecidos, acredita-se que a distribuição das estações, além da irregularidade espacial das chuvas, foram em parte, responsáveis pela má qualidade dos resultados obtidos pela maioria dos interpoladores.

Diante da intensa disseminação de softwares que disponibilizam diversos métodos de interpolação, os resultados, também, contribuem no sentido de enfatizar uma análise do método mais adequado a ser utilizado para a espacialização dos totais anuais no Estado de Goiás.

Referências

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

COULIBALY, M.; BECKER, S. Interpolation of annual precipitation in South Africa. Comparison and Evaluation of Methods. **Water International**, v. 32, n. 3, p. 494-502, 2007.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley and Sons Inc., 1991.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

TAESOMBAT, W.; SRIWONGSITANON, N. Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. **ScienceAsia**, v. 35, n. 3, p. 268-275, 2009.

TAO, T.; CHOCAT, B.; LIU, S.; XIN, K. Uncertainty analysis of interpolation methods in rainfall spatial distribution. A case of small catchment in Lyon. **Journal Water Resource and Protection**, v. 1, n. 2, p. 136-144, 2009.

ULGEN, K.; HEPBASLI, A. Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 1, p. 149-156, 2009.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

Received on June 27, 2011.

Accepted on September 30, 2011.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.