

Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES)

Analysis of interpolation techniques for spatial rainfall distribution in river basin Itapemirim (ES)

Benvindo Sirtoli Gardiman Junior^{1(*)}

Ivo Augusto Lopes Magalhães²

Carlos Antonio Araújo de Freitas³

Roberto Avelino Cecílio⁴

Resumo

Este trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de cinco métodos de interpolação: inverso da distância ponderada (IDW), Krigagem esférico, natural vizinho, Spline regularizada e Topo to Raster. Para tanto, utilizaram-se dados de precipitação pluviométrica média mensal de um período de trinta anos (1972 a 2002), obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA), de estações localizadas dentro e fora da área da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. Os resultados apontam que o interpolador de Krigagem esférica obteve o menor Erro Quadrado Médio (EQM), Percentual de Eficiência (EF%), Erro Médio Absoluto (MAE), Coeficiente de Determinação (r^2) e Estimativa do Erro Padrão (EEP), seguido por IDW, Spline regularizada, natural vizinho e, por último, Topo to Raster. A diferença entre os valores observados e estimados pelo método Krigagem esférico foi muito menor do que para os outros quatro métodos, indicando ser esse o interpolador que representa melhor a distribuição espacial da precipitação pluvial média mensal para os dados em estudo.

Palavras-chave: métodos; chuva; distribuição espacial; interpoladores; krigagem.

1 Engenheiro Ambiental; Mestrando em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo, UFES; Endereço: Avenida Governador Lindemberg, 316, CEP: 29550-000, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil; E-mail: gardimanjunior@yahoo.com.br (*) Autor para correspondência.

2 Engenheiro Ambiental; Mestrando em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo, UFES; Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil; E-mail: ivo-magalhaes@hotmail.com

3 M.Sc.; Ciências Biológicas; Professor do Instituto Federal Fluminense de Bom Jesus do Itabapoana/RJ, Fundação de Apoio à Escola Técnica do Estado do Rio de Janeiro; Campos de Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil; Tutor presencial da Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: caafreitas@yahoo.com.br

4 Dr.; Engenheiro Agrícola; Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Alegre, Espírito Santo, Brasil; Bolsista Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: racecilio@yahoo.com.br

Abstract

This work had the main objective to compare the performance of five methods of interpolation's style, inverse of the distance's weight (IDW), round Krigagem, natural neighbor, regularized Spline and Top to rater. Therefore, average monthly rainfall in a period 30 years (1972 the 2002), together with the results of Sytem Hidrological Information (Hidroweb) of National Water Agency (ANA) were used around and next of Itapemirim hidrological basin river, southern state of Espirito Santo. The results showed the round Krigagem the lowst Medin Square Mistake (EQM), Efficient percent (EF%), Absolute Medium Mistake (MAE), Determination modulus (r^2) and Standard Estimation Mistake (EEP), followed to IDW, regulated Spline, neighbor natural and for last Top to rater. Nonetheless, the difference between the values was observed and estimated by round Krigagem. in fact it was less than the others four methods used, thus it is indeed that this method shows that the interpolation which represents the best distribution of monthly spatial pluvial rainfall to database.

Key words: styles; rain; spatial distribution; interpolators; krigagem.

Introdução

Os métodos de interpolação são utilizados com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade de interesse (JIMENEZ; DOMECCO, 2008).

Dentre os diversos métodos de interpolação, citam-se: Inverso da distância ponderada (IDW), Krigagem e métodos de vizinhos mais próximos. Até mesmo os métodos geoestatísticos têm sido utilizados com frequência para a espacialização de informações pluviométricas. Entretanto, não existe, na literatura, um método que se sobressaia ao outro, mas deve-se determinar o melhor método para cada circunstância (LENNON; TUNNER, 1995).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) apresentam diversos métodos de espacialização, que auxiliam no acompanhamento das variáveis nas séries

históricas, quanto a sua resolução temporal e espacial (SILVA et al., 2007).

O conhecimento sobre o comportamento pluviométrico é de extrema importância para o dimensionamento de projetos para irrigação e projetos agrícolas. A frequência da ocorrência da precipitação também é de extrema importância nos estudos de minimização de erosão hídrica (REIS et al., 2005).

Essas técnicas de interpolação, por apresentarem precisão e agilidade, permitem desenvolver práticas apropriadas e, até mesmo, medidas mitigadoras quanto às culturas e atividades implantadas em uma localidade, onde o clima influencia diretamente no desenvolvimento dos vegetais.

As atividades agrícolas e silviculturais possuem importante papel na economia dos municípios da bacia do rio Itapemirim, o que torna importante a caracterização adequada das condições pluviográficas.

Diante do apresentado, este trabalho tem como objetivo avaliar os métodos de

interpolação para a espacialização da variável climatológica precipitação pluvial na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo.

Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas vinte séries históricas de precipitação diária, compreendendo o período de 1972 a 2002, obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo quinze postos pluviométricos localizados dentro e cinco fora do limite da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, com o objetivo de eliminar o efeito de borda no processo de interpolação (ACOSTA, 1997; MOREIRA, 1997; ANDRADE, 1998). De acordo com Almeida et al. (2011), a bacia

hidrográfica do rio Itapemirim está localizada na região sul do Espírito Santo (Figura 1), com área total de aproximadamente 5.923 km². Abrange dezessete municípios, geograficamente situada entre os meridianos 40°48' W e 41°52' W e entre os paralelos 20°10' S e 21°15' S. Segundo a classificação de Köppen, o clima se enquadra no tipo Cwa, com inverno seco e verão chuvoso.

Os interpoladores espaciais aplicados às precipitações médias mensais das séries históricas, já corrigidas as falhas pelo método de ponderação regional (BERTONI; TUCCI, 2007), foram: krigagem com modelo de semivariograma esférico, inverso da potência da distância (IDW) com expoente dois, natural vizinho, spline regularizada e Topo to Raster.

O interpolador krigagem é baseado numa função contínua, que explica o

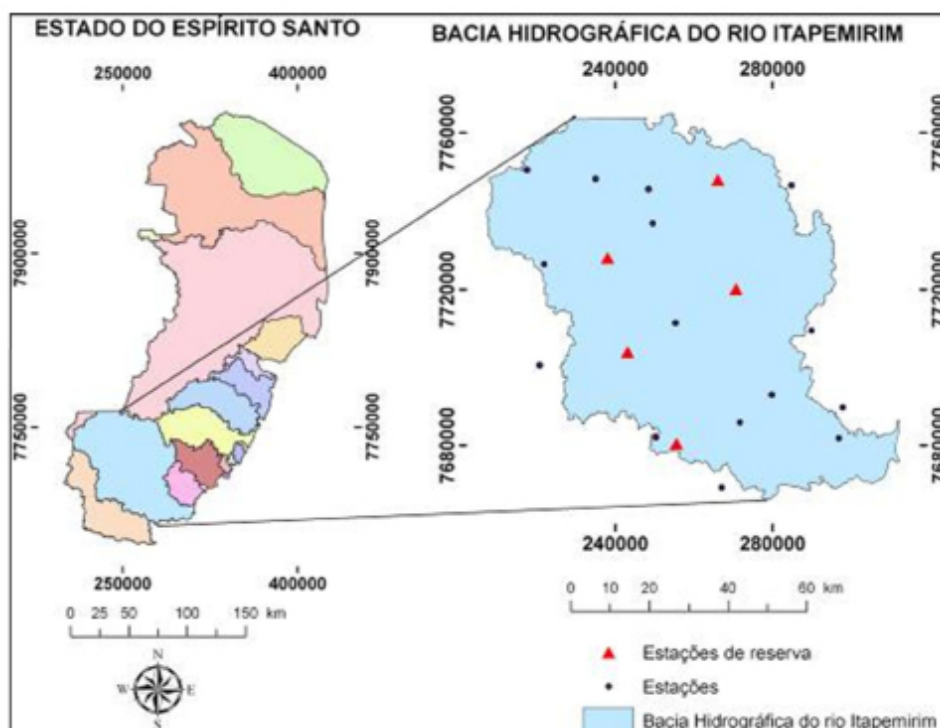


Figura 1. Localização da área de estudo no estado do Espírito Santo e das estações pluviométricas utilizadas

comportamento de uma variável nas distintas direções de um espaço geográfico. Permite associar a variabilidade da estimação com base na distância que existe entre um par de pontos, pelo uso de um semivariograma, o qual permite verificar o nível de similitude que existe entre estes, à medida que se afastam (GALLARDO, 2006).

O IDW, por sua vez, realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos n postos mais próximos, o que é função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior o peso atribuído ao ponto amostrado (JIMENEZ; DOMECCO, 2008). Esse método simples e clássico é recomendado para regiões com alta densidade de amostras (DEUS et al., 2010). Para Watson e Philip (1985) e Mello et al. (2003), este interpolador é largamente utilizado com o expoente dois, com bons resultados, e com o qual recebe a denominação de inverso do quadrado da distância (IQD), razão pela qual foi utilizado neste trabalho.

O terceiro interpolador utilizado neste estudo foi o vizinho natural, que usa equação idêntica à do IDW. A diferença em ambos é o cálculo dos pesos e o método usado para selecionar o subconjunto de pontos de dispersão utilizados para a interpolação. O método Vizinhança natural está baseado na rede polígono Thiessen do conjunto de pontos de dispersão. Esta rede pode ser construída a partir da triangulação *Delauney* de um conjunto de pontos de dispersão. A triangulação *Delauney* é uma TIN (rede triangular irregular) que foi construída de modo que o critério *Delauney* fosse satisfeito (JIMENEZ; DOMECCO, 2008).

O método de interpolação Spline (nesse caso regularizada) faz parte da função de base

radial, um método determinístico, exato e não convexo. Recomenda-se usar esta técnica para estimar superfícies com variações suaves e deve ser evitado na espacialização de conjuntos amostrais com tendência (ESRI, 2008).

A função Topo to Raster, último interpolador usado neste estudo, foi baseado nos trabalhos desenvolvidos por Hutchinson (1988, 1989), em seu programa ANUDEM. Nogueira e Amaral (2009) explicitam que essa técnica de interpolação foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. O método utiliza a eficiência computacional da interpolação local, como ponderação do inverso da distância, sem perder a continuidade superficial dos métodos globais de interpolação, como Krigagem e Spline.

É importante salientar que, dentre os parâmetros meteorológicos, a precipitação é a que apresenta a maior variabilidade temporal, espacial e climatológica sendo, portanto, este último fator, o climatológico, o de maior dificuldade de estimativa, uma vez que os interpoladores desprezam a variável superfície.

Para a validação e verificação das cinco metodologias de interpolação abordadas, utilizou-se a metodologia proposta por Caruso e Quarta (1998), em que, para a realização da interpolação, um posto especificado é extraído e interpolado sem ele; logo após, um segundo posto é retirado e interpolado sem o mesmo e, assim, sucessivamente. Para tanto, neste trabalho, foram retirados, do banco de dados, por sorteio, cinco postos denominados de “Estações de reserva” (Figura 1), distribuídos aleatoriamente na área de estudo, e executada a interpolação sem os mesmos, para avaliar a exatidão dos interpoladores utilizados.

Assim, foi possível obter o valor estimado do posto retirado e, posteriormente, compará-lo com o valor real da variável, metodologia também usada por Silva et al. (2007), na mesma bacia, para testar interpoladores de variáveis climatológicas. Segundo Martinez-Cob (1996) e Mello et al. (2003), esta é a melhor maneira de se estudar, comparativamente, metodologias de interpolação, uma vez que consiste em uma aplicação do processo a pontos desconhecidos validando, de forma consistente, as metodologias estudadas.

Para validação e verificação, foi avaliado o desempenho dos interpoladores por meio da correlação entre os valores obtidos e estimados, obtendo-se a precisão dos dados por meio do coeficiente de determinação (r^2), o qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total, em que, quanto mais próximo da unidade, mais perfeita é a relação entre os dados. Foi comparado, também, o coeficiente de correlação (r) e o erro quadrático médio – EQM proposto por Phillips et al. (1992), apresentado na equação 1. De acordo com este índice, o melhor interpolador, para cada variável, é aquele que apresentar o menor valor do EQM.

$$EQM = \sum \frac{(E-O)^2}{n} \quad (1)$$

Onde: EQM é o erro quadrático médio; E, valor estimado através do método de interpolação, mm.mês⁻¹; O, o valor observado (real) na estação de reserva, mm.mês⁻¹; e n, número de observações (anos).

O controle de qualidade foi feito, ainda, por meio de análises estatísticas de exatidão, precisão e tendência dos interpoladores,

usando, como referência, os valores estimados e medidos, como já apresentado.

Calculou-se, dessa forma, o índice de concordância (d) proposto por Willmot; Wicks (1980), conforme equação 2, em que seus valores variam de “zero” (não existe concordância) a “um” (concordância perfeita).

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

Onde: d é o índice de concordância ou ajuste.

Camargo e Sentelhas (1997) propuseram que, ao correlacionar os valores estimados e observados experimentalmente, sejam considerados o coeficiente de correlação (r); o índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981), e o índice de confiança (c). O índice de confiança ou desempenho (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1996), que é produto da multiplicação entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d), possui valores que variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita.

Foi utilizada, também, a Estimativa do Erro Padrão (EEP), proposta por Allen. (1986), calculada por meio da equação 3, em que, quanto maior for o valor encontrado, mais superestima a precipitação no ponto analisado. Juntamente com a EEP, foi calculado o Percentual de Eficiência (EF%) proposto por Greenwood et al. (1985), que significa que, quanto maior for o valor encontrado, mais distante está o valor estimado do valor comparado. A equação 4 apresenta a EF%.

$$EEP = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O - \bar{E})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Onde: EEP é a estimativa do erro padrão, mm. mês⁻¹.

$$EF\% = 100 \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2} \right) \quad (4)$$

Onde: EF% é a modelagem do percentual de eficiência.

A variação da distribuição dos valores interpolados da precipitação, espacializados para a bacia estudada, utilizando os diferentes interpoladores e a alteração dos seus parâmetros, foi realizada por meio da comparação visual nos mapas temáticos gerados para cada modelo utilizado. Para facilitar essa visualização, os mapas foram reclassificados em classes com intervalo de 5 mm de precipitação. Viola et al. (2010) também utilizaram essa metodologia num trabalho semelhante, para o estado de Minas Gerais.

A fim de verificar o desenvolvimento dos interpoladores, nos mapas de precipitação média mensal, conforme as metodologias utilizadas, empregou-se o *Software* ArcGIS 10.0 Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2010).

Resultados e discussão

Para efeito comparativo, os dados de precipitações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, interpolados, são detalhados na figura 2, na qual podem-se detectar pequenas variações nas classes divididas em cinco milímetros (mm), geradas por cada um dos métodos de interpolação. Inicialmente, os mapas de precipitação, gerados com a presença de todas as vinte estações, apresentam maior homogeneidade na representação espacial da chuva média mensal, uma vez que o interpolador possui

um maior conjunto de dados para espacializar. Nos demais mapas, interpolados sem as cinco estações de reserva representadas pela simbologia triangular, visualiza-se que houve uma representação espacial menos detalhada da chuva média mensal; isso se deve ao fato de haver um menor conjunto de dados para interpolar, cabendo ao interpolador sub ou superestimar a precipitação pluvial naquele posto.

Observa-se, nas representações apresentadas na figura 2, que ocorreram variações entre os diferentes interpoladores utilizados na espacialização da precipitação e estações de prova. Na figura 2A, na qual são apresentadas as imagens obtidas com o interpolador Krigagem esférica, observa-se um aumento dos valores precipitação média mensal no intervalo entre 85 a 105 mm e 125 a 145 mm, superestimando-os em 57,73%, 69,20%, 85,47% e 97,05% respectivamente, enquanto que subestimou os valores entre as demais classes, 105 a 125 mm em 113,19%, 133,45%, 120,71% e 106,31, respectivamente. Este fato deixa claro que as variações dos parâmetros de entrada e a suposta ausência dos mesmos podem alterar o resultado e, assim, interferir na qualidade do valor obtido. Silva et al. (2007) concluíram, em um trabalho, realizado para a avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na mesma bacia, que o método de Krigagem apresentou melhores resultados na interpolação.

Avaliando-se a figura 2B, resultado da interpolação pelo método IDW, pode-se salientar um desempenho próximo ao da Krigagem esférica; entretanto, o IDW 2 superestimou as classes com menores médias mensais, 85 a 105mm, em 90,87%, 91,89%, 93,42% e 98,65%, respectivamente.

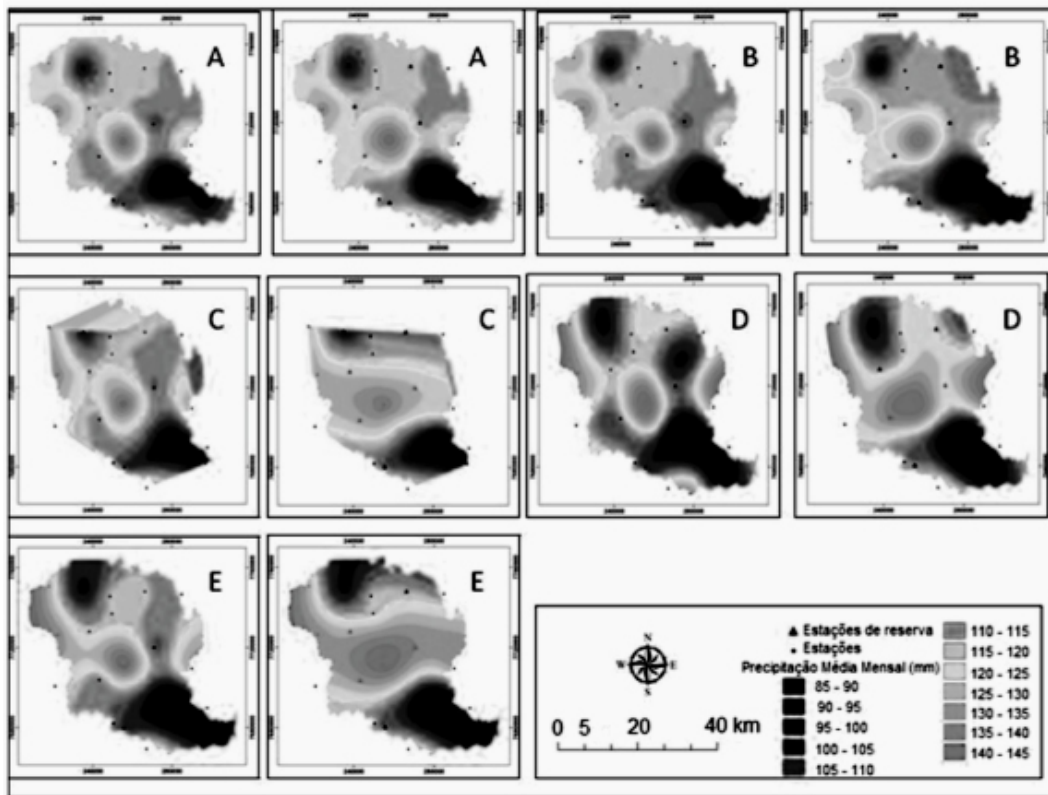


Figura 2. Comparação da interpolação da precipitação pluvial média mensal do período de 1972 a 2002, pelos métodos Krigagem Esférica (A), Inverso do quadrado da distância - IDW 2 (B), Vizinhança natural (C), Spline regularizada (D) e Topo to Raster (E) na bacia hidrográfica do rio Itapemirim

Reis et al. (2005), em seu trabalho de espacialização dos dados de precipitação para o estado de Goiás e para o Distrito Federal, utilizando os métodos de interpolação IDW e Krigagem, verificou que ambos os métodos e suas variantes utilizadas mostraram-se adequados à realização da interpolação; no entanto, ocorreram diferenças pontuais expressivas que chegaram a 21%. A menor diferença absoluta observada entre os valores gerados foi obtida entre as variantes do método de Krigagem, porém os resultados apresentados pelo IDW, quando comparados aos valores de precipitação esperados e aqueles gerados pela interpolação, também apresentaram proximidades.

Na figura C, pode-se observar um comportamento predominante de superestimativa entre os mapas gerados pela natural vizinhança. Isso pode ser comprovado pelo EQM, um dos mais elevados entre as metodologias observadas (Tabela 1). Jimenez e Domecq (2008), em um estudo para a validação dos dados pluviométricos para três períodos diários de precipitação (20/05/1983, 30/05/1983 e 06/10/2005), concluíram que a vizinhança natural apresentava melhor correlação quando comparada ao método de IDW e ao método de Krigagem.

Na figura 2 D e E (Spline regularizada e Topo to Raster), observa-se maior supe-

restimação (17,44%) pelo método Topo to Raster para as classes mais escuras (de 130 a 145 mm), quando comparado ao método Spline regularizada e com os demais métodos.

Silva et al. (2007), em estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, observaram que o método Spline apresentou resultados do EQM muito superiores aos demais, obtidos por outros métodos de interpolação; portanto, este método não é recomendável para a aplicação na área da

coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP) e maiores coeficientes de correlação (r), de concordância (d) e de confiança ou desempenho (c).

Para os dados em questão, o interpolador que apresentou resultado mais acurado foi o de Krigagem esférica, seguido por IDW 2, Spline regularizada, Vizinho Natural e, por último, Topo to Raster.

Para Deus et al. (2010), em um trabalho semelhante desenvolvido para o

Tabela 1. Comparação entre os métodos de interpolação

Interpoladores	EQM	EF %	MAE	r^2	EEP	r	d	c	Média (mm.mês ⁻¹)
Precipitação real média*									111,52
IDW 2	14,70	316,16	7,22	2,972	8,576	0,42	0,446	0,19	118,40
Krigagem esférica	11,90	256,01	6,47	2,253	7,718	0,51	0,496	0,25	117,99
Topo to Raster	46,76	1005,24	11,21	9,124	15,293	0,02	0,226	0,004	122,61
Spline regularizada	34,68	745,47	10,15	6,783	13,169	0,09	0,219	0,02	120,92
Natural Vizinhaça	43,52	935,50	12,39	9,120	14,753	0,22	0,290	0,06	123,52

Nota: * Precipitação real média obtida pela média aritmética da série histórica mensal de dados de precipitação pluvial correspondente ao período de 1972 a 2002; EQM é o Erro Quadrado Médio apresentado na Equação 1; EF% é o Percentual de Eficiência conforme apresentado na Equação 4; r é o coeficiente de correlação; d , coeficiente de concordância; c , coeficiente de confiança ou desempenho

bacia do rio Itapemirim. Isto corrobora com os resultados obtidos neste trabalho, conforme a tabela 1, demonstrando um valor EQM de Spline regularizada de 34,68, estando este bem acima dos métodos IDW 2 (14,70) e Krigagem esférica (11,90).

A tabela 1 mostra que os valores interpolados pelo método de Krigagem esférica apresentam as precipitações estimadas mais próximas do real. Isso pode ser identificado pelos menores valores de erro quadrado médio (EQM), que determinam o quadrado dos desvios dos valores estimados *versus* observado, coeficiente de eficiência (EF%), que estima o quanto se distanciou do valor real, erro médio absoluto (MAE),

estado do Mato Grosso, e Barbosa (2006), em um estudo para a espacialização de dados climatológicos para o estado de São Paulo, a melhor performance geral foi obtida para a Krigagem, aferida tanto pelo teste do erro quadrado médio (EQM) quanto pelo coeficiente de correlação (r).

Castro et al. (2010) afirmam que o método de Krigagem foi o que melhor apresentou resultados para as estimativas das variáveis de precipitação, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, deficiência hídrica, excedente hídrico e disponibilidade hídrica no estado do Espírito Santo. Os resultados obtidos neste trabalho, para a variável precipitação, confirmam a acurácia de que o método

de Krigagem se adequa melhor a este estudo, por este apresentar menores valores, resultados das análises de exatidão, precisão e tendência (EQM, EF%, MAE, r^2 , EEP, r, d e c).

Conclusões

Dentre os métodos de interpolação utilizados para a espacialização da precipitação pluviométrica média mensal, para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, o Krigagem, com modelo semivariograma esférico, foi o método de interpolação que apresentou as melhores estimativas da variável estudada, em caráter comparativo aos demais métodos.

O melhores desempenhos foram obtidos (nessa ordem) pelos métodos

Krigagem com modelo semivariograma esférico, IDW 2, Spline regularizada, Vizinho natural e, por último, Topo to Raster, que pôde ser comprovado, a acurácia, com menores valores de EQM, EF%, MAE, r^2 , EEP e maiores valores de r, d, c e média da precipitação pluviométrica mensal estimada de acordo com o conhecimento da pluviosidade média mensal original da bacia hidrográfica e a estimada pelo interpolador.

A utilização inadequada de um método para a interpolação pode provocar ineficiências na espacialização da variável climatológica precipitação pluviométrica para um local pretendido, se antes não for verificada a sua eficácia.

Referências

ACOSTA, V. H. **Classificação ecológica do território brasileiro situado ao Sul do paralelo 24° S – uma abordagem climática.** 1997. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 1997.

ALMEIDA, A. Q. de; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON, N. J. L.; LIMA, E. P.; Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.4, p.354–358, 2011.

ALLEN, R. G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 4, p. 348-386, 1986.

ANDRADE, L. A. **Classificação ecológica do território brasileiro situado a leste do meridiano de 44° oeste e ao norte do paralelo de 16° sul: uma abordagem climática.** 1998. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2000.

BARBOSA, J. P. M. Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o SIG como ferramenta. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.9, n.17, p. 85 - 96, 2006.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Porto Alegre: UFRGS, 2007. p. 177-241.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial baseada no método de Hargreaves – 1974. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.

CARUSO, C.; QUARTA F. Interpolation Methods Comparison. **Computers & Mathematics with Applications**, v.35, n.12, p. 109-126, 1998.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, p.871–880, 2010.

DEUS, B. V.; ZEILHOFER, P.; ARAUJO, G. C.; SANTOS, A. S. L. Interpolação pluviométrica na Bacia do Alto e Médio Rio Teles Pires: uma análise de séries históricas e interpoladores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p.1-7.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS 10: Getting started with ArcGIS**. Redlands: ESRI, 2010.

GALLARDO, A. Geostatística. **Ecosistemas**, Mósteles, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.

GREENWOOD, D. J.; NEETESON, J. J.; DRAYCOTT, A. Response of potatoes to N fertilizer: dynamic model between plant soil. **Plant and Soil**, v.85, n.2, p. 185-203, 1985.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING. 3., 1988, Sydney. **Anais...** Sydney: 1988. p. 117-134.

_____. A new procedure for gridding elevation and stream live data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3-4, p. 211-232, 1989

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCO, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008 [S.I].

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. **Journal of Animal Ecology**, v. 64, n.3, 670-392, 1995.

MARTINEZ-COB, A. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. **Journal of Hydrology**, v.174, p.19-35, 1996.

MELLO, C. R. de.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; SILVA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.925-933, 2003.

MOREIRA, I. P. S. **Classificação ecológica do território brasileiro situado entre 16 e 24° de latitude Sul e 39° 51' de longitude Oeste**. 1997. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 1997.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do A.; Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4117-4123.

PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 58, n 1-2, p. 119-141, 1992.

REIS, M. H.; GRIEBELER, N. P.; SARMENTO, P. H. L.; OLIVEIRA, L. F. C. de.; OLIVEIRA, J. M. de. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 229-236.

SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 3141-3146.

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

WATSON, D. F.; PHILIP, G. M. A Refinement of inverse distance weighted interpolation. **GeoProcessing**, v.2, p.315-327, 1985.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.

_____.; WICKS, D. E. An empirical method for the spatial interpolation of monthly precipitation within California. **Physical Geography**, Los Angeles, v.1, p.59-73, 1980.