

INTERPOLAÇÃO ESPACIAL NA CLIMATOLOGIA: ANÁLISE DOS CRITÉRIOS QUE PRECEDEM SUA APLICAÇÃO

Elis Dener Lima Alves
Universidade de São Paulo
elisdener@usp.br

Marcelo Sacardi Biudes
Universidade Federal de Mato Grosso
marcelo.biudes@gmail.com

Francisco Arthur Silva Vecchia
Universidade de São Paulo
fvecchia@sc.usp.br

CLIMATOLOGIA: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

Resumo

Diversos estudos têm utilizado mapas de isolinhas para a representação espacial de um dado fenômeno. No âmbito da climatologia urbana, esses mapas vêm sendo amplamente utilizados para identificação do fenômeno conhecido como ilhas de calor. Entretanto, a maioria dos trabalhos não realiza uma análise criteriosa na escolha dos métodos de interpolação. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de interpolação para a temperatura do ar no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. Para isso foram realizadas coletas de temperatura do ar entre os dias 23 e 27 de abril de 2010, em seguida as interpolações foram analisadas por meio de índices estatísticos. Apesar dos resultados evidenciarem que não houve uma diferença estatística significativa entre os seis melhores métodos de interpolação, constatou-se que o método da krigagem obteve um ótimo desempenho na interpolação para a temperatura do ar. Contudo, destaca-se que um ótimo método de interpolação espacial para um elemento meteorológico ou área de estudo pode não ser satisfatório para outros elementos ou outras áreas. Deve-se escolher o método de interpolação de acordo com o objeto de estudo, área de pesquisa e escala de análise.

Palavras-chave: acurácia, espacialização, isolinhas.

Abstract

Several studies have used isoline maps to represent spatially a given phenomenon. Regarding urban climatology, these maps have been widely used to identify heat islands. However, most studies do not perform a careful analysis when selecting interpolation methods. In this way, this study evaluated the performance of different interpolation methods for the air temperature in the Federal University of Mato Grosso, campus of Cuiabá. For this, the air temperature was measured between 23 and 27 April, 2010, and then the interpolations were analyzed by means of statistical indices. Although no significant difference has been found among the six best methods, the kriging method achieved an excellent performance in the interpolation of air temperature. Nevertheless, an optimal method for spatial interpolation for a given meteorological factor may not be satisfactory for other elements in

other areas. The interpolation method should be chosen according to the object of study, research area, and analysis scale.

Key words: accuracy, spatial, isolines.

Introdução

A melhor forma de representação da variabilidade espacial de um elemento meteorológico é por meio de mapas de isolinhas (contorno), entretanto, na sua confecção é necessária à realização de uma interpolação. Interpolação espacial é o procedimento utilizado para se estimar valores de locais não amostrados, baseando-se em valores de dados observados em locais conhecidos.

Atualmente a interpolação tem sido utilizada em muitos campos, tais como na medicina, ecologia, geologia, geografia, oceanografia, engenharia, computação, geofísica, meteorologia, agronomia, hidrologia, e sistemas de informações geográficas (HARTKAMP et al., 1999; MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Segundo Landim (2006) existem à disposição diversos algoritmos para a estimativa de pontos que são utilizados na interpolação para a confecção de mapas. A diferença entre os diversos métodos está em como são estimados os nós da rede regular, a partir de valores conhecidos.

Há poucas referências a estudos comparativos entre metodologias de interpolação espacial (LI; HEAP, 2008; MAZZINI; SCHETTINI, 2009; NAOUM; TSANIS, 2004). Mello et al. (2003) afirmam que existem estudos com abordagens gerais dos métodos de interpolação em diversas áreas de pesquisa, no entanto, em nenhum deles foi estabelecido qual ou quais métodos apresentaram maior precisão.

Em termos climatológicos, é necessária uma investigação mais aprofundada sobre o desempenho dos interpoladores aplicados ao mapeamento, 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).

Diversos estudos têm utilizado mapas de isolinhas para representação espacial de um dado fenômeno (MOHAMED et al., 2011). No âmbito da climatologia urbana, esses mapas vêm sendo amplamente utilizados para identificação do fenômeno conhecido como ilhas de calor. Todavia, principalmente no Brasil, a maioria dos trabalhos (ALVES; SPECIAN, 2009; AMORIM, 2005a; AMORIM, 2005b; AMORIM, 2010; COSTA; SARTORI, 2009; SOUZA; NERY, 2011; VIANA; AMORIM, 2008) não realizam uma análise criteriosa na escolha dos métodos de interpolação para o estudo em questão. Sendo que dos trabalhos citados, apenas o

de Souza e Nery (2011) mencionam o método de interpolação utilizado, o que deixa uma dúvida sobre a veracidade científica dos mesmos.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente o desempenho de diferentes métodos de interpolação para a temperatura do ar, com o intuito de fornecer subsídios a outros estudos, com intuito de discutir a importância de uma análise criteriosa e não arbitrária do melhor método a ser utilizado.

Procedimentos metodológicos

As coletas de dados de temperatura do ar foram realizadas entre os dias 23 e 27 de abril de 2010, na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus de Cuiabá (Figura 1), por meio de transectos móveis com aparelhos termo-higrômetros (modelo HT-4000, fabricante ICEL Manaus) e GPS (Global Positioning System, modelo 76CSx, fabricante Garmin), em cada coleta foram obtidos 350 dados de temperatura do ar. Sendo utilizado para análise o dia 24 de abril, por apresentar características de um dia padrão dentro do período de coleta.

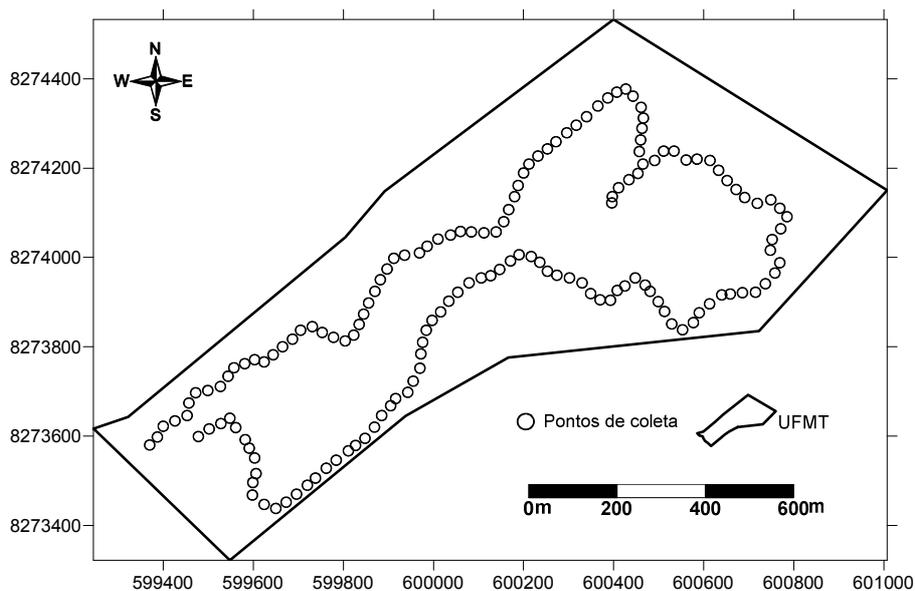


Figura 1. Localização dos pontos de coleta.

Neste estudo foram analisados 11 métodos de interpolação calculados no programa Surfer 10, os quais são descritos por Li e Heap (2008), Mazzini e Schettini (2009) e Naoum e Tsanis (2004) a seguir:

1) Inverso quadrático da distância (IQD): 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 á 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.

2) Krigagem (K): 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. Uma vez modelado o semivariograma, é possível verificar o nível de anisotropia dos dados, e então definir os melhores pesos para as amostras. Krigagem pode ser um interpolador tanto exato como suavizador.

3) Curvatura mínima (CM): 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.

4) Método de Shepard modificado (MSM): Pode ser tanto um interpolador exato como suavizante, e é muito similar ao método inverso quadrático da distância descrito. Distingue-se deste por utilizar localmente o método dos mínimos quadrados para reduzir ou eliminar o efeito mira.

5) Vizinho natural (VN): Diferente dos demais métodos, este não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. Este método faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais.

6) Vizinho mais próximo (VP): este método atribui o valor do ponto mais próximo para cada nó. Muito eficiente se os pontos estão espaçados regularmente e precisam ser convertido em arquivos de malha regular. Mostra-se útil para o preenchimento de lacunas nos dados.

7) Regressão polinomial (RP): não é exatamente um método de interpolação, pois não tenta prever valores da variável dependente. Serve para definir padrões e tendências de larga escala dos dados.

8) Função da base radial (FBR): é um conjunto de métodos de interpolação exatos. A maioria dos métodos são derivações de *spline*, com características similares uns dos outros. O método de derivação multi-quadrático.

9) Triangulação com interpolação linear (TIL): 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.

10) Médias móveis (MM): este método atribui valores aos nós da malha através da média dos dados que estão no domínio da elipse de busca do nó. A elipse, cujo tamanho pode ser determinada pelo usuário assim como também o número mínimo de dados a serem utilizados, situa-se no centro do nó, que tem seu valor obtido pela média aritmética dos dados observados dentro da elipse.

11) Polinômio local (PL): este método atribui valores aos nós da malha utilizando o método dos mínimos quadrados a partir dos dados de dentro da elipse de busca do nó, sendo que os dados observados mais próximos do nó obtêm maior peso nos cálculos, e os mais distantes, menores pesos.

Para avaliar estatisticamente o desempenho dos métodos de interpolação da temperatura do ar, procurou-se, por meio da validação cruzada, correlacionar os valores estimados com os observados, tomando-se como base os indicadores estatísticos propostos por Camargo e Sentelhas (1997), definidos da seguinte forma: precisão – coeficiente de correlação “r”; exatidão – índice de Willmott “d” e de confiança ou desempenho “c”.

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, esta aproximação é dada por um índice designado concordância, representado pela letra “d” (LI; HEAP, 2008; WILLMOTT et al., 1985), cujos valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita.

Expressos da seguinte forma:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (e - \bar{e})(o - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (e - \bar{e})^2 \sum_{i=1}^n (o - \bar{o})^2}} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|e_i - \bar{e}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \quad (2)$$

$$c = r \times d \quad (3)$$

Em que E_i é o valor estimado, O_i o valor observado, \bar{E} a média dos valores estimados e \bar{O} a média dos valores observados.

O índice de confiança ou desempenho “c” é representado pelo produto dos índices de precisão “r” e de exatidão “d” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997; CASTRO et al., 2010;

LEITÃO et al., 2007; LI; HEAP, 2008). Os critérios de avaliação do desempenho de modelos quanto ao índice de confiança estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Análise do desempenho dos métodos com base no índice de confiança.

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Além dos índices propostos por Camargo e Sentelhas (1997), utilizou-se o coeficiente de eficiência ajustado (E') e o RMSE (erro médio quadrático), ambos são índices bastante utilizados (ALVES; VECCHIA, 2011; LI; HEAP, 2008; WILCOX et al., 1990; YU, 1999). O (E') varia de $-\infty$ a 1, com os maiores valores indicando melhor performance (LEGATES; MCCABE Jr. 1999). 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 (BELLO-PINEDA; HERNÁNDEZ-STEFANONI, 2007).

Expressos da seguinte forma:

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - E_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}|} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (5)$$

Resultados e discussão

Com base na validação cruzada dos dados, as Tabelas 2 a 4 apresentam os índices estatísticos calculados que auxiliaram na verificação do melhor método de interpolação para a temperatura do ar.

A Tabela 2 apresenta os índices estatísticos calculados para analisar o desempenho dos interpoladores para a espacialização da temperatura do ar, no campus de Cuibá da UFMT.

De acordo com o critério definido por Camargo e Sentelhas (1997), oito métodos de interpolação foram considerados “ótimos” para a estimativa da temperatura do ar para confecção dos mapas.

Entretanto, o método vizinho natural demonstrou-se ligeiramente mais eficiente, pois apresentou uma correlação elevada entre os valores reais e os valores estimados, além dos outros índices estatísticos que apontam nesta direção, Mohamed et al. (2011) também observou o mesmo em seu estudo para um modelo digital de elevação. Enquanto que os métodos de regressão polinomial e médias móveis apresentaram os piores desempenhos (muito bom e péssimo).

Tabela 2. Índices estatísticos do desempenho dos interpoladores para espacialização da temperatura do ar às 8h.

Método	r	d	c	Desempenho	E'	RMSE
IQD	0,986	0,992	0,978	Ótimo	0,895	0,006
K	0,988	0,994	0,983	Ótimo	0,926	0,005
CM	0,984	0,992	0,976	Ótimo	0,888	0,007
MSM	0,986	0,993	0,979	Ótimo	0,905	0,006
VN	0,992	0,996	0,988	Ótimo	0,934	0,003
VP	0,976	0,988	0,964	Ótimo	0,916	0,010
RP	0,875	0,930	0,814	Muito bom	0,569	0,050
FBR	0,957	0,977	0,935	Ótimo	0,871	0,020
TIL	0,991	0,996	0,987	Ótimo	0,934	0,003
MM	0,536	0,456	0,245	Péssimo	0,093	0,166
PL	0,976	0,985	0,962	Ótimo	0,825	0,011

r – coeficiente de correlação; d – índice de concordância; c – índice de confiança; E' – coeficiente de eficiência ajustado; RMSE – erro médio quadrático.

Os mapas de contorno da figura 2 referem-se aos mapas confeccionados por meio dos seis melhores métodos de interpolação para a temperatura do ar no período das 8h, são eles: vizinho natural; triangulação com interpolação linear; krigagem; método de shepard modificado; inverso quadrático da distância e curvatura mínima, respectivamente de acordo com a análise com dos índices estatísticos.

Os padrões de distribuição da temperatura do ar gerados pelo método de shepard modificado foge completamente dos demais, além de apresentar valores irreais (Figura 2D). Apesar do método vizinho natural e triangulação com interpolação linear terem apresentado os melhores resultados para o horário das 8h, os mesmos não extrapolam valores, ou seja, a interpolação é realizada somente no interior do domínio dos dados.

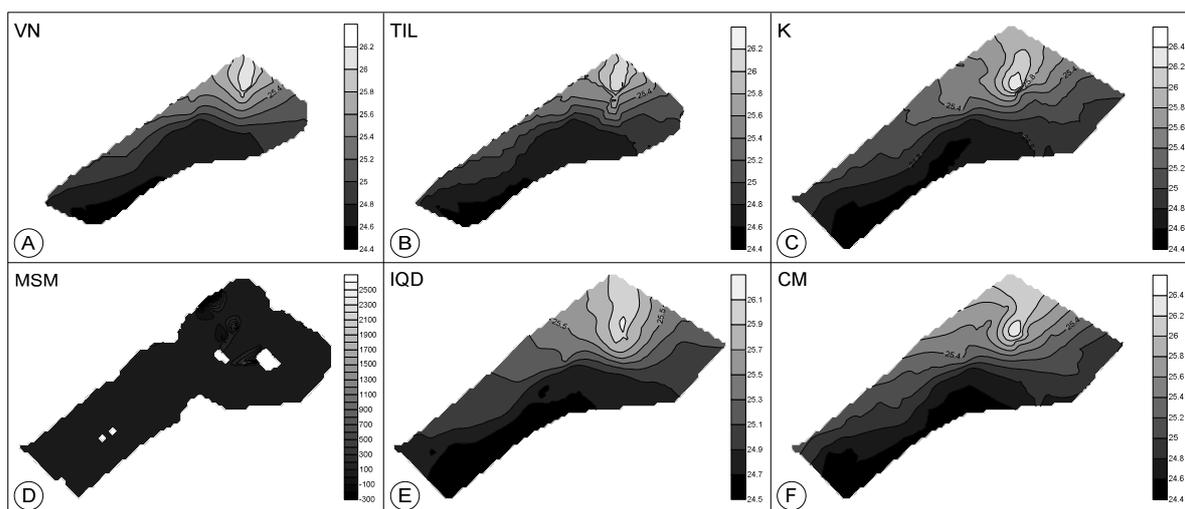


Figura 2. Resultados dos seis melhores métodos de interpolação espacial obtidos para a temperatura do ar no período das 8h: vizinho natural (VN); triangulação com interpolação linear (TIL); krigagem (K); método de shepard modificado (MSM); inverso quadrático da distância (IQD) e curvatura mínima (CM).

Na tabela 3 observa-se que os melhores métodos de interpolação para a temperatura do ar às 14h, apresentaram ordem diferente dos interpoladores das 8h. Nota-se que assim como às 8h, oito métodos apresentaram desempenho ótimo e os métodos RP e MM obtiveram também as menores acurácias, com desempenho bom e mediano, com valores baixos de E' (0,174 e 124).

Diferentemente das 8h, às 14h, o melhor método, de acordo com os índices estatísticos, foi a krigagem. Li e Heap (2008) também observaram, em vários estudos, que os melhores resultados foram obtidos por krigagem.

Tabela 3. Índices estatísticos do desempenho dos interpoladores para espacialização da temperatura do ar às 14h.

Método	r	d	c	Desempenho	E'	RMSE
IQD	0,978	0,988	0,967	Ótimo	0,804	0,008
K	0,979	0,989	0,968	Ótimo	0,835	0,008
CM	0,974	0,987	0,961	Ótimo	0,793	0,010
MSM	0,979	0,989	0,968	Ótimo	0,814	0,008
VN	0,954	0,976	0,931	Ótimo	0,810	0,007
VP	0,967	0,983	0,950	Ótimo	0,803	0,013
RP	0,776	0,863	0,669	Bom	0,173	0,077
FBR	0,931	0,963	0,896	Ótimo	0,753	0,029
TIL	0,953	0,975	0,929	Ótimo	0,810	0,007
MM	0,764	0,848	0,648	Mediano	0,124	0,081
PL	0,960	0,976	0,937	Ótimo	0,680	0,016

r – coeficiente de correlação; d – índice de concordância; c – índice de confiança; E' – coeficiente de eficiência ajustado; RMSE – erro médio quadrático.

Na figura 3 observa-se os mapas de isolinhas dos seis melhores métodos de interpolação, são eles: krigagem; método de shepard modificado; inverso quadrático da distância ; curvatura mínima; vizinho mais próximo e vizinho natural. Nota-se a inclusão do

método vizinho mais próximo entre os seis melhores métodos de interpolação, e a saída do método de triangulação com interpolação linear.

O método de shepard modificado, continuou a apresentar valores irreais. E o método O método vizinho mais próximo (Figura 3E), embora, tenha fornecido um padrão similar aos demais, apresentou linhas quebradas em ângulos demasiadamente agudos. Este resultado também é irreal, e surge pelo fato que este método utiliza polígonos Thiessen na ponderação dos valores da malha, conforme elucidado por Naoum e Tسانis (2004) e Mazzini e Schettini (2009).

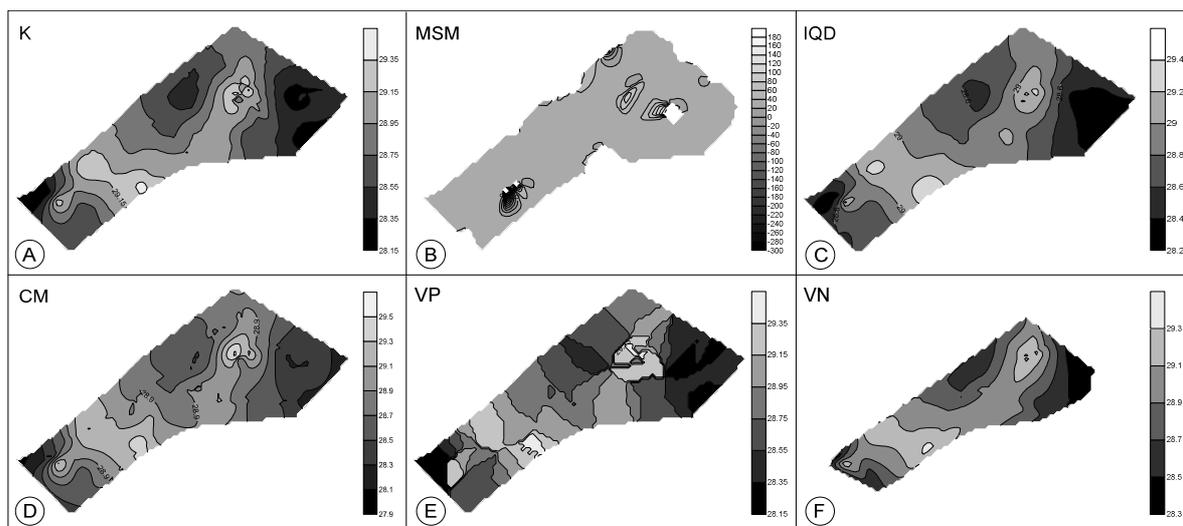


Figura 3. Resultados dos seis melhores métodos de interpolação espacial obtidos para a temperatura do ar no período das 14h: krigagem (K); método de shepard modificado (MSM); inverso quadrático da distância (IQD); curvatura mínima (CM); vizinho mais próximo (VP) e vizinho natural (VN).

Os índices estatísticos da tabela 4 mostram que a krigagem apresentou a melhor acurácia para a interpolação da temperatura do ar às 20h, assim como nos trabalhos de (STEIN; CORSTEN, 1991; LASLETT, 1994; MELLO et al., 2003; NAOUM; TSANIS, 2004; WONG et al., 2004; BELLO-PINEDA; HERNÁNDEZ-STEFANONI, 2007; CASTRO et al., 2010). Observa-se que os métodos RP e MM continuaram a apresentar os piores desempenhos (mediano e péssimo), com os maiores valores de RMSE, com baixos coeficientes de correlação (0,746 e 0,506).

Tabela 4. Índices estatísticos do desempenho dos interpoladores para espacialização da temperatura do ar às 20h.

Método	r	d	c	Desempenho	E'	RMSE
IQD	0,994	0,997	0,990	Ótimo	0,898	0,001
K	0,995	0,998	0,993	Ótimo	0,934	0,001
CM	0,992	0,996	0,988	Ótimo	0,912	0,001
MSM	0,994	0,997	0,991	Ótimo	0,906	0,001
VN	0,995	0,998	0,993	Ótimo	0,932	0,001
VP	0,991	0,996	0,986	Ótimo	0,938	0,001
RP	0,746	0,833	0,622	Mediano	0,343	0,031

FBR	0,989	0,995	0,984	Ótimo	0,903	0,001
TIL	0,995	0,998	0,993	Ótimo	0,932	0,001
MM	0,506	0,422	0,214	Péssimo	0,125	0,058
PL	0,977	0,981	0,959	Ótimo	0,774	0,005

r – coeficiente de correlação; d – índice de concordância; c – índice de confiança; E' – coeficiente de eficiência ajustado; RMSE – erro médio quadrático.

Os seis melhores modelos de interpolação para às 20h, podem ser observados na figura 4, os quais são: a krigagem, vizinho natural, triangulação com interpolação linear, método Shepard modificado, inverso quadrático da distância e curvatura mínima.

O método de Shepard modificado apresentou em todos os mapas de isolinhas problemas nas interpolações, com valores irrealis.

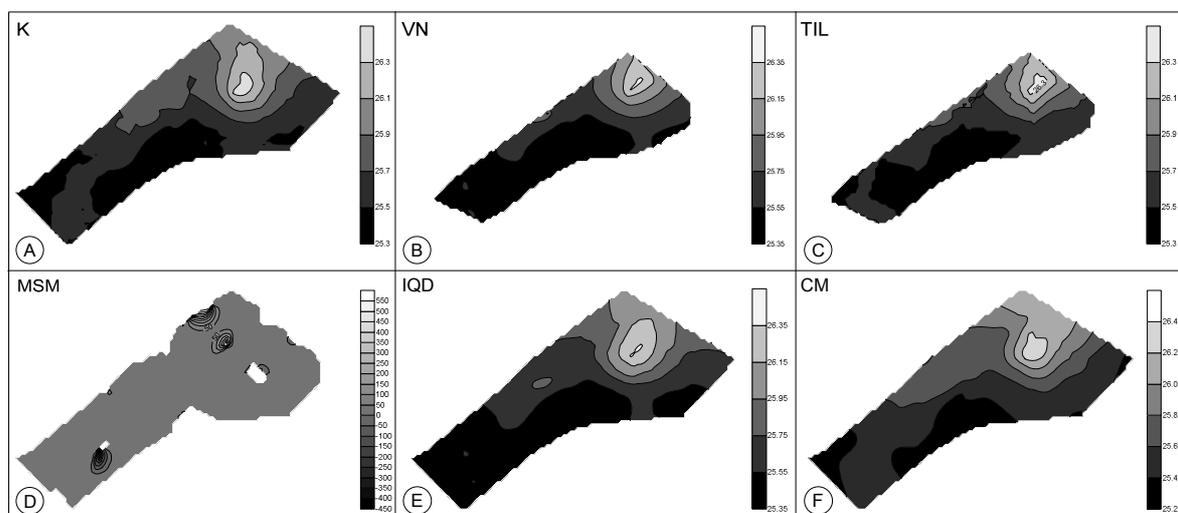


Figura 4. Resultados dos seis melhores métodos de interpolação espacial obtidos para a temperatura do ar no período das 20h: krigagem (K); vizinho natural (VN); triangulação com interpolação linear (TIL); método de shepard modificado (MSM); inverso quadrático da distância (IQD) e curvatura mínima (CM).

Com o intuito de avaliar se as diferenças observadas entre as médias das amostras dos métodos de interpolação da temperatura do ar eram estatisticamente significantes, procedeu-se com a análise de variância ou ANOVA para os seis melhores interpoladores de cada horário (Figuras 2, 3 e 4).

Constatou-se que, ao nível de significância de 5%, não se deve rejeitar a hipótese de que os métodos de interpolação possuem médias iguais para todos os índices estatísticos em todos os horários.

Ressalta-se que o bom desempenho dos métodos de interpolação deve-se, principalmente, a escala da área de estudo e ao número de dados utilizados para a interpolação (350) em cada horário, pois segundo Landim (2006) uma boa malha de pontos reduz os erros de estimação.

Considerações finais

Neste trabalho, comparou-se 11 métodos de interpolação. Para cada método foi analisada a sua acurácia a partir de índices estatísticos. Não se constatou uma diferença estatística significativa entre os seis melhores métodos para a interpolação da temperatura do ar. E também não se observou um método absolutamente melhor, mas apenas a escolha ideal em determinadas circunstâncias. Para este estudo, ao comparar com outros métodos, a krigagem, foi considerada um ótimo método de interpolação.

Contudo, destaca-se que um ótimo método de interpolação espacial para um elemento meteorológico ou área de estudo pode não ser satisfatório para outros elementos ou outras áreas. Deve-se escolher o método de interpolação de acordo com o objeto de estudo, área de pesquisa, escala, coleta de dados etc., para que as espacializações dos dados, em forma de mapas de isolinhas (contornos), possam realmente, expressar a variabilidade espacial do fenômeno estudado.

Referência bibliográfica

ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Contribuição aos estudos do clima urbano: variação térmica e higrométrica em espaços intra-urbanos. **Mercator**, v. 8, n. 17, p. 181-191, 2009.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

AMORIM, M. C. de C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. **Geosul**, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. de C. T. Ilhas de calor em Birigui/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n.1, p. 121-130, 2005.

AMORIM, M. C. de C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, v. 9, n. 1, p. 71-90, 2010.

BELLO-PINEDA, J.; HERNÁNDEZ-STEFANONI, J. L. Comparing the performance of two spatial interpolation methods for creating a digital bathymetric model of the Yucatan submerged platform. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 3, p. 247-254, 2007.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CASTRO, F. da 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**, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010.

COSTA, E. R. da.; SARTORI, M. da G. B. O campo termo-higrométrico intra-urbano de Santa Maria/RS e a configuração de ilhas de calor e de frescor urbanas em dia sob domínio da massa polar velha ou aquecida no verão. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 13 n. 2, p. 217-227, 2009.

HARTKAMP, A. D.; DE BEURS, K.; STEIN, A.; WHITE, J. W. Interpolation Techniques for Climate Variables. **NRG-GIS Series 99-01**. CIMMYT, 1999, 26p.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LASLETT, G.M. Kriging and splines: An empirical comparison of their predictive performance in some applications. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 426, p. 391-400, 1994.

LEGATES, D. R.; MCCABE Jr., G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LEITÃO, M. de M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. de.; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 585–593, 2007.

LI, J.; HEAP, A. D. **A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists**. Geoscience Australia, 2008, 137p.

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.

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

MOHAMED, G. A. I.; MASAAD, E. M.; AWADELGEED, A. M. Impact of Spatial Interpolation Methods on Digital Elevation Models Quality. **University of Khartoum Engineering Journal**, v.1, n. 2, p. 29-39, 2011.

NAOUM, S.; TSANIS, I. K. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. **GLOBAL NEST: the International Journal**, v. 6, n 1, p 1-20, 2004.

SOUZA, D. M. de.; NERY, J. T. Parâmetros climáticos de Ourinhos, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 1, p. 107-115, 2011.

STEIN, A.; CORSTEN, L. C. A. Universal kriging and cokriging as regression procedures. **Biometrics**, v. 47, n. 2, p. 575 -587, 1991.

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

VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. de C. T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: uma introdução. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, p. 19-42, 2008.

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**, v. 14, n. 9, p. 970–978, 2010.

WILCOX, B. P.; RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; WIGHT, J. R. Predicting runoff from rangeland catchments: a comparison of two models. **Water Resources Research**, v.26, n. 10, p. 2401-2410, 1990.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n.C5, p. 8995–9005, 1985.

WONG, D. W.; YUAN, L.; PERLIN, S. A. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 14, n. 5, p. 404–415, 2004.

YU, B. A. comparison of the Green-Ampt and a spatially variable infiltration model for natural storm events. **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 1, p. 88-97, 1999.