

Função para determinação de melhores parâmetros para o interpolador inverso da distância

RESUMO

Os interpoladores são utilizados para geração de mapas temáticos, buscando a melhor caracterização da variabilidade espacial de características de solo e planta, sendo que quanto mais real for a distribuição espacial destes atributos, melhor o manejo e gerenciamento das lavouras e conseqüentemente, maior a lucratividade do produtor. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi criar uma função para comparar os resultados de interpolação realizadas pelo interpolador inverso da distância elevado a uma potência (IDP) com o interpolador Krigagem ordinária (KRI), pois a implementação do interpolador da KRI é complexa, sendo necessário entender conceitos da geoestatística. Desta forma, pretende-se mostrar que quando o IDP é utilizado de forma correta, pode ter resultados tão bons ou melhores que o interpolador da KRI, de forma mais rápida e simples. Para a criação da função foi utilizado o banco de dados PostgreSQL com a linguagem PLPG/SQL. Os dados para teste são dados de produtividade do milho de três áreas agrícolas obtidos por meio de coleta manual, com densidade mínima de 3 pontos por ha. As análises foram realizadas variando-se o número de vizinhos e o expoente do IDP de 1 a 3, variando em 0,1. Verificou-se que, as maiores diferenças entre os mapas gerados ocorreram quando os dados não apresentaram normalidade.

PALAVRAS-CHAVE: Krigagem. Mapas temáticos. Validação cruzada. PostgreSQL.

INTRODUÇÃO

A elaboração de mapas temáticos é uma das fases necessárias à prática da Agricultura de Precisão (AP), pois representam a variabilidade espacial do solo e da planta para a identificação de fatores que afetam o rendimento das culturas, permitindo assim, otimizar a utilização de recursos em determinados locais da área de cultivo, levando a diminuição de custos de produção e da degradação ambiental e o aumento da produtividade (GREGO et al., 2014).

Para realizar o mapeamento da variabilidade espacial de um determinado atributo é necessário ter dados da localização e o valor do atributo. Estes dados normalmente são obtidos de uma grade irregular de pontos de uma área e para obter uma grade regular é necessário o uso de interpoladores, pois estes estimam valores para locais da área de cultivo não amostrados (VILELA; CATANEO, 2009).

Segundo Guedes et al. (2012), os interpoladores espaciais podem ser classificados em dois grupos: interpoladores determinísticos e estatísticos. E dos interpoladores determinísticos, o interpolador inverso da distância elevado a uma potência (IDP) é o mais utilizado. O método de interpolação da krigagem ordinária (KRI), é um interpolador estatístico, que se destaca entre os demais interpoladores da literatura, pois leva em consideração a existência de dependência espacial (SILVA, et al., 2008).

Deste modo, estes dois métodos de interpolação serão utilizados para comparação de desempenho na geração de mapas temáticos, pois embora a KRI faça uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados, é muito mais complexa de ser implementada e utilizada comparada a outros interpoladores, pois para aplicar o método de interpolação da KRI, é necessário ajustar uma função ao semivariograma, visando estimar os parâmetros de dependência espacial (efeito pepita, contribuição, patamar e alcance) (FERREIRA et al., 2013).

Na interpolação usando IDP, a influência de cada ponto amostrado é inversamente proporcional à distância do ponto a ser estimado (BETZEK et al., 2014). Apesar de o método IDP requerer a escolha da melhor potência a ser utilizada na ponderação, para que seu resultado seja preciso, ainda assim é mais simples e fácil de ser utilizado em relação ao interpolador da KRI, pois a KRI necessita da análise criteriosa de qual modelo teórico (gaussiano, esférico, exponencial, entre outros) deve-se considerar para a estimativa das semivariâncias, além dos valores dos seus respectivos parâmetros (alcance,

patamar e efeito pepita). Deste modo, se este o modelo for ajustado de forma inapropriada, mais valerá utilizar outro método de interpolação, como IDP.

Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar a comparação dos interpoladores IDP e KRI, para elucidar o interpolador IDP como método de interpolação alternativo mais simples e fácil de usar, podendo ter eficiência tão boa quanto a do interpolador da KRI. Para tanto, criou-se uma função que testa e avalia o desempenho do interpolador IDP com alterações dos pesos de forma automática, de maneira a agilizar a escolha da melhor potência.

MATERIAL E MÉTODOS

Três áreas experimentais, foram utilizadas para análise no trabalho, sendo a área A com 10 ha^{-1} , área B com $23,8 \text{ ha}^{-1}$ e a área C com $19,8 \text{ ha}^{-1}$, ambas localizadas no município de Serranópolis do Iguaçu/PR, sob coordenadas geográficas $25^{\circ}24'28'' \text{ S}$ e $54^{\circ}00'17'' \text{ O}$ com elevação média de 355 m (Áreas A e B) e com centro geográfico em $25^{\circ}26'49'' \text{ S}$ $54^{\circ}04'59'' \text{ O}$ e elevação de 280 m a área C. Nas áreas, cultivadas há mais de 10 anos, com soja e milho, foram geradas por meio do software Pathfinder três grades amostrais irregulares, contendo respectivamente 42, 73 e 56 pontos de coleta.

Neste trabalho foram utilizados dados da produtividade do milho da safra 2012 para as áreas A e B, e safra 2011 para a área C, sendo obtidas de forma manual, em a uma área de aproximadamente 1 m^2 , sendo então normalizadas para o teor de água de 12%.

A variabilidade espacial dos dados foi analisada por meio da geoestatística através do Software ArcView 9.3. Para obter o melhor modelo do interpolador da krigagem ordinária, utilizou-se os semivariogramas gerados, ajustando-se os modelos teóricos (exponencial, gaussiano e esférico) e para obter a melhor potência a elevar o interpolador inverso da distância criou-se uma função no banco de dados PostgreSQL com a extensão para dados georreferenciados PostGis, fazendo uso da linguagem PLPG/SQL. Os métodos de interpolação foram comparados fazendo uso das estatísticas de validação cruzada.

Os mapas gerados por KRI e IDP foram classificados em 2, 3, 4 e 5 classes utilizando o algoritmo Fuzzy C-Means. Após foram comparados fazendo uso do índice Kappa e classificados conforme Landis e Koch, (1977).

Os mapas gerados por cada interpolador foram avaliados por meio da matriz de erros calculando os índices Kappa, Tau (DALPOSSO et al., 2012; semelhante e interpretado da mesma forma que o índice Kappa, porém usa na sua fórmula as probabilidades iniciais para cada classe) e o coeficiente de desvio relativo – CDR, que calcula a diferença percentual média em módulo dos valores interpolados em cada mapa, considerando um dos mapas como padrão (COELHO et al., 2009).

Para comparar os métodos de interpolação utilizou-se também o erro médio reduzido (ER , equação 1) e o desvio padrão dos erros reduzidos (SER , equação 2, equações propostas por Isaaks & Srivastava, 1989):

$$\overline{ER} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{Y}(s_i)}{\hat{\sigma}(\hat{Z}(s_i))} \quad (1) \quad SER = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{Y}(s_i)|}{\hat{\sigma}(\hat{Z}(s_i))}} \quad (2)$$

em que, $\hat{Y}(s_i) = Z(s_i) - \hat{Z}(s_i)$ é o erro previsto associado a estimativa do rendimento espacial de um determinado ponto s_i , $Z(s_i)$ é o valor do ponto observado, $\hat{Z}(s_i)$ é o valor estimado do ponto interpolado, $\hat{\sigma}(\hat{Z}(s_i))$ é o desvio padrão estimado associado com rendimento estimado e n é o número de amostras analisadas.

Com o ER e o SER utilizou-se a estatística chamada de índice de comparação de erros (ICE , equação 3, Bazzi et al., 2009) que foi usada para avaliar o desempenho dos três modelos de variogramas na interpolação dos dados e cada expoente do interpolador inverso da distância.

$$ICE_i = A_i + B_i$$

(3)

em que:

$$A_i = \begin{cases} \frac{ABS(ER)_i}{MAX(ABS(ER))}, & \text{when } MAX(ABS(ER)) > 0 \\ 1, & \text{when } MAX(ABS(ER)) = 0 \end{cases} \quad B_i = \begin{cases} \frac{ABS(SER-1)_i}{MAX(ABS(SER-1))}, & \text{when } MAX(ABS(SER-1)) > 0 \\ 0, & \text{when } MAX(ABS(SER-1)) = 0 \end{cases}$$

O melhor modelo é aquele que tiver o menor ICE . O ICE será baixo quando SME for próximo a 0 e o $SDRME$ for próximo a 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram criadas três funções PLPG/SQL no PostgreSQL, uma função “main” que chama a função “Interpolador_idp” e “ICE”. A função main após obter os valores interpolados chamará a função ICE, onde será calculado o ER e o SER para determinar os valores de ICE na função main, que retornará o melhor ICE do interpolador inverso da distância elevado a uma potência. Para entender melhor como é calculado os erros do ER e SER, a Figura 1 mostra um pequeno trecho da função ICE que calcula o ER e o SER.

Figura 1 – parte da função ice, que calcula o er e o ser.

```

WHILE V_auxVet <= PqtdePontos LOOP
EXECUTE 'select sqrt(variance(amo_medida)) from '||Ptb_mapa||' where gid <> '||V_auxVet into V_desvioPadrao;

EXECUTE 'Select amo_medida from '||Ptb_amostra||' where gid = '||V_auxVet into V_valorPonto;

EXECUTE 'Select amo_medida from '||Ptb_mapa||' where gid = '||V_auxVet into V_valorInterpolado;

V_ER := V_ER + ((V_valorPonto-V_valorInterpolado) / V_desvioPadrao); ---Mean Standardized Error
V_SER := V_SER + ((ABS(V_valorPonto - V_valorInterpolado)) / V_desvioPadrao); ---Root Mean Square Standardized Error

V_auxVet := V_auxVet + 1;
END LOOP;
V_ER := V_ER/PqtdePontos;
V_SER := sqrt(V_SER/PqtdePontos);

EXECUTE 'INSERT INTO tb_ice (ER, SER, expoente) values ('||V_ER||','||V_SER||','||p_expoente||)';
raise notice ' : ER %', V_ER;
raise notice ' : SER %', V_SER;
raise notice ' : expoente %', p_expoente;

```

Fonte: autoria própria.

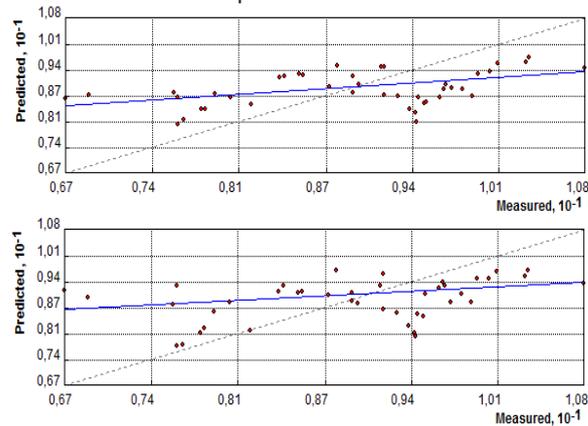
Os dados da produtividade do milho foram interpolados por KRI e IDP analisando os 5, 10 e 15 vizinhos mais próximos de cada ponto amostral. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos das interpolações para o melhor modelo em relação a KRI e o melhor expoente em relação ao IDP, sendo analisado para isto, os menores ICEs. Na área A o melhor ICE se apresentou com 10 e 5 vizinhos, com o interpolador da KRI, sendo, portanto, indicado como o melhor interpolador para os dados desta área. Analisando os resultados do interpolador IDP, o melhor ICE obtido, foi com expoente 3 com 15 vizinhos na interpolação. Comparando os dois modelos pela validação cruzada, Figura 2, foram semelhantes, porém dispersas da linha linear.

Tabela 1 – comparação do ice dos métodos de interpolação separados pelo nº de vizinhos utilizados.

Área milho	Software utilizado	ER	SER	ICE	Nº Vizinhos	Melhor modelo/expoente
ÁreaA_2012	Arcmap KRI	0,0056	1,0210	0,4057	15	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	-0,0541	1,1557	0,8477		3
	Arcmap KRI	-0,0017	1,0260	0,1905	10	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	-0,0539	1,1581	1,3155		2.8
ÁreaB_2012	Arcmap KRI	-0,0017	1,0260	0,1905	5	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	-0,0601	1,0775	1,3689		3
	Arcmap KRI	0,0024	0,8994	0,8687	15	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	0,0000	0,4255	0,9884		2.8

	Arcmap KRI	0,0022	0,8605	1,2460	10	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	0,0002	0,4222	0,9972		2,4
	Arcmap KRI	0,0017	0,5496	0,9109	5	Esférico
	PostgreSQL IDW	0,0035	0,3838	1,1736		3
ÁreaC_2011	Arcmap KRI	-0,0029	1,0440	0,9160	15	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	0,0285	1,2789	0,6894		3
	Arcmap KRI	-0,0021	1,0420	0,8246	10	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	0,0170	1,2440	0,9245		3
	Arcmap KRI	-0,0257	1,0420	1,7119	5	Gaussiano
	PostgreSQL IDW	0,0087	1,1795	1,0539		3

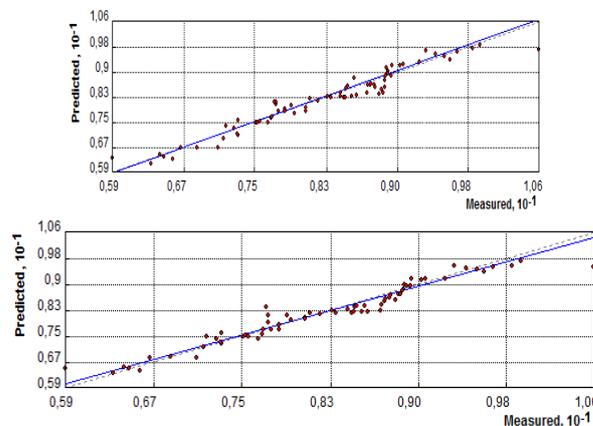
Figura 2 – função de regressão área a - kri: $0,216 * x + 7,036$ e idp: $0,174 * x + 7,527$, respectivamente.



Fonte: autoria própria.

A área B teve os melhores ICE com 15 vizinhos, sendo o modelo Gaussiano na krigagem ordinária e 2.8 o expoente do inverso da distância elevado a uma potência. Comparando os dois melhores ICEs de cada interpolador na área B, a KRI obteve o melhor resultado, mas na Figura 3 pode ser visualizado o quanto tiveram previsões semelhantes entre si, em relação ao valor real da amostra.

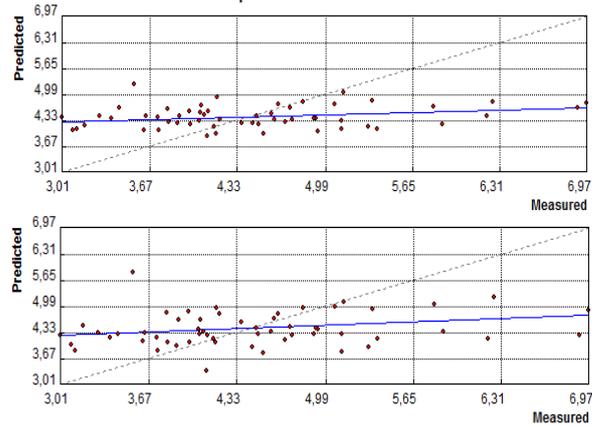
Figura 3 – função de regressão área b - kri: $1,018 * x + -0,143$ e idp: $0,935 * x + 0,516$, respectivamente.



Fonte: autoria própria.

Na área C, o IDP obteve resultados melhores que a KRI, pois tanto na interpolação com 15 vizinhos quanto na de 5, teve o menor ICE comparado a KRI. Na Figura 4 pode ser visualizado o melhor modelo para krigagem (gaussiano com 10 vizinhos) e o de IDP (expoente 3 com 15 vizinhos).

Figura 4 – função de regressão área c - kri: $0,084 * x + 4,045$ e idp: $0,126 * x + 3,873$, respectivamente.



Fonte: autoria própria.

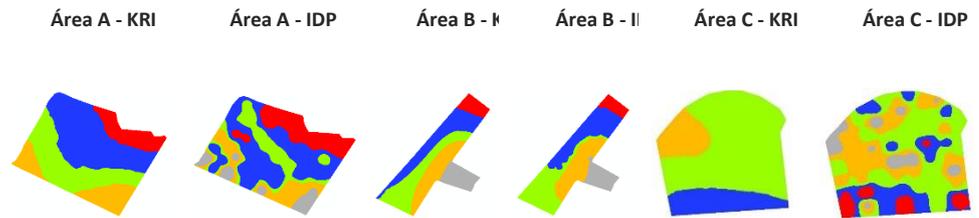
O Índice de Dependência Espacial (IDE) obtido pela krigagem foi classificado como moderado nas áreas A e C e forte para a área B (Tabela 2, Cambardella et al 1994). Nos mapas temáticos (Figura 5) isto representou que somente a área que teve forte dependência espacial (área B) obteve maior semelhança entre os interpoladores utilizados (IDP e KRI).

Tabela 2 – análise geoestatística da produtividade do milho para a geração de mapas temáticos

Área	Modelo	IDE*	Classificação**
A	Gaussiano	44,77%	Moderada
B	Gaussiano	2,8%	Forte
C	Exponential	65,37%	Moderada

* Ide – índice de dependência espacial; ** classificação proposta por cambardella et al. (1994).

Figura 5 – mapas dos menores ices correspondentes aos interpoladores de kri e idp.



Fonte: autoria própria

Aplicando os índices Kappa, Tau e o coeficiente CDR (Tabela 3), verificou-se que pelo índice Kappa, houve forte concordância entre os mapas interpolados pelo melhor modelo de KRI e do IDP na área A e B. A área C apresentou fraca concordância entre os melhores modelos de cada interpolador.

Analisando o índice Tau, que deve ser levado com maior consideração em comparação ao índice Kappa, pois seu cálculo de concordância casual inicial entre as classes evita falhas que incorrem no índice Kappa, houve forte concordância nas áreas A e B e moderada para a área C.

O coeficiente de desvio relativo (CDR) tem como objetivo expressar o percentual médio absoluto da diferença entre dois mapas. Portanto, quanto menor o seu valor, mais semelhantes os mapas são. As áreas A e B se apresentaram muito semelhantes nos mapas gerados pelo melhor modelo de cada um dos interpoladores em estudo. A área C obteve uma diferença um pouco maior, representando 8,24% de desvio entre os interpoladores.

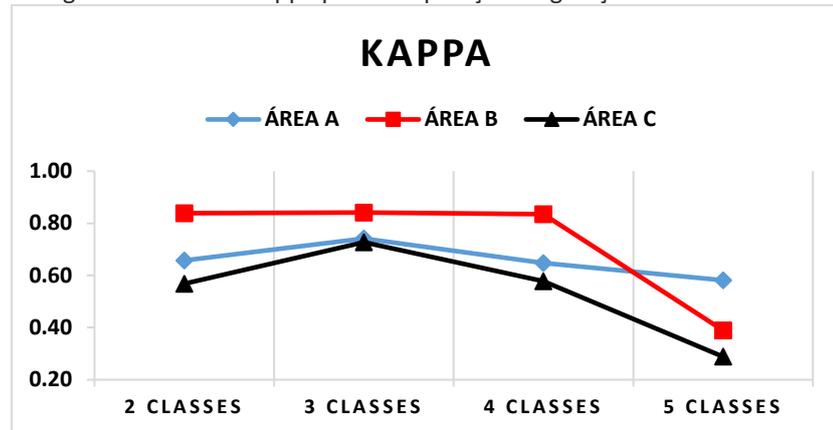
Também foram geradas divisões das áreas A, B e C em 2, 3, 4 e 5 em classes, classificadas com o algoritmo Fuzzy C-Means, devido a remoção da interferência pessoal na classificação. A partir disso, utilizou-se o índice KAPPA para avaliar sua concordância, sendo que os resultados mostraram que a divisão em 3 classes, obteve-se mapas mais similares para as três áreas de estudo, comprovando a semelhança dos mapas de cada interpolador, sendo que a área A e C teve forte concordância entre os mapas e a área B muito forte. Já a divisão em 5 ZM se mostrou de moderada a baixa concordância nas 3 áreas estudadas, como mostra a Figura 6.

Tabela 3 – comparação entre os mapas de produtividade do milho, gerados pelos interpoladores kri e idw por meio dos índices kappa, tau e cdr.

ÁREA	KAPPA	TAU	CDR
A	0,7	0,75	1,75%
B	0,62	0,65	3,18%
C	0,22	0,52	8,24%

Fonte: Autoria própria

Figura 6 – gráfico do índice kappa para comparação da geração de unidades de manejo.



Fonte: autoria própria

CONCLUSÕES

Foi possível verificar que o interpolador do inverso da distância elevado a uma potência pode apresentar um desempenho tão bom quanto o do interpolador da krigagem, pois os mapas temáticos e a validação cruzada tiveram valores estimados muito próximos na interpolação da área B, que foi a única área das três em estudo que apresentou forte dependência espacial. Também, na análise do índice Kappa, percebeu-se que nas divisões das áreas em 2, 3 e 4 classes, a área B se destacou por apresentar concordância muito forte entre os mapas.

Apesar de os mapas temáticos na área C não terem sido semelhantes visualmente, o índice CDR confirmou a semelhança entre os mapas interpolados através do baixo percentual de diferença entre os interpoladores. Além disso, através do ICE, o interpolador do inverso da distância elevado a uma potência, obteve o melhor resultado em relação a KRI na área C.

Portanto, a partir da função criada é possível de forma rápida e simples obter o melhor expoente para utilizar na interpolação do IDP, facilitando a criação de mapas temáticos e otimizando a prática da agricultura de precisão.

Function to determination of the best parameters for the interpolator inverse of distance

ABSTRACT

The interpolators are used to generate thematic maps, seeking a better characterization of the spatial variability of characteristics of soil and plant, being that how much more real is the spatial distribution of soil properties, better handling and management of crops and consequently, the higher the profitability of the producer. In this way, the objective was to create a function to compare the interpolation results performed by the interpolator inverse of distance to a power (IDP) with the ordinary Kriging interpolation (KRI), because the implementation of the KRI interpolating is more complex and is necessary to understand concepts of geostatistics. So, is intended to show that when the IDP is used correctly, it has results as good as or better than KRI, more quickly and easily. For the creation of the function was used PostgreSQL database with PLPG/ SQL language. The test data are three agricultural areas corn yield data obtained by manual collection, with a minimum density of 3 points per ha. The analyzes were performed by varying the number of neighbors and the exponent of the IDP of 1 to 3, ranging from 0.1. It was found that, the largest differences between the maps generated occurs when the data did not show normality.

KEYWORDS: kriging, thematic maps, cross-validation, postgresQL.

REFERÊNCIAS

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S. **Uso da validação cruzada na seleção de modelos de semivariogramas.** In: Proc. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009, Petrolina/Juazeiro. Anais do 38º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009.

BETZEK, N. M; SOUZA, E. G. de; BAZZI, C. L.; MATTÉ, M. A.; SCHENATTO, K. Influência no método de interpolação na produtividade de soja em duas áreas amostrais. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2014, São Paulo. **Anais...** São Pedro, 2014. 4 p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAM, T. B; NOVACK, J. M; PARKIN, T. B; KARLEN, D. L; TURCO, R. F.; KNOPKA, A. E. **Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils.** *Soil Science Society America Journal, Medison*, v.58, p.1240-1248, 1994.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. **Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos.** *Acta Scientiarum Agronomy, Maringá*, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

DALPOSSO, G. H.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. **Comparison measures of maps generated by geostatistical methods.** *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 32, n. 1, p. 174-183, 2012.

FERREIRA, I. O.; SANTOS, G. R. dos; RODRIGUES, D. D. Estudo sobre a utilização adequada da krigagem na representação computacional de superfícies batimétricas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/5, p. 831-842, 2013.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão.** In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.* 1. ed. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. Cap. 5, p. 74-83.

GUEDES, I. C. de L.; MELLO, J. M. de; MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, A. D. de; SILVA, S. T. da; SCOLFORO, J. R. S. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus sp.* **Revista Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 541-550, 2012.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. **Biometrics**, Arlington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; SOUZA, G. S. de; OLIVEIRA, R. B. de. Evaluation of statistic and deterministic interpolators in the estimate of attributes of the soil in agriculture of precision. **Idesia**, v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.

VILELA, L. C.; CATANEO, A. Análise do método de interpolação krigagem ordinária aplicado à pesquisa agrônômica. **Revista Energia na Agricultura**, v. 24, n. 1, p. 85-104, 2009.

Recebido: 19 ago. 2016.

Aprovado: 23 nov. 2016.

DOI:

Como citar: Função para determinação de melhores parâmetros para o interpolador inverso da distância. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol. Medianeira, v. 8, n. 15, 2017. E – 4528.

Disponível em: <<https://periodicos.utfr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

