

SELEÇÃO DO MELHOR MODELO DE INTERPOLAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO USANDO ÍNDICE DE COMPARAÇÃO DE ERROS MODIFICADO

VANDERLEI ARTUR BIER¹, EDUARDO GODOY DE SOUZA², MIGUEL ANGEL URIBE OPAZZO³, MARCIO FURLAN MAGGI⁴, KELYN SCHENATO⁵, ELOI GASPARIN⁶

¹ Engº Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, UNIOESTE Cascavel - PR vabier@hotmail.com;

² Engº Mecânico, Professor Associado, CCET - UNIOESTE, Grupos de Pesquisa GROSAP e GGEA, Pesquisador de Produtividade do CNPq - Cascavel - PR ;

³ Estatístico, Professor Associado, CCET - UNIOESTE, Grupos de Pesquisa GROSAP e GGEA, pesquisador de produtividade do CNPq - Cascavel - PR ;

⁴ Engº Agrícola, Professor Adjunto, CCET - UNIOESTE, Grupos de Pesquisa GROSAP - Cascavel - PR

⁵ Tecnóloga em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, doutoranda em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, UNIOESTE Cascavel - PR

⁶ Engº Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, UNIOESTE Cascavel - PR.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A agricultura de precisão (AP) é definida como a utilização de técnicas que permitem manejo localizado de cultivo de acordo com as necessidades da cultura e do solo, diminuindo impactos no meio ambiente. A precisão com que os mapas de distribuição espacial de atributos do solo são produzidos influencia a aplicação e utilização da AP. O objetivo deste trabalho foi selecionar o melhor entre quatro métodos de interpolação (inverso da distância, inverso da distância ao quadrado, krigagem ordinária e co-krigagem) utilizando o índice de comparação de erros modificado (ICE_{MOD}), aqui proposto, a partir de dados de cálcio, magnésio, o teor de argila e a condutividade elétrica aparente do solo. Com o uso do ICE_{MOD} , ficou simplificada a seleção entre modelos matemáticos e geoestatísticos de interpolação.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; geoestatística, inverso da distância, inverso da distância ao quadrado, krigagem ordinária e co-krigagem

SELECTING THE BEST MODEL FOR INTERPOLATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL USING MODIFIED INDEX OF COMPARISON OF ERRORS

ABSTRACT: The precision agriculture (PA) is defined as the use of techniques that allow site-specific management in accordance with the needs of the crop and the soil, reducing impacts on the environment. The accuracy of the maps of spatial distribution of soil attributes are produced influence the implementation and use of PA. The objective of this work was to select the best among four methods of interpolation (inverse distance, inverse squared distance and ordinary kriging and co-kriging) using the modified index comparison of errors ($ICEMOD$), proposed here, based on data from calcium, magnesium, clay content and soil apparent electrical conductivity. With the use of $ICEMOD$, it has simplified the selection between mathematical and geostatistics models of interpolation.

KEYWORDS: precision agriculture; geostatistics, inverse distance, inverse squared distance, ordinary kriging and co-kriging

INTRODUÇÃO

Para selecionar o melhor modelo matemático ou geoestatístico para uma série de dados espacialmente georreferenciados comparam-se valores teóricos com valores obtidos na amostragem analisando-se os erros de estimação, o que é conhecido por validação cruzada (FARACO et al., 2008; BAZZI et al., 2009). Caso se tratar de um interpolador matemático serão determinados o erro médio (EM) e o desvio-padrão do erro médio (DP_{EM}). Caso se tratar de um interpolador geoestatístico serão determinados além das duas medidas anteriores também o, erro médio reduzido (\bar{ER}) e o desvio-padrão do erro reduzido (S_{ER}).

O objetivo deste trabalho foi selecionar o melhor método de interpolação entre inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e krigagem ordinária e cokrigagem a partir de dados de cálcio (Ca), magnésio (Mg), o teor de argila e a condutividade elétrica aparente do solo (CEAS).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de 15,5 ha no município de Céu Azul-PR/BRASIL, com centro geométrico nas coordenadas 7219975 N 214400 E 22 J (WGS 1984), altitude média 660 m, cultivada num sistema de plantio direto, após o cultivo de aveia de inverno. No local é praticado um sistema de rotação de culturas onde na safra de verão e safrinha é cultivada soja ou milho e durante a safra de inverno trigo ou aveia como cultura de cobertura. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA,1999), com textura de argila entre 550 e 740 g kg⁻¹. Uma grade irregular foi construída para determinação de 40 pontos amostrais, usando pontos de referência que se distanciaram de 65 e 130 m alternadamente.

Os atributos utilizados no estudo de caso foram escolhidos no intuito de validar a metodologia discutida neste artigo. Como um dos métodos empregados foi a cokrigagem, optou-se por um conjunto de dados com fraca (Argila x CEAS) e moderada (Ca x Mg) correlação linear de Pearson. Medidas de CEAS foram obtidas utilizando condutímetro Geonics EM38 operando de 0-0,76 m.

Com o objetivo de estudar o comportamento da metodologia aqui discutida utilizaram-se os modelos krigagem ordinária, cokrigagem, inverso da distância e inverso do quadrado da distância.

Na análise da dependência espacial considerou-se que os processos foram intrinsecamente estacionários e isotrópicos. Na geração dos semivariogramas foram utilizados o estimador Matheron e os modelos esférico, exponencial e gaussiano, sendo que o efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance (a) foram encontrados pelo método OLS (Ordinary Last Square).

A validação cruzada foi utilizada neste estudo como critério de seleção de modelos de semivariograma, por ser um método considerado mais seletivo (FARACO et al. 2008) do que os métodos de Filliben, Akaike ou máximo valor do logaritmo da função verossimilhança.

Na seleção dos j modelos para semivariograma utilizou-se o índice de comparação de erros (ICE, Bazzi et al., 2009; Santos et al., 2012), que assume menor valor quanto melhor for o modelo.

Similarmente ao ICE mas com o objetivo de comparar modelos que de interpolação matemáticos e geoestatísticos foi definido, neste trabalho, o índice de comparação de erros modificado (ICE_{MOD} , Equação 1), que assume menor valor quanto melhor for o modelo :

(1)

$$ICE_{MOD} = \left\{ \frac{ABS(EM)_i}{máxABS(EM) + 0,001} + \frac{[DP_{EM_i} - mín(DP_{EM})]}{máx(DP_{EM}) + 0,001} \right\}$$

Para validar a metodologia discutida neste trabalho utilizou-se os dados argila como variável primária e CEAS como variável secundária, e também o Ca como variável primária com o Mg como covariável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos dados (TABELA 1) mostra que o coeficiente de variação foi considerado baixo para a argila e a condutividade elétrica aparente do Solo (CEAS) e médio para o Ca e Mg.

TABELA 1 – Análise descritiva dos dados coletados

Variável	N	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Amp	DP	CV
Argila (g kg ⁻¹)	40	550	674	680	740	190	42	6,3 % b
Ca (cmol _c dm ⁻³)	40	4,52	6,51	6,36	9,37	4,85	1,14	17,4 % m
Mg (cmol _c dm ⁻³)	40	1,16	1,82	1,88	2,72	1,56	0,32	17,5 % m
CEAS (msiemens)	40	197	231	232	256	59	14	6,2 % b

N – nº de amostras; Amp – amplitude; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação: b – baixo, m – médio, classificado de acordo com Gomes e Garcia, 2002).

Em todos os casos o modelo esférico (TABELA 2) apresentou melhor desempenho que os modelos exponencial e gaussiano, por possuir menor ICE.

TABELA 2 Parâmetros, índice de dependência espacial (IDE) e índice de comparação de erros (ICE) dos semivariogramas para os modelos ajustados

Variável	N	Modelo	C ₀	C ₁	A	IDE		\overline{ER}	S _{ER}	ICE
Argila	40	Esf*	424	1679	664	20,2%	Fo	0,00733	1,0644	1,36
	40	Exp	310	1527	664	16,9%	Fo	0,01708	1,0459	1,66
	40	Gau	663	1829	664	26,6%	Mo	-0,00888	1,0695	1,52
ArgilaCokri	40	Esf*	0,3122	0,9682	402	24,4%	Fo	0,02320	0,9631	1,11
	40	Exp	0,1879	1,1292	480	14,3%	Fo	0,02200	1,0676	1,33
	40	Gau	0,4509	0,8872	365	33,7%	Mo	0,02930	1,1169	2,00
Calcio	40	Esf*	0,7172	0,5673	312	55,8%	Mo	-0,00783	0,9980	0,88
	40	Exp	0,7172	0,5327	312	57,4%	Mo	-0,00935	0,9696	1,66
	40	Gau	0,7172	0,6360	288	53,0%	Mo	-0,00726	1,0459	1,78
CaCokri	40	Esf*	0,6717	0,5791	285	53,7%	Mo	-0,00355	0,92538	1,07
	40	Exp	0,5554	0,7277	324	43,3%	Mo	-0,00783	0,90262	1,67
	40	Gau	0,7609	0,4927	244	60,7%	Mo	-0,01170	0,94992	1,51

N – nº de pontos considerados; C₀ - Efeito pepita; C₁ - contribuição; IDE – índice de dependência espacial; A – Alcance, m; Fo – Forte; Fr – Fraca; Mo – Moderada; ER - erro médio reduzido; S_{ER} - desvio-padrão dos erros médios reduzido; ICE – índice de comparação de erros; Esf - Esférico; Exp – Exponencial; Gau – Gaussiano; * melhor modelo.

Os modelos escolhidos para argila e Ca apresentaram forte e fraca dependência espacial, respectivamente (Cambardella et al., 1994). As variáveis argila com interpolador cokrigagem e Cálcio com interpolador krigagem ordinária apresentaram menores valores do ICE (1,11 e 0,88, respectivamente). Na comparação dos três interpoladores (Tabela 3) os melhores resultados foram obtidos para krigagem ordinária com argila e co-krigagem para o Ca. A argila teve menor EM com menor DP_{EM} e, portanto, menor ICE_{MOD} (0,4551) pelo interpolador KRI. Para o Ca, a cokrigagem apresentou menor erro médio e menor desvio padrão do erro médio, o que indica ser o melhor modelo (ICE_{MOD} = 0,0203).

TABELA 3 Erro médio e desvio padrão do erro médio para três interpoladores e cokrigagem

Atributo	Pontos	Interpolador	EM	DP _{EM}	ICE _{MOD}
Argila	40	KRI*	0,4551	29,0396	0,455
		ID	1,0463	29,6093	1,046
		IQD	0,7621	29,9111	0,762
		COKRI	0,7650	29,2491	0,765
Cálcio	40	KRI	-0,0108	1,0045	0,045
		ID	0,2084	8,0984	1,527
		IQD	0,3253	7,7802	1,845
		COKRI*	-0,0066	0,9080	0,020

EM - Erro médio; DP_{EM} – desvio padrão do erro médio, ICE_{MOD} - índice de comparação de erros modificado;

* melhor modelo.,

Observa-se ainda que a cokrigagem não diminuiu o EM para o caso da variável argila e sua covariável CEAS como ocorreu com o Ca com a covariável Mg. Uma das causas pode ser a baixa correlação linear fraca entre o primeiro conjunto ($r = 0,39$) e moderada para o segundo conjunto ($r = 0,75$). Outro fator, poderia estar aliado a malha amostral da argila (40 pontos) não ter sido suficiente para reproduzir o fenômeno espacial estudado, semelhante ao encontrado por QUARTEZANI et al. (2011).

CONCLUSÕES:

Através do índice de comparação de erros modificado (ICE_{MOD}) a seleção entre modelos matemáticos e geostatísticos fica simplificada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à CAPES, à Fundação Araucária, à UNIOESTE e à UTFPR, pelo aporte financeiro.

REFERÊNCIAS

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, D. **Uso da validação cruzada na seleção de modelos de semivariogramas**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 38, 2009, Petrolina/Juazeiro. Anais. Jaboticabal: SBEA, 2009. CD Rom.

CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURV, R.F. & KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1501-1511, 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de propriedades físicas do solo e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.v. 32: p. 463-476. 2008.

SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C L.; GONÇAVES Jr, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p. 843-848, 2012.