

MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO APLICADOS NA ESPACIALIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

ARIEL M. COMPAGNON¹, CRISTIANO ZERBATO², MURILO A. VOLTARELLI³, DAVID L. ROSALEN⁴, CARLOS E. A. FURLANI⁵

¹ Eng. Agrícola, Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal - SP, (16) 3209-2637, arielcompagnon@gmail.com

² Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo), Univ. Estadual Paulista, cristianozerbato@hotmail.com

³ Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Univ. Estadual Paulista, murilo_voltarelli@hotmail.com

⁴ Eng. Agrônomo, Professor Assistente I, Universidade Estadual Paulista, rosalen@fcav.unesp.br

⁵ Eng. Agrônomo, Professor Adjunto III, Universidade Estadual Paulista, furlani@fcav.unesp.br

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

RESUMO: Estimar dados de atributos do solo é muito importante em diversos contextos, muitas vezes ligado a adoção do manejo agrícola diferenciado em áreas heterogêneas. O trabalho teve como objetivo comparar quatro modelos de interpoladores geoestatísticos para estimativa da compactação do solo por meio da análise dos dados de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP). O trabalho foi desenvolvido em área da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, em Latossolo Vermelho. Para as medições de RMSP foi utilizado um penetrômetro eletrônico. Para determinação da posição geográfica dos pontos, foi utilizado um GNSS Trimble R6. Utilizou-se uma malha regular de 20 x 20 m, totalizando 60 pontos, sendo os dados coletados até a profundidade de 0,10 m. Para estimar a dependência espacial entre as amostras, utilizou-se de modelos de semivariogramas. Posteriormente, realizou-se a interpolação dos dados por quatro métodos: krigagem ordinária em blocos 2x2; krigagem ordinária por pontos; ponderação do inverso da distância; ponderação do inverso da distância normal. Observa-se diferenças nos padrões de ocorrência da distribuição espacial para os interpoladores estudados.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística, semivariograma, compactação do solo, penetrômetro.

INTERPOLATION METHODS APPLIED IN SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION

ABSTRACT: To estimate data of soil is very important in many contexts, often linked to adoption of different agricultural management in heterogeneous areas. The study aimed to compare four models of geostatistical interpolation to estimate soil compaction through the analysis of data from soil mechanical resistance to penetration (RMSP). The work was conducted at the Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, in Oxysol. For measurements of RMSP an electronic penetrometer was used. To determine the geographical position of the points, we used a Trimble GNSS R6. We used a regular grid of 20 x 20 m, totaling 60 points, and the data collected to a depth of 0.10 m. To estimate the spatial dependence between samples, we used the semivariogram models. Subsequently held data interpolation by four methods: ordinary kriging into blocks 2x2; ordinary kriging points; inverse distance weighting; weighting of the inverse of the normal distance. Observed differences in the patterns of occurrence of the spatial distribution for the studied interpolation.

KEYWORDS: geostatistics, semivariogram, soil compaction, penetrometer.

INTRODUÇÃO: Considerando a agricultura de precisão, um dos fatores limitantes de sua utilização é a precisão com que os mapas de distribuição espacial dos atributos do solo são produzidos no processo de interpolação de dados (SOUZA et al., 2010). Estimar dados de atributos do solo é muito

importante em diversos contextos, muitas vezes ligado a adoção do manejo agrícola diferenciado em áreas heterogêneas. Portanto, a obtenção da correta distribuição espacial para tais atributos é relevante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação e manejo das culturas (SILVA et al., 2008). Os mapas de distribuição espacial são gerados a partir da modelagem matemática por métodos de interpolação, ou seja, estimam-se valores para locais não amostrados, a partir de um determinado número de pontos observados no campo. No entanto, é necessário comparar os métodos de interpolação, pois os resultados obtidos na geração dos mapas poderão ser diferentes, dependendo do método utilizado (TIEPPO et al., 2007).

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e consequentemente a facilidade com que as raízes penetram no solo (FUENTES et al., 2006), sendo que valores entre 2 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA et al., 2010).

O trabalho teve como objetivo comparar quatro modelos de interpoladores geoestatísticos para estimativa da compactação do solo por meio da análise dos dados de resistência mecânica do solo à penetração.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido em área experimental da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, SP, coordenadas geodésicas 21°14' latitude Sul e 48°16' longitude Oeste, em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico A moderado, textura argilosa (50% de argila), no mês de dezembro de 2013.

Para as medições de RMSP foi utilizado um penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo. Para determinação da posição geográfica dos pontos, foi utilizado um GNSS Trimble R6. O método para avaliar a espacialização da RMSP constou da montagem de malha regular de coleta de 20 x 20 m, composta por 5 colunas por 12 linhas, totalizando 60 pontos, sendo os dados coletados até a profundidade de 0,10 m, com intervalo de 0,01 m.

Em cada ponto amostrado da RMSP, realizou-se amostragem do teor de água no solo, com trado holandês, na profundidade de 0-0,10 m, e para sua determinação utilizou-se o método gravimétrico conforme descrito por EMBRAPA (2013). O valor médio foi de 13,71%.

Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo VIEIRA et al. (2002), a fim de se ter uma visão geral do comportamento dos dados.

Para estimar a dependência espacial entre as amostras, bem como identificar se as variações foram sistemáticas ou aleatórias, utilizou-se de modelos de semivariogramas. A seleção dos modelos foi realizada com base na menor soma de quadrados do resíduo (SQR) e melhor coeficiente de determinação (R^2) sendo testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear. Nos semivariogramas ajustados foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (Co); patamar (Co + C) e alcance da dependência espacial (a).

Posteriormente, realizou-se a interpolação dos dados por quatro métodos: krigagem ordinária em blocos 2x2; krigagem ordinária por pontos; ponderação do inverso da distância; ponderação do inverso da distância normal; utilizando-se programas específicos (ROBERTSON, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observa-se que os valores de média, mediana, mínimo e máximo encontraram-se bastante distintos entre si (Tabela 1), o que aponta para uma alta dispersão dos dados fora da posição central para a RMSP, ou seja, a variação existente entre estes valores evidencia que o valor médio difere dos valores amostrados (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). Estes resultados se confirmam ao se observar os valores dos parâmetros de dispersão dos dados, com valores muito elevados de amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação, sendo que este último pode ser classificado como alto a muito alto, o que aponta para uma elevada variabilidade dos dados.

Os coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 1) também apresentaram valores afastados do valor médio de referência, indicando também a distribuição não simétricas do conjunto de dados, podendo, esta informação ser refletida também na distribuição não-normal dos valores amostrados.

Tabela 1. Parâmetros de estatística descritiva para resistência mecânica do solo à penetração (MPa).

Variáveis	Média	Med	Mínimo	Máximo	A	σ	CV	Cs	Ck	AD
RMSP	1,36	1,10	0,11	4,83	4,71	0,88	64,9	1,50	3,17	1,74*

Med: mediana; A: amplitude; σ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; AD: teste de normalidade de Anderson-Darling. * Distribuição não-normal de probabilidade.

Por meio da Tabela 2, pode-se observar os resultados das análises geoestatísticas que auxiliaram na compreensão e melhor visualização do comportamento da variável RMSP no espaço. A RMSP apresentou ajuste do modelo gaussiano, com efeito pepita praticamente nulo, e patamar 0,897, valor este aproximadamente igual à variância dos dados. O alcance foi de 43,30 m, sendo um importante parâmetro no estudo do semivariograma, pois representa a distância na qual há correlação espacial entre os pontos de uma mesma variável (MION et al., 2012). O modelo ainda apresentou coeficiente de determinação de 0,746, o que indica quantos dos pontos do semivariograma experimental encontram-se na curva do modelo.

Tabela 2. Parâmetros ajustados ao semivariograma da resistência mecânica do solo à penetração.

Modelo	Co ⁽¹⁾	Co + C ⁽²⁾	C ⁽³⁾	a ⁽⁴⁾	R ²⁽⁵⁾	SQR ⁽⁶⁾
Gaussiano	0,001	0,897	0,896	43,30	0,746	0,194

⁽¹⁾: Efeito pepita; ⁽²⁾: Patamar; ⁽³⁾: Variância; ⁽⁴⁾: Alcance; ⁽⁵⁾: coeficiente de determinação; ⁽⁶⁾: soma dos quadrados do erro.

Conhecido o semivariograma, foi possível interpolar valores em qualquer posição na área de estudo pelos métodos de interpolações propostos (Figura 1, anexo). Observa-se diferenças nos padrões de ocorrência da distribuição espacial para os interpoladores estudados, principalmente quando se compara a krigagem com o inverso da distância. Os mapas foram confeccionados com valores de corte de 2,5 MPa, valor este que começa a se ter impedimento do crescimento de raízes. Nota-se que os mapas interpolados com o inverso da distância não possuem (ou são mínimas) áreas com valores acima de 2,5 MPa, diferentemente dos mapas interpolados com krigagem, nos quais valores acima de 2,5 MPa representam 8,5% da área em estudo.

CONCLUSÕES

O método de interpolação interferiu na caracterização da variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas aos autores.

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- FUENTES, R.L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. Evolution of physical properties of soils according to tillage systems on annual crops. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.2, p.205-220, 2006.
- MION, R.L.; NASCIMENTO, E.M.S.; SALES, F.A.L.; SILVA, S.F.; DUARTE, J.M.L.; SOUSA, B.M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.6, p.2057-2066, 2012.
- ROBERTSON, G.P. Release 7. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software. Plainwell, MI, 2004.
- SILVA, S.A.; SOUZA LIMA, J.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. *Idesia*, v.26, n.2, p.75-81, 2008.
- SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relationship between the soil water content and root penetration resistance of a dystrocohesive yellow argissol in Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.
- SOUZA, G.S.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; ROCHA, W.S.D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. *Scientia Agraria*, v.11, n.1, p.73-81, 2010.

TIEPPO, R.C.; SOUZA, E.G.; URIBE OPAZO, M.A.; SILVEIRA, J.C.M. 2007. Avaliação de diferentes interpoladores na geração de mapas temáticos da produtividade de soja em agricultura de precisão. In: IV Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, Viçosa, 2007. Anais... IV SIAP, Viçosa: UFV/CNPMS/SBEA, 2007. p.1-4.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SC HAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, J.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.1-45.

ANEXO

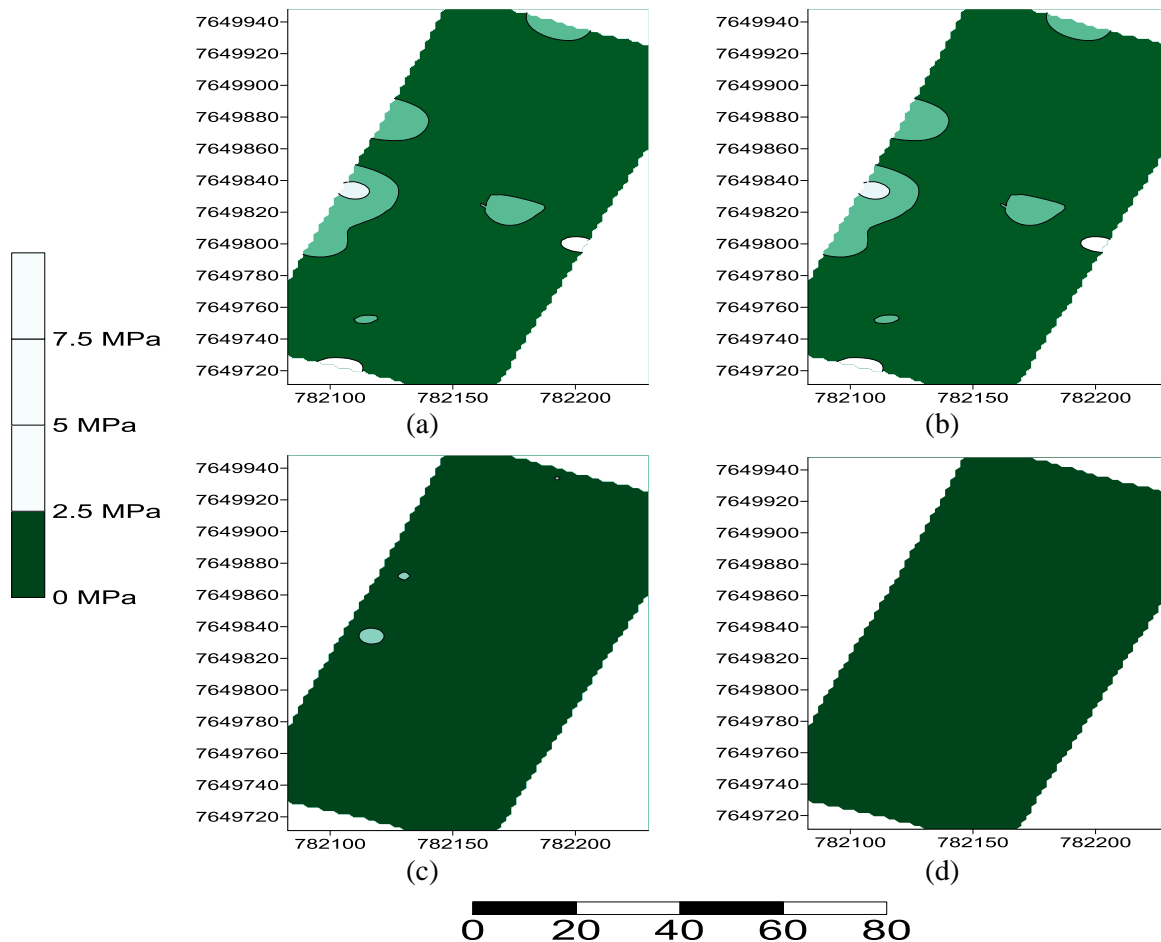


Figura 1. Mapa de isolinhas da variável resistência mecânica do solo à penetração para os métodos de interpolação: (a) Krigagem ordinária em blocos 2x2; (b) krigagem ordinária por pontos; (c) ponderação do inverso da distância; (d) ponderação do inverso da distância normal.