

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

ARIEL MUNCIO COMPAGNON¹, CRISTIANO ZERBATO², MURILO APARECIDO VOLTARELLI³,
DAVID LUCIANO ROSALEN⁴, CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI⁵

¹ Eng. Agrícola, Professor MSc. Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Rod. 154 Km 03 - Cx. Postal 51, Telefone: (62) 3307-7100, ariel.compagnon@ifgoiano.edu.br

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

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é um parâmetro frequentemente utilizado como indicador da compactação do solo, sendo importante a utilização de métodos geostatísticos em sua avaliação. Objetivou-se neste trabalho determinar a variabilidade espacial da RMSP e do teor de água no solo (TAS), por meio de métodos de posicionamento GPS e GNSS. O projeto foi desenvolvido em área experimental da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, em LATOSSOLO VERMELHO. Foram coletadas amostras de solo para determinação do TAS com trado holandês e da RMSP com penetrômetro eletrônico. Foram utilizados três modelos de GNSS e GPS, sendo: Trimble R6, Trimble Nomad e Garmin Etrex 30, sendo montada uma malha regular de 20 x 20 m, totalizando 60 pontos. Para a variável RMSP, todos os métodos de posicionamento apresentaram dependência espacial, e para a variável TAS, apenas o modelo GNSS NOMAD. Os valores de RMSP se ajustaram ao modelo gaussiano para os métodos de posicionamento GNSS R6 e NOMAD, e ao modelo Exponencial para o método GPS Etrex 30. Para o TAS, ajuste esférico para o NOMAD, verificando-se a existência do efeito pepita puro para o R6 e Etrex 30.

PALAVRAS-CHAVE: gps, teor de água do solo, penetrômetro.

POSITIONING METHODS FOR DETERMINING THE SPATIAL VARIABILITY OF SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION

ABSTRACT: A soil mechanical resistance to penetration (RMSP) is a parameter often used as an indicator of soil compaction, the use of geostatistical methods in their assessment is important. The objective of this work was to determine the spatial variability of the RMSP and the soil water content (TAS) through positioning methods GNSS and GPS. The project was developed in the experimental area of the Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, in Oxysol. Soil samples were collected for determination of TAS with auger and RMSP with electronic penetrometer. Three models of GNSS e GPS were being used: Trimble R6, Trimble Nomad and Garmin Etrex 30, being mounted a regular grid of 20 x 20 m, totaling 60 points. For RMSP variable, all positioning methods showed spatial dependence, and the TAS variable, only the model GNSS NOMAD. The values were adjusted to the RMSP Gaussian model for GNSS positioning methods R6 and NOMAD, and the Exponential model for GPS Etrex 30 method. For the TAS, spherical fit for NOMAD, verifying the existence of the pure nugget effect for the R6 and Etrex 30.

KEYWORDS: gps, soil water content, penetrometer.

INTRODUÇÃO: A amostragem sistemática do solo é uma alternativa que visa identificar a variabilidade espacial de suas propriedades dentro de um sistema de agricultura de precisão, podendo esse fato se explicado, porque a agricultura de precisão aplica os princípios da geostatística para

caracterizar a variabilidade espacial dos atributos que fazem parte dos fatores de produção agrícola (COELHO, 2003). Os aparelhos GPS de navegação, adquirem medidas com erros da ordem de 5 a 15 metros. Como exemplo, na medição de um ponto, a coordenada encontrada poderá estar contida num círculo com as medidas citadas anteriormente, inviabilizando diversas aplicações que requerem maior precisão (SILVA JUNIOR et al., 2009). Por isso novas formas de aumentar a precisão de amostragem local, como a de pós-processamento ou correções diferenciais por meio de tecnologias GNSS, podem diminuir os erros espaciais do estudo de atributos do solo.

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente 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), os mesmos autores encontraram uma correlação negativa do teor de água do solo (TAS) com a RMSP em um Argissolo Amarelo. Pressupondo que existe certa variabilidade na acurácia entres os receptores GNSS e GPS, podendo afetar a qualidade das operações agrícolas de atributos físicos do solo, objetivou-se neste trabalho determinar a variabilidade espacial da RMSP e do teor de água no solo, por meio de métodos de interpolação e de posicionamento GPS e GNSS.

MATERIAL E MÉTODOS: O projeto 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. Foram coletadas amostras de solo para determinação do TAS, com auxílio de trado holandês. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e posteriormente levadas para secagem em estufa a 105 °C até obter massa constante, possibilitando o cálculo do teor de água segundo o método gravimétrico padrão descrito em EMBRAPA (1997). Para as medições de RMSP foi utilizado um penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo. Para determinação da posição geográfica dos pontos, foram utilizados três modelos de GNSS e GPS, sendo: Trimble R6, Trimble Nomad e Garmin Etrex 30. O método para avaliar a espacialização da RMSP e do TAS 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.

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 verificar a dependência espacial da RMSP e do TAS, foi empregada a análise geoestatística, conforme recomendado por Vieira (2000). Foram construídos semivariogramas, sendo o ajuste do mesmo observado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2), pelo menor valor da soma de quadrados do erro (SQR) e pelo maior valor da dependência espacial (ADE). Para obtenção dos mapas de isolinhas (bidimensionais) foi utilizado como interpolador a krigagem ordinária, permitindo o maior detalhamento espacial dos atributos estudados.

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 da amostrados (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002), diferentemente do que ocorreu para o TAS. Estes resultados se confirmam ao se observar os valores dos parâmetros de dispersão dos dados para RMSP, 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, situação esta inversamente ao que ocorreu para o TAS.

Os coeficientes de assimetria e curtose em relação a RMSP também apresentaram 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. Por outro lado, apesar deste coeficientes serem considerados moderados para o teor de água no solo, tal assimetria não foi suficiente para tornar a distribuição dos dados não-normal, fato este que pode ser confirmado pelo teste de distribuição de frequência de probabilidade de Anderson-Darling.

Os valores das análises geoestatísticas da RMSP e do TAS se encontram na Tabela 2. Nota-se que os valores mostram que para a variável RMSP, todos os métodos de posicionamento apresentaram

dependência espacial, a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas, e para a variável TAS, apenas o modelo GNSS NOMAD apresentou dependência espacial.

TABELA 1. Parâmetros de estatística descritiva para resistência mecânica do solo à penetração (MPa) e teor de água no solo (%).

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*
TAS	13,71	13,65	11,36	17,09	5,73	1,04	7,65	0,62	0,85	0,22

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.

TABELA 2. Parâmetros ajustados ao semivariograma da resistência mecânica do solo à penetração e do teor de água do solo para os métodos de posicionamento analisados.

Parâmetro	RMSP ⁽¹⁾			TAS ⁽²⁾		
	R6	NOMAD	Etrex 30	R6	NOMAD	Etrex 30
Modelo	Gaussiano	Gaussiano	Exponencial	-	Esférico	-
Efeito pepita (Co)	0,001	0,666	0,59		0,001	
Patamar (Co + C)	0,897	1,334	1,944		1,02	
Variância (C)	0,896	0,668	1,354		1,019	
Alcance (a)	43,30	203,68	825,9		27,9	
R ²⁽³⁾	0,746	0,77	0,843		0,074	
SQR ⁽⁴⁾	0,194	0,056	0,011		0,099	
ADE ⁽⁵⁾	0,999	0,501	0,697		0,999	
Classe	Forte	Moderado	Moderado		Forte	

⁽¹⁾: Resistência Mecânica do Solo à Penetração; ⁽²⁾: Teor de água do solo; ⁽³⁾: coeficiente de determinação. ⁽⁴⁾: soma dos quadrados do erro. ⁽⁵⁾: avaliador da dependência espacial.

Os valores de RMSP se ajustaram ao modelo gaussiano para os métodos de posicionamento GNSS modelos R6 e NOMAD, e ao modelo Exponencial para o método GPS Etrex 30. Para o TAS, ajuste esférico para o NOMAD (Tabela 2). O efeito pepita (Co) representa a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (VIEIRA, 2000). Para o TAS nos métodos R6 e Etrex 30, verificou-se a existência do efeito pepita puro, ou seja, ausência total de dependência espacial, considerando a distância de amostragem utilizada.

O efeito pepita (Co) pode refletir diretamente no grau de dependência espacial (ADE). Os valores de ADE permaneceram acima de 0,75 para o método R6 na RMSP, e para o NOMAD, no TAS, e entre 0,25 e 0,75 para NOMAD e Etrex 30 na RMSP, o que, segundo Zimback (2001), é classificado, respectivamente, como forte e moderado grau de dependência espacial. A maioria das variáveis analisadas apresentaram coeficiente de determinação (R²) acima de 0,75, ou seja, no mínimo 75% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados.

O alcance (a) indica a distância (m) limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados com distâncias maiores que o alcance é independente e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (VIEIRA, 2000). Para as variáveis estudadas, todas obtiveram alcance maior do que a malha amostral. Comparando RMSP com TAS, verificou-se valores de alcances maiores.

Os gráficos de isolinhas estimados por krigagem para RMSP e TAS são representados na Figura 1, sendo agrupados em classes de cores de ordem crescente. Analisando-se os mapas de RMSP (Figuras 1a, 1b e 1c), pode-se observar a diferença dos padrões de ocorrência da distribuição espacial entre os métodos de posicionamento avaliados. O NOMAD e o Etrex 30 proporciona visualização de diferentes zonas homogêneas de RMSP, enquanto o R6 define melhor estas zonas. Os maiores valores de TAS (Figura 1d) podem apresentar correlação com os menores valores de RMSP, sendo, portanto, inversamente proporcionais.

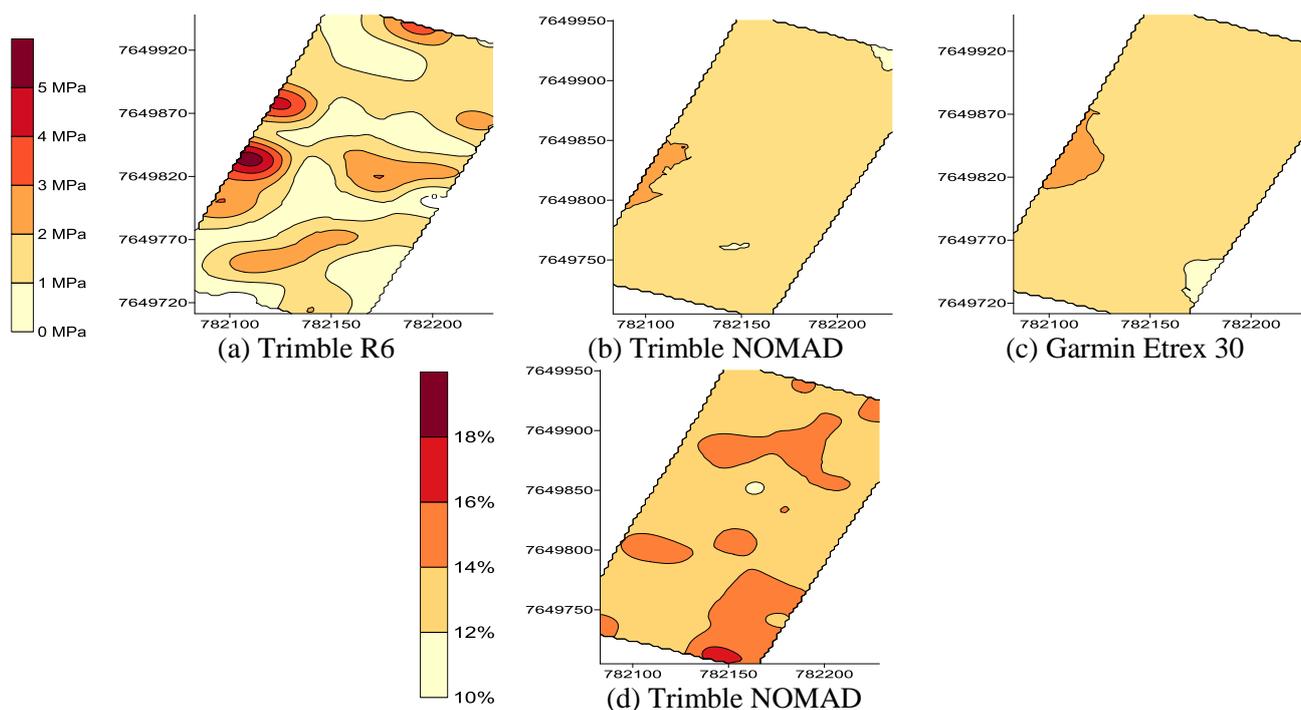


FIGURA 1. Mapas de krigagem para resistência mecânica do solo à penetração (1a, 1b e 1c), e teor de água do solo (1d).

CONCLUSÕES: A resistência mecânica do solo à penetração apresentou dependência espacial para todos os métodos de posicionamento estudados, sendo melhor definido pelo GNSS R6.

O teor de água do solo apresentou dependência espacial apenas para o GNSS NOMAD, havendo efeito pepita para o R6 e Etrex 30.

REFERÊNCIAS

- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: TÓPICOS em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.249-290.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise do solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FUENTES, R.L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.2, p.205-220, 2006.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- SILVA JUNIOR, C.A.; MEURER, I.; CARVALHO, L.A. Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial. *Agrarian*, v.2, n.5, p.21-31, 2009.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência do solo à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.34, n.3, p.659-667, 2010.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.2-54.
- 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.
- ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Botucatu, UNESP, 2001. 114f. (Tese de Livre-Docência)