

VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO

KELYN SCHENATTO¹, EDUARDO G. DE SOUZA², CLAUDIO L. BAZZI³, KEILA SCHENATTO⁴, LEONAN F. LEONARDO⁵

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Prof^a. Depto. de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena – PR, Fone: (045) 9112-2008, kschenatto@utfpr.edu.br.

² Eng. Mecânico, Prof. Associado da UNIOESTE/CASCAVEL/CCET/PGEAGRI/SBA, Grupos de Pesquisa GROSAP e GGEA, Pesquisador de Produtividade do CNPq, Unioeste, Cascavel – PR.

³ Tecnólogo em Processamento de Dados, Prof. Doutor, Depto de Ciência da Computação, UTFPR, Medianeira – PR.

⁴ Graduanda em Engenharia Agrônômica, UDC, Foz do Iguaçu – PR.

⁵ Graduando em Ciência da Computação, UTFPR, Medianeira – PR.

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: A compactação do solo consiste em um problema que influencia no desenvolvimento das culturas, pois em solos compactados, as raízes das plantas têm dificuldades de infiltração no solo e não se beneficiam adequadamente dos nutrientes disponíveis, uma vez que a absorção de água e nutrientes fica prejudicada. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RSP) e sua correlação com a produtividade do milho em uma área cultivada sob sistema de plantio direto. Foram determinados os valores de RSP nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Os dados foram interpolados utilizando o interpolador Inverso da Distância ao Quadrado e os mapas foram divididos em cinco classes de igual amplitude. Para determinar a correlação entre a RSP e a produtividade do milho, foi utilizada a matriz de correlação espacial com 95% de significância. Os dados de RSP apresentaram variabilidade espacial, sendo que os maiores valores de compactação foram encontrados na profundidade de 0,2-0,3 m e a compactação foi menor na camada mais superficial do solo. Foi identificada correlação espacial negativa entre a RSP nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, a profundidade de 0-0,1 m não apresentou influência sobre a produtividade do milho.

PALAVRAS-CHAVE: mapas temáticos, plantio direto, correlação espacial.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL RESISTANCE TO PENETRATION AND ITS CORRELATION WITH CORN PRODUCTIVITY

ABSTRACT: Soil compaction is a problem that influences the development of crops, as in compacted soil, plant roots have infiltration difficulties in the ground and does not receive adequate nutrients available, since the absorption of water and nutrients is compromised. The aim of this study was to evaluate the spatial variability of soil resistance to penetration (SPR) and its correlation with the productivity of corn in a cultivated area under no-tillage system. They were determined SPR values in the depths of 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. The data were interpolated using Inverse Distance interpolation to the Square and the maps were divided into five equal amplitude classes. To determine the correlation between SPR and productivity of corn, the spatial correlation matrix with 95% significance level was used. SRP

data presented spatial variability, and the largest compression values were found at a depth of 0.2-0.3 m and the compaction was lower in the most superficial layer of the soil. Was identified negative spatial correlation between SPR depths of 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m, depth of 0-0.1 m showed no influence on the yield of corn.

KEYWORDS: thematic maps, tillage, spatial correlation.

INTRODUÇÃO

A produtividade de uma área agrícola é influenciada, dentre outros fatores, pelas propriedades físicas e químicas do solo (GUEDES et al., 2012; LIMA, 2010). As propriedades físicas referem-se às condições do solo que permitem a infiltração, a retenção e a disponibilização de água às plantas (REICHERT et al., 2003), tais propriedades estão ligadas a estrutura e estabilidade do solo (CARVALHO et al., 2012).

A compactação do solo está ligada ao aumento da densidade, como resultado da redução do seu volume, esta resulta na expulsão de ar dos poros e, por conseguinte, um rearranjo das partículas, reduzindo a porosidade e aumentando a densidade (RALISCH et al., 2008).

A compactação do solo consiste em um problema que influencia diretamente o desenvolvimento das culturas, sendo que para Queiroz-Voltan et al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas não se beneficiam adequadamente dos nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsável pela absorção de água e nutrientes fica prejudicado.

Xin-Zhong et al. (2009) afirmam que os efeitos dos fatores naturais e o manejo são os responsáveis pela variabilidade espacial dos solos e estes operam simultaneamente com diferentes intensidades e em diferentes escalas. Devido a isso à gestão uniforme de campos possivelmente resulta em áreas com altas concentrações de nutrientes devido ao excesso de tratamento e áreas com níveis baixos de nutrientes, decorrentes do sub-tratamento. Em consequência da variabilidade espacial dos solos a gestão uniforme das lavouras não é considerada a estratégia mais eficaz (XIN-ZHONG et al., 2009) e nem sempre permite resolver adequadamente o gerenciamento do solo (CASA et al., 2008).

A maneira mais fácil e rápida de obter informações sobre a variabilidade espacial de um campo é por meio do mapeamento de sua produtividade. Segundo Casa et al. (2008) a variação espacial final da produtividade das culturas é o resultado da interação entre os elementos influentes no desenvolvimento das plantas. Para Lima et al. (2008) a análise dos dados por meio dos mapas temáticos dos atributos químicos possibilita a distinção de regiões com menor e maior variabilidade desses atributos, o que permite manejá-los de forma diferenciada e localizada.

A identificação das condições de campo específicas de cada local do talhão, requer medição e compreensão da variabilidade espacial do solo e estado nutricional das culturas e sua relação com a resposta da cultura (HEDLEY, 2015).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RSP) e sua correlação com a produtividade do milho em uma área cultivada sob sistema de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em uma área agrícola de 9,9 ha, localizada no município de

Serranópolis do Iguaçu – Pr, sob coordenadas geográficas centrais aproximadas de 25°24'28" S e 54°00'17" O e com altitude média de 255 m. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 2006) e cultivado em um sistema de plantio direto há pelo menos quinze anos, com sucessão de culturas soja e milho para fins comerciais.

Nessa área foi definida uma grade amostral irregular com 42 pontos (4,24 pontos por ha) (Figura 1), sendo a localização dos pontos amostrais realizada com auxílio de um aparelho receptor GPS topográfico Trimble Geo Explorer XT 2005 e o software PathFinder. Para cada ponto amostral foi determinada a resistência do solo a penetração (RSP) e a produtividade do milho.

A resistência do solo à penetração foi determinada utilizando-se um penetrômetro eletrônico da marca Falker PenetroLOG, com o qual foram realizadas quatro medições no entorno do ponto definido na grade amostral (a distância máxima de 3 m), calculando-se posteriormente a média das medições para representação do ponto, nas profundidades de 0-0,1, 0-0,2, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.



FIGURA 1. Grade amostral utilizada para determinação da resistência do solo a penetração e produtividade do milho.

Os dados foram analisados estatisticamente por meio da estatística descritiva, avaliando-se medidas de posição e dispersão. O coeficiente de variação foi considerado baixo (homocedasticidade) quando $CV \leq 10\%$, médio quando $10\% < CV \leq 20\%$, alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto (heterocedasticidade) quando $CV > 30\%$ (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002) e para avaliar a normalidade dos dados a 5% de probabilidade foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnovs.

Com os dados de RSP foram gerados os mapas temáticos para representação da variabilidade espacial dessas variáveis no solo. Tais mapas foram gerados utilizando-se o interpolador Inverso da distância ao Quadrado, com pixels de 5m x 5m (25 m² de área). Os mapas temáticos foram divididos em cinco classes de igual amplitude.

Visando avaliar a correlação espacial da RSP nas diferentes profundidades com a produtividade do milho, foi utilizada a correlação cruzada entre variáveis Y e Z (BONHAM et al., 1995) (Equação 1), podendo-se verificar se a RSP influenciou de forma positiva ou negativa a produtividade. Foi criada a matriz de correlação espacial utilizando-se 999 iterações e um nível de 95%, para avaliar a significância de cada coeficiente calculado.

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad (1)$$

em que,

I_{YZ} - Corresponde ao nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva $I_{YZ} > 0$ e correlação negativa $I_{YZ} < 0$;

W_{ij} - corresponde ao elemento ij da matriz de associação espacial, sendo calculado por $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$, sendo D_{ij} a distância entre os pontos i e j ;

Y_i - Corresponde ao valor da variável Y transformada no ponto i . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$, em que \bar{Y} é a média amostral da variável Y;

Z_j - Corresponde ao valor da variável Z transformada no ponto j . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$, em que \bar{Z} é a média amostral da variável Z.

W - Corresponde a soma dos graus de associação espacial, obtidos através da Matriz W_{ij} , para $i \neq j$.

m_Y^2 - Corresponde a variância amostral da variável Y. m_Z^2 - Corresponde a variância amostral da variável Z.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados de RSP 0-0,1, RSP 0,1-0,2, RSP 0,2-0,3 e a produtividade do milho. Todos os atributos avaliados apresentaram normalidade a 95% de significância e foram classificados com um Coeficiente de Variação considerado médio (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

A amplitude dos dados de RSP foi de 1,09 MPa para a profundidade de 0-0,1 m e 0,61 MPa para a profundidade de 0,1-0,2 m, os dados de produtividade do milho apresentaram uma amplitude de 2,33 t ha⁻¹.

O valor médio da RSP 0-0,1 foi de 1,09 MPa, para a RSP 0,1-0,2 a média foi de 1,19 MPa e na profundidade de 0,2-0,3 a média foi de 1,32 MPa, mostrando que quanto maior a profundidade do solo avaliada maior é a sua compactação, concordando com os resultados encontrados por Fredi et al., (2006), que também encontraram maiores níveis de compactação

nas camadas mais profundas do solo.

TABELA 1. Estatística descritiva dos dados de RSP 0-0,1, RSP 0,1-0,2, RSP 0,2-0,3 e a produtividade do milho

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	D. P.	C. V.	Normalidade
RSP 0-0,1 (MPa)	0,835	1,085	1,296	1,085	0,119	11,02(m)	*
RSP 0,1-0,2 (MPa)	0,935	1,193	1,541	0,606	0,174	14,58(m)	*
RSP 0,2-0,3 (MPa)	1,032	1,320	1,914	0,881	0,191	14,52(m)	*
Produtividade (t ha ⁻¹)	2,53	4,85	3,45	2,33	0,60	17,52(m)	*

D.P. – Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (C.V.): baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma). * - Dados normais a 0,05% de significância.

Segundo a classificação proposta por Canarache (1990) (Tabela 2), em média o solo da área analisada foi classificado como de muito baixa a baixa resistência a penetração, apresentando um limite de crescimento das raízes variando entre sem e pouca limitação.

TABELA 2. Classificação da resistência do solo a penetração

Classes	Limites (MPa)	Limites ao crescimento das raízes
Muito baixa	≤ 1,0	Sem limitação
Baixa	1,1 – 2,5	Pouca limitação
Média	2,6 – 5,0	Algumas limitações
Alta	5,1 – 10,0	Sérias limitações
Muito Alta	10,1 – 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente Alta	> 15,0	Raízes não crescem

Fonte: Canarache (1990)

Na Figura 2 são apresentados os mapas temáticos que representam a variabilidade espacial da RSP nas diferentes profundidades (0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m). Por meio dos mapas é possível verificar que os dados de RSP apresentaram variabilidade espacial, com uma amplitude variando de 0,84 a 1,91 MPa. Os maiores valores de compactação foram encontrados na profundidade de 0,2-0,3 m e a compactação foi menor na camada mais superficial do solo.

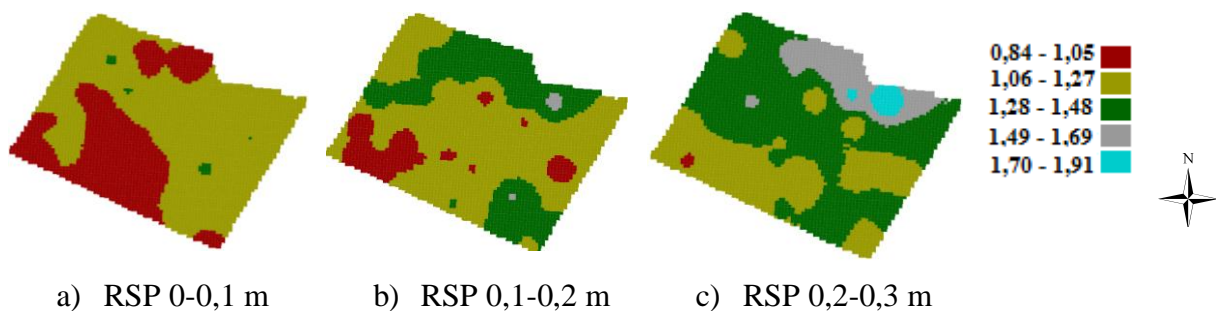


FIGURA 2. Mapas temáticos da resistência do solo a penetração nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

Para verificar a correlação entre a RSP e a produtividade do milho foi gerada a matriz de correlação espacial de Moran (Figura 3). Por meio da matriz foi possível verificar que houve correlação espacial negativa entre a RSP nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m e a produtividade do milho, concordando com os resultados encontrados por Freedi et al., (2009) , a profundidade de 0-0,1 m não apresentou influência sobre a produtividade do milho.

Prod_Milho	0,25075 *			
RSP 0-0,1 m	-0,05203	0,03799		
RSP 0,1-0,2 m	-0,06484 *	0,03556	0,02118	
RSP 0,2-0,3 m	-0,12385 *	0,04457	0,04002	0,05839*
	Prod_Milho	RSP 0-0,1 m	RSP 0,1-0,2m	RSP 0,2-0,3 m

Figura 3. Matriz de correlação espacial entre a resistência do solo a penetração (0-0,1, 0,-0,2 e 0,2-0,3) auto-correlação espacial e correlação com a produtividade.

CONCLUSÕES

A resistência do solo a penetração nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 apresentou variabilidade espacial na área em estudo, com valores variando de 0,84 a 1,91 MPa.

A produtividade do milho correlacionou negativamente com a resistência do solo a penetração nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a Fundação Araucária (Fundação Araucária), a Coordenação para a Modernização de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para financiamento. Agradecimentos também ao produtor Wanderlei Schenatto pela disponibilização da área de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BONHAM C. D.; REICH R. M; LEADER K. K. Spatial cross-correlation of *Bouteloua gracilis* with site factors. **Grassland Science**, Nasushiobara, v. 41, n. 1, p. 196-201, 1995.

CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 51-70, 1990.

CASA, R.; CASTRIGNANÒ, A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 331-342, 2008.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CENTURION, J. F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 60-68, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: CNPSO, 2006, 412 p.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; JÚNIOR, V. V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional.

Engenharia Agrícola, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em latossolo vermelho. - Características de planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 793-803, 2009.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V.; SERRA, A. P.; COSTA, J. R.; GUEDES, R. S. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1269-1278, 2012.

HEDLEY, C. The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 95, n.1, p.12-19. 2015.

LIMA, A. F. **Desenvolvimento de métodos para o preparo de amostras de fertilizantes visando à determinação de cobre, cádmio e chumbo por espectrometria de absorção atômica com chama**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, S. Técnicas de agricultura de precisão aplicada a cultura do café conilon. **Estudos avançados em produção vegetal**, Vitória, v. 1, p. 179-197, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística Aplicada a Experimentos Agronômicos e Florestais**. Piracicaba: FEALQ, v. 11, 2002. 309 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v. 35, n. 5, p. 929-938, 2000.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 29-48, 2003.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WI-HONG, H.; YAN-TAO, L. Determination of management zones for a tobacco Field based on soil fertility. **Computers and electronics in agriculture**, v. 65, p. 168-175, 2009.