

# Micro variabilidade espacial de atributos físicos do solo

## Micro spatial variability of physical attributes of the soil

Beethoven Gabriel Xavier ALVES [1](#); Elton Fialho dos REIS [2](#)

Recibido: 28/10/16 • Aprobado: 28/11/2016

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
  - [2. Material e métodos](#)
  - [3. Resultados e discussão](#)
  - [4. Conclusões](#)
- [Referências](#)

#### RESUMO:

Existem diversos fatores influenciando na produtividade de uma cultura, que variam ao decorrer da área, assim como também dentro de áreas amostrais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em pequenas áreas com diferentes níveis de umidade do solo e propor modelos para amostragem nos pontos, mediante a aplicação da geoestatística e da estatística clássica. Para tal, foram efetuadas três coletas após a irrigação com intervalo de 48 horas entre elas. Os dados foram coletados inicialmente em um malha de 1 x 1 m, sendo cada coleta composta por 49 pontos, referentes a umidade do solo e a resistência do solo à penetração nas camadas entre 0,00 a 0,20 m, 0,10 a 0,20 m e entre 0,00 a 0,40 m. Posteriormente, os dados foram dispostos em cinco diferentes arranjos de espaçamentos a fim de analisar possíveis modelos de amostragens. A dependência espacial foi avaliada utilizando-se o programa GS+ versão 7, a estatística clássica foi avaliada com o auxílio do programa Microsoft Excel versão 2010. Por meio dos parâmetros dos semivariogramas e pelo interpolador de krigagem pontual do programa, foram obtidos os mapas de isolinhas, dividindo a área estudada em subáreas possibilitando possíveis correlações. A melhor distância de coleta para a umidade do solo e resistência do solo à penetração está entre 1,2 e 3,3 m. O arranjo com espaçamento médio entre amostragens de 3 m, onde são coletados cinco pontos com aproveitamento dos três

#### ABSTRACT:

There are several factors influencing the productivity of a crop, which vary throughout the area as well as within the samples. This study aimed to evaluate the spatial variability of soil penetration resistance in small samples with different soil moisture levels and propose models for sampling in points through the application of geostatistics and classical statistics. To this end, we made three collections after irrigation with 48-hour interval between them. Data were collected initially in a grid of 1 x 1 m, each collection consists of 49 points, related to soil moisture and soil penetration resistance in layers between 0.00 to 0.20 m, 0.10 to 0.20 m and between 0.00 to 0.40 m. Subsequently, data were arranged in five different arrangements spacings in order to analyze possible models of samples. The spatial dependence was assessed using the GS + version 7 program, classical statistics were evaluated with the help of Microsoft Excel version 2010. Through the parameters of the semivariogram and the interpolator point kriging program were obtained maps of isolines, dividing the study area into subareas allowing possible correlations. The best distance for collecting soil moisture penetration and soil resistance is between 1.2 and 3.3 m. The arrangement with average spacing between samples of 3 m, which are collected five points with use of the three median was what was higher precision, being considered as a proposed model to be followed in each sample point.

**Keywords:** Soil physics, sampling, soil humidity

medianos, foi o que apresentou-se maior precisão, sendo considerado como uma proposta de modelo a ser seguido em cada ponto amostral.

**Palavras chave:** Física do solo, Amostragem, Umidade do solo.

## 1. Introdução

Na agricultura atual é considerável a importância do estudo dos atributos do solo, aliado à efetiva obtenção dos valores fracionados pela propriedade rural e às técnicas de aplicação de maneira diversificada a taxas variáveis, fazendo uso de conceitos da agricultura de precisão (GUEDES FILHO et al., 2010).

Embora a maioria dos agricultores efetuem o manejo da área cultivada da mesma maneira em toda área do talhão ou até mesmo em toda propriedade. A agricultura de precisão é uma alternativa economicamente viável, seja pela economia nos insumos, pela diminuição na poluição e impacto ambiental provocado, pela diminuição no tráfego das máquinas agrícolas, ou, principalmente, pelo aumento da produtividade, que viabiliza financeiramente a aplicação das técnicas da agricultura de precisão (MOLIN, 2004; MENEGATTI et al., 2006).

A resistência do solo à penetração permite avaliar o teor de compactação do solo. Um problema observado nas análises das variações da resistência do solo à penetração é a confiabilidade das amostragens tratando-se da distância entre as coletas dentro de cada ponto que forma a malha amostral (CHERUBIN et al., 2011).

O conhecimento da variabilidade espacial dos parâmetros que influenciam na produção de uma cultura é fundamental para implementação de um sistema de agricultura de precisão. Contudo, é de pouca valia um sistema de agricultura de precisão altamente tecnológico e de eficiência teoricamente comprovada, se a implantação do sistema ou a coleta inicial de dados forem deficientes (CORÁ et al., 2004; BRASIL, 2011).

É necessário respeitar critérios de amostragem para que dados coletados sejam representativos e confiáveis, é de praxe recomendar um número grande suficiente, sem especificações desta quantidade (AMARO FILHO et al., 2007).

Após consulta a metodologias de experimentos científicos alguns autores chegam citar uma distância pré-definida (SILVA et al., 2004), outros passam informações incompletas sobre a amostragem (GENRO JUNIOR et al., 2004), e ainda há os que omitem totalmente as informações referentes à coleta (SOUZA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007). Contudo, não se constatou um padrão sobre qual deve ser a quantidade de dados e a distância entre coletas dentro da amostragem de cada ponto da malha amostral para que os dados represente significativamente a porção da área a qual o ponto pertence.

O método geoestatístico de modelagem geoespacial permite mapear e analisar a dependência espacial utilizando a semivariância para obter os semivariogramas, que caracterizam a estrutura de variância do parâmetro observado, permitindo assim definir zonas de manejos adequadas a cada situação em determinados talhões na área estudada em questão, mesmo em pontos não amostrados, de uma maneira não tendenciosa (CAVALCANTE et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2011).

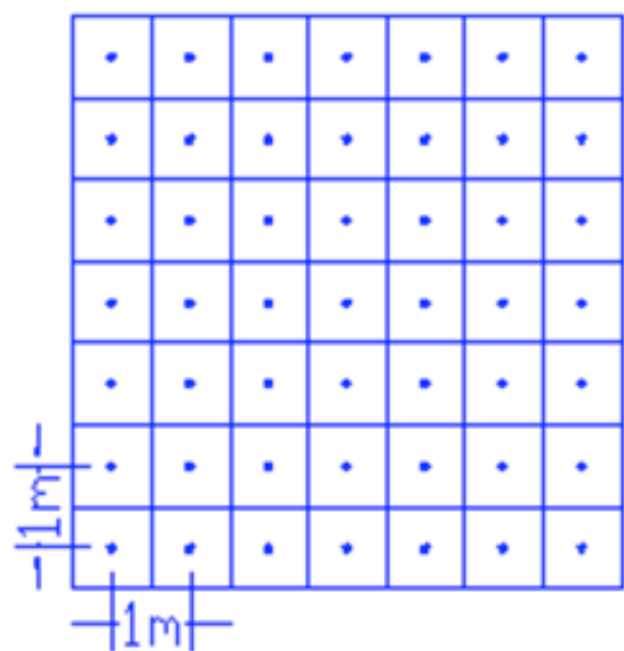
Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da micro variabilidade espacial da resistência do solo à penetração por meio do emprego da geoestatística, em diferentes níveis de umidade do solo.

## 2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Madeira, localizada nas coordenadas geográficas: 16°22'00" de latitude e 48°36'02" de longitude, a 927 m de altitude. A área experimental estava sendo conduzida com cultura de tomate industrial em sucessão ao milho, implantada há mais de 10 anos com tratamentos convencionais, apresentou declividade média de 1%, encontrava-se sob um

pivô central com tempode volta de 90 horas e turno de rega de 8 dias.

Em uma malha amostral de 1 m x 1 m foram coletados dados de resistência do solo à penetração e umidade do solo em quarenta e nove pontos distintos (Figura 1). Em cada ponto alcançou-se três níveis de umidades do solo, obtidos pelo intervalo de quarenta e oito horas entre as coletas dos dados, sendo a primeira coleta logo após uma irrigação.



(a)



(b)

Figura 1 - Espaçamento utilizado para coleta de dados (a). Imagem da área utilizada na coleta dos dados (b).

A resistência do solo à penetração foi determinada nas profundidades de 0,00 a 0,40 m, empregando-se um penetrógrafo eletrônico Falker PLG 1020, seguindo-se as normas da ASAE S 313, sendo calculada médias de 0,00 a 0,20 m, de 0,00 a 0,40 m e de 0,10 a 0,20 m (ASAB, 2006). A velocidade de penetração da haste foi mantida próxima a 0,030 m s<sup>-1</sup>, conforme indicação para o aparelho. Foi utilizado um cone com diâmetro de 0,01283 m e ângulo de penetração de 30°. A resolução do equipamento foi de 7,7 kPa.

Para quantificar umidade no solo foi retirada uma amostra em cada ponto da área, na profundidade entre 0,10 a 0,20 m, levada ao laboratório e determinada pelo método padrão da estufa a 105°C por 24 horas, utilizando balança digital de precisão 0,01 g (EMBRAPA, 1997).

A partir dos dados coletados nos quarenta e nove pontos obtidos com o espaçamento ilustrado na Figura 1, foram selecionados conjuntos de dados com diferentes arranjos de espaçamentos para analisar possíveis modelos de amostragem, empregando-se a geoestatística e a estatística clássica em cada um dos arranjos.

Esses diferentes arranjos podem ser observados na Figura 2, onde o *grid* 1 é composto por quarenta e nove pontos espaçados entre si por 1 m, o *grid* 2 é composto por dezesseis pontos espaçados entre si por 2 m, o *grid* 3 é composto por nove pontos espaçados entre si por 3 m, o *grid* 4 é composto por cinco pontos sendo quatro espaçados entre si por 6 m e um ponto no centro do quadrado então formado, e o *grid* 5 é composto por três pontos provenientes do arranjo *grid* 4, onde o maior e o menor valor dos parâmetros observados são eliminados.

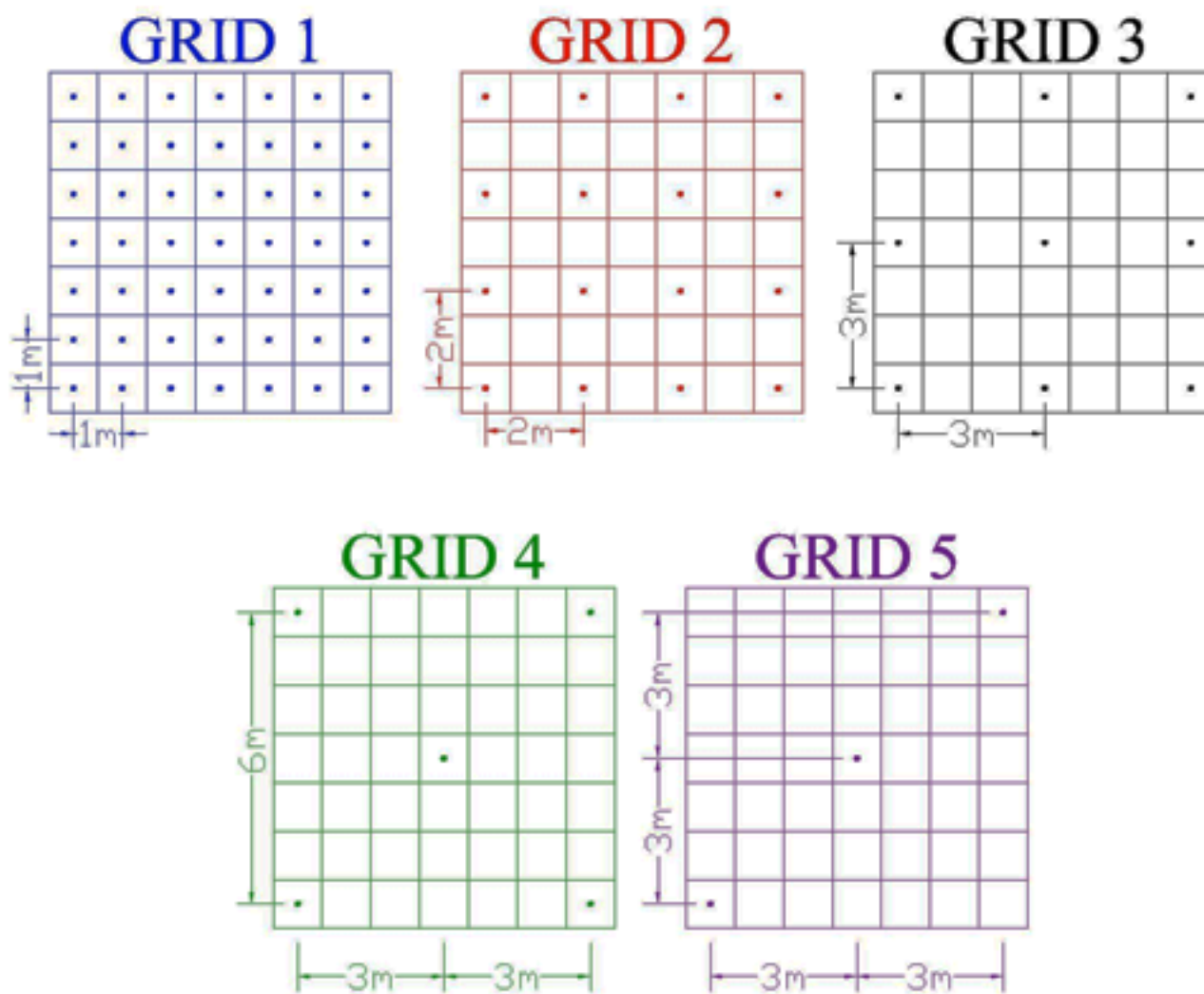


Figura 2 - Diferentes arranjos de espaçamento entre os pontos da malha amostral.

A geoestatística foi utilizada em cada arranjo de espaçamento para identificar a estrutura da dependência espacial entre os pontos. A partir dos valores de semivariância foram construídos semivariogramas experimentais para os arranjos de espaçamentos que apresentaram dependência espacial entre os pontos. Os semivariogramas foram gerados pelo programa GS+ versão 7.0 (Gamma Design Software®). Os modelos foram classificados de acordo com a validação cruzada e a classificação da dependência espacial foi de acordo com a Tabela 1, onde o índice de dependência espacial (IDE) foi calculado pela proporção entre o efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ), utilizando a equação:  $IDE = 1 - [C_0 / (C_0 + C)]$  (CAMBARDELLA et al., 1994; BACHMAIER e BACKES, 2008).

Tabela 1 - Critério de interpretação do índice de dependência espacial (IDE)

Valor	Interpretação
$0,75 \leq IDE$	Forte dependência
$0,25 \leq IDE < 0,75$	Moderada dependência
$IDE < 0,25$	Fraca dependência

Fonte: Adaptado de Cambardella et al. (1994).

Para construção dos semivariogramas foi observado ainda o ajuste para os modelos estatísticos disponíveis (linear, esférico, gaussiano e exponencial), com base na menor soma dos quadrados do resíduo, no maior valor de  $R^2$  e no maior índice de dependência espacial, gerados em cada modelo estatístico (CAVALCANTE et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2011).



GRID 4	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.
GRID 5	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.	LIN.

MODELOS: Esférico (ESF.), Exponencial (EXP.) e Linear (LIN.).

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos atributos do solo de todos os quarenta e nove pontos amostrados. Os valores do coeficiente de variação encontrados para a umidade do solo pelo método de laboratório, nos três diferentes níveis de água no solo, estão dentro de um intervalo descrito como de variação baixa (inferiores a 10 %); e os valores do coeficiente de variação encontrados para resistência do solo à penetração de 0,00 a 0,40 m, nos três diferentes níveis de umidade do solo, foram classificados como variação alta (entre 20 e 30 %), conforme classificações descritas por Cruz et al. (2012).

Tabela 4 - Estatística descritiva para umidade do solo logo após a irrigação (U1), 48 horas após a irrigação (U2) e 96 horas após a irrigação (U3); resistência do solo à penetração 96 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP1), de 0,00 a 0,20 m (RP2), e de 0,00 a 0,40 m (RP3), resistência do solo à penetração 48 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP4), de 0,00 a 0,20 m (RP5), e de 0,00 a 0,40 m (RP6), e resistência do solo à penetração logo após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP7), de 0,00 a 0,20 m (RP8), e de 0,00 a 0,40 m (RP9).

	U1	U2	U3	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9
Unidade	%	%	%	KPa	KPa	KPa	KPa	KPa	KPa	KPa	KPa	KPa
Amostras	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Média	31,0	28,7	27,2	1416	1070	1409	1099	783	1198	847	584	1040
Mínimo	27,9	26,8	25,6	630	504	711	306	220	691	130	136	456
Máximo	35,4	32,3	30,0	3134	2494	2410	2138	1381	2129	2229	1474	1836
Mediana	30,9	28,8	27,1	1331	1034	1360	1115	786	1161	720	500	1004
Assimetria	0,44	0,57	0,89	0,98	0,88	0,77	0,37	-0,06	0,80	0,75	0,80	0,56
Curtose	-0,39	2,14	0,94	1,22	0,89	0,70	-0,46	-0,80	0,94	-0,03	-0,06	0,08
CV (%)	5,4	3,4	3,6	37,1	39,6	24,5	40,8	38,8	23,7	61,5	60,2	27,6

CV: Coeficiente de variação.

Ainda na Tabela 4, os valores do coeficiente de variação da resistência do solo à penetração nas profundidades de 0,00 a 0,20 m e de 0,10 a 0,20 m, nos três níveis de umidade do solo, foram classificados como de variação muito alta (acima de 30 %), sendo explicada pela menor quantidade de dados analisados. Enquanto a resistência do solo à penetração de 0,00 a 0,40 m foi calculada pela média de 40 observações, a resistência do solo à penetração de 0,00 a 0,20 m e de 0,10 a 0,20 m foram calculadas pelas médias de 20 e 10 observações, respectivamente, pois o penetrógrafo utilizado armazena valores a cada centímetro (CRUZ et al., 2012).

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da estatística descritiva para as médias dos atributos do solo nos diferentes arranjos de espaçamentos. Os valores do coeficiente de variação

encontrados diminuíram à medida que aumentou-se os espaçamentos, sendo o *grid* 5 o que apresentou menores valores de coeficiente de variação para quase todos os atributos analisados, sendo considerado o mais preciso. Em que mais da metade das variáveis apresentaram o coeficiente de variação com classificação de variação média a baixa, conforme Cruz et al. (2012).

Tabela 5 - Coeficiente de variação, em %, nos arranjos de espaçamentos para umidade do solo logo após a irrigação (U1), 48 horas após a irrigação (U2) e 96 horas após a irrigação (U3); resistência do solo à penetração 96 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP1), de 0,00 a 0,20 m (RP2), e de 0,00 a 0,40 m (RP3), resistência do solo à penetração 48 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP4), de 0,00 a 0,20 m (RP5), e de 0,00 a 0,40 m (RP6), e resistência do solo à penetração logo após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP7), de 0,00 a 0,20 m (RP8), e de 0,00 a 0,40 m (RP9).

	U1	U2	U3	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9
<i>GRID</i> 1	5,4	3,4	3,6	61,5	40,8	37,1	60,2	38,8	39,6	27,6	23,7	24,5
<i>GRID</i> 2	5,0	2,2	3,0	29,0	41,7	22,2	30,2	41,7	31,7	16,1	20,5	15,0
<i>GRID</i> 3	6,0	3,3	1,9	61,5	32,9	22,4	64,2	27,4	35,5	31,8	18,5	20,9
<i>GRID</i> 4	5,6	2,9	1,3	50,5	35,2	18,8	50,3	33,7	37,1	28,0	17,3	19,5
<i>GRID</i> 5	3,1	0,3	0,5	31,4	21,2	9,0	37,6	18,7	25,9	23,9	11,1	9,2

Os índices de dependência espacial dos atributos físicos do solo apresentados na Tabela 6 mostraram forte dependência espacial para a umidade do solo logo após a irrigação e para a resistência do solo à penetração logo após a irrigação e 96 horas após a irrigação, conforme classificação por Cambardella et al. (1994) e Mion et al. (2012).

Tabela 6 - Modelos teóricos de semivariância do arranjo com espaçamento de 1 m entre amostras ajustados para umidade do solo logo após a irrigação (U1), 48 horas após a irrigação (U2) e 96 horas após a irrigação (U3); resistência do solo à penetração 96 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP1), de 0,00 a 0,20 m (RP2), e de 0,00 a 0,40 m (RP3), resistência do solo à penetração 48 horas após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP4), de 0,00 a 0,20 m (RP5), e de 0,00 a 0,40 m (RP6), e resistência do solo à penetração logo após a irrigação nas camadas de 0,10 a 0,20 m (RP7), de 0,00 a 0,20 m (RP8), e de 0,00 a 0,40 m (RP9).

	U1	U2	U3	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9
Modelo	ESF.	EXP.	LIN.	ESF.	EXP.	ESF.	LIN.	LIN.	LIN.	ESF.	ESF.	ESF.
A0	1,54	2,59	3,28	1,19	0,31	1,19	3,28	3,28	3,28	1,19	1,19	1,19
C0+C	2,929	1,747	0,900	2,8.105	1,8.105	1,1.105	2,1.105	9,2.105	7,7.104	2,7.105	1,2.105	8,4.104
C0	0,067	0,626	0,900	2800	1,1.104	100	2,1.105	9,2.105	7,7.104	100	100	1100
IDE	0,977	0,642	0,000	0,990	0,940	0,999	0,000	0,000	0,000	1,000	0,999	0,987
R <sup>2</sup>	0,23	0,78	0,59	0,00	0,01	0,00	0,96	0,98	0,47	0,00	0,00	0,00
SQR	0,0865	0,0096	0,0078	1,7.108	7,7.108	2,9.108	7,4.108	3,3.108	2,8.107	1.1010	2,6.108	8,0.108
VC	1,133	0,553	0,079	0,970	1,068	1,156	-0,008	-0,038	0,134	0,686	1,142	1,132

Observando ainda a Tabela 6, os alcances (A0) para os modelos ajustados para a resistência do solo à penetração e para a umidade do solo estão entre 1,2 e 3,3 m. Sendo este limite de 3,3 m a distância que as amostras deveriam ser coletadas com o intuito de manter a variabilidade espacial, conforme Motomiya et al. (2011). Então o arranjo com espaçamento médio entre amostragens de 3 m intitulado por *grid 5*, onde são coletados cinco pontos com aproveitamento dos três medianos está compreendido neste limite.

Os parâmetros de semivariância apresentadas na Tabela 6 permitiram a elaboração de mapas de isolinha apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, possibilitando a análise do comportamento da micro variabilidade espacial dos parâmetros observados na malha amostral com espaçamento de 1 X 1 m. A elaboração destes mapas consistiu na verificação da distribuição espacial dos parâmetros analisados, segundo metodologia de Landim e Sturaro (2002).

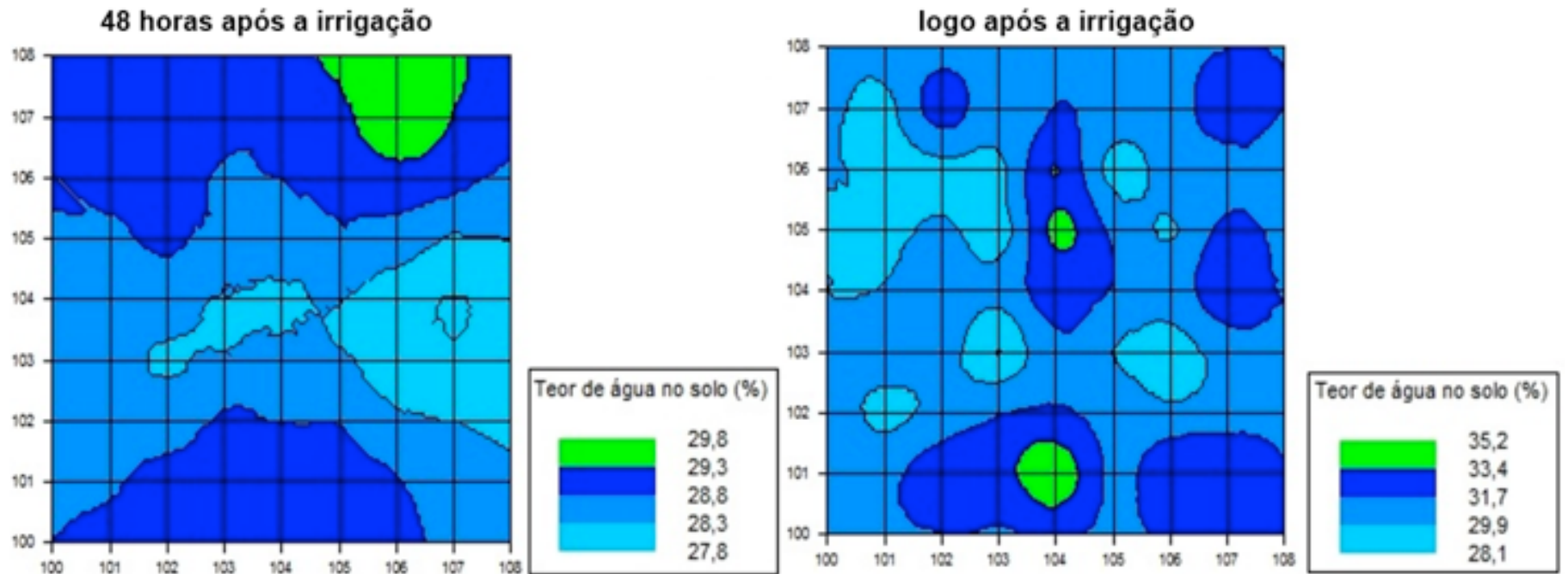


Figura 3 - Mapa de variabilidade espacial da Umidade do solo.

Efetuando uma análise desses mapas, pode-se observar que nas proximidades onde a umidade do solo é maior, foram aproximadamente onde as resistências do solo à penetração para diferentes profundidades apresentaram seus menores valores, corroborando com a relação entre resistência do solo à penetração e umidade do solo apresentadas por Silva e Gérvasio (1999) e Cunha et al. (2002), que avaliaram a resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e umidade do solo, concluindo existir uma alta relação entre os dois parâmetros.

Na Figura 5, observa-se que nas proximidades de toda a região da abscissa 106 foram apresentados os maiores valores de resistência do solo à penetração nas diferentes profundidades. Foi observado que o acréscimo da resistência do solo à penetração ocorre no mesmo sentido das curvas de nível do local de coleta, podendo-se explicar tal acréscimo pela possibilidade de este ser o rastro de algum maquinário utilizado anteriormente na área, corroborando com conclusões de Lima et al. (2008).



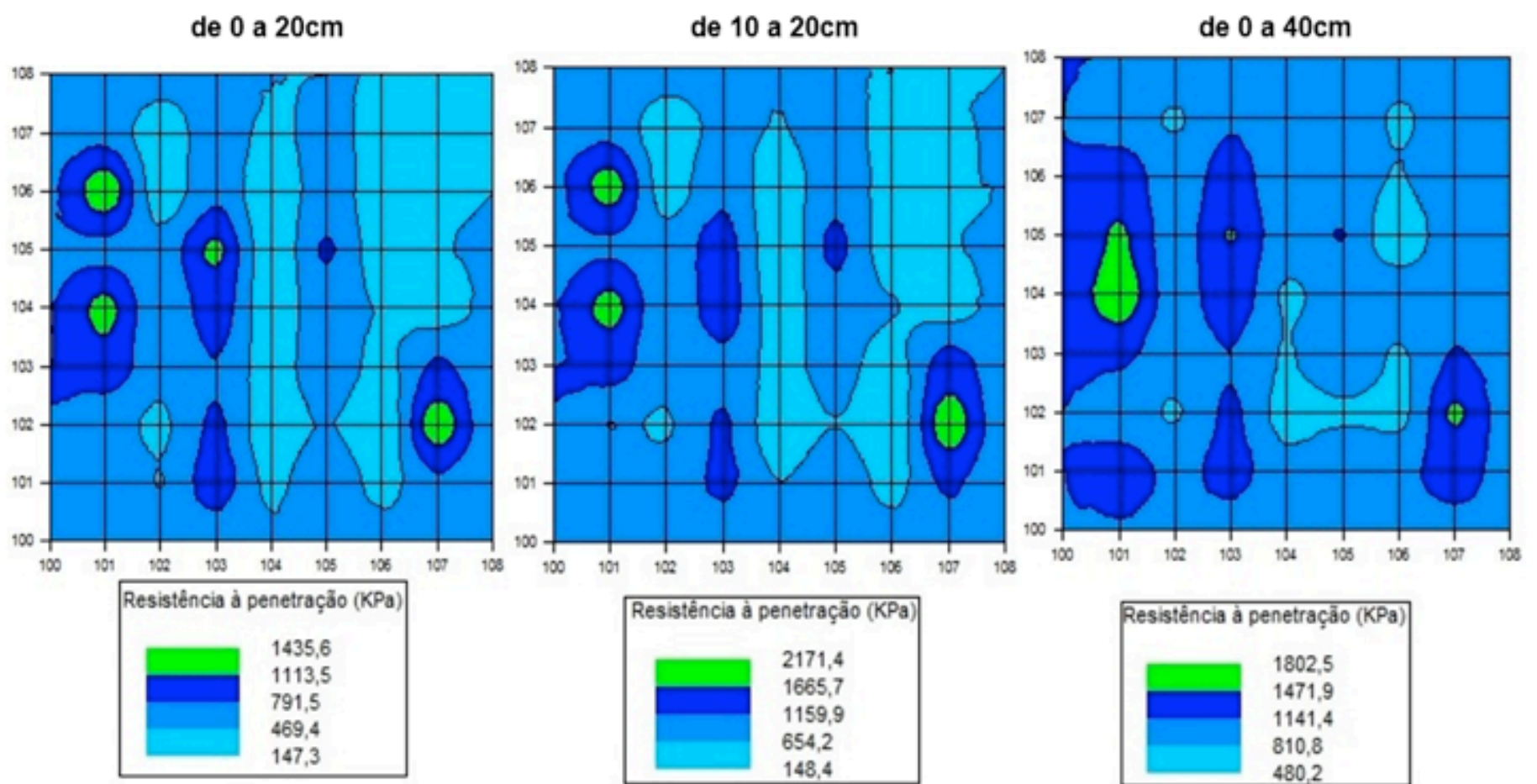


Figura 4 - Mapas mostrando a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em diferentes profundidades para a umidade do solo logo após a irrigação

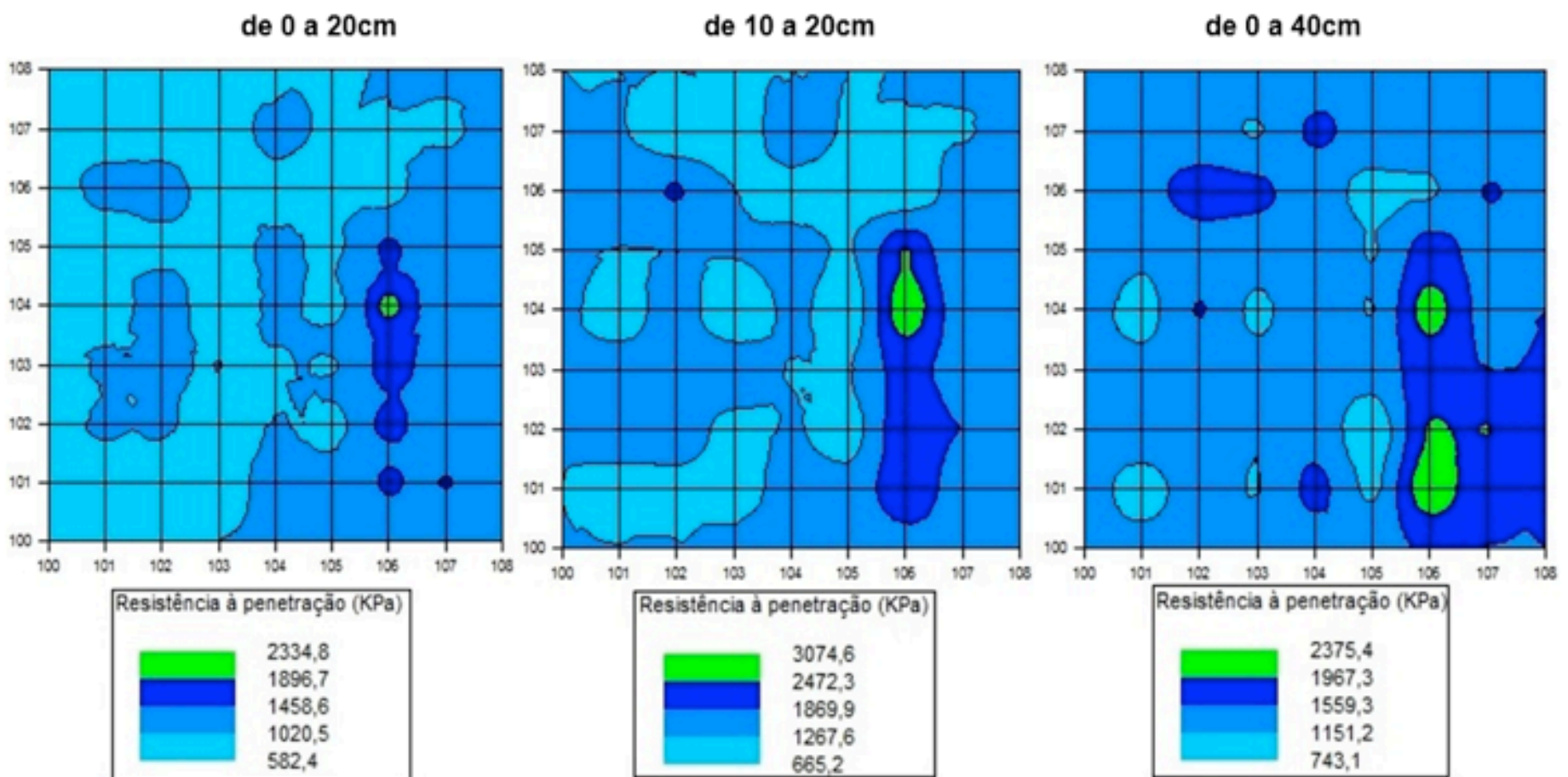


Figura 5 - Mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em diferentes profundidades para a umidade do solo 96 horas após a irrigação.

## 4. Conclusões

A melhor distância de coleta para a umidade do solo e resistência do solo à penetração está entre 1,2 e 3,3 m.

O arranjo com espaçamento médio entre amostragens de 3 m, onde são coletados cinco pontos com aproveitamento dos três medianos, foi o que apresentou-se maior precisão, sendo

## Referências

- ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 3, n. 2, p. 62-72, 2012.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.
- ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Soil cone penetrometer. **ASABE Standard S313.2**, St. Joseph, p. 903-904, 2006.
- BACHMAIER, M.; BACKES, M. Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. **Precision Agriculture**, v. 9, n. 3, p. 173-175, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim Técnico**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2011. 36 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soils Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 09-16, 2012.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto**, v. 125, p. 4-9, 2011.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CRUZ, E. A.; MOREIRA, G. R.; PAULA, M. O.; OLIVEIRA, A. C. M. Coeficiente de variação como medida de precisão em experimentos com tomate em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14; p. 220-233, 2012.
- CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro – RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. **Revista Atual**, Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 477-484, 2004.
- GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K.; NAGUMO, C. H.; DECHEN, S. C. F. Spatial and temporal variability of crop yield and some rhodic hapludox properties under. **Revista Brasileira**

**de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 1-14, 2010.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER. **DGA, IGCE, UNESP, Lab. Geomatemática**, Rio Claro, SP, Texto Didático n. 08, 2002. 21 p.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. **DGA, IGCE, UNESP, Lab. Geomatemática**, Rio Claro, Texto Didático n. 06, 2002. 19 p.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, P. C.; OLIVEIRA, R. B. XAVIER, A. C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 931-938, 2008.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GÓES, S. L.; KORNDORFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; LIMA, E. A. Benefícios econômicos e agrônômicos da adoção de Agricultura de Precisão em usinas de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, ESALQ/USP, São Pedro, **Anais...** 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**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.

MOLIN, J. P. Tendências da Agricultura de Precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, ESALQ/USP, **Anais...** Piracicaba, 2004.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. D. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOTOMIYA, W. R.; MOLIN, J. P.; LIRA, A.; DI OLIVEIRA, J. R. G.; BISCARO, G. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 11, p. 01-09, 2011.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 265-270, 2007.

OLIVEIRA, J.J.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 783-789, 1999.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. **Gamma Design Software**, Plainwell, Michigan USA, 2008. 176 p.

SILVA, E. L.; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 417-420, 1999.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação de Umidade *versus* Resistência à Penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOUZA, R. V. C. C.; ANTUNES, P. D.; MARQUES, M. C.; FREIRE, M. B. G. S. Influência de diferentes níveis de compactação e doses de fósforo no crescimento e nos teores de P na matéria seca de plantas milho (*Zea mays* L.) em um solo representativo do Estado de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 94-100, 2008.

SOUZA, Z, M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z, M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2010.

---

1. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás-CCET, Anápolis-GO, Brasil. Email: [thovin@hotmail.com](mailto:thovin@hotmail.com)

2. Doutor em Engenharia Agrícola, Docente na Universidade Estadual de Goiás-CCET, Anápolis-GO, Brasil

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 18) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados