

## VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM SOLO SUBMETIDO À DIFERENTES TIPOS DE USO E MANEJO<sup>1</sup>

DANIEL ROBERTO ARAÚJO<sup>2\*</sup>, RENILDO LUIZ MION<sup>3</sup>, WEBERTE ALAN SOMBRA<sup>4</sup>, RICARDO RODRIGUES DE ANDRADE<sup>5</sup>, MARCELO QUEIROZ AMORIM<sup>6</sup>

**RESUMO** – A caracterização da variabilidade dos atributos do solo é necessária para que se possam interpretar as possíveis causas de variações nas produtividades das culturas, já que o solo apresenta, naturalmente, heterogeneidade de seus atributos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade e a dependência espacial, através da ferramenta GS+, dos atributos físicos de um Neossolo Flúvido submetido a dois sistemas de manejo de solo: Gradagem (área 1) e roçadora nas entrelinhas (área 2). A área manejada com gradagem há mais de 10 anos possui 0,5 ha e a área roçada nas entrelinhas há 13 anos possui 2,3 há, ambas localizadas no plano sistematizado da Fazenda Experimental do Vale do Curú em Pentecoste. Foram retiradas amostras de solo deformadas e indeformadas nas duas áreas na camada de 0,00-0,15 m, obedecendo ao espaçamento de 15 x 15 m, 21 na área com gradagem e 78 na área com roçadora nas entrelinhas. A densidade do solo foi o único atributo que apresentou efeito pepita puro, não havendo estrutura de dependência espacial na área com manejo com gradagem. Os demais atributos (areia, argila, silte, micro e macroporosidade, umidade gravimétrica do solo e resistência mecânica do solo à penetração) apresentaram dependência espacial de média a alta nos dois tipos de manejo do solo. Observou-se que na área preparada/manejada com roçadora nas entrelinhas valores baixos de macroporosidade e altos de resistência à penetração, condição de restrição para o crescimento das raízes.

**Palavras-chave:** Geoestatística. Mapeamento. Dependência Espacial.

## SPATIAL CONTINUITY OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES SUBMITTED TO DIFFERENT USE AND SOIL MANAGEMENT.

**ABSTRACT** - It characterization of the variability of soil attributes is necessary so that we can interpret the possible causes of variations in crop yields, because the soil has, naturally, heterogeneity its attributes. Thus, the objective of this study was analyze the spatial variability and dependecy, through the tool GS+, the physical attributes of a typic fluvia underwent two systems use and management of soil: disking and mowing lines. The area managed by disking for over 10 years has 0.5 ha and the area mowing between the lines 13 years ago has 2.3 ha both located on the systematic plan of Experimental Farm in the Valley Curu, Pentecoste. Soil samples were taken in both disturbed and undisturbed areas obeying the spacing of 15 x 15 m, 21 in the area with harrowing and 78 in the area by mowing between the rows. The density was the only attribute which there wasn't spatial dependence structure. The other attributes (sand, clay, silt, micro and macroporosity and gravimetric soil moisture and the mechanical resistance to penetration) showed spatial dependence of medium until high. It was observed in the mowing area is made between the lines showed lower values macroporosity and high penetration resistance, the constraint condition for the growth of roots.

**Keywords:** Geoestatistic. Mapping. Spatial dependence.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 04/062012; aceito em 03/04/2014.

Trabalho de dissertação de conclusão de curso de mestrado em Engenharia Agrícola do primeiro autor.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60021-970, Fortaleza, daniel-araujo85@hotmail.com.

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60021-970, Fortaleza, renildomion@gmail.com.

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60021-970, Fortaleza, weberte\_ufc@yahoo.com.br.

<sup>5</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60021-970, Fortaleza, rr-andrade@hotmail.com.

<sup>6</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60021-970, Fortaleza, mqueirozamorim@yahoo.com.

## INTRODUÇÃO

Na agricultura do semiárido brasileiro é comum o manejo inadequado dos recursos naturais, prejudicando a produção de alimentos para as comunidades rurais, principalmente aquelas de menor poder econômico (ANDRADE et al., 2010).

Alguns fatores estão associados a este cenário, sendo a agricultura desenvolvida à custa de um desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados (MAIA et al., 2006).

Para uma exploração agrícola sustentável é fundamental o conhecimento dos solos, pois, desta forma poderão ser adotados manejos adequados que proporcionem produtividades continuamente satisfatórias e evitem a degradação dos solos. De acordo com Viana et al. (2011), sistema de uso e manejos que reduzem e controlam a degradação são necessários para manter a sustentabilidade agrônômica e econômica dos solos.

Os atributos físicos são fundamentais para: quantificar a degradação do solo (REYNOLDS et al., 2008), fornecendo informações para a estimativa da susceptibilidade do solo à erosão, proporcionando, assim estabelecer sistemas de manejo do solo e da água

Os solos são naturalmente heterogêneos e suas propriedades variam continuamente no espaço e no tempo (SOUZA, 2007), que, muitas vezes não é respeitada e os produtores tratam o mesmo de forma homogênea, acarretando em perdas da produção e produtividade (JOHANN et al., 2004).

Os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa

(SOUZA et al., 2004). Neste sentido, a variabilidade espacial das propriedades do solo deve ser bem conhecida, visando minimizar os erros na amostragem e no manejo do solo quanto a fertilização, irrigação, calagem entre outros (LIMA et al., 2006).

O emprego da geoestatística com o objetivo de identificar e avaliar a estrutura espacial de variáveis do solo introduz uma nova e importante dimensão para a análise da interação entre os atributos físicos do solo (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2008). A geoestatística também é responsável por estimar o valor do atributo em locais não amostrados, através da “krigagem”, facilitando a gestão dos recursos naturais, especialmente em bacias hidrográficas representativas no contexto pedológico e de uso do solo (GOMES et al., 2007). De acordo com Grego e Vieira (2005), a construção de mapas, através da krigagem, é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial, pois as informações visuais fornecidas pelos mapas servem de auxílio na tomada de decisões, em função das propriedades analisadas. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e a dependência espacial dos atributos físicos do solo, em dois tipos de solos com manejos e culturas diferentes, na profundidade de 0,00-0,15 m, através de métodos geoestatísticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC) da Universidade Federal do Ceará - UFC, no Município de Pentecoste - CE, distante 98 km da capital Fortaleza (Figura 1).

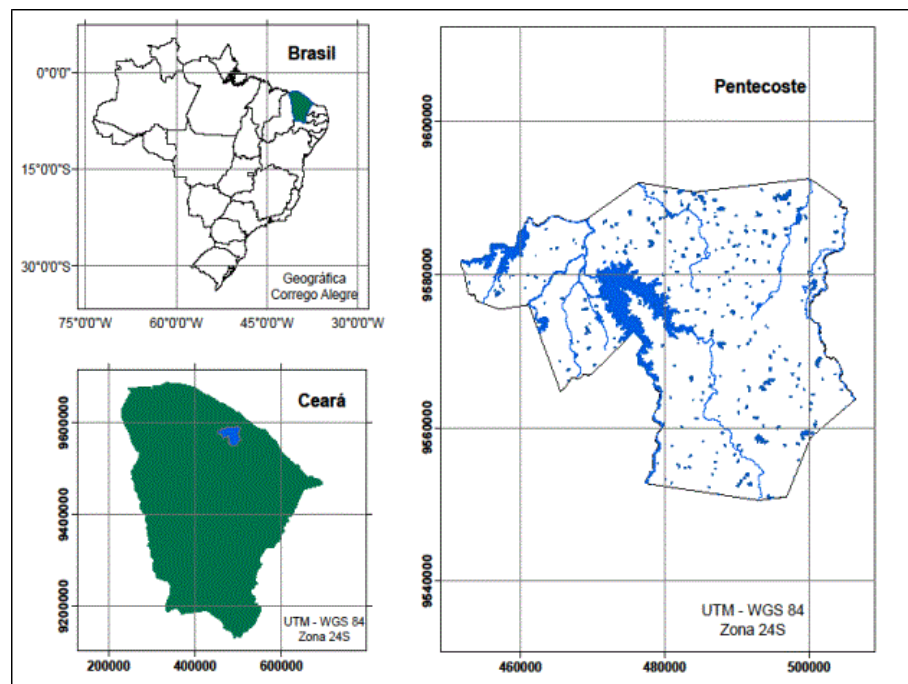


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é BSw'h', clima quente e semiárido com chuvas irregulares distribuídas entre os meses de fevereiro a maio. A precipitação média anual é de 801 mm e a temperatura média anual em torno de 27,1 °C, seguida de uma umidade relativa média do ar de 73,7%.

O solo da área é caracterizado por textura franca, classificado como Neossolo Flúvico, que segundo Andrade et al. (2010) apresenta como característica central sua origem associada à deposição de

sedimentos aluviais.

Foram selecionadas duas áreas, uma conduzida por sistema convencional com uma gradagem, por meio de um trator acoplado à sistemas de discos, (Área 1) correspondendo à gleba CT<sub>5</sub> (área preparada para o cultivo de milho e feijão em consórcio) e outra com cultivo mínimo com roçadora nas entrelinhas (Área 2), correspondendo às glebas CT<sub>4</sub>, DT<sub>4</sub>, AT<sub>5</sub> e BT<sub>5</sub> (destinada ao plantio de mangueiras e goiabeiras) ambas do Plano Sistematizado da Fazenda Experimental do Vale do Curú (Figura 2).

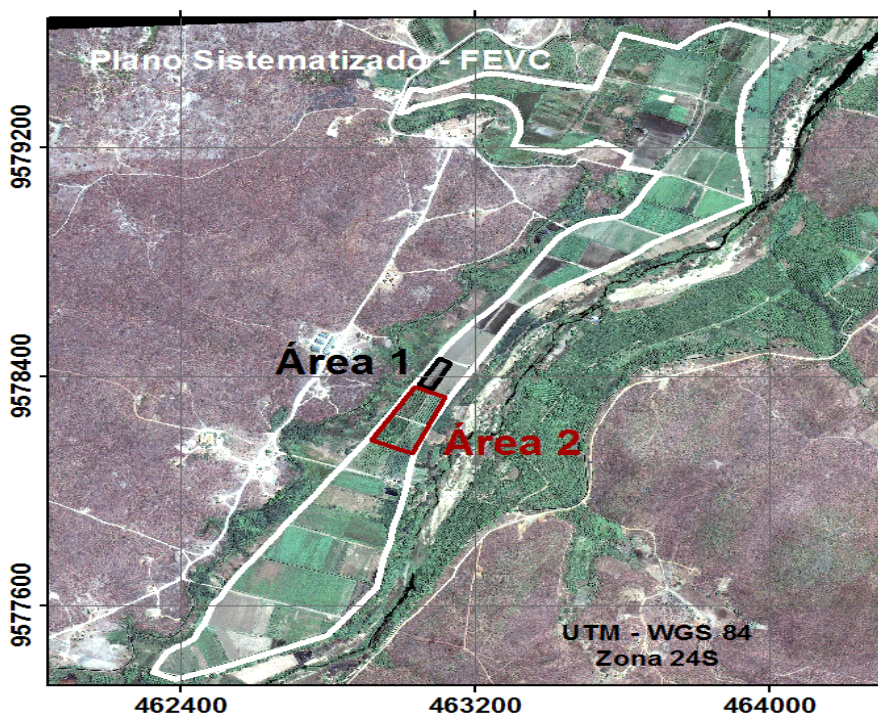


Figura 2. Sistematização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor (2011)

A área destinada à prática de gradagem do solo (Área 1), , representa, aproximadamente, 0,5 ha e foi preparada para o cultivo do milho e feijão em consórcio na profundidade de 0,30 m. O solo foi amostrado após a preparação para o cultivo das presentes culturas. Esse manejo é aplicado nesta área há mais de 10 anos.

A área com a prática de roçadora nas entrelinhas ocupa aproximadamente 2,3 ha (Área 2) e é destinada ao plantio de mangueiras e goiabeiras,. Nesta área, o manejo do solo é feito através de uma roçadora acoplada a um trator há 13 anos, não havendo revolvimento do solo.

A realização das coletas de solo ocorreu no mês de outubro de 2011, após o período chuvoso da região. Foram retiradas amostras de solo deformadas e indeformadas, numa malha regular de 15 x 15 m, na camada de 0,00-0,15 m de profundidade em 21 pontos na área 1 e 78 pontos na área 2 . Cada ponto coletado teve suas coordenadas UTM registradas.

As amostras foram submetidas a análise física do solo através dos seguintes atributos ou proprieda-

des: densidade do solo, micro e macroporosidade, resistência do solo à penetração, umidade gravimétrica do solo e análise granulométrica. Para a determinação de todos os atributos ou propriedades foi utilizada a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

A microporosidade foi determinada com os anéis volumétricos submetidos à tensão de 6kPa (60 cm de coluna de água) através da mesa de tensão.

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada através de um penetrômetro motorizado PNT-2000 até a profundidade de 0,15 m. Este atributo foi determinado no mesmo momento que foram retiradas as amostras de umidade do solo.

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, que consiste na pesagem anterior e posterior à secagem em estufa a 105 °C por 24h (EMBRAPA, 1997).

As frações granulométricas do solo (areia, argila e silte) foram determinadas em laboratório, de

acordo com metodologia da EMBRAPA (1997). A presente metodologia utiliza 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) (peneirada e seca em estufa) das amostras coletadas, 100 mL de água destilada e 10 mL de

NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, com agitação rápida (12.000 rpm) por 10 minutos. Para a obtenção de cada uma das frações, foram utilizadas as seguintes equações:

$$\text{Areia Total (\%)} = M_{AT} \times 5 \times \text{fator "f"} \quad (1)$$

$$\text{Argila Total (\%)} = [(M_A + \text{dispersante}) - (\text{dispersante})] \times 200 \times \text{fator "f"} \quad (2)$$

$$\text{Silte (\%)} = 100 - (AT + A) \quad (3)$$

Em que:

M<sub>AT</sub> = massa de areia total;

f = fator de umidade residual;

M<sub>A</sub> = massa de argila;

A = argila;

AT = areia total.

Os dados foram analisados através da estatística descritiva, mediante: média, desvio padrão, coeficiente de variância, valores máximos e mínimos, curtose e simetria, submetidos a um teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5% de significância. Nesta análise foram verificados os candidatos a *outliers*, valores extremos muito pequenos ou muito grandes, também conhecidos como pontos fora da curva. Estes valores foram comparados com seus vizinhos mais próximos, seguindo as recomendações de Li-

bardi e Melo Filho (2006), sendo excluídos quando apresentaram diferenças acentuadas.

Para caracterizar a variabilidade e a dependência espacial dos atributos do solo foi utilizada a geoestatística através de semivariogramas, mediante uso do programa GS+ Gamma Design Software (ROBERTSON, 1998). Os modelos de semivariogramas utilizados foram: modelo esférico (Eq. 4), modelo exponencial (Eq. 5) e modelo linear (Eq. 6).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } 0 \leq h \leq a; \quad (4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h > a;$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right] \text{ para } h \geq 0; \quad (5)$$

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} \text{ para } 0 \leq h \leq a \text{ e } \gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h > a \quad (6)$$

Em que:

C<sub>0</sub> = efeito pepita -

C<sub>1</sub> = variância estrutural

C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> = patamar

a = alcance

h = distância

A escolha do modelo de semivariograma que melhor descrevesse a variabilidade dos dados baseou-se na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla (R<sup>2</sup>) do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais.

Após selecionados os modelos, as características destes semivariogramas foram utilizadas para determinar e classificar a dependência espacial de cada atributo do solo. Para a análise do índice de dependência espacial (IDE) dos atributos do solo, foi utilizada a seguinte relação:

$$IDE = [C/(C_0 + C)]$$

entre a variância estrutural e o patamar, conforme critérios estabelecidos por Zimback (2001),

que considera a dependência espacial fraca (IDE ≤ 25%); moderado (25% < IDE < 75%) e forte (IDE > 75%).

Verificada a dependência espacial, foi escolhido o melhor modelo de semivariograma para confecção dos mapas de isolinhas, utilizando o software SURFER 8.0, através da interpolação dos dados, pelo método da krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise granulométrica, baseada no modelo de identificação de classes texturais proposto por Lemos e Santos (1984) (triângulo de classificação textural de solos), o solo das áreas é

classificado como de textura franca.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da estatística descritiva para cada atributo do solo estudado. A resistência mecânica do solo à penetração na área 2 apresentou o maior coeficiente de variância (56,04%), conferindo-o uma moderada variação, de acordo com critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980). Na área 1 o mesmo atributo apresentou o maior coeficiente de variação (CV) em relação aos demais atributos da presente área (29,90%), porém menor em relação ao mesmo atributo na área 2. Os altos valores de CV para este atributo pode estar associado à grande pontualidade que o mesmo representa (GUEDES FILHO, 2009), ou seja, grande variabilidade no solo (GREGO; VIEIRA, 2005).

A macroporosidade e a umidade do solo na área 2 também apresentaram um CV moderado (12% <CV<60%), resultado semelhante encontrado por Souza et al. (2001) para o atributo macroporosidade do solo, trabalhando em profundidades semelhantes e no mesmo tipo de solo. Na área 1 os atributos macroporosidade, areia e silte também apresentaram CV moderado.

A microporosidade e a densidade do solo apresentaram CV baixo para as duas áreas. Valores semelhantes de média e CV de microporosidade foram encontrados por Siqueira et al. (2009). Valores

semelhantes de CV de densidade do solo foram encontrado por Nagumo (2009), trabalhando em um Latossolo Vermelho Distrófico na mesma profundidade e manejo do solo.

A macroporosidade apresentou valores médios baixos nas duas áreas (6,4 e 5,4% respectivamente para as áreas 1 e 2), ficando abaixo de valores estabelecidos por Susuki et al. (2007) e Amaro Filho et al. (2008) como limitantes para o desenvolvimento radicular das culturas, 10%. A densidade do solo apresentou uma média abaixo de 1,5 g.cm<sup>-3</sup> para as duas áreas selecionadas, considerado valor limitante para a maioria das culturas (SOUZA et al., 1997). A resistência à penetração apresentou uma média relativamente alta na área 2 (2,42 Mpa), considerando valores críticos estabelecidos por Susuki et al (2007) em 2,0 Mpa, concordando com valores encontrados por Grego e Vieira (2005) e Abreu et al. (2003). Valores próximos de Resistência à Penetração para a profundidade de 0,00 à 0,15 m, foram encontrados por Souza et al. (2006) para a mesma umidade do solo e mesmo tipo de manejo. Na área 1 o mesmo atributo apresentou média baixa, o que pode ser explicada pela maior umidade do solo na camada mais superficial e pela pontualidade do presente atributo, citado anteriormente.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos físicos em um Neossolo Flúvico submetido a dois sistemas de usos e manejo do solo, em Pentecoste, Ceará, 2011.

Variável	Média	Med	Máx	Mín.	DP	CV (%)	Assimetria	Curtose	p< 0,05
Gradagem									
Micro (%)	45,4	44,5	53,5	39,2	4,10	9,03	0,753	-0,209	0,0935*
Macro (%)	6,4	6,2	9,4	3,3	1,85	28,8	-0,025	-1,375	0,2415*
D <sub>s</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	1,44	1,44	1,60	1,31	0,07	5,02	-0,062	0,743	0,1297*
RP (MPa)	0,68	0,68	1,13	0,40	0,20	29,90	0,762	0,348	0,3104*
Areia (%)	35	36	46	23	7,06	20,34	-0,252	-1,136	0,1933*
Argila (%)	25	25	29	20	2,23	8,99	-0,369	0,308	0,7722*
Silte (%)	40	39	51	31	5,55	13,70	0,389	-0,803	0,3657*
Umidade do solo (%)	21,8	21,3	25,9	19,2	1,75	8,04	0,807	0,183	0,2120*
Roçadora nas entrelinhas (Área 2 – CT <sub>4</sub> , DT <sub>4</sub> , AT <sub>5</sub> e BT <sub>5</sub> )									
Micro (%)	40,83	40,68	51,64	31,50	4,04	9,91	-0,016	-0,246	0,8519*
Macro (%)	5,39	5,08	11,43	2,68	1,89	35,08	1,015	0,736	0,0004
D <sub>s</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	1,42	1,44	1,72	1,01	0,15	10,69	-0,743	0,325	0,0072
RP (MPa)	2,42	1,90	5,60	0,77	1,35	56,04	0,845	-0,521	2E10-6
Areia (%)	42,7	42,8	53,8	31	4,65	10,90	-0,119	-0,285	0,4308*
Argila (%)	22,0	21,8	26,5	16,9	2,04	9,27	0,094	-0,207	0,0345
Silte (%)	34,9	35	45,4	27,4	3,84	10,99	0,220	-0,228	0,6351*
Umidade do solo (%)	17,8	16,8	36,2	6,3	6,43	36,08	0,596	-0,021	0,0309

\* possui distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de significância. Med. = mediana, Máx. = número máximo, Mín. = número mínimo, DP = desvio padrão, CV (%) = coeficiente de variância.

Através dos gráficos “boxplot” (Figuras 3, 4, 5 e 6) foi possível identificar candidatos a *outliers*, o que, poderia prejudicar a análise dos dados, caso não fossem removidos. Verificou-se a presença de *outli-*

*ers* para alguns atributos físicos, sendo excluídos quando apresentaram diferenças acentuadas, seguindo as recomendações de Libardi e Melo Filho (2006).



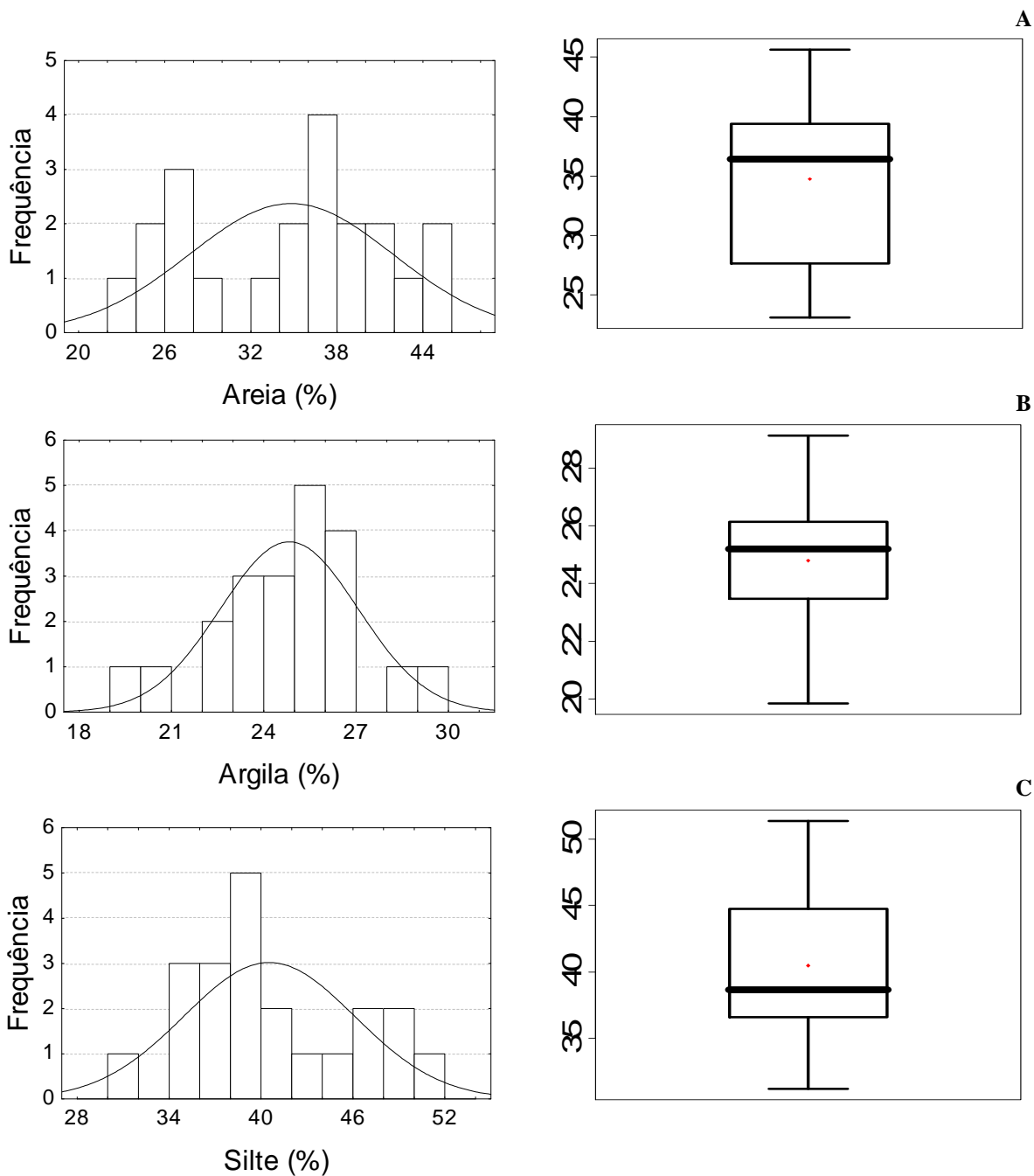
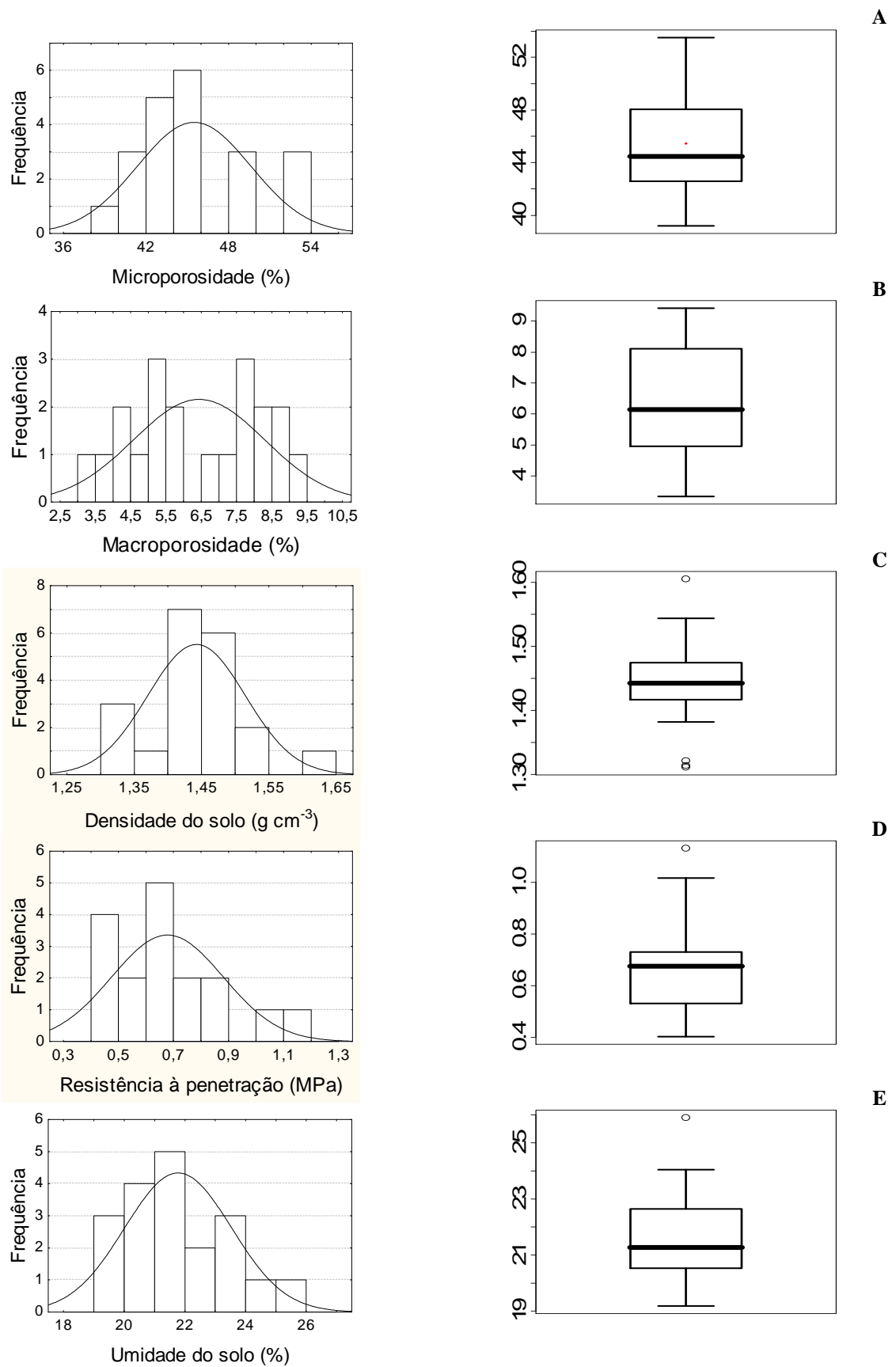
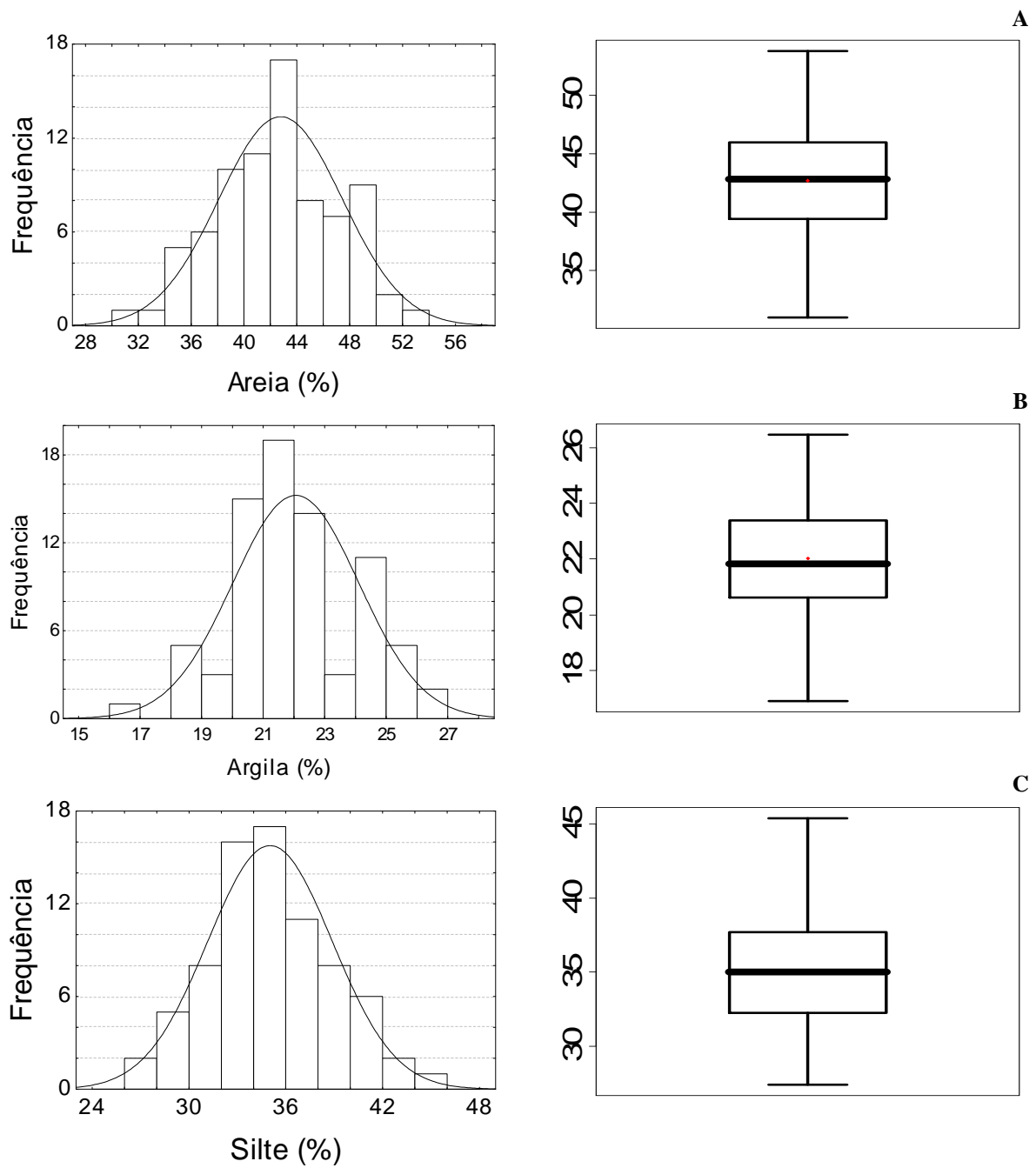


Figura 3. Histograma e gráfico Box-plot das texturas areia (a), argila (b) e silte (c) na área 1.

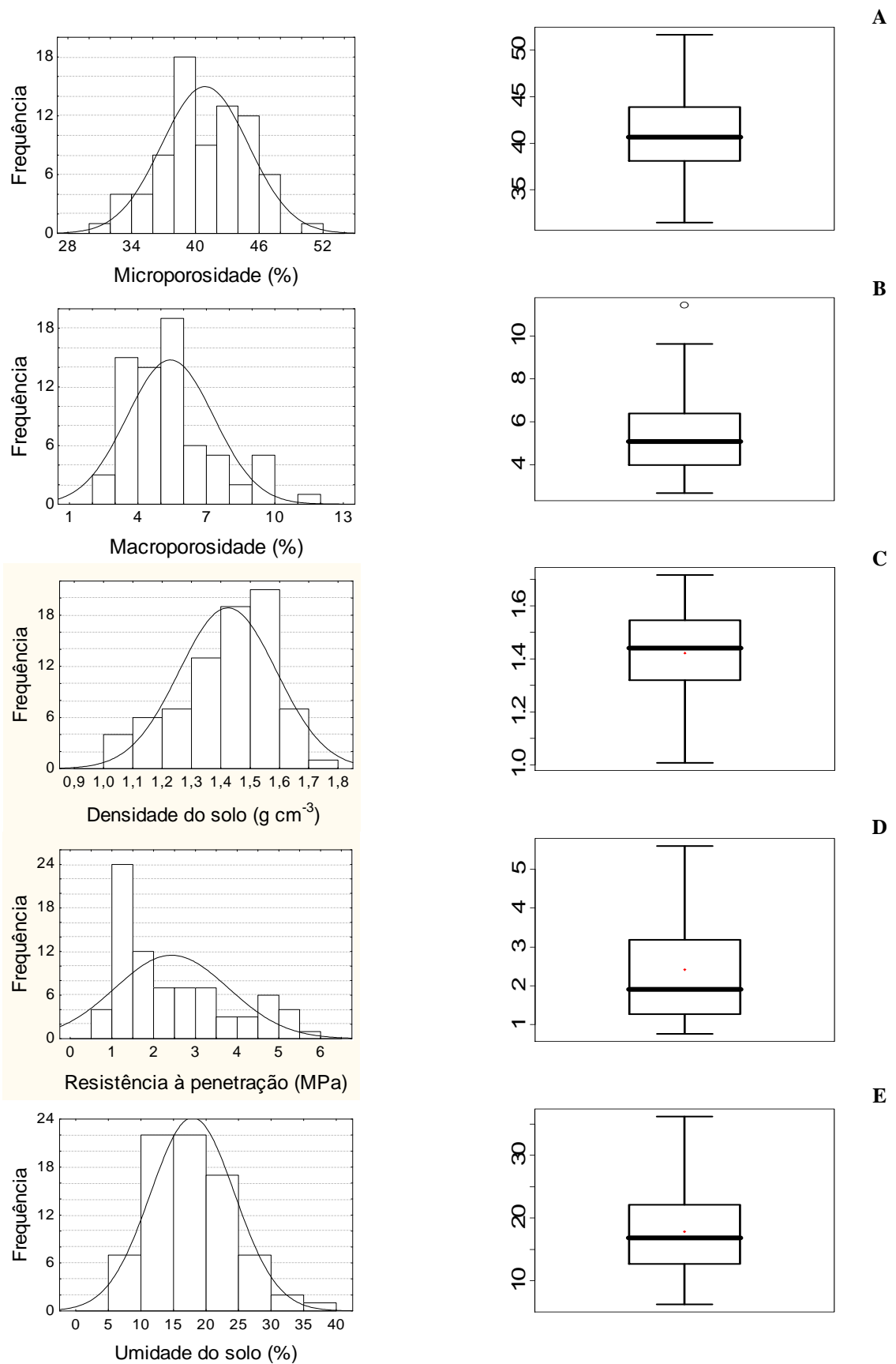


**Figura 4.** Histograma e gráfico Box-plot dos atributos micro (a), macro (b), densidade do solo (c), resistência à penetração (d) e umidade do solo (e) na área 1.



**Figura 5.** Histograma e gráfico do tipo Box-plot para os atributos micro (a), macro (b), densidade do solo (c), resistência à penetração (d) e umidade do solo (e) na área 2.





**Figura 6.** Histograma e gráfico do tipo Box-plot para os atributos micro (a), macro (b), densidade do solo (c), resistência à penetração (d) e umidade do solo (e) na área 2.

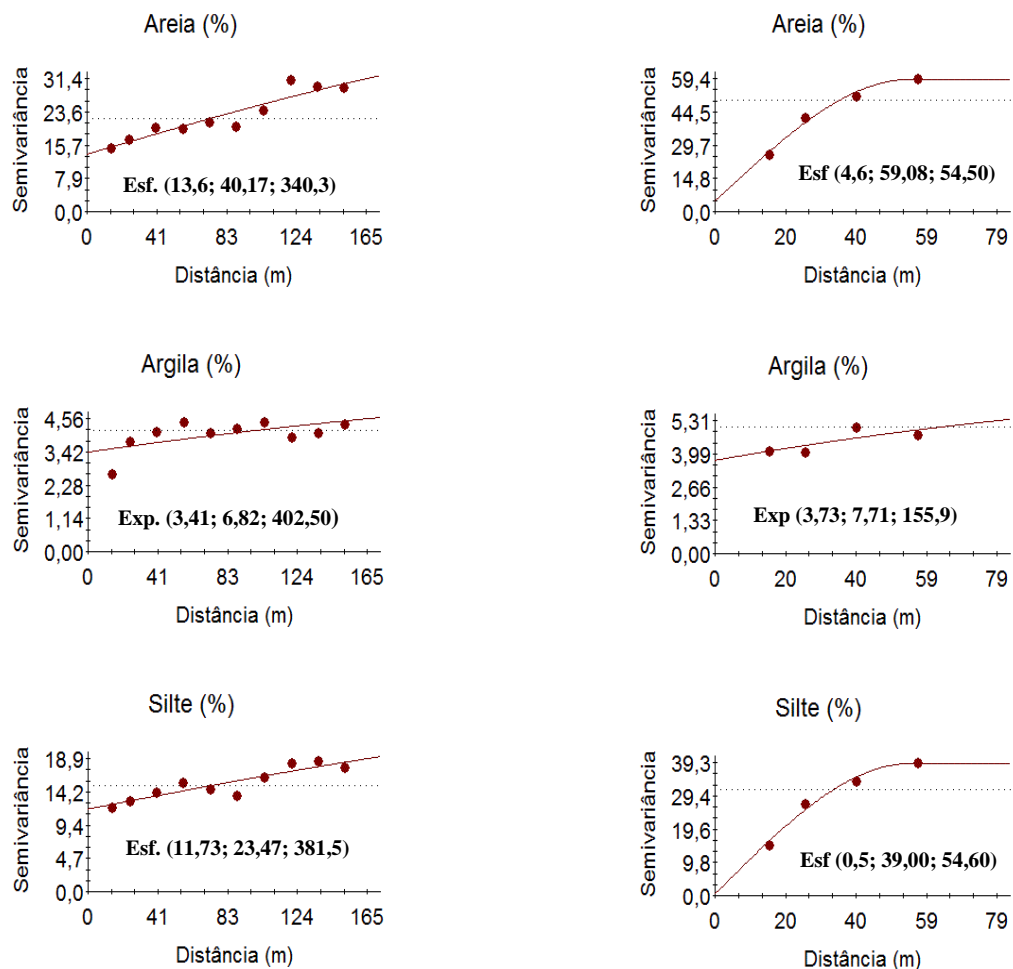
A macroporosidade na área 2 apresentou o maior número de *outliers*, oito no total. Verificou-se que mesmo após a remoção dos *outliers*, este atributo apresentou uma distorção em seu gráfico “boxplot” bem como uma tendência à não normalidade dos dados. A resistência mecânica do solo à penetração na área 2 não apresentou *outliers*, porém apresentou uma grande distorção em seu gráfico “boxplot” e distribuição não normal.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os semivariogramas experimentais e respectivos modelos ajustados para as percentagens de areia, argila e silte e os demais atributos físicos do solo na área estudada.

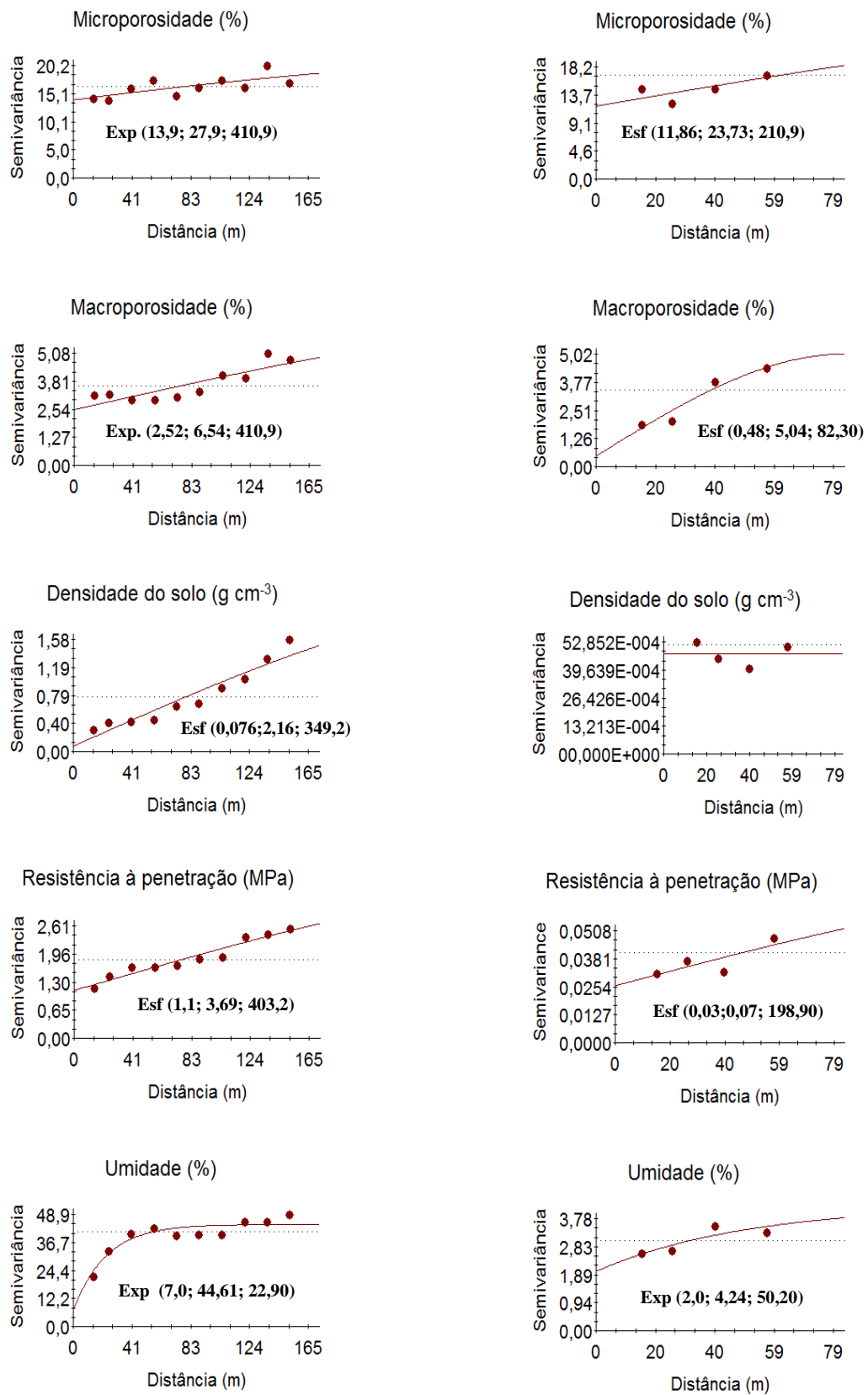
Todos os atributos apresentaram dependência espacial, exceto a densidade do solo na área 1. Essa ausência de estrutura de dependência espacial na densidade do solo nesta área pode ser explicada pelo

reduzido número de pontos coletados, apenas 21. Esta malha de pontos coletados se deu em função da pequena área estudada (0,5 ha) em relação à área 2 (2,3 ha). A densidade do solo também apresentou efeito pepita puro em Siqueira et al. (2009), onde os mesmos concluíram que a baixa malha de amostragem foi uma possível causa da aleatoriedade desse atributo no solo.

O modelo de semivariograma, executado mediante uso do programa GS+ Gamma Design Software (ROBERTSON, 1998), que melhor se ajustou à maioria dos atributos estudados foi o esférico, predominante nos trabalhos em ciência do solo, sendo encontrado também o exponencial (SIQUEIRA et al., 2009; SOUZA et al., 1997; JUNQUEIRA JÚNIOR, 2008).



**Figura 7.** Semivariograma da areia, argila e silte do sistema de manejo de roçadora entrelinhas (esquerda) e gradagem (direita).



**Figura 8.** Semivariograma da micro, macro, densidade do solo, resistência à penetração e umidade do solo do sistema de manejo de roçadora entrelinhas (esquerda) e gradagem (direita).

Na tabela 2 encontram-se os parâmetros dos semivariogramas ajustados e os respectivos modelos. Os atributos densidade do solo e umidade do solo na área 2 e macroporosidade, areia e silte na área 1 apresentaram forte dependência espacial de acordo com critérios estabelecidos por Zimback (2001). Os demais atributos apresentaram moderada dependência, exceto a densidade do solo na área 1 que apresentou efeito pepita puro.

Os valores de alcance variaram de 22,9 a 410,9 m. O conhecimento do alcance permite o delineamento de futuras amostragens assumindo as mesmas condições do estudo presente (CARVALHO et al., 2003). Neste sentido, conforme visto anteriormente, o atributo densidade do solo não apresentou estrutura de dependência espacial, indicando que a distância de amostragem (15 m) foi inferior ao alcance.

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste dos modelos de semivariogramas e respectivos graus de dependência espacial para os atributos do solo estudados.

Atributos do solo	$C_0$	$C_0 + C$	Alcance	GD (%)	Modelo
Roçadora nas entrelinhas					
<b>Micro</b>	13,9	27,99	410,9	50,0	Exponencial
<b>Macro</b>	2,52	6,54	410,9	61,5	Esférico
<b><math>D_s</math></b>	0,076	2,16	349,2	96,5	Esférico
<b>RP</b>	1,11	3,69	403,2	69,9	Esférico
<b>Areia</b>	13,6	40,17	340,3	66,2	Esférico
<b>Argila</b>	3,41	6,82	402,5	50,0	Exponencial
<b>Silte</b>	11,73	23,47	381,5	50,0	Esférico
<b>U. no solo</b>	7,0	44,61	22,90	84,3	Exponencial
Gradagem					
<b>Micro</b>	11,86	23,73	210,90	50,0	Esférico
<b>Macro</b>	0,48	5,04	82,30	90,5	Esférico
<b><math>D_s</math></b>	-	-	-	-	EPP
<b>RP</b>	0,03	0,07	198,90	63,0	Esférico
<b>Areia</b>	4,6	59,08	54,50	92,2	Esférico
<b>Argila</b>	3,73	7,71	155,9	51,7	Exponencial
<b>Silte</b>	0,50	39,00	54,60	98,7	Esférico
<b>U. no solo</b>	2,00	4,24	50,20	52,80	Exponencial

EPP = Efeito pepita puro;  $D_s$  = densidade do solo; RP = Resistência mecânica do solo à penetração;  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0 + C$  = patamar; GD = grau de dependência espacial; micro = microporosidade; macro = macroporosidade.

Após ser feita a interpolação dos dados, foi confeccionado os mapas de isolinhas, conforme ilustrado na Figura 9. Observa-se valores altos de resistência à penetração na parte superior da área 2, local onde se concentra o menor umidade do solo. Enquanto que para a área 1, os valores altos de resistência mecânica à penetração se encontram na parte inferior, coincidindo com a o local de menor concentração de água no solo.

Verifica-se certa relação entre esses dois atri-

butos. De acordo com Guedes Filho (2009), a resistência mecânica à penetração é mais afetada pela umidade do solo no momento da amostragem, do que pela densidade do solo.

Na parte superior da área 2 verifica-se maior quantidade de macroporos e menores valores de densidade do solo. A mesma relação aconteceu na área 1. Nos locais com baixos valores de densidade do solo verificou-se altos valores de macroporos, uma vez que possuem estreita relação.

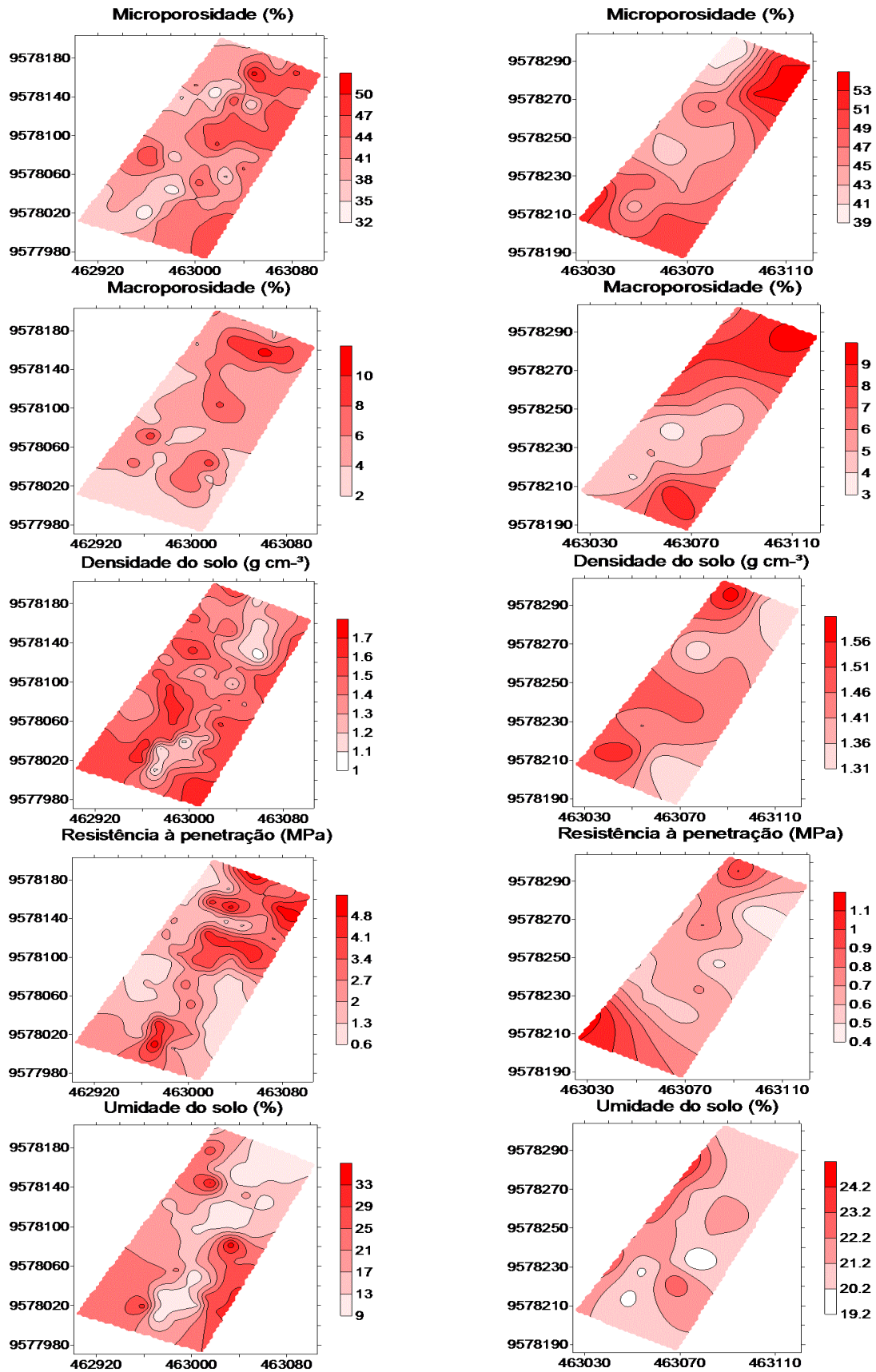


Figura 9. Mapa de isolinhas para os atributos físicos na área com manejo de roçadora entrelinhas (lado esquerdo) e na área com manejo de gradagem (lado direito) em um Neossolo Flúvico na Fazenda de Pentecoste, 2011.

## CONCLUSÕES

O solo apresentou variabilidade, e estrutura de dependência espacial em quase todos os atributos estudados, exceto a densidade do solo para manejo com gradagem do solo.;

A geoestatística foi capaz de identificar a variabilidade e dependência espacial dos atributos físicos do solo estudado, sendo importante seu uso em ciências agrárias;

Com exceção da densidade do solo na área 1, os demais atributos apresentaram estrutura de dependência espacial;

O solo da área 2 apresentou uma estruturação um pouco compactada, uma vez que verificou-se altos valores de resistência à penetração, mesmo o solo em condições favoráveis de umidade, mostrando um selamento natural do solo, condição de restrição para o crescimento das raízes.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L. de et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em argissolo franco arenoso sob plantio direto. **Ciência Natural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo**: Conceitos e aplicações. Fortaleza: UFC, 2008. 485 p.
- ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**: Uma proposta de uso adequado do capital natural. Fortaleza: UFC, 2010. 408 p.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- GOMES, et al. Métodos de ajustes e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 435-443, 2007.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.
- GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 2009. 114f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2009.
- JOHANN, J. A. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 212-219, 2004.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. et al. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de Cabeceira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 914-922, 2008.
- LIBARDI, P. L.; MELO FILHO, J. F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.
- LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 192-199, 2006.
- MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.
- NAGUMO, C. H. **Variabilidade espacial e temporal de parâmetros hídricos do solo em culturas de soja e aveia-preta sob sistema semeadura direta**. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2009.
- REYNOLDS, W. et al. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 2008.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences**. Version 5.1. [S.l.]: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho eutroférrico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 751-759, 2009.
- SOUZA, E. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico**

**cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina.** 2007. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.1, p. 367-372, 1997.

SOUZA, Z. M. et al. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

SUSUKI, L. E. A. S. et al. Grau de Compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em latossolo e argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

VIANA, E. T. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties the soil. In: HILL, D. (Ed.) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.