



Distribuição espacial de atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar¹

Spatial distribution of soil physical attributes of the area with sugarcane crop

Milton César Costa Campos^{2*}, Ivanildo Amorim de Oliveira³, Renato Eleotério de Aquino⁴, Anderson Cristian Bergamin⁵, Diogo André Pinheiro da Silva⁶

Resumo - O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é essencial para a tomada de decisão das práticas de manejo a serem adotadas numa determinada área de cultivo e assim, estabelecer um plano amostral adequado. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial dos atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em uma área de aproximadamente 10,5 ha que vem sendo cultivada com cana-de-açúcar há mais de cinco anos sob Cambissolo Háplico Alítico plântico na região de Humaitá, na região Sul do Amazonas. Na área de cultivo foi delimitada uma malha de 70 x 70 m, com intervalos regulares de 10 m, perfazendo um total de 64 pontos de amostragem. Foram coletadas amostras de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m, totalizando 128 amostras, para a determinação da textura, densidade de partícula, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística. O teor de argila, a macroporosidade, a porosidade total e a densidade de partículas na profundidade de 0,0 - 0,20 m apresentam alcances menores que 10 m. As técnicas geoestatísticas apresentam-se como ferramentas eficientes nos estudos dos atributos físicos do solo em cultivo de cana-de-açúcar.

Palavras-chave - Dependência espacial. Geoestatística. Atributos do solo.

Abstract - Knowledge of soil attributes is essential in the decision process of management practices which are to be chosen and adopted in the harvesting area cultivation and thus establish a sampling plan appropriate. The purpose of this study was to evaluate the spatial distribution of the physical soil composition of the area intended for sugar cane crop. The study was conducted in an area of approximately 10.5 ha has been cultivated with sugar cane for more than five years under Cambisol in the Humaita region, in the southern Amazon. An exclusive area of 70 x 70 was chosen, and the grid had intervals of 10 m apart, totalling 64 sampling points. Soil samples were collected from depths varying from 0.0 to 0.20 and 0.40 to 0.60 m, totaling 128. This was aiming to determine soil texture, particle density, bulk density, macro and microporosity, total porosity. The data was analysed by descriptive statistics and geostatistics. Clay content, macroporosity, total porosity and particle density in depths from 0.0 to 0.20 m ranging smaller than 10 m. Geostatistical techniques are presented as powerful tools in soil physical attributes studies of sugar cane crops.

Key words - Geostatistics. Soil attributes. Spatial dependence.

*Autor para correspondência

¹Projeto de Pesquisa financiado pela FAPEAM.

Enviado para publicação em 23/02/2013 e aprovado em 21/08/2013

²Professor Adjunto III, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, UFAM, Humaitá - AM, Brasil, mcesarsolos@gmail.com

³Doutorando da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil, ivanildoufam@gmail.com

⁴Mestrando da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal - SP, Brasil, aquino.rea@gmail.com

⁵Professor Adjunto I, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, UFAM, Humaitá - AM, Brasil, andersonbergamin@hotmail.com

⁶Acadêmico de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente UFAM, Humaitá - AM, Brasil, andredioogo@hotmail.com

Introdução

O uso indiscriminado das terras agricultáveis para a produção vegetal e animal tem causado a perda da fertilidade natural e da qualidade física do solo. Nesse sentido, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é fundamental para a tomada de decisão das técnicas de manejo a serem adotadas numa determinada área, e assim, estabelecer um plano amostral adequado (SOUZA *et al.*, 2006). Segundo Campos *et al.* (2012), a variabilidade dos atributos do solo é decorrente da anisotropia em nível de campo, pois fenômenos como fluxos de massa e energia, reações químicas e transformações mineralógicas, nem sempre, são satisfatoriamente quantificadas por meio de análises tradicionais.

Além disso, para Souza *et al.* (2003) e Souza *et al.* (2004 a, b), as pequenas alterações do relevo também são causadoras de variações nos atributos do solo, podendo ter expressão no tempo e no espaço. Assim, estudar a variabilidade espacial do solo torna-se importante, visto que, em agricultura, informações sobre a estrutura do solo são fundamentais para o entendimento dos atributos físicos e hídricos e com base nessas informações fazer inferências sobre as práticas de manejo do solo e das culturas (ASSIS; LANÇAS, 2005), pois a não observância desses conceitos poderá ocasionar erros na amostragem e no manejo do solo.

Dessa forma, várias tecnologias são levadas a campo visando à utilização de sistema de manejo que considere a variabilidade espacial de fatores ligados à produção das culturas e atributos do solo (GOOVAERTS, 2001). Dentre essas tecnologias, pode-se destacar o uso e as aplicações de técnicas geoestatísticas, que se baseia na teoria das variáveis regionalizadas. Para Campos *et al.* (2009), os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo fornecem informações importantes para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas do solo e das culturas, visto que, o desenvolvimento das plantas tende a acompanhar a distribuição espacial e a variação de nutrientes no solo.

Mediante ao exposto e a importância econômica da cultura da cana-de-açúcar justificam os estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo (JOHNSO; RICHARD, 2005). Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a distribuição espacial dos atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar.

Material e métodos

A área de estudo localiza-se no município de Humaitá, na região sul do Estado do Amazonas, possuindo

as coordenadas geográficas de 7°30'24" S e 63°04'56" W. A região apresenta relevo aproximado ao do tipo "tabuleiro", com desníveis muito pequenos e, bordos ligeiramente abaulados. Essas terras mais altas constituem os divisores topográficos de água entre os rios da região. O desnível dessas zonas mais elevadas e os vales dos igarapés, é da ordem de 15 a 29 m, ocorrendo, entretanto, de maneira súbita (BRAUN; RAMOS, 1959).

Com relação à geologia, a área estudada localiza-se sob área formada a partir de sedimentos aluviais indiferenciados ou antigos, que são cronologicamente oriundos do Holoceno. Os sedimentos desta formação são advindos de dois ciclos de sedimentação: a) bancos arenosos, inferiores, que representam a sedimentação plúvio-fluvial; e b) sedimentos argilosos superiores, indicando sedimentação lacustrina. A região apresenta uma vegetação de contato entre campos e florestas, que se caracteriza por áreas que incluem várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa e se alterna com pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN; RAMOS, 1959).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27°C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Foi realizado o mapeamento de uma área de aproximadamente 10,5 hectares que vem sendo cultivada com cana-de-açúcar há mais de cinco anos, sendo a colheita da cana queimada realizada manualmente. O solo da região é um Cambissolo Háptico Alítico plíntico, segundo Campos (2009), esse solo é predominante nas áreas de campo alto na região Sul do Amazonas. Nesta área foi estabelecida uma malha de 70 x 70 m, com espaçamentos regulares de 10 metros, sendo as amostragens realizadas nos pontos de cruzamento da malha, perfazendo um total de 64 pontos. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e logo em seguida foram coletadas amostras de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m, totalizando 128 amostras. A coleta foi realizada no segundo semestre (setembro) de 2011.

Foram realizadas análises granulométricas do solo pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação rápida por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A densidade de partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Para as determinações da densidade e espaço poroso do solo, foram coletadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos nas duas profundidades estudadas. Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel e realizado o procedimento para obtenção da microporosidade pelo método da mesa de tensão, conforme descrito em Embrapa (1997). Após a determinação da microporosidade, as amostras foram levadas à estufa a 105-110°C, por 48 horas, para determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A porosidade total e a macroporosidade foram obtidas como proposto em Embrapa (1997).

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e teste de normalidade. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, utilizando o aplicativo computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística (VIEIRA *et al.*, 1983). Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado por:

$$IC_K = \log_{10} \left(\frac{D_{np,K}}{D_{dn,K}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\overline{W}_K \cdot \overline{S}_K \cdot \sqrt{A_K}}{\sum_{i=K,n_K} \frac{d_i}{W_i \cdot S_i}} \right) \quad (1)$$

onde: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 ; e o alcance, a). Os modelos de semivariogramas foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano, sendo ajustados pelo aplicativo computacional GS+ 8.0 (ROBERTSON, 1998).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos físicos do solo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), em que são considerados de dependência espacial forte, os semivariogramas com efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Quando se obteve mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi escolhido o de maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada e o de melhor coeficiente de determinação (R^2).

Resultados e discussão

Os resultados referentes à análise descritiva para os atributos físicos do solo são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Os valores de média e mediana se encontram próximos para os atributos granulométricos nas duas profundidades estudadas, mostrando que estes dados seguem uma distribuição simétrica, corroborando assim, com estudos realizados por Campos *et al.* (2007a) com variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem.

O teor médio da fração argila foi maior na profundidade de 0,40-0,60 m (323,27 g kg⁻¹) quando comparado à profundidade de 0,00-0,20 m (284,93 g kg⁻¹). Por outro lado, os teores médios de silte e areia foram mais elevados na profundidade de 0,00-0,20 m, com 474,49 g kg⁻¹ para a fração silte e 240,57 g kg⁻¹ para a fração areia, concordando com Campos *et al.* (2010) que estudou atributos físicos e químicos de solos na região de Humaitá, AM. De acordo com Brasil (1978) os elevados teores de silte devem-se a natureza aluvial dos sedimentos da região.

Seguindo a classificação do coeficiente de variação (CV), proposta por Warrick e Nielsen (1980), os valores de CV quando < 12%, 12% < CV < 60% e > 60%, indicam variabilidade baixa, moderada e alta, respectivamente, sendo assim, os valores de silte e argila na camada de 0,0-0,20 m, e o silte na camada de 0,40-0,60 m apresentaram baixos coeficiente de variação (CV), indicando baixa variabilidade dos dados (Tabela 1), concordando com os valores encontrados por Eguchi *et al.* (2001).

O teor de areia nas duas profundidades e argila na profundidade 0,40-0,60 m apresentaram CV mediano, o que indica moderada variabilidade, semelhante aos resultados encontrados por Souza *et al.* (2003), estudando as influências do relevo na variação espacial dos atributos do solo na região de Jaboticabal, SP.

Os resultados de densidade do solo, densidade de partículas e do espaço poroso do solo apresentaram valores de média e mediana próximos, evidenciando, desta forma distribuições simétricas (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Campos *et al.* (2007b), em estudos de dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodosolo da zona da mata de Pernambuco.

Para os atributos físicos do solo verificou-se CV baixo para todas as variáveis estudadas, exceção feita para a macroporosidade que apresentou coeficiente de variação moderado (Tabela 2), corroborando com resultados encontrados por Berner *et al.* (2007), que estudou atributos físicos e químicos em Cambissolo.

Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero (Tabelas 1 e 2), para os atributos

Tabela 1 - Estatística descritiva da textura do solo (g kg^{-1}) nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM

Estatística	Atributos Granulométricos					
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	Profundidade (m)					
	0,00 - 0,20 m			0,40 - 0,60 m		
Média	240,57	474,49	284,94	209,02	467,71	323,27
Mediana	240,43	467,29	287,98	214,04	471,90	321,94
Mínimo	156,50	387,46	202,12	104,52	356,00	201,36
Máximo	352,66	550,59	347,68	332,97	558,00	453,92
DP1	43,50	34,60	28,45	47,15	40,15	41,53
Variância	1892,99	1197,17	809,59	2223,45	1610,53	1725,46
CV%2	18,08	7,29	9,98	22,55	8,58	12,48
Curtose	0,15	-0,51	1,10	0,20	-0,02	1,55
Assimetria	0,28	-0,09	-0,83	0,15	-0,12	0,08
d(3)	0,06	0,10	0,09	0,06	0,07	0,12

⁽¹⁾DP= Desvio Padrão; ⁽²⁾CV= Coeficiente de Variação; ⁽³⁾d= teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 2 - Estatística descritiva da macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds) e densidade de partícula (Dp) na profundidade de 0,0 – 0,20 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM

Estatística Descritiva	Atributos físicos do solo					
	Macro	Micro	Pt	Ds	Dp	
		%			kg dm^{-3}	
Média	7,00	29,15	36,15	1,26	2,69	
Mediana	6,00	29,23	35,33	1,28	2,70	
Mínimo	0,47	21,26	31,83	1,05	2,35	
Máximo	21,93	34,26	50,22	1,50	3,03	
DP ⁽¹⁾	4,17	19,84	32,58	0,08	0,14	
Variância	17,39	3,94	10,62	0,01	0,02	
CV ⁽²⁾	59,50	6,80	9,01	6,71	5,29	
Curtose	2,03	3,22	4,51	0,59	-0,47	
Assimetria	1,32	-0,87	1,64	-0,22	-0,20	
d ⁽³⁾	0,14	0,07	0,12	0,11	0,08	

¹DP= Desvio Padrão; ²CV= Coeficiente de Variação; ³d= teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

físicos estudados, o que caracteriza distribuição simétrica, justificados pelos valores de média e mediana concordando com Campos *et al.* (2007a), que avaliou a variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. Com exceção da macroporosidade, microporosidade e porosidade total que apresentaram valores de coeficiente de curtose mais elevado, mostrando que estas variáveis não seguem a curva padrão de distribuição.

O teste de normalidade ou teste Kolmogorov-Smirnov indicou distribuição normal para todos os atributos estudados (Tabelas 1 e 2). Entretanto de acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que, no gráfico de distribuição normal, o atributo não apresente extremidades da distribuição muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. Para Souza *et al.* (2004a), mais importante que a normalidade dos dados é

a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados sejam constantes na área em estudo, ou seja, ocorre a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística.

Os valores das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo se encontram nas Tabelas 3 e 4 e estão representados nas Figuras 1 e 2. Excetuando-se o silte e a microporosidade, todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas.

O modelo exponencial ajustou-se aos dados de quase todos os atributos estudados com exceção da argila (0,40-0,60 m) (Tabela 3 e Figura 1 F) e densidade do solo que se ajustaram ao modelo esférico (Tabela 4 e Figura 2 D). Segundo Grego e Vieira (2005), o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo sendo estes resultados confirmados por Corá e Beraldo (2006) que estudaram modelos de ajuste

do semivariograma para os atributos do solo e relataram que os modelos esférico e exponencial são os mais encontrados.

O efeito pepita (C_0) representa a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (SOUZA *et al.*, 2004b; ASSIS; LANÇAS, 2005). Dos atributos físicos estudados, somente o silte (0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m) e a microporosidade apresentaram efeito pepita puro (Tabelas 3 e 4; Figuras 1 e 2). Estes resultados também foram observados por Passos *et al.* (2002).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), onde valores de DE (dependência espacial) menores que 25% são considerados dependência espacial forte, valores de DE entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de DE maiores que 75% dependência espacial fraca. A análise da

Tabela 3 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas da textura do solo nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM

Parâmetro	Atributos Granulométricos					
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	Profundidade (m)					
	0,00-0,20 m			0,40 – 0,60 m		
Modelo	³ Exp.	⁴ EPP	⁵ Esf.	Exp.	EPP	Esf.
Efeito pepita	422,00	-	105,37	447,00	-	439,29
Patamar	1317,58	-	498,80	1632,00	-	791,59
Alcance	21,00	-	6,90	11,50	-	32,50
¹ R ²	0,86	-	0,84	0,97	-	0,87
² DE	88,00	-	78,00	72,00	-	44,00

¹R² = coeficiente de determinação; ²DE= grau de dependência espacial; ³Exp. = exponencial; ⁴EPP = Efeito Pepita Puro; ⁵Esf. = esférico;

Tabela 4 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas da macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) na profundidade de 0,0 – 0,20 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM

Parâmetro	Atributos físicos do solo				
	Macro	Micro	Pt	Ds	Dp
Modelo	³ Exp.	⁴ EPP	Exp.	⁵ Esf.	Exp.
Efeito pepita	5,13	-	0,01	0,00	0,01
Patamar	8,35	-	0,01	0,00	0,01
Alcance	8,80	-	5,80	61,50	7,00
¹ R ²	0,76	-	0,60	0,95	0,94
² DE	38,00	-	70,00	43,00	66,00

¹R² = coeficiente de determinação; ²DE= dependência espacial; ³Exp. = exponencial; ⁴EPP= efeito pepita puro; ⁵Esf. = esférico.

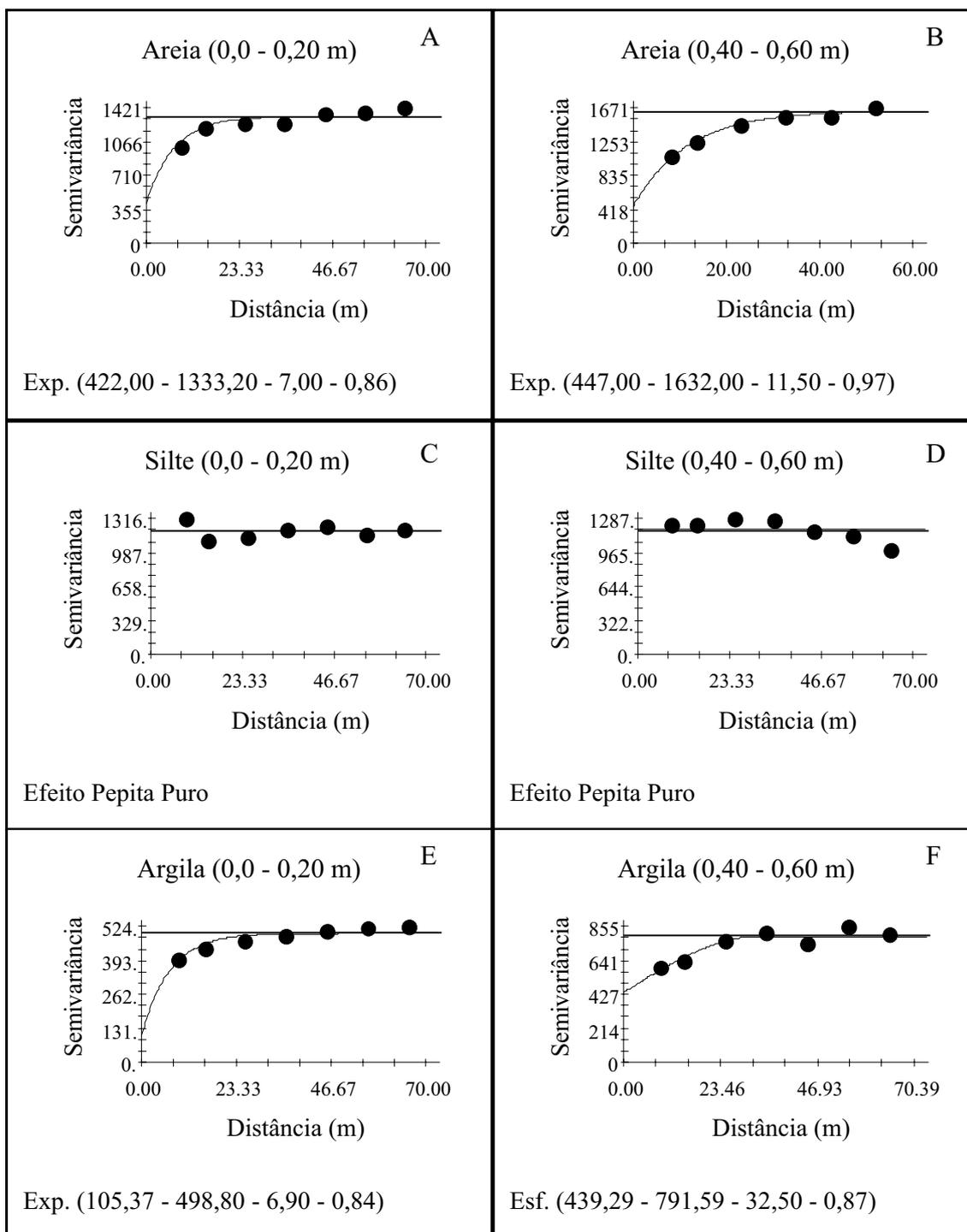


Figura 1 - Semivariograma da textura do solo (silte, argila e areia) nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM. Esf.; Exp. (C_0 ; $C_0/(C_0+C_1)$; R^2 ; a). Esf = Modelo Esférico; Exp = Modelo Exponencial; C_0 = efeito pepita; $C_0/(C_0+C_1)$ = dependencia espacial; R^2 = coeficiente de determinação; a = alcance

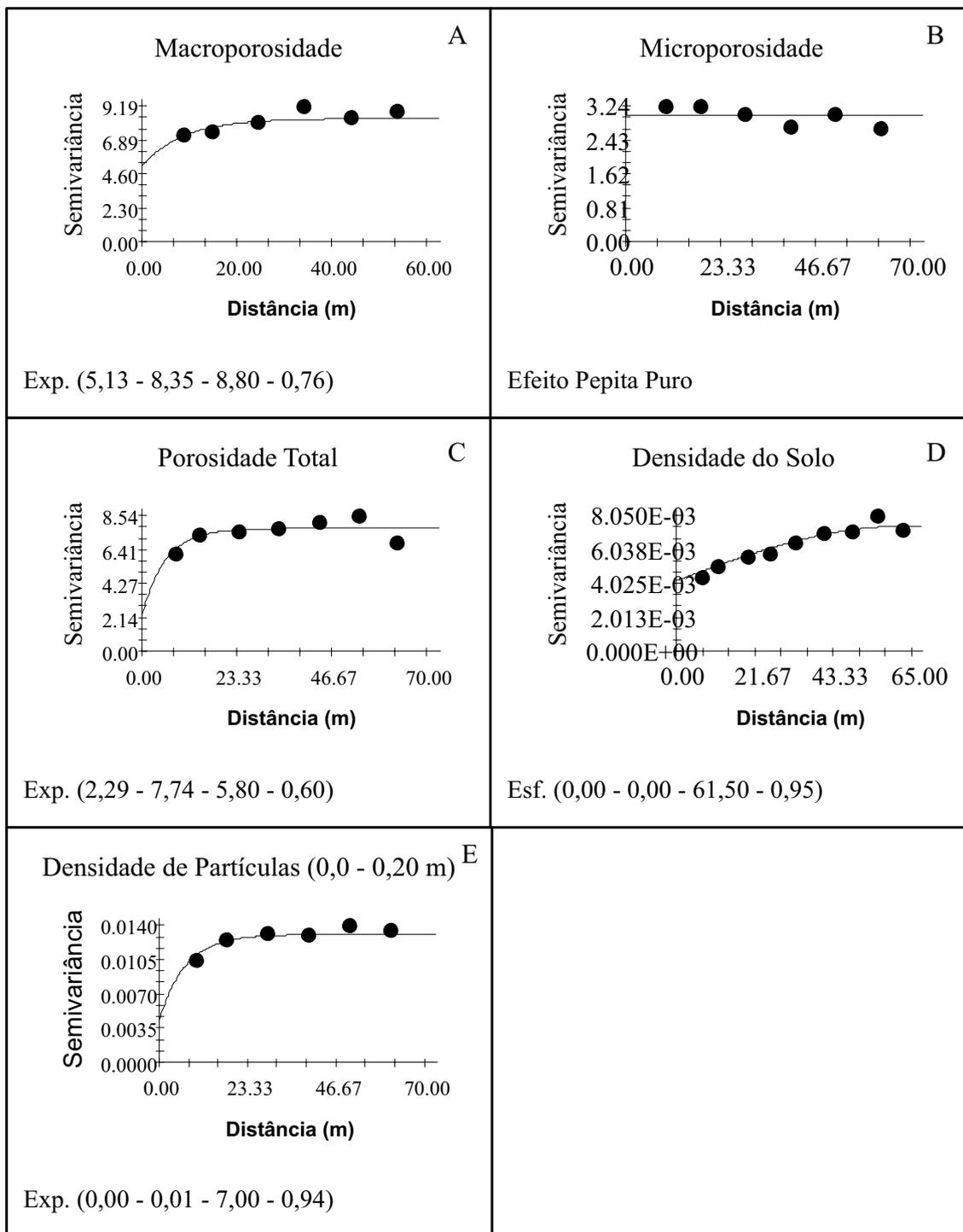


Figura 2 - Semivariograma da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e densidade de partículas na profundidade 0,0 – 0,20 m em área cultivada com de cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM. Esf.; Exp. (C_0 ; $C_0/(C_0+C_1)$; R^2 ; a). Esf = Modelo Esférico; Exp = Modelo Exponencial; C_0 = efeito pepita; $C_0/(C_0+C_1)$ = dependencia espacial; R^2 = coeficiente de determinação; a = alcance.

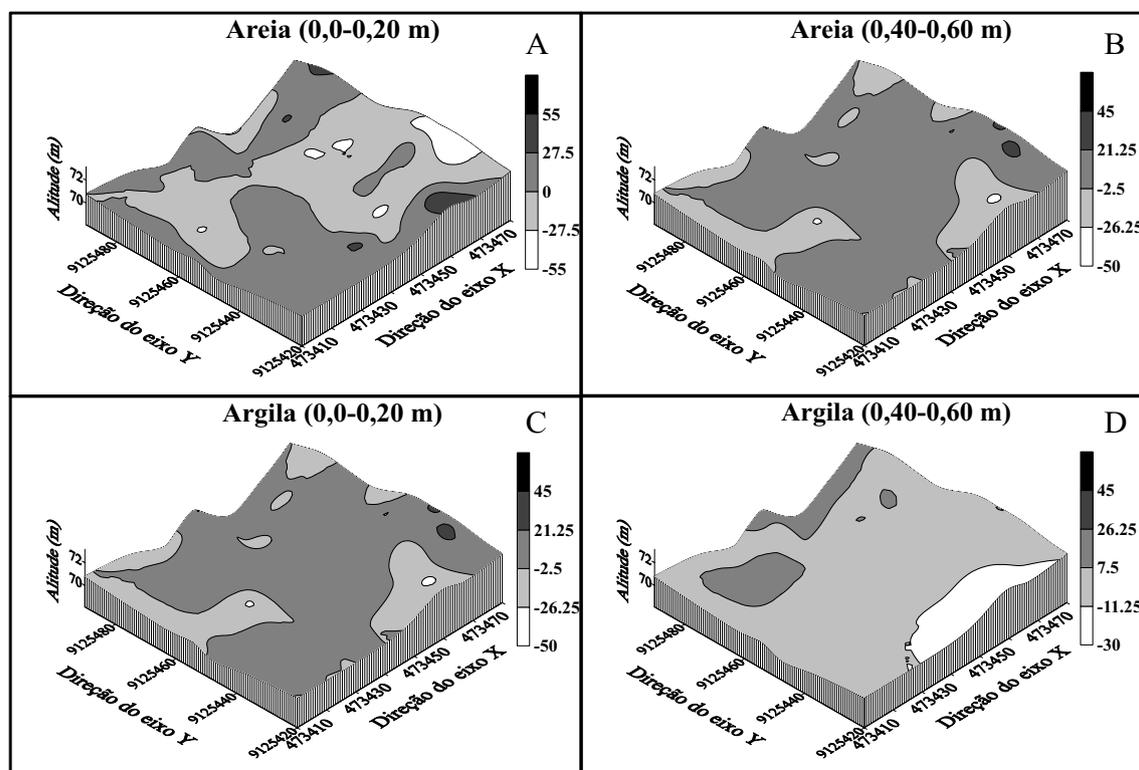


Figura 3 - Mapas de krigagem dos teores de argila e areia do solo nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em área cultivada com de cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM

DE mostrou que os atributos físicos do solo em estudo na sua maioria apresentaram moderada dependência espacial, com exceção da argila e areia na profundidade 0,0 – 0,20 m (Tabelas 3 e 4), sendo ideal para essas variáveis, o adensamento da malha de amostragem.

Os atributos físicos do solo estudados apresentaram diferentes valores de alcance (Tabelas 3 e 4 e Figuras 1 e 2), e estes foram superiores ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem para as variáveis, indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas e, assim, há continuidade na distribuição espacial dos atributos físicos do solo em cultivo de cana-de-açúcar, o que permite que se faça interpolações (VIEIRA, 2000). Com exceção da argila na profundidade de 0,0 – 0,20 m, da macroporosidade, Pt e Dp que apresentaram valores de alcance menores do que o espaçamento usado na malha, com 6,90 m, 8,80 m, 5,80 m e 7,00 m, respectivamente.

Segundo Mello *et al.* (2007) o conhecimento do alcance é importante na definição da ótima intensidade de amostragem, visando reduzir o esforço de trabalho e o erro-padrão da média, além de, aumentar a representatividade

da amostra. Vieira *et al.* (2007) recomendam um intervalo entre pontos amostrais superior ao dobro do alcance da dependência espacial, o que, associado ao número de pontos amostrais estimado pela estatística clássica, permite maximizar a eficiência da amostragem.

Os mapas de krigagem dos atributos físicos do solo são representados nas Figuras 3 e 4. Houve correlação entre as frações granulométricas, onde os teores de argila e areia apresentaram correlação negativa nas duas profundidades (Figura 3), resultados semelhantes foram observados por Eguchi *et al.* (2001).

Analisando os mapas de krigagem da macroporosidade, porosidade total, densidade do solo e densidade de partículas (Figura 4), foi observada distribuição espacial semelhante entre os atributos macroporosidade e densidade do solo, pois os maiores valores de macroporosidade se encontram concentrados nos menores valores de densidade do solo, e assim, pode-se inferir que esses atributos apresentam correlação negativa, como também observado por Bergamin *et al.* (2010).

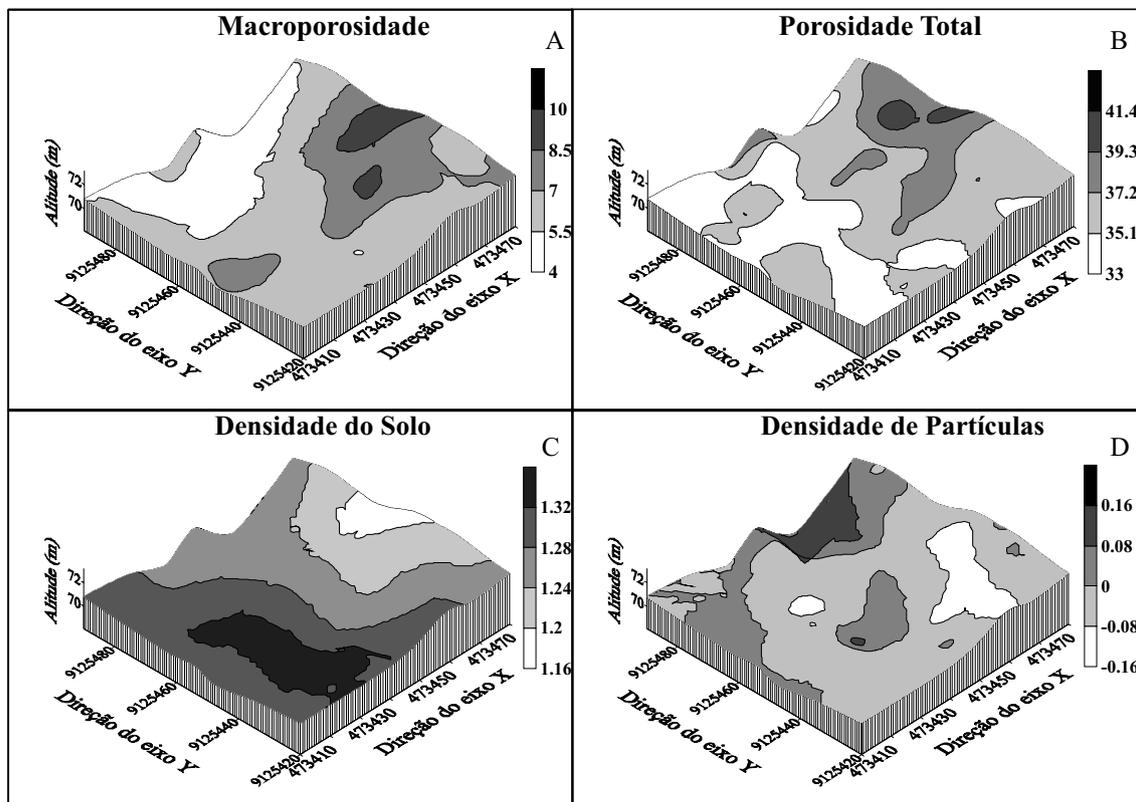


Figura 4 - Mapas de krigagem da macroporosidade, porosidade total, densidade do solo e densidade de partículas na profundidade 0,0 – 0,20 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM.

Conclusões

O teor de argila, a macroporosidade, a porosidade total e a densidade de partículas na profundidade de 0,0 – 0,20 m apresentam alcances menores que 10 m.

As técnicas geoestatísticas apresentam-se como ferramentas eficientes nos estudos dos atributos físicos do solo em cultivo de cana-de-açúcar.

Literatura científica citada

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, p.515-522. 2005.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A., SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3 p.681-691. 2010.

BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.5, p.837-844. 2007.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RadamBrasil, folha SB. 20, Purus**. Rio de Janeiro. 561 pp. 1978.

BRAUN, E. H. G.; RAMOS, J. R. A. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**, v.21, n.02, p.443-497. 1959.

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. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, n.5, 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@mbiente On-line**, v.6, n.1, p.09-16, 2012.

- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, p.527-535. 2010.
- CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada à ambiente amazônico do Médio Rio Madeira**. 2009. 260p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. 1997.
- CAMPOS, M. C. C.; FERRAZ, F. B.; FREITAS, E. V. S.; SOUZA, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um espodossolo da zona da mata de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.84-91. 2007b.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; SIQUEIRA, D. S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.3, p.149-157. 2007a
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.297-304. 2009.
- CORA, J. E.; BERVALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.374-387. 2006.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e a densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.4, p.242-246. 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212pp.
- GOOVAERTS, P. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science. **Geoderma**, v.103, n.1-2, p.3-36. 2001.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.169-177. 2005.
- JOHNSON, R. M.; RICHARD, E. P. Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p.760-771. 2005.
- MELLO, C. R.; GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. Modelagem de atributos físico-hídricos do solo numa bacia hidrográfica da região do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.845-852. 2007.
- MINITAB. Release 14.1. **Statistical Software**. US/Canada. 2000.
- PASSOS, E.; CARVALHO, M.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**, v.24, n.6, p.1353-1361. 2002.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Michigan USA. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.486-495. 2003.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.51-58. 2004a.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, v.34, n.2, p.249-256. 2006.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedoforma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.9, n.1, p.1-11. 2004b.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos Ciência do Solo** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.1 p.1-54. 2000.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R. E BIGGAR, J. W.; Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.1. p.1-75. 1983.
- VIEIRA, V. A. S.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1477-1485. 2007.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Application of soil physics. New York: Academic Press. p. 319- 324. 1980.