



Revista Agrarian

ISSN: 1984-2538

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro

Spatial variability of soil chemical attributes and cotton yield

Anamari Viegas de Araujo Motomiya¹, Wagner Rogerio Motomiya², José Paulo Molin³, Alexander Lira⁴, José Rodolfo Guimarães Di Oliveira⁵, Guilherme Augusto Biscaro¹

¹ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias (FCA). Rod. Dourados - Itahum, km 12, CEP 79800-000, Dourados, MS.

E-mail: anamarimotomiya@ufgd.du.br

² Monsanto do Brasil Ltda, Departamento de Regulamentação – Rolândia, PR– Brasil

³ Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP), Piracicaba, SP – Brasil

⁴ Engenheiro Agrônomo, Naviraí, MS

⁵ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (FCAV), Jaboticabal, SP

Recebido em: 21/10/2010

Aceito em: 22/03/2011

Resumo. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a variabilidade espacial da fertilidade do solo e produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var latifolium Hutch) em uma lavoura comercial, em um Latossolo Vermelho Distrófico localizado em Chapadão do Céu, Goiás, Brasil. Foi estabelecido esquema de amostragem em intervalos regulares de 100 m. Os dados de produtividade foram coletados em células amostrais de 3,60 m². A variabilidade espacial dos atributos do solo e produtividade do algodoeiro foi descrita utilizando os parâmetros do semivariograma obtidos pela análise geoestatística. Foi verificado, em média, que os valores de pH e V% encontravam-se relativamente baixos, enquanto os teores de P e K podem ser classificados como altos. As correlações espaciais diferiram entre as variáveis. A variável P apresentou fraca dependência espacial, Mg apresentou forte e as demais variáveis foram moderadamente dependentes espacialmente. Os dados da variável CTC foram ajustados ao modelo exponencial e os dados das demais variáveis foram ajustados ao modelo esférico, com exceção da variável K, que apresentou efeito pepita puro. Os valores de alcance de dependência espacial variaram de 222 m para Mg a 452 m para P e de 191 m para a produtividade.

Palavras-chave. Dependência espacial, *Gossypium hirsutum* L, Geoestatística

Abstract. The study was accomplished to study the spatial variability of soil chemical attributes and cotton yield (*Gossypium hirsutum* L. var latifolium Hutch) in a commercial farm in a Distroferric Latosol (Oxisol), located in Chapadão do Céu, Goiás, Brazil. A regular square sampling grid of 100 m was established and yield and soil cores to a depth of 20 cm were collected. Yield data were collected in cell samples of 3.60 m². The spatial variability of soil attributes and cotton yield was described using the semivariogram parameters obtained by geostatistical analysis. It was found on average that the pH values and base saturation was relatively low, while levels of P and K in soil showed high values. Spatial correlations differed of soil attributes. Soil P was weakly correlated, while Mg and cotton yield presented strong spatial dependence and the other variables were moderately spatially dependent. The data of variable CEC was adjusted to exponential model and the other attributes were adjusted to the spherical model, except K, that presented pure nugget effect. The range values of spatial dependence of soil attributes varied from 222 m for Mg to 452 m for P, as well as 191 m for yield.

Keywords. Spatial dependence; *Gossypium hirsutum* L; Geostatistic



Introdução

Apesar de tradicionalmente os produtores fazerem aplicação de insumos de maneira uniforme, as lavouras normalmente apresentam áreas com diferentes potenciais de produtividade. A agricultura de precisão é uma estratégia de manejo do solo e das culturas que busca fazer o melhor uso de insumos, tais como fertilizantes e defensivos, considerando a heterogeneidade das lavouras. Atrelado à economia ou uso mais eficiente de insumos, a agricultura de precisão apresenta importância para a preservação ambiental. A utilização racional de insumos vai além do propósito de obter lucro ou evitar prejuízos, haja vista que possibilita um controle da quantidade de insumos que estão sendo lançados ao meio ambiente. A aplicação de doses mais precisas de fertilizantes, por exemplo, permite que a planta tenha à sua disposição a quantidade de nutrientes que ela realmente necessita, sem excessos ou faltas, e que esta possa, então, expressar ao máximo seu potencial produtivo.

Para Molin (2001) o manejo regionalizado do solo e das culturas é viável se ocorrem manchas na lavoura e, conforme haviam comentado Mulla & Schepers (1997), sem variabilidade, o conceito de agricultura de precisão tem pequeno significado e nunca teria sido desenvolvido. Pierce & Nowak (1999) salientaram a necessidade de se descrever claramente as propriedades e processos que afetam significativamente o desenvolvimento vegetal de acordo com o seu ambiente biofísico e o sistema de produção.

Segundo Mclaughlin & Lapen (2007) e Pierce & Nowak (1999), o sucesso da agricultura de precisão requer o delineamento de zonas de manejo apropriadas, definidas sobre diferentes propriedades do solo medidas espacialmente, tais como topografia, textura, condutividade elétrica e teor de nitrogênio no solo.

Dentre as espécies cultivadas no cerrado brasileiro, o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) merece destaque tanto pelo volume e valor da produção quanto pela elevada utilização de insumos como corretivos e fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e reguladores de crescimento. O sistema de produção adotado no cerrado é considerado de alta tecnologia e a mecanização se faz presente da sementeira à colheita. Segundo Carvalho & Chiavegato (1999), as mudanças no

sistema de produção do algodoeiro devem ser acompanhadas pelo constante monitoramento, adoção e adequação de tecnologias apropriadas, melhorando a qualidade das operações e propiciando maior rentabilidade. O mapeamento da fertilidade do solo e produtividade do algodoeiro podem auxiliar na definição de unidades de gerenciamento do solo e da cultura uma vez que haja suficiente variabilidade que permita a alocação variável de insumos e práticas agrícolas.

Métodos geoestatísticos e krigagem são comumente usados para gerar mapas a partir de dados pontuais. Johnson et al. (2002) obtiveram diferentes modelos de correlação espacial em propriedades do solo e produtividade de fibra de algodão. Eles observaram que o pH, P disponível e matéria orgânica do solo foram correlacionados com a produtividade de fibra e algumas propriedades de qualidade de fibra, tais como micronaire e porcentagem de fibras imaturas.

Iqbal et al. (2005) observaram que propriedades físicas de um solo aluvial cultivado com algodoeiro, como textura e condutividade hidráulica, apresentaram variabilidade espacial diferenciada entre horizontes e que a variância estrutural foi maior do que o efeito pepita, o que tem implicações para o manejo regionalizado, como irrigação, aplicação de adubo nitrogenado e sementeira em taxa variada.

Este trabalho teve por objetivos estudar a variabilidade espacial da fertilidade do solo e produtividade do algodoeiro em uma lavoura comercial.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido em uma lavoura de algodão (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch), numa área de 90 hectares., pertencente à Fazenda Planalto, Município de Chapadão do Céu/GO (52° 41' W; 18° 28' S). A área vem sendo cultivada com culturas anuais (soja, milho e algodão) em rotação, no sistema que na região é considerado como semi direto. O solo da área de estudo pertence à classe Latossolo Vermelho Distrófico, textura média (Embrapa, 2006). A região apresenta altitude média de 814m, com relevo predominantemente suave, com declividades médias variando de 1 a 2%.

A área, com dimensões de 1.000 m x 900 m, foi dividida em uma malha com espaçamento regular de 100 m entre pontos, ao longo de 11

transeções paralelas com 900 m de comprimento e equidistantes de 100 m, formando um retângulo com 10 colunas e 11 linhas, constituindo 110 pontos de amostragem. A amostragem de solo foi realizada após a colheita da cultura do algodão, na camada de 0 - 20 cm, com trado tipo holandês, tomando-se cinco amostras simples para compor a amostra composta. Foram determinados analiticamente valores de pH do solo, teores de P, K, H + Al, Ca e Mg. Para a coleta dos dados de produtividade, realizou-se a colheita manual do algodão em caroço em uma célula amostral de 3,60 m², formada por duas linhas de 2,0 m, espaçadas de 0,9 m entre si.

Os dados foram submetidos à análise estatística, sendo determinadas as medidas estatísticas média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequência dos dados. A análise de dependência espacial foi realizada através do ajuste de modelos ao semivariograma experimental, de acordo com a teoria das variáveis regionalizadas (TVR), utilizando-se o programa GEOSTAT (Vieira et al., 2002). A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor coeficiente de determinação (R²) e menor soma de quadrados do residuo (SQR). Vieira (2000) recomendou o procedimento de autovalidação “jack-knifing” para verificar o erro da estimativa dos parâmetros ajustados nos

modelos. Nessa técnica, em que cada um dos valores medidos é interpolado pelo método da krigagem, elimina-se sucessivamente, durante o cálculo, o valor a ser estimado. Em seguida procede-se ao estudo dos erros. Assim, é possível fazer estimativas com diferentes modelos ajustados aos semivariogramas, e nesse caso, essa técnica pode ser comparada a uma análise de sensibilidade dos parâmetros ajustados ao semivariograma.

Uma vez verificada a dependência espacial, foi realizada a krigagem para estimar valores em locais não amostrados, sem tendência e com variância mínima. A partir da krigagem, foram gerados mapas de distribuição espacial das variáveis estudadas.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise estatística descritiva. Os valores do pH indicaram que a reação do solo está ligeiramente ácida, o que pode limitar a produtividade da cultura. Em consequência, os valores da saturação por bases, em média, também apresentaram-se relativamente baixos, apresentando uma grande amplitude, variando de 28 a 77%. A relação Ca:Mg manteve-se próxima a três, sendo considerada adequada para a cultura (Alvarez et al., 1999).

Tabela 1. Resultados da estatística descritiva dos dados de produtividade do algodoeiro e atributos do solo.

Variável	N	Média	Variância	CV	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	D
pH CaCl2	110	4,84	0,06	5,0	4,50	6,30	2,91	13,13	0,26
Al	110	0,036	0,003	147,7	0	0,20	1,11	0,22	0,52
Ca	110	2,93	0,23	16,2	2,10	5,10	1,51	4,19	0,13 ^{ns}
Mg	110	1,04	0,05	22,0	0,70	2,50	2,79	14,99	0,17
H+Al	110	6,49	1,02	15,5	2,40	8,50	-1,31	2,82	0,19
K	110	0,44	0,01	16,7	0,29	0,79	1,18	4,34	0,10 ^{ns}
P	110	12,34	7,33	21,9	7,70	25,30	1,84	5,87	0,13 ^{ns}
SB	110	4,41	0,48	15,7	3,17	8,07	1,87	7,12	0,13 ^{ns}
CTC	110	10,91	0,31	5,1	9,10	12,10	-0,49	0,49	0,06 ^{ns}
CTC _{ef}	110	4,45	0,44	15,0	3,40	8,10	2,07	8,22	0,16
V%	110	40,65	56,76	18,5	28,00	77,00	1,85	5,61	0,15
Produtividade	103	4995	1,27E+05	7,1	4164	5758	-0,035	-0,529	0,04

N= número de observações; CV= coeficiente de variação; D=teste de normalidade; ns= não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (p<0,05)

Staut & Kurihara (2001) apresentaram os níveis de interpretação de fósforo e potássio na análise de solo para a cultura do algodão. Em média, os teores de P e K apresentaram-se altos na

área de estudo. Mesmo considerando a amplitude entre valores máximos e mínimos, os níveis de fertilidade encontram-se de médios a altos, resultado da utilização de insumos e do alto



retorno que a cultura apresenta à utilização de tecnologias. Entretanto, os dados sugerem que um estudo detalhado da fertilidade na área poderá proporcionar uma redução na aplicação de fertilizantes em alguns pontos, onde o nível já está alto ou muito alto. Conforme Raij (1991), quando o teor do nutriente no solo ultrapassa o nível ótimo, a aplicação de fertilizantes pode ter efeito depressivo sobre a produtividade da cultura.

Wilding & Drees (1983) propuseram uma classificação do CV de diversas propriedades do solo. Segundo esta classificação, observa-se que pH e CTC apresentaram baixa variabilidade ($CV < 15\%$). Resultados semelhantes foram obtidos por Corá et al. (2004) e Silva et al. (2007). As demais propriedades foram moderadamente variáveis ($15\% < CV < 35\%$). Vários autores, entretanto, observaram valores de CV elevado para P e K (Corá et al., 2004; Cavalcante et al., 2007; Montanari et al., 2008).

A dependência espacial dos atributos solo e produtividade do algodoeiro foi estudada através da análise de semivariogramas (Tabela 2). O exame dos semivariogramas revelou que a variável K apresentou efeito pepita puro, ou seja, ausência de dependência espacial no espaçamento adotado. Para as demais variáveis, o espaçamento amostral utilizado foi adequado para verificar a dependência espacial. Os dados da variável CTC foram ajustados ao modelo exponencial e os dados das demais variáveis foram ajustados ao modelo esférico. Vários autores têm obtido melhores ajustes usando o modelo esférico exponencial (Corá et al., 2004; Montanari et al., 2008). A semivariância nos modelos exponencial e esférico aumenta com a distância entre as amostras até um valor constante (patamar ou semivariância total) a uma dada distância de amostragem (alcance).

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados dos atributos do solo e produtividade do algodoeiro.

	Modelo	C_0	C_1	GDE	A (m)	R_2	RMS
pH CaCl ₂	esf	0,023	0,022	48,3	283,1	0,57	0,003
Al	esf	0,001	0,002	55,7	250,0	0,82	0,000
Ca	esf	0,088	0,105	54,3	271,3	0,52	0,016
Mg	esf	0,010	0,034	77,3	222,8	0,41	0,005
H+Al	esf	0,239	0,638	72,7	300,0	0,82	0,041
K				Efeito pepita puro			
P	esf	5,235	1,468	21,9	452,5	0,58	0,249
SB	esf	0,136	0,271	66,6	247,5	0,50	0,038
CTC	exp	0,127	0,177	58,3	300,0	1,00	0,016
CTCef	esf	0,133	0,241	64,5	245,1	0,48	0,035
V	esf	21,188	25,947	55,0	289,0	0,99	3,318
Produtividade	esf	329854,6	1050350	76,1	191,43	0,59	73823,2

C_0 : efeito pepita; C_1 : variância estrutural; a: alcance; R^2 : coeficiente de determinação; RMS: raiz quadrada do erro médio; GDE: grau de dependência espacial.

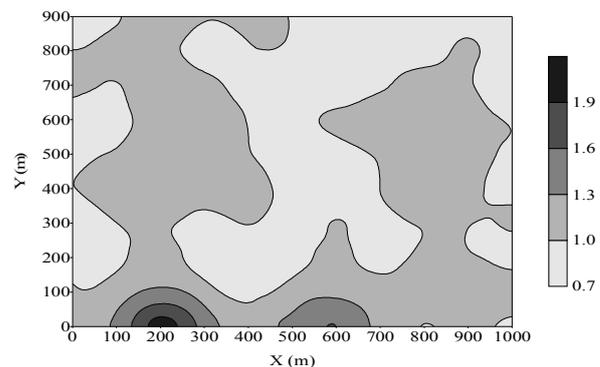
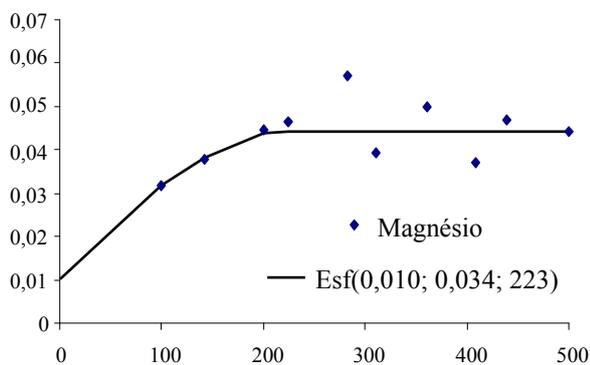
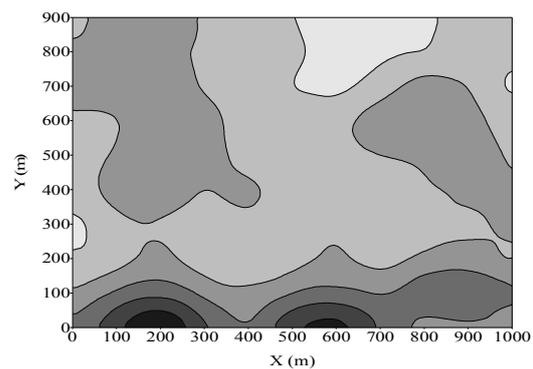
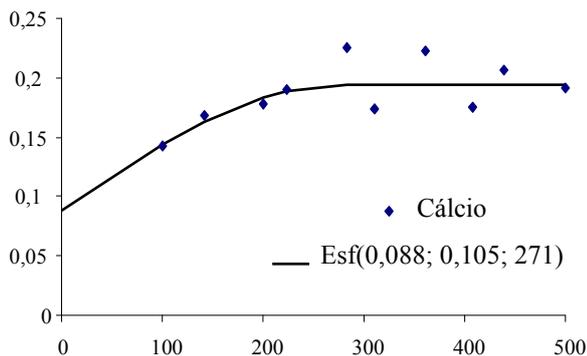
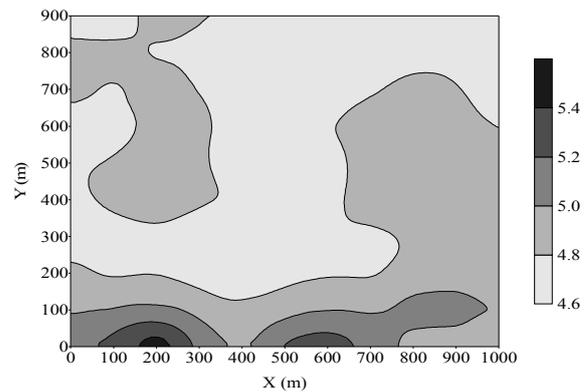
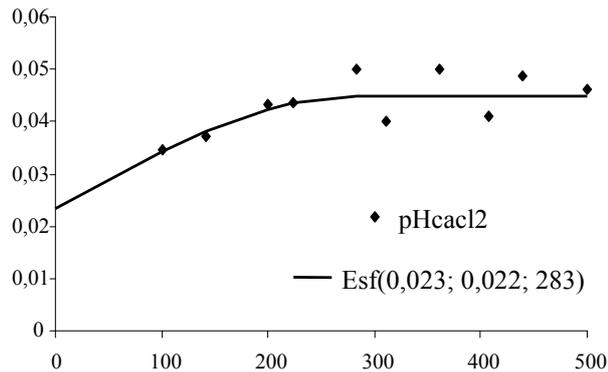
O efeito pepita (C_0) representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações das propriedades que não podem ser detectadas na escala de amostragem (Trangmar et al., 1985; Vieira, 2000). Zimback (2001) propôs que o grau de dependência espacial seja verificado pela relação entre a variância estrutural (C) e o patamar (C_0+C), sendo classificada como fraca para valores $\leq 25\%$; moderada, entre 25% e 75%, e forte $\geq 75\%$. Segundo esta classificação, a variável P apresentou fraca dependência espacial, Mg

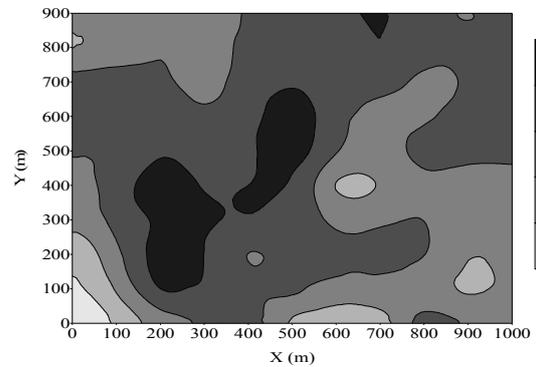
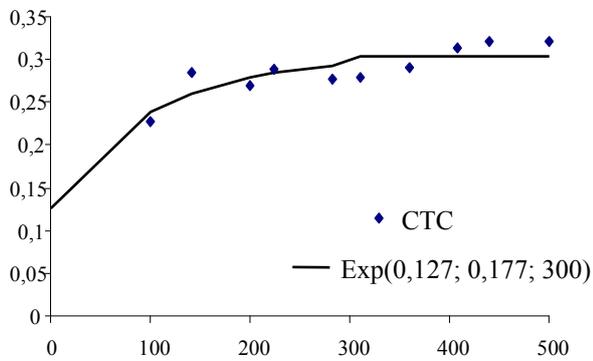
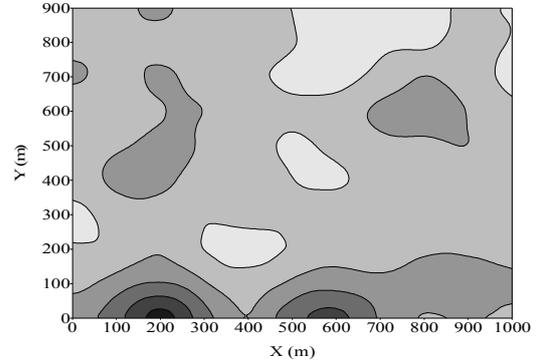
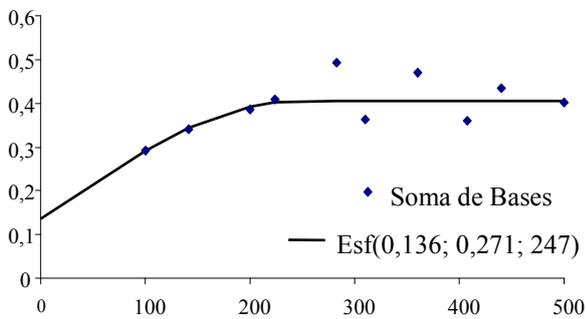
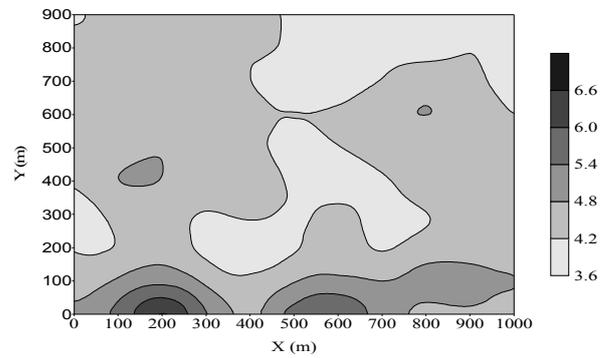
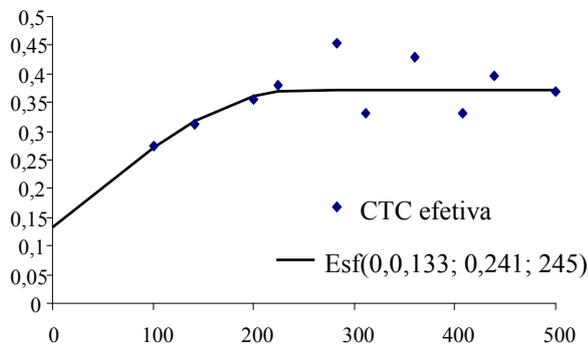
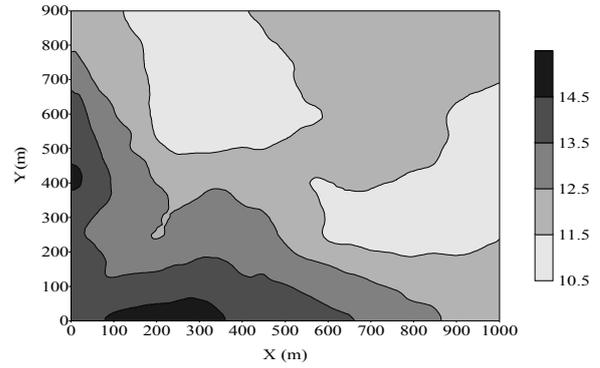
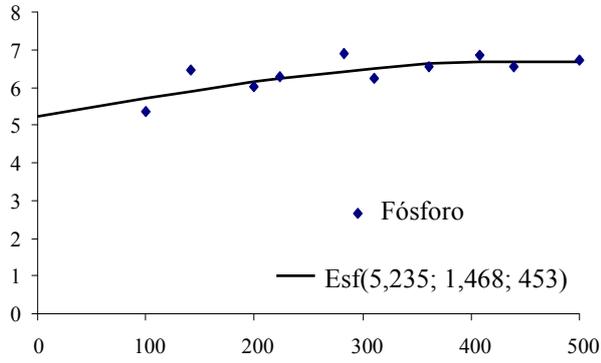
apresentou forte e as demais variáveis foram moderadamente dependentes espacialmente.

Segundo Cambardella et al. (1994), as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia, enquanto as que apresentam fraca dependência são influenciadas por propriedades extrínsecas tais como aplicações de fertilizante e cultivo. Entretanto, Cambardella & Karlen (1999) observaram que esta afirmativa pode ser verdadeira apenas para sistemas convencionais, com uma ou duas culturas, cultivo intensivo e

elevada aplicação de insumos. Fatores extrínsecos, como aplicação de fertilizantes orgânicos, parecem apresentar um papel mais importante no controle da dependência espacial forte de sistemas de manejo com mais que duas

culturas, cultivo menos intensivo e baixa aplicação de insumos químicos. Pierce et al. (1995), por sua vez, consideraram que a existência de dependência espacial forte para pH, P e K permite a criação de zonas de manejo específico.





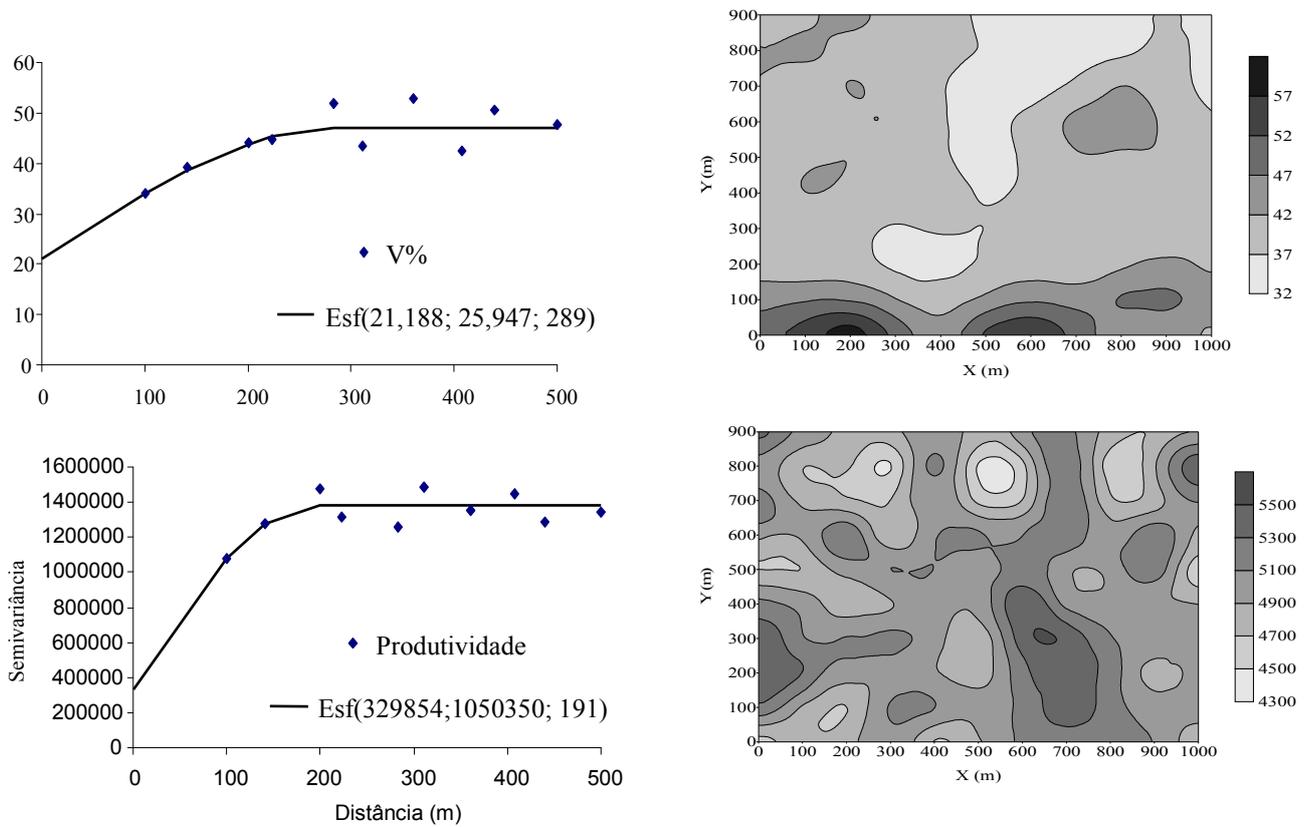


Figura 1. Semivariogramas e mapas de distribuição espacial dos atributos do solo e produtividade do algodoeiro.

A distância na qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. O alcance para o modelo exponencial é, na verdade, um alcance efetivo. Este é igual à distância na qual 95% do patamar é atingido e é estimado como três vezes o valor do alcance (Goovaerts, 1997). As variáveis em estudo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, variando de 222 m para Mg a 452 m para P. Amostras coletadas em tais intervalos amostrais, conforme ressaltado por Gupta et al. (1997), representam a variabilidade espacial dos dados. Um intervalo menor do que o alcance proporciona amostras de solo com sobreposição das características espaciais e pode resultar em aumento de custos de amostragem. Por outro lado, amostras coletadas em um intervalo maior do que o alcance que não inclui a variabilidade espacial, e então, o valor médio obtido destes dados não representa a área estudada. Assim, as amostras devem ser coletadas em um intervalo amostral ótimo, o qual é igual ao alcance de dependência espacial.

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados foram usados para a elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis. Dentre os atributos do solo (Figura 1), observa-se que pH (CaCl_2), Ca, SB, CTC_{ef} e V%, apresentaram distribuição espacial semelhante, resultado da interdependência entre estas variáveis. Ao analisar-se a variabilidade observada para V%, com valores predominantemente na faixa de 36 a 52%, a prática de calagem em taxa variada poderia reduzir custos e melhorar a disponibilidade de outros nutrientes às plantas. O mapa de produtividade, entretanto, apresenta baixa correlação com os atributos do solo, o que pode indicar que outros fatores estejam afetando a performance da cultura. Quando se trata de manejo detalhado associado à agricultura de precisão, faz-se necessário uma adequação das recomendações que levem em conta também aspectos como variedades modernas, produtividade esperada e as particularidades que envolvem a variabilidade dos solos.



Conclusões

Foi verificado, em média, que os valores de pH e V% encontravam-se relativamente baixos, enquanto os teores de P e K podem ser classificados como altos. pH e CTC apresentaram baixa variabilidade; as demais propriedades foram moderadamente variáveis.

As correlações espaciais diferiram entre as variáveis. A variável P apresentou fraca dependência espacial, Mg apresentou forte e as demais variáveis foram moderadamente dependentes espacialmente.

Os dados da variável CTC foram ajustados ao modelo exponencial e os dados das demais variáveis foram ajustados ao modelo esférico, com exceção da variável K, que apresentou efeito pepita puro.

As variáveis em estudo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, variando de 222 m para Mg a 452 m para P e de 191 m para a produtividade.

Referências

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S.

Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação.* Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOWAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMBARDELLA, C.A.; KARLEN, D.L. Spatial analysis of soil parameters. **Precision Agriculture**, v.1, p.5-14, 1999.

CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J. **Fatores que afetam a produtividade do algodoeiro.** In: In: CIA, E. et al. (Ed.). *Cultura do algodoeiro.* Piracicaba: POTAFOS, p.1-8, 1999..

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob

diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.394-400, 2007.

CORA, 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, p.1013-1021, 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation.** New York: Oxford University Press, 483 p., 1997.

GUPTA, R.K.; MOSTAGHIMI, S.; MCCLELLAN, P.W.; ALLEY, M.M.; BRANN, D.E. Spatial variability and sampling strategies for NO₃-N, P, and K determinations for site-specific farming. **Transactions of the ASAE**, v.40, p.37-343, 1997.

IQBAL, J.; THOMASSON, J.A.; JENKINS, J.N.; OWENS, P.R.; WHISLER, F.D. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.9, p.338-1350, 2005.

JOHNSON, R.M.; DOWNER, R.G.; BRADOW, J.M.; BAUER, P.J.; SADLER, E.J. Variability in cotton fiber yield, fiber quality and soil properties in a Southeastern Coastal Plain. **Agronomy Journal**, v.94, p.1305-1316, 2002.

McLAUGHLIN, N.B.; LAPEN, D.R. Anisotropy in spatial measurements of mouldboard plough draught. In: EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 6., Skiathos, 2007. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Academic Publ., 2007. p.103-108. CD-ROM.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade.** Piracicaba: MOLIN, J.P. (ed), 2001. 83 p.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de



atributos químicos em latossolo e argissolos. **Ciência Rural**, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

MULLA, D.J.; SCHEPERS, J.S. **Key process and properties for site-specific soil and crop management**. In: PIERCE, F.J., SADLER, E.J. (Ed.). *The site-specific management for agricultural systems*. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1997. p. 1-18.

PIERCE, F.J.; P. NOWAK. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 67, p. 1-85, 1999.

PIERCE, F.J.; WARNCKE, D.D.; EVERETT, M. W. **Yield and nutrient variability in glacial soils of Michigan**. In: ROBERT, P.C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *The site-specific management for agricultural systems*. Madison: ASA; CSSA; SSSA, p. 133-151, 1995.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: **Agronômica Ceres**; Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, p.401-407, 2007.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. **Calagem e adubação**. In: EMBRAPA. *Algodão: tecnologia de produção*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p.103-122, 2001..

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.45-93, 1985.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54, 2000.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.A.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. v.2. Alvarez V.H. (ed). **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.1-45, 2002.

WILDING, L.P.; DREES, L.R. **Spatial variability and pedology**. In WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. *Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions*. New York, Elsevier, p.83-116, 1983..

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 p. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.