

Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijão de inverno e atributos químicos do solo sob sistema plantio direto na região de Selvíria-MS.

Maria Cecília Cavallini da Silva⁽¹⁾; Marcelo Andreotti⁽²⁾; Morel de Passos e Carvalho⁽²⁾; Nídia Raquel Costa⁽¹⁾; Cristiano Magalhães Pariz⁽³⁾; Danila Comelis Bertolin⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Doutorandos em Agronomia (Sistemas de Produção) da FEIS/Unesp, Ilha Solteira, SP; cecicavallini@gmail.com; nidiarcosta@gmail.com; ⁽²⁾ Professores do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da FE/Unesp; Câmpus de Ilha Solteira, SP. dreotti@agr.feis.unesp.br (Bolsista PQ 2 –CNPq); morel@agr.feis.unesp.br; ⁽³⁾ Doutorando em Zootecnia da FMVZ/UNESP, Botucatu, SP. cmpariz@gmail.com; ⁽⁴⁾ Professora Doutora da FATEC, São José do Rio Preto, SP; danilacomelis@hotmail.com

RESUMO: Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que influenciam na produtividade do feijoeiro é de suma importância. O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da produtividade do feijão de inverno e dos atributos pH, teores de MO e P por meio da geoestatística num sistema plantio direto. O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS). Foi realizada a análise estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas e mapas de krigagem. A produtividade do feijão apresentou coeficiente de variação de 22,2% e moderada dependência espacial, sendo possível gerar mapas de krigagem e cokrigagem com o pH₂ (camada de 0,10 a 0,20 m). Os atributos químicos nas camadas de 0 a 0,10 m (1) e 0,10 a 0,20 m (2) apresentaram coeficiente de variação entre 4,4% e 45,9% e dependência espacial entre baixa e alta. Foi verificada correlação linear somente para produtividade com pH₁ e com MO₂. Os valores da produtividade do feijão e dos atributos pH, matéria orgânica e pH apresentaram dependência espacial, sendo que suas variações não ocorreram de forma aleatória com exceção dos atributos pH₁ e MO₁. Do ponto de vista agrônomo, o pH₂ foi o melhor indicador da qualidade química do solo, com correlação positiva no aumento da produtividade de feijão.

Termos de indexação: *Phaseolus vulgaris*; geoestatística; pH do solo.

INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro é de suma importância para o Brasil, por ser uma das mais relevantes explorações agrícolas e uma fonte fundamental de proteína das camadas mais populares. O cultivo de feijão de 3ª época (inverno) na região sudeste e centro-oeste ocorre no período de maio a junho (Conab, 2008). O total de área cultivada com feijão

de terceira época na safra 2011/12 ficou em 626,1 mil hectares. A produtividade média desta safra de feijão foi de 989 kg ha⁻¹ (Conab, 2012).

Ante a importância da cultura do feijoeiro, usualmente ligadas às baixas produtividades nacionais, os estudos relacionados com sistemas de produção e tecnologia para elevar a produtividade, competitividade e rentabilidade, são de suma importância. Também com a ampliação generalizada do sistema plantio direto, o estudo sobre o que nele acontece, assim como a determinação de valores a partir dos quais a sua produção é prejudicada, torna-se essenciais (Carvalho et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (P, MO e pH) e sua interação com a produtividade do feijão de inverno por meio da geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS), na latitudes de 20°18'S e a longitude de 52°39'W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Caracterização dos atributos avaliados

Foram definidas as direções **x** e **y** do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante da cultura de feijão de inverno, estabelecido entre dois terraços agrícolas, em sucessão ao capim-Marandu, após dessecação em maio de 2007. O feijão foi semeado em 30/05/2007 sob SPD, utilizando-se a cv. IAC Carioca, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e população de 15 plantas por metro.

Como adubação de semeadura, com base na análise inicial do solo, utilizou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16. No dia 04/07/2007 foi realizada a adubação de cobertura com 70 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, sendo em seguida aplicada uma lâmina d'água de 14 mm para minimizar as perdas de NH₃ por volatilização.

Cabe destacar que não foi necessário aplicar herbicidas, fungicidas ou inseticidas como tratamentos culturais do feijoeiro de inverno. Os atributos pesquisados foram do solo e da planta, todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral (delimitado por estacas) da malha experimental. Para coleta de solo foi utilizado um trado de caneca, sendo as amostras de cada ponto amostral, coletadas nas camadas de 0 a 0,10m (que foi representada pelo número "1" inserido logo após a abreviação dos atributos químicos estudados) e 0,10 a 0,20 m (que foi representada pelo número "2" inserido logo após a abreviação dos atributos químicos estudados). A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico da combustão úmida (Raij et al., 2001). Para determinação do teor de P e valor pH em CaCl₂, também foi empregada a metodologia constante em Raij et al. (2001). Ao final do ciclo (13/09/2007), foram coletadas todas as plantas no entorno de cada ponto amostral para determinação da produtividade de grãos (PRO), que foi corrigida para 13% de umidade. Tais amostras foram originadas da coleta de todas as plantas, quando considerado que todo ponto amostral continha quatro linhas de semeadura, as quais numa largura de 1,00 m. Uma vez que foi considerada a mesma distância para o comprimento, a área de coleta de plantas de cada ponto amostral foi de 1,35 m².

Análise estatística e geoestatística

A análise estatística foi efetuada com o SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) pela análise descritiva dos atributos. Foi realizada a correlação entre os atributos pesquisados. Objetivou-se detectar a existência de correlações significativas entre a produtividade de grãos de feijão com os atributos químicos do solo. Seguidamente, efetuaram-se regressões entre os atributos.

A análise geoestatística foi feita com o programa Gamma Design Software 7.0 (GS+, 2004; Dalchiavon & Carvalho, 2012). Para cada atributo foi analisada a dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma isotrópico. O avaliador da dependência espacial (ADE) foi classificado como: a) fraco (ADE ≤ 0,25), b) moderado (0,25 < ADE ≤ 0,75), e c) forte (ADE < 0,75), proposto por

Cambardella et al. (1994), e depois efetuaram-se krigagens e cokrigagens ordinárias para os atributos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** está apresentada a análise descritiva dos atributos pesquisados. A produtividade (PRO) apresentou alta variabilidade (22,2%), assemelhando-se com a obtida por Montanari et al. (2010) cujo CV foi de 21,1%.

Para o teor de P, a variabilidade foi entre alta para P1 (26,9%) e muito alta para P2 (45,9%). Para MO, em ambas as camadas, a variabilidade foi média tanto para MO1 (11,6%) quanto para MO2 (12,1%). Todavia, para o pH, a variabilidade foi baixa para pH1 (8%) e pH2 (4,4%).

De acordo com o **tabela 1**, a PRO (3293 kg ha⁻¹) foi superior à PRO de 3044 kg ha⁻¹ obtido por Dalchiavon et al. (2011) e a PRO de 2201 kg ha⁻¹ constatada por Montanari et al. (2010). Além disso, a média de produtividade de grãos atingida no estudo foi superior à média nacional de produtividade de grãos de feijão de inverno (989 kg ha⁻¹) (CONAB, 2012).

Em relação ao teor de P no solo, a média de P1 foi de 23,1 mg dm⁻³ e da mediana do P2 foi de 10 mg dm⁻³, demonstrando decréscimo do teor com o aprofundamento das camadas de solo, pois o elemento é pouco móvel, mesmo em condições de SPD.

O pH em CaCl₂ apresentou valor médio para pH1 de 5,3 e valor mediano para pH2 de 4,6, ou seja, com redução em profundidade, concordando com pesquisas realizadas por Dalchiavon et al. (2012), num Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto com a cultura do feijão verificaram valores medianos de pH1 de 4,8 e pH2 de 4,6, confirmando a tendência de diminuição de pH em profundidade. O valor de pH1 (5,3) e pH2 (4,6) classificam o solo como de acidez média (RAIJ et al., 1997).

As correlações entre a PRO e os atributos químicos do solo mostraram significância para os pares PRO x pH1 (r = 0,261**) e PRO x MO2 (r = 0,178*).

Na **tabela 2** estão apresentados os parâmetros do semivariograma cruzado, ajustado entre a produtividade do feijão e do pH2 de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Na **figura 1** estão contidos os semivariogramas cruzados (a) e os mapas de cokrigagens (b) entre a PRO versus pH2 do solo, ficando evidente que: PRO=f(pH2) apresentou dependência espacial. O coeficiente de determinação espacial (r²) para PRO=f(pH2) foi de



0,443 (**Tabela 2**). E o coeficiente de correlação (r) foi de 0,414, O coeficiente angular (b) da validação cruzada foi de 0,558.

A cokrigagem $PRO=f(pH_2)$ apresentou ajuste semivariográfico do tipo esférico direto (**Tabela 2, Figura 1a,b**), com alcance da dependência espacial de 23,7 m e ADE alto (83,7%). A mesma cokrigagem foi realizada por Dalchiavon et al. (2011), sendo que estes autores observaram ajuste semivariográfico do tipo gaussiano, com alcance semelhante a presente pesquisa de 28,8 m e ADE alto (99,8%). Assim, do ponto de vista espacial na área estudada, nas regiões em que o pH_2 estiver entre 4,6 a 4,7, a PRO esperada estará entre 3290 a 4212 kg ha⁻¹.

De acordo com Souza et al., (2007), tanto matéria orgânica (MO) quanto o potencial hidrogeniônico (pH) exercem grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que estão diretamente ligados à disponibilidade de nutrientes. O sistema de plantio direto tem melhorado a disponibilidade de M.O. pois privilegia o aporte orgânico contínuo, aumentando assim a ciclagem de nutrientes (Andrade et al., 2003), explicando em parte as altas produtividades obtidas no presente trabalho.

CONCLUSÕES

A produtividade de feijão teve correlação direta com o pH na camada superficial do solo.

O pH na camada de 0,10 a 0,20 m foi o melhor indicador da qualidade química do solo, com correlação positiva no aumento da produtividade de feijão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1003-1011, 2003.

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. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.

CARVALHO, G. J., CARVALHO, M. P., FREDDI, O. S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira Agrícola Ambiental*, 10:765-771, 2006.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2008/2009: Primeiro levantamento: outubro/2008. Brasília - DF. Disponível em: <

http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf >. Acesso em: 08 nov. 2012.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2012/2013: Segundo levantamento: novembro/2012. Brasília - DF. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_11_08_09_10_48_boletim_portugues_novembro_2012.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2013.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. O.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia*, 70:908-916, 2011.

DALCHIAVON, F. C. & CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:541-552, 2012.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, 43:453-461, 2012.

GS+: *Geostatistics for Environmental Sciences*. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159p.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A.O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1811-1822, 2010.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SCHLOTZHAYER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção, Viçosa, 2007, p. 205-274.

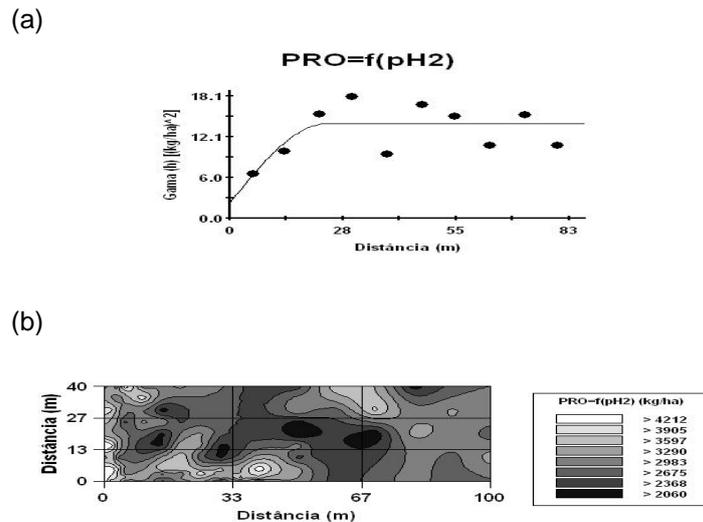


Figura 1 – Semivariograma cruzado (a) e mapa de cokrigagem (b) da produtividade do feijão de inverno em função do pH2 em CaCl₂ na camada de 0,10 a 0,20 m num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Tabela 1 – Análise descritiva inicial da produtividade do feijão de inverno e alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas					Variação (%)	Coeficiente		Probabilidade do teste (b)	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão		Curtose	Assimetria	Pr < w	DF
PRO (kg ha ⁻¹)	3293	3219	1547	5599	730,2	22,2	0,164	0,426	0,112	NO
	Atributo da planta									
	Teor de fósforo									
P1 (mg dm ⁻³)	23,1	22,5	5,0	41,0	6,197	26,9	0,675	0,259	0,119	NO
P2 (mg dm ⁻³)	12,2	10,0	4,0	30,0	5,604	45,9	-0,282	0,258	0,057	LN
	Teor de matéria orgânica									
MO1 (g dm ⁻³)	29,7	30,0	19,0	40,0	3,449	11,6	0,917	0,095	0,066	NO
MO2 (g dm ⁻³)	23,0	23,0	18,0	31,0	2,784	12,1	-	-	-	IN
	pH CaCl ₂									
pH1	5,3	5,3	4,4	6,3	0,421	8,0	-0,501	0,151	0,152	NO
pH2	4,6	4,6	4,1	5,1	0,203	4,4	-	-	-	IN

^(a)PRO = produtividade do feijão de inverno P1 = teor de fósforo na camada de 0 a 0,10 m, P2 = teor de fósforo na camada de 0,10 a 0,20 m, MO1 = matéria orgânica na camada de 0 a 0,10 m, MO2 = matéria orgânica na camada de 0,10 a 0,20 m, valor de pH1 em CaCl₂ na camada de 0 a 0,10 m e valor de pH2 na camada de 0,10 a 0,20 m; ^(b)DF= Distribuição de freqüência, sendo NO, LN, e IN, respectivamente do tipo normal, lognormal e indeterminada.

Tabela 2: Parâmetros do semivariograma cruzado ajustado para produtividade do feijão de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Parâmetros			r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial	
			Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)				ADE (d)	Classe
γ(h) cruzado entre PRO e pH2									
PRO=f(pH2)	esf	2,29	1,41. 10	23,7	0,443	7,15.10	83,7		Alta

^(a) PRO = produtividade do feijão de inverno e pH2 = pH em CaCl₂ na camada de 0,10 a 0,20 m; ^(b) esf = esférico, ^(c) SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.