



Foto: Claudio Lucas Capeche



Variabilidade Espacial de Teores de Nutrientes em Folhas de Soja como Ferramenta para Agricultura de Precisão

Alberto Carlos de Campos Bernardi¹
Ciríaca Arcângela F. de Santana do Carmo¹
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado¹
Carlos Alberto Silva²
Luiz Ivan O. Valencia³
Margareth Simões Meirelles¹

Introdução

A busca por novas tecnologias que possibilitem o aumento de produtividade com o menor impacto sobre o meio ambiente tem, como um dos principais exemplos, a adoção do sistema de plantio direto. Mais recentemente, na região de Campos Gerais no Paraná, o advento da utilização das técnicas de agricultura de precisão tem ocasionado mudanças na forma de gerenciar o agronegócio pelos agricultores. O impulso a este novo conjunto de tecnologias foi iniciado com o aprimoramento das técnicas de posicionamento geográfico preciso através de informações obtidas por satélites. Com isso, iniciou-se um novo ciclo de gerenciamento de informações, que possibilita associar a variabilidade da produtividade das culturas com o estado nutricional das plantas.

O uso das técnicas de agricultura de precisão configura-se em um grande avanço na agricultura, pois possibilita o aumento de produtividade e a diminuição do impacto sobre o meio ambiente da atividade agrícola. Isso é possível pois esta técnica permite a localização exata no campo dos fatores limitantes ao rendimento das culturas, como por exemplo as condições do solo, estado nutricional,

ocorrência de pragas e doenças, ou invasoras. Assim é possível identificar em que parte da lavoura, especificamente, deverão ser realizadas as intervenções e quais nutrientes estão sendo limitantes à produção. No entanto, como toda nova tecnologia, existem ainda várias questões que devem ser respondidas. Uma destas questões é com relação à variabilidade espacial destes fatores limitantes à produtividade.

A análise quantitativa do solo, usando a Geoestatística, tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas (McBratney & Pringle, 1999; Mulla & McBratney, 2000), pois fornece informação indireta sobre a disponibilidade deles no solo. Já a análise de tecidos vegetais é uma medida direta, pois os resultados correspondem à quantidade de nutriente absorvida pelas plantas (Munson & Nelson, 1990). Desta forma, o teor de nutrientes nos tecidos vegetais reflete sua real disponibilidade no solo, uma vez que existe uma relação entre o fornecimento de um nutriente pelo solo ou por um fertilizante e a concentração na folha, e uma relação entre essa concentração e a produção da cultura.

¹ Pesquisadores da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1.024. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22460-000. E-mail: alberto@cnpes.embrapa.br, ciríaca@cnpes.embrapa.br, pedro@cnpes.embrapa.br e margaret@cnpes.embrapa.br

² Universidade Federal de Lavras - UFLA - MG - Dep. de Ciência do Solo

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Instituto de Geociências

Para a estimativa espacial ótima dos atributos de solo e de planta, é necessário desenvolver estratégias eficientes de amostragem baseadas na geoestatística. McBratney & Pringle (1999) mostraram que a geoestatística foi essencial para descrever e quantificar a variabilidade espacial de fatores limitantes da alta produtividade. Apesar de já existirem alguns estudos mostrando a variabilidade espacial dos atributos de solo, ainda são poucos os resultados sobre esta variabilidade para a diagnose foliar, especialmente no sistema de plantio direto. Os estudos de Franzen & Peck (1995a; 1995b; 1997) relacionaram os teores de Ca, Mg, P e K em folhas de milho com os teores no solo. Os autores concluíram que a análise de plantas foi útil no mapeamento de áreas nas quais a análise de solo não foi eficaz para explicar a resposta das plantas à aplicação de nutrientes.

Através do alcance do semivariograma, a geoestatística pode contribuir para o estabelecimento da malha de amostragem. O alcance é um dos parâmetros do modelo de semivariograma e indica a distância até onde o atributo apresenta continuidade espacial. Ele depende da direção e da escala espacial da área de estudo. De fato, a extensão da célula de amostragem de atributos de solo é definida, de acordo com Mulla & McBratney (2000), como sendo 0,25 a 0,5 do valor de alcance do atributo sob análise.

Este estudo teve como objetivo avaliar, por meio de técnicas de agricultura de precisão e utilizando a geoestatística, a variabilidade espacial dos teores de nutrientes nas folhas de soja cultivada em sistema plantio direto na Região dos Campos Gerais, Paraná.

Material e Métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Tabatinga, na região de Campos Gerais, no município de Carambeí, Paraná, nas coordenadas 24°51'45" S e 50°15'58" W, e está situada entre 615 e 870 m de altitude. O clima é subtropical com média de 1.560 mm anuais de chuva e temperatura anual média de 17,6°C. O tipo de solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho distroférrico, com teores de argila variando de 180 a 720 g kg⁻¹. Na Figura 1, é apresentada uma foto da área.

O sistema de plantio direto vem sendo adotado nesta área desde 1988 e, de acordo com o seguinte esquema: cultivo de soja no verão, por duas safras consecutivas, em rotação com trigo e aveia preta no inverno; após estas safras, cultiva-se o milho no verão. Por ocasião do plantio, no ano de avaliação, foram utilizadas as doses de 62,5 kg ha⁻¹ de K₂O e 62,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (250 kg ha⁻¹ da formulação NPK 0-25-25). As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium spp.* Foram feitas também, na fase anterior à floração da cultura, pulverizações foliares com sulfato de manganês.

As amostragens de folhas foram realizadas no verão de 2000 (janeiro), início do florescimento da soja, sendo a malha de amostragem composta de uma grade maior com células de 40 x 40 m, num total de 107 pontos de amostragem cobrindo 13 ha. Observou-se duas áreas com diferenciação textural e nelas estabeleceram-se 2 novas malhas de amostragem mais densa, com subdivisões de 20 X 20 m ; 10 X 10 m e; 5 X 5 m, perfazendo, um total de 72 amostras cada. O esquema das malhas de amostragem adotado está apresentado na Figura 1.

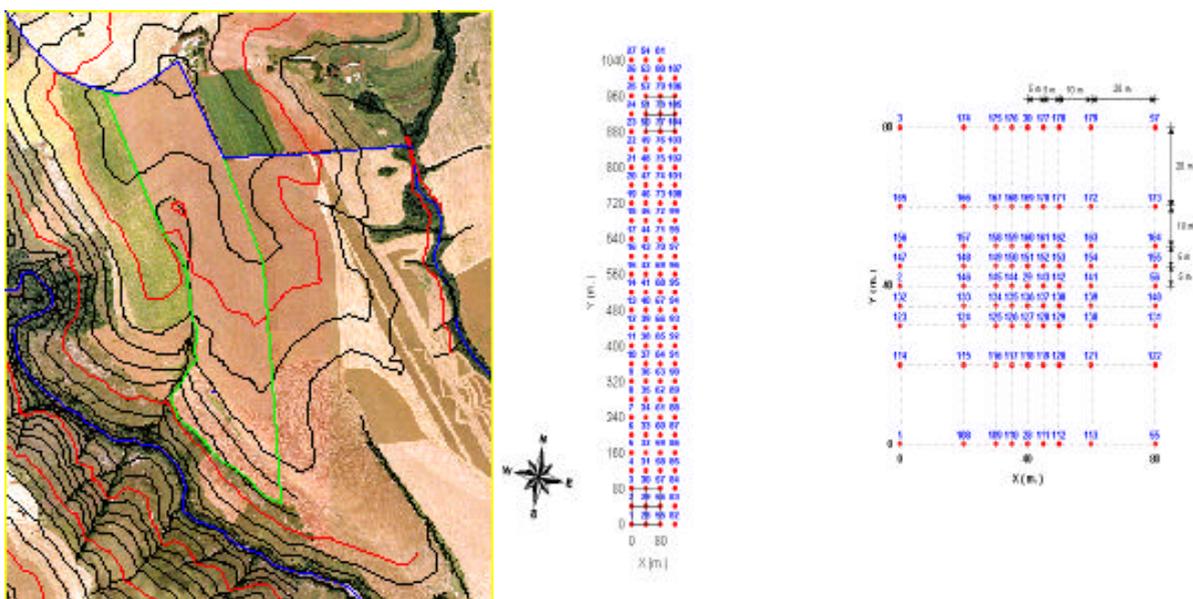


Fig. 1. Ortofoto da área de estudo (destacada em verde) e esquema das grades de amostragens adotado na fazenda Tabatinga em Carambeí, PR.

As coordenadas geográficas dos pontos amostrados foram obtidas através do uso de aparelho GPS Trimble® Geoexplorer 3C, com precisão de cerca de 2 metros.

Para a diagnose foliar, foram amostradas as folhas mais novas, totalmente expandidas, quando mais de 50% das plantas estavam no florescimento, seguindo as recomendações de Sfredo *et al.* (1986). Foram coletadas folhas de 30 plantas em volta de cada ponto de amostragem. Analisou-se os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, de acordo com a metodologia de Carmo *et al.* (2000).

A análise geostatística consistiu da construção de semivariogramas experimentais nas direções X e Y e o ajuste de modelos de continuidade espacial gaussiana, esférica e exponencial. Os dados foram analisados utilizando-se métodos geostatísticos do programa GSLIB (Deutsch & Journel, 1992).

Resultados e Discussão

As médias, intervalos de confiança, desvio padrão e coeficientes de variação da produtividade de grãos de soja e teores de nutrientes analisados nas folhas encontram-se na Tabela 1. Estes resultados das análises de folhas foram submetidos à análise de geoestatística para determinar a variabilidade espacial dos valores. Os semivariogramas para todos os teores de nutrientes nas folhas foram ajustados, e os resultados da análise espacial e os parâmetros dos modelos ajustados estão na Tabela 2. Todas as variáveis foram ajustadas a modelos exponenciais, com exceção do P ao qual ajustou-se o modelo esférico, indicando que estas são variáveis. Nesta Tabela 2 também são apresentados os valores relativos ao alcance dos semivariogramas para atributos da diagnose foliar. Os valores médios, para as direções X e Y, foram de 67 a 43 m para planta. De acordo

com a metodologia proposta por Mulla e McBratney (2000), a célula de amostragem de solo pode ser definida como sendo 0,5 do valor do alcance do semivariograma. Assim, os valores para a célula de amostragem seriam de 34 X 22 m. Os resultados sugerem a coleta de 14 amostras por hectare e que são muito próximos aos valores encontrados por Silva *et al.* (2002).

O número elevado de amostras a ser coletado por área pode inviabilizar a adoção da agricultura de precisão, por parte dos agricultores e técnicos, numa propriedade rural, considerando não só o trabalho com a coleta de amostras mas, principalmente, o custo da análise em laboratório. Estes resultados mostram a necessidade de se testar novas ferramentas como sensores em tempo real, para solo (ex. sensor para a condutividade elétrica) e planta (ex. sensor do teor de clorofila e imagens espectrais), bem como novas rotinas automatizadas e de baixo custo de análises laboratoriais. A amostragem por grade também poderia ser utilizada numa gleba da propriedade rural e não, necessariamente, em todos os anos agrícolas, pois os resultados de atributos de solo e de planta, combinados com o mapa de colheita e com o conhecimento do histórico de desempenho da cultura na gleba, podem auxiliar no estabelecimento de zonas de manejo.

Além disto, como foi demonstrado neste trabalho e no anterior, de Silva *et al.* (2002), o diagnóstico do estado nutricional da cultura combinado com a avaliação da fertilidade do solo, após a identificação do nutriente limitante da produção, poderia se fazer a análise do solo especificamente para este nutriente.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos dos teores de nutrientes nas folhas de soja, cultivada em sistema plantio direto em Carambeí, PR.

Parâmetros Estatísticos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Média	44,7	2,8	14,6	1,9	6,2	2,3	15,8	33,2	5,7	63,3	29,6
Desvio padrão	2,7	0,4	3,2	0,3	0,5	0,2	1,8	3,8	0,6	13,5	4,3
Mediana	44,72	2,78	14,74	1,83	6,21	2,31	15,4	33,29	5,64	60,6	29,1
Mínimo	36,14	1,91	7,31	1,36	5	1,96	12,9	22,14	4,41	47,9	19,9
Máximo	56,08	3,88	20,79	2,89	7,4	3,11	21,3	42,87	8,81	154	44,2
CV	6,1	14,9	21,7	16,9	7,3	8,7	11,1	11,5	10,7	21,4	14,6

Tabela 2. Modelos de variogramas e seus coeficientes para os nutrientes nas folhas da soja cultivada em sistema plantio direto em Carambeí, PR.

Nutriente nas folhas	Modelo	Alcance		C ₀	C	Patamar
		X	Y			
N	Exponencial	60	20	0,40	1,20	0,80
P	Esférico	60	60	0,02	0,12	0,10
K	Exponencial	60	60	0,40	0,90	0,50
Ca	Exponencial	60	30	0,30	0,70	0,40
Mg	Exponencial	80	80	0,30	0,75	0,45
S	Exponencial	80	30	0,20	0,90	0,70
B	Exponencial	70	25	0,35	0,95	0,60
Cu	Exponencial	80	35	0,35	0,90	0,55
Fe	Exponencial	60	60	0,20	0,55	0,35
Mn	Exponencial	50	20	12,0	22,0	10,0
Zn	Exponencial	80	35	0,20	0,70	0,50

Conclusões

Dentro das condições que foi conduzido este trabalho, o uso da geoestatística permitiu conhecer a variabilidade espacial dos teores de nutrientes nas folhas de soja cultivadas em sistema plantio direto. O conhecimento desta variabilidade espacial é a etapa inicial e imprescindível para subsidiar o planejamento e o manejo da área.

Agradecimentos

Ao Programa Prodetab (Projeto N°. 041-01/99), pelo financiamento, e à Fundação Giacometti pelo apoio na administração dos recursos. À Fundação ABC, através dos pesquisadores Volnei Pauletti e Leandro Gimenez pelo apoio técnico-científico. Ao proprietário da Fazenda Tabatinga, Sr. Geraldo Slob, pela permissão para a utilização da área no estudo, e ao Eng. Agrônomo José Carlos Sguario Jr. pelo apoio.

Referências Bibliográficas

- CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica, 6).
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB geostatistical software library and user's guide**. Oxford University Press: New York, 1992. 341p.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis calcium and magnesium levels before and after liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, n.13/14, p.2263-2277, 1995a.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis phosphorus levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.17/18, p.2929-2940, 1995b.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis potassium levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.13/14, p.1081-1091, 1997.
- McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, Dordrecht, Holanda v. 1, n.1, p.125-152, 1999.
- MULLA, D. J.; McBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton : CRC Press, 2000. A 321-352.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WESTERMAN, R. L.; BAIRD, J. V.; CHRISTENSEN, N. W.; FIXEN, P. E.; WHITNEY, D. A. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA. 1990. p.359-387.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F.; CAMPO, R. J.; BORKERT, C. M. **Soja, nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. 1986. 21p. (EMBRAPA-CNPSO., Documentos, 64).

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; VALENCIA, L. I. O.; ANDRADE, A. G.; PENELLO, M. S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto: uso de técnicas de agricultura de precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, n. 10).

Comunicado Técnico, 17

Ministério da
Agricultura,
Pecuária e
Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser obtidos na
Embrapa Solos
Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim
Botânico - Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2274.4999
Fax: (21) 2274.5991
E-mail: sac@cnps.embrapa.br
<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>
1ª edição
1ª impressão (2002): **300 exemplares**

Expediente

Supervisor editorial: *Jacqueline S. Rezende Mattos*
Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes.*
Tratamento das ilustrações: *Sanny Reis Bizerra.*
Editoração eletrônica: *Sanny Reis Bizerra.*