

# XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

## “Variabilidade Espacial e Temporal dos Mapas de Colheita e dos Atributos Químicos do Solo em Votuporanga, SP”

CÉLIA REGINA GREGO<sup>(1)</sup>, SIDNEY ROSA VIEIRA<sup>(2)</sup> & OSVALDO GUEDES FILHO<sup>(3)</sup>

**RESUMO** - A variabilidade das produtividades das culturas tende a acompanhar a do solo, por isso, torna-se necessário conhecer a relação espacial entre elas. O objetivo foi avaliar e comparar a variabilidade espacial de dados de colheita entre 1994 a 1998 com os atributos químicos do solo da área sob plantio direto em Votuporanga, SP. A área de cerca de 1 ha, foi amostrada numa grade de 10 x 10 m (110 pontos), em um Latossolo Vermelho de textura média. Foram amostradas as seguintes culturas: soja em 1994, arroz em 1995, soja em 1995, milho em 1995, algodão em 1997, aveia preta em 1997 e milho em 1998. As produtividades das culturas foram obtidas e normalizadas possibilitando a comparação das produtividades entre as diferentes culturas. O solo foi amostrado de 0-10 e de 10-20 cm de profundidade para análise química. Houve relação espacial direta entre as produtividades das culturas e o pH KCl e cálcio nas duas profundidades, indicando que podem ser definidas zonas de manejo diferenciado para correção de acidez do solo em função da melhoria da produtividade das culturas na área.

**Palavras-Chave:** (geoestatística; produtividade; acidez)

### Introdução

A combinação de dados de produção agrícola, como os mapas de produtividade com fatores de solo constituem importantes ferramentas de diagnóstico para uso mais eficiente das informações possibilitando um melhor manejo da variabilidade no campo.

A variabilidade das produtividades das culturas tende a acompanhar a do solo, por isso, é importante conhecer o grau de influencia que tais atributos exercem.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos, [1, 2, 3, 4], com o objetivo de analisar as relações espaciais existentes entre mapas de produtividade e atributos do solo. Com este mesmo objetivo, [5] identificou alta variabilidade nos mapas de produtividade ao longo de 23 anos de semeadura direta e que a parte norte da área foi a região que apresentou maior relação espacial entre produtividade das culturas e atributos do solo, sugerindo a adoção de um manejo diferenciado.

Neste contexto, duas formas principais de variabilidade devem ser detectadas: espacial e temporal. Segundo [6], a variação espacial é a variação vista no campo, afetada pelos diferentes fatores que o compõem e a temporal é a que ocorre quando se comparam mapas de produtividade de um ano para outro. A distribuição espacial das produtividades ao longo do tempo, pode ser analisada pela geoestatística. A geoestatística, segundo [7], é a maneira mais correta para verificar a presença de dependência espacial. A continuidade, ou dependência espacial, é estimada através do semivariograma e o método de interpolação, chamado krigagem, usa a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo [7, 10].

Nesse sentido, a variabilidade espacial da produtividade das culturas no período de 1994 a 1998 foi analisada e comparada com a variabilidade de atributos químicos do solo de uma área experimental sob plantio direto em Votuporanga/SP.

### Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na área experimental localizada no Pólo Regional de Desenvolvimento de Tecnologias do Agronegócio do Noroeste Paulista em Votuporanga/SP, com altitude de cerca de 525 m, temperatura média de 24°C e precipitação anual média de 1.300 mm, irrigado por pivô central. A área sob plantio direto, mede cerca de 1 ha e foi amostrada numa grade de 10 x 10 m totalizando 110 pontos de amostragem em um Latossolo Vermelho de textura média, segundo [8].

As produtividades das culturas foram obtidas sempre ao final de cada ciclo, em parcelas amostrais de 5 m<sup>2</sup>, sendo posteriormente normalizadas em valores de 0 a 100% de acordo com [5], possibilitando a comparação das produtividades entre as diferentes culturas.

As culturas amostradas foram: soja (*Glycine max* L.) em 1994 e 1995, arroz (*Oryza sativa* L.) em 1995, milho (*Zea mays* L.) em 1995 e em 1998, algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em 1997 e aveia preta (*Avena strigosa*) em 1997.

Para os atributos químicos foram coletadas amostras nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e as determinações pelo método descrito por [9].

Os dados foram analisados pela estatística descritiva e por ferramentas de análise geoestatística para determinar a

<sup>(1)</sup> Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite. Av Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, Campinas, SP, CEP 13070-115. E-mail: crgrego@cnpm.embrapa.br

<sup>(2)</sup> Pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, Centro de Solos e Recursos Agroambientais. Av. Barão de Itapura, 1481, CP 28, Campinas, SP, CEP 13020-902. E-mail: sidney@iac.sp.gov.br

<sup>(3)</sup> Doutorando em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Av. Pádua Dias, 11 Vila Independência, Piracicaba, SP CEP 13418-900. E-mail: osvaldoguedes@yahoo.com.br

variabilidade espacial possibilitando a construção de semivariogramas, de acordo com o software Geostat [10]. A construção de mapas de isolinhas para refletir a distribuição espacial dos atributos estudados foi realizada utilizando a técnica de interpolação por krigagem que também possibilita a estimativa de valores para locais não amostrados sem tendência e com variância mínima. O *software* SURFER 7.0 [11] foi utilizado para construção dos mapas de isolinhas.

## Resultados e Discussão

A estatística descritiva para as variáveis estudadas está na Tabela 1. As produtividades normalizadas apresentaram elevados coeficientes de variação, entre 26,75 para aveia e 55,23% para o arroz, valores considerados altos e próximos aos encontrados por [5].

As produtividades das culturas apresentaram variação nos valores de média no período estudado, ocorrendo certo aumento no tempo, de 46% em 1994 para 52,49 % em 1998. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos de 0 para as produtividades indicam distribuição de frequência normal, assim como para a maioria dos dados da análise química do solo. Contudo, na camada de 0-10 cm apenas Mg e K não apresentaram distribuição de frequência normal. Para a camada de 10-20 cm o H+Al também não apresentou distribuição normal.

Os CV% demonstram haver grande variabilidade dos dados nas duas profundidades amostradas para química do solo, principalmente para Na e H+Al, que apresentaram os maiores valores de CV%. A análise química apresentou pH KCl indicativo de acidez alta e teores de macronutrientes considerados baixos segundo [9].

Os resultados da análise de semivariogramas podem ser observados na tabela 2. Todas as variáveis que apresentaram dependência espacial, em ambas as amostragens, se ajustaram ao modelo esférico, com exceção para a produtividade normalizada da soja em 1995. As demais variáveis analisadas, que não constam na tabela 2, apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não apresentaram dependência espacial. A maioria das variáveis apresentou grau de dependência espacial de moderado a alto, com exceção da produtividade do algodão em 1997 e Ca (0-10 cm) que apresentaram fraca dependência espacial. Os valores de alcance (a) foram variáveis, sendo os menores valores encontrados para produtividades em 1997, algodão (13,45 m) e aveia (16,93 m). Menores valores de alcance resultarão em mapas com manchas menores. O maior valor de alcance foi para o teor de cálcio de 10-20 cm (64,36 m) e a maioria das variáveis apresentou alcances variando de 20 a 45 m. É interessante notar a diferença nos valores de efeito pepita para as produtividades. De acordo com [6] o efeito pepita (C0) pode indicar a descontinuidade espacial dos dados para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. O menor efeito

pepita foi encontrado para soja em 1995, isto indica uma maior continuidade da variabilidade espacial desta em relação às outras culturas, sendo o único ajuste pelo modelo exponencial, diferente das demais variáveis que apresentaram ajuste esférico.

Os mapas de contorno para as variáveis estudadas são mostrados na Figura 1. Os mapas das produtividades mostram que ocorreu grande variabilidade para as safras analisadas. Porém, de forma geral apresentaram produtividades média-baixas (entre 25-50) com aumento ao longo do tempo, ocorrendo área de maior produtividade com manchas concentradas ao longo da maior direção x (lado direito dos mapas).

Pela análise conjunta dos mapas de variabilidade espacial da produtividade, percebe-se maior estruturação ao longo do tempo, indicando regiões que podem ser manejadas diferentemente. Segundo [5] deve-se tomar cuidado ao estabelecer estas zonas de manejo, pois flutuações pluviiais e fatores como doenças, pragas, incidências de plantas daninhas têm grande interferência neste resultado.

Através da análise dos mapas dos atributos químicos, figuras 1f até 1p, observa-se que pH KCl, Ca, Na e C apresentaram estabilidade em profundidade, mostrando distribuição das linhas de contorno similar nas duas profundidades analisadas. Houve relação espacial direta entre as produtividades das culturas e pH KCl e cálcio nas duas profundidades, ou seja, a região com maiores produtividades apresentou também maior pH e Ca justificando o manejo diferenciado quanto a correção da acidez do solo. Assim, torna-se importante conhecer e associar a distribuição espacial das produtividades das culturas com os atributos do solo para que sejam definidas, principalmente, zonas de manejo e classes de comportamento na área.

## Conclusões

As produtividades das culturas apresentaram alta variabilidade espacial ao longo do período analisado, sugerindo a delimitação de zonas de manejo na área.

Houve relação espacial direta entre produtividade e atributos químicos pH e Ca, justificando o manejo diferenciado quanto a correção da acidez do solo.

## Referências

- [1] CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. 2002. Análise de correspondência - uma ferramenta útil na interpretação de mapas de produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 435-443..
- [2] SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. 2006. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do cerrado brasileiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, 28: 313-321.
- [3] REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. 2008. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geostatística e análise de regressão. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38: 981-988.
- [4] ROSA FILHO, G. CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. 2009.

- Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plntio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* , 33: 283-293.
- [5] GUEDES FILHO, O. 2009. *Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta*. Dissertação de Mestrado, Gestão em Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.
- [6] CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C.R.C. P. 2001. *Como avaliar similaridade entre mapas de produtividade*. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 24 p. (Relatório técnico, 10)
- [7] VIEIRA, S.R.; XAVIER, M. A; GREGO, C. R. 2008. *Aplicações de geoestatística em pesquisa com cana-de-acúcar*. In: MIRANDA-DINARDO, L. L.; VASCONCELOS, A C. M.; LANDELL, M. G. A (Eds.). *Cana-de-acúcar*, Campinas: Instituto Agronômico. p 839-852.
- [8] EMBRAPA 1999. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.
- [9] RAIJ, B.VAN; QUAGGIO, J. A. 1983. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Instituto Agronômico. 31p.(Boletim Técnico n.º 81).
- [10] VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. 2002. *Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data*. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2. p.1-45.
- [11] SURFER. *Surfer 7.0*. 1999. *Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers*. User's Guide. New York: Golden Software, 1999. 619 p.

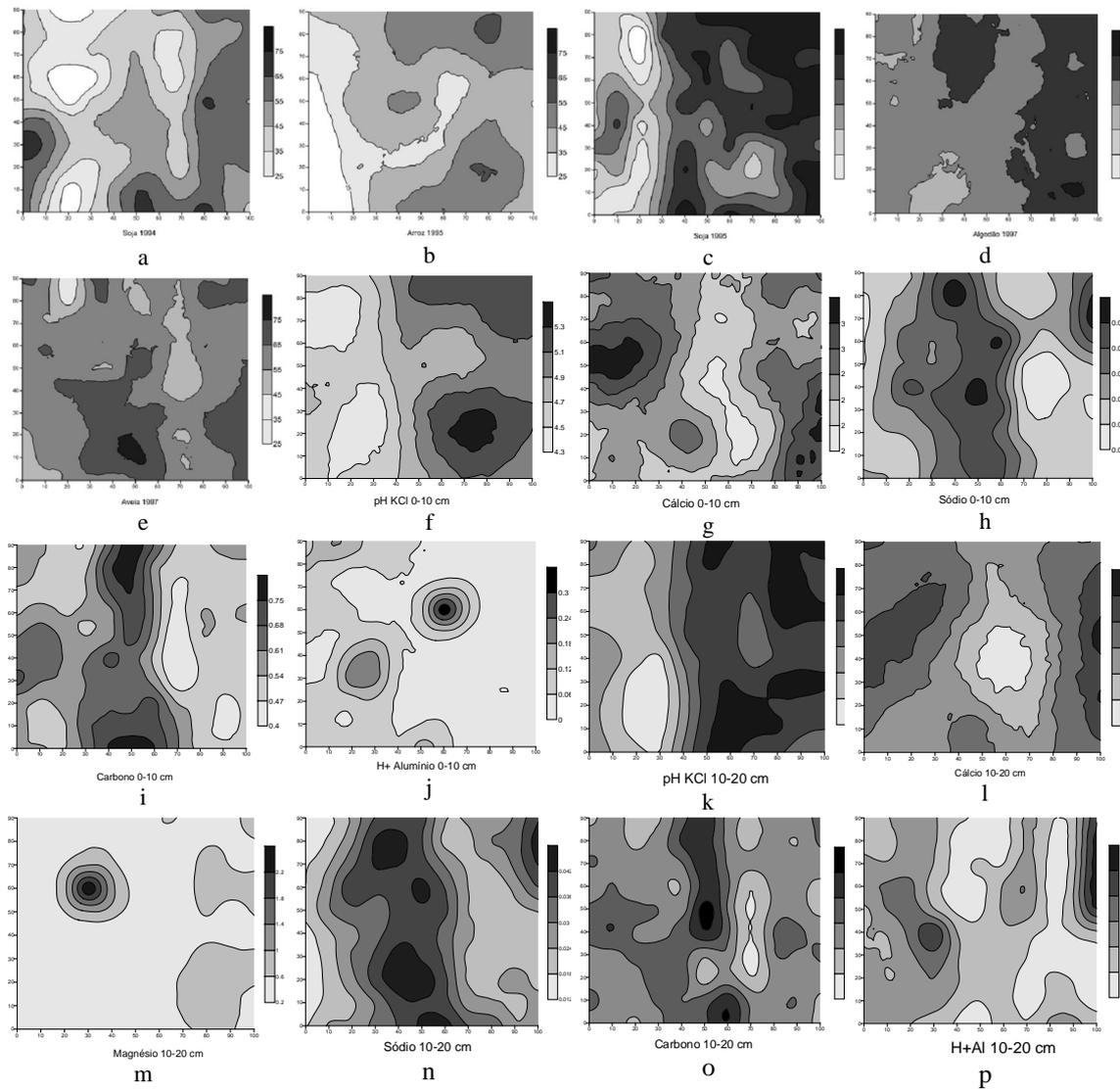
**Tabela 1.** Estatística descritiva das produtividades normalizadas e atributos químicos do solo.

Variável	Unidade	Média	Variância	C.V. (%)*	Mínimo	Máximo	Assimetri a	Curtose
<b>Produtividade normalizada</b>								
Soja-1994	%	46,26	394,5	42,94	0	100	-0,03	0,07
Arroz-1995	%	38,75	458	55,23	0	100	0,39	-0,24
Soja-1995	%	61,51	432,1	33,8	0	100	-0,49	-0,42
Milho-1995	%	61,24	285,4	27,59	0	100	-0,65	1,72
Algodão-1997	%	63,02	210,8	23,04	0	100	-0,57	2,42
Aveia-1997	%	61,51	270,8	26,75	0	100	-0,63	1,46
Milho-1998	%	52,49	418,2	38,96	0	100	-0,39	0,04
<b>Atributos químicos 0-10 cm</b>								
pH KCl	-	4,849	0,252	10,350	3,600	5,700	-0,487	-0,526
Cálcio	mg kg <sup>-1</sup>	2,702	1,181	40,230	1,200	6,000	0,875	0,248
Magnésio	mg kg <sup>-1</sup>	0,448	0,038	43,520	0,100	1,300	1,222	3,946
Potássio	mg kg <sup>-1</sup>	0,149	0,004	40,440	0,050	0,420	1,665	4,740
Sódio	mg kg <sup>-1</sup>	0,031	0,000	53,480	0,000	0,080	0,954	1,006
Carbono	g kg <sup>-1</sup>	0,574	0,014	20,410	0,300	0,900	0,531	0,129
H + Alumínio	mg kg <sup>-1</sup>	1,247	0,279	42,340	0,300	3,000	0,764	0,447
<b>Atributos químicos 10-20 cm</b>								
pH KCl	-	5,000	0,231	9,601	3,800	6,100	-0,168	-0,331
Cálcio	mg kg <sup>-1</sup>	2,809	0,934	34,400	1,300	6,600	0,830	1,121
Magnésio	mg kg <sup>-1</sup>	0,497	0,031	35,250	0,100	0,900	0,011	-0,659
Potássio	mg kg <sup>-1</sup>	0,104	0,001	31,900	0,030	0,200	0,330	-0,343
Sódio	mg kg <sup>-1</sup>	0,030	0,000	53,090	0,000	0,070	0,507	-0,619
Carbono	g kg <sup>-1</sup>	0,526	0,014	22,390	0,200	0,900	0,419	1,108
H + Alumínio	mg kg <sup>-1</sup>	1,109	0,241	44,280	0,400	3,100	1,270	2,347

C.V. (%) = Coeficiente de variação

**Tabela 2.** Parâmetros dos ajustes dos semivariogramas para variáveis que apresentaram dependência espacial; modelo de ajuste; efeito pepita (CO); variância estrutural (C1); alcance (a) e grau de dependência (GD).

Variável	Modelo	C0	C1	a	GD (%)
<b>Produtividade normalizada</b>					
Soja 1994	Esférico	150,00	220,00	30,00	59,46
Arroz 1995	Esférico	300,00	125,00	30,00	29,41
Soja 1995	Exponencial	40,00	330,00	50,00	89,19
Algodão 1997	Esférico	146,50	48,81	13,45	24,99
Aveia 1997	Esférico	166,50	102,52	16,93	38,11
<b>Atributos Químicos 0-10 cm</b>					
pH KCl	Esférico	0,10	0,13	35,00	54,17
Cálcio	Esférico	0,90	0,24	26,15	20,17
Sódio	Esférico	0,00	0,00	36,48	54,74
Carbono	Esférico	0,00	0,01	40,13	78,47
H+Alumínio	Esférico	0,01	0,01	21,88	44,11
<b>Atributos químicos 10-20 cm</b>					
pH KCl	Esférico	0,11	0,11	40,75	50,65
Cálcio	Esférico	0,65	0,35	64,36	35,10
Magnésio	Esférico	0,12	0,16	23,00	57,13
Sódio	Esférico	0,0001	0,0001	45,69	54,10
Carbono	Esférico	0,003	0,01	23,00	84,74
H+Alumínio	Esférico	0,09	0,12	23,00	58,54



**Figura 1.** Mapas das variáveis interpoladas por krigagem, para as produtividades (a, b, c, d, e) e atributos químicos do solo (f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p).