

Qualisolo



## Base de dados espaciais como subsídio para metodologia de obtenção dos índices de qualidade do solo

*Célia Regina Grego<sup>1</sup>*

*Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues<sup>2</sup>*

*Sandra Furlan Nogueira<sup>3</sup>*

*André Luiz dos Santos Furtado<sup>4</sup>*

*Gustavo Sousa Valladares<sup>5</sup>*

*Raquel Martins Long<sup>6</sup>*

### Introdução

Estudos da qualidade do solo devem considerar a manutenção da produção vegetal, integrando a qualidade do ambiente e a sustentabilidade da produção. A qualidade do solo pode ser mensurada por meio do uso de indicadores, que são atributos que medem ou refletem o estado ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema (TORMENA et al., 2002).

O conhecimento da distribuição espacial dos índices de qualidade dos solos torna-se essencial neste caso, pois vem facilitar o estudo de suas relações com o tipo de manejo do solo, o efeito no ambiente e a capacidade produtiva dos sistemas agropecuários. Para tanto, torna-se necessário pesquisar uma metodologia para a obtenção dos índices de qualidade de solos que considere a variabilidade espacial das características físicas, químicas e biológicas, os sistemas produtivos e de vegetação natural estabelecidos em diferentes condições de uso e manejo do solo.

Importantes sistemas produtivos agroenergéticos foram associados nesta proposta, como a soja e a cana-de-açúcar, além de pastagem, que, na maioria das vezes, está inserida nos sistemas ao longo do tempo.

As áreas concentradas no Estado de São Paulo, nas proximidades do Município de Campinas favoreceram, assim, a logística das atividades de campo desenvolvidas. Camadas de solo foram amostradas em pontos georreferenciados para a formação da base de dados, analisados quanto à variabilidade espacial por meio da análise geoestatística. Dados dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo foram obtidos e confrontados com os dados de produção de soja, cana-de-açúcar e pastagem nos mesmos pontos de coleta do solo, como meio de validação e correlação com os índices de qualidade do solo.

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Doutora em Energia na Agricultura, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, [celia.grego@embrapa.br](mailto:celia.grego@embrapa.br)

<sup>2</sup> Zootecnista, Doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, [cristina.rodrigues@embrapa.br](mailto:cristina.rodrigues@embrapa.br)

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, [sandra.nogueira@embrapa.br](mailto:sandra.nogueira@embrapa.br)

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônomo, Doutor em Pedologia, professor-adjunto da Universidade Federal do Piauí, Terezina-PI, [valladares@ufpi.edu.br](mailto:valladares@ufpi.edu.br)

<sup>5</sup> Graduanda em Geografia, bolsista na Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, [raquel.long@colaborador.embrapa.br](mailto:raquel.long@colaborador.embrapa.br)

Para a geração do índice de qualidade do solo, foi aplicada a metodologia de padronização dos dados e consideradas também as suas relações espaciais. A análise geoestatística utilizada para estudo de variabilidade espacial dos atributos do solo segundo Vieira (2000) auxilia na otimização do manejo mais adequado do solo, minimizando os efeitos de degradação no ambiente, tornando o solo mais produtivo não só de imediato, mas também no longo prazo.

## Objetivos

Apresentar a base de dados espacial de atributos do solo para subsidiar a metodologia do índice de qualidade do solo nos sistemas agropecuários soja, cana-de-açúcar e pastagem utilizando dados coletados em campo e ferramentas de geoestatística como contribuição à identificação da variabilidade espacial.

## Base de dados georreferenciados

As áreas de estudo foram concentradas no Estado de São Paulo, nas proximidades de Campinas em três áreas distintas detalhadas a seguir:

- Soja (*Glycine max* L. Merr.): área da Fazenda Santa Elisa, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, SP, num Latossolo Vermelho-Escuro cultivado em plantio direto com culturas anuais de grãos no verão e inverno.
- Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.): área da Fazenda Aparecida, localizada em Mogi Mirim, SP, num Latossolo Vermelho-Escuro, manejada sob sistema de plantio direto com o cultivo da cana-de-açúcar há 12 anos.
- Pastagem (*Brachiaria brizantha* Hochst. ex A. Rich): área da Fazenda do Instituto de Zootecnia de Nova Odessa, SP. O solo do local amostrado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Nas áreas amostradas, de aproximadamente 3 ha, foram coletados 50 pontos georreferenciados por cada um dos três sistemas agropecuários e em duas profundidades, totalizando 300 pontos de amostragem para cada atributo do solo. Dados de produção de cada sistema agropecuário foram obtidos nos mesmos pontos de coleta com a finalidade de validação e correlação com os indicadores de qualidade do solo.

As áreas de amostragem estão ilustradas quanto à imagem de satélite e à grade de amostragem na Figura 1.

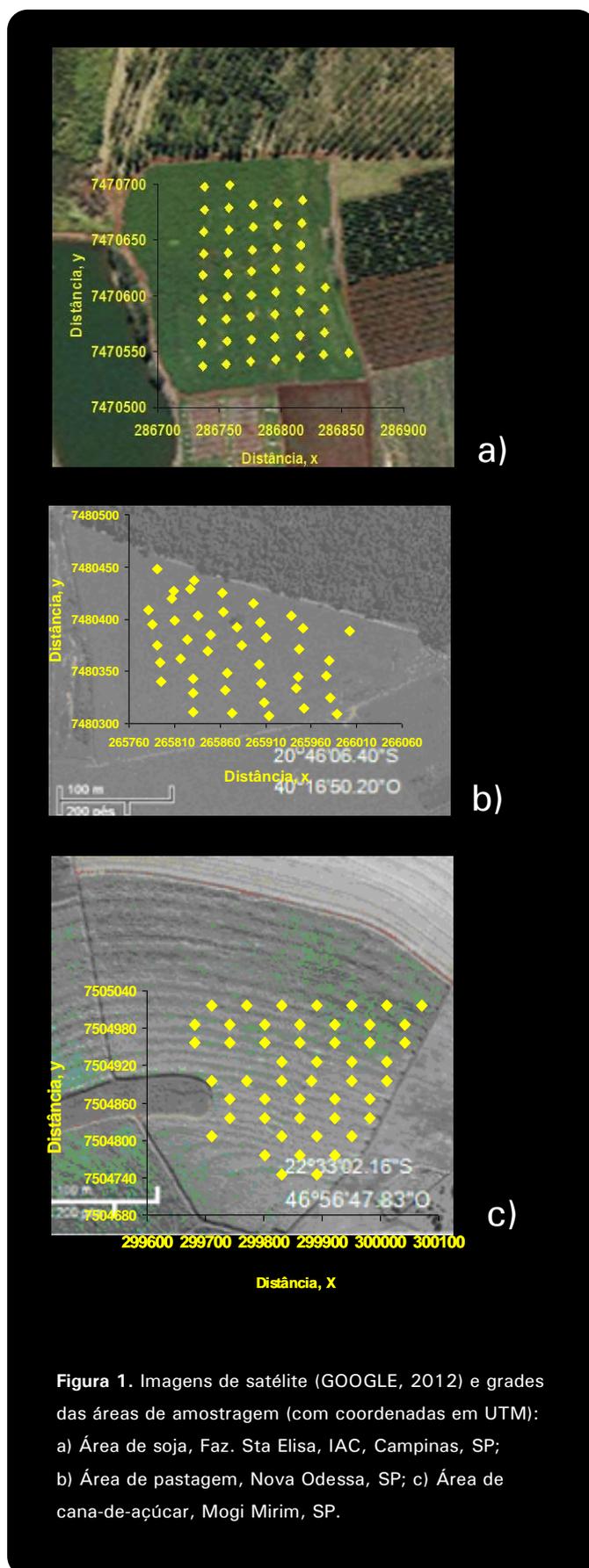


Figura 1. Imagens de satélite (GOOGLE, 2012) e grades das áreas de amostragem (com coordenadas em UTM): a) Área de soja, Faz. Sta Elisa, IAC, Campinas, SP; b) Área de pastagem, Nova Odessa, SP; c) Área de cana-de-açúcar, Mogi Mirim, SP.

## Dados químicos do solo

Foram coletadas amostras de solo deformadas para obter os dados dos atributos químicos após análise em laboratório: pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub>, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases,

alumínio, acidez potencial, CTC, saturação por bases, saturação por alumínio, fósforo (Mehlich 1), carbono orgânico, nitrogênio total, conforme metodologia da Embrapa (2006). Os dados médios por área de amostragem são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados químicos do solo médios para as culturas de soja, cana-de-açúcar e pastagem.

Dados químicos do solo	Unidade	Soja	Cana-de-açúcar	Pastagem
pH H <sub>2</sub> O 0 – 10 cm	–	5,60	6,28	5,26
pH H <sub>2</sub> O 10 – 20 cm	–	5,41	6,32	5,12
pH CaCl <sub>2</sub> 0 – 10 cm	–	5,02	5,44	4,56
pH CaCl <sub>2</sub> 10 – 20 cm	–	4,82	5,50	4,40
Matéria orgânica 0 – 10 cm	g dm <sup>-3</sup>	33,78	35,64	33,32
Matéria orgânica 10 – 20 cm	g dm <sup>-3</sup>	27,36	30,64	29,72
Fósforo (resina) 0 – 10 cm	mg dm <sup>-3</sup>	48,68	15,36	2,16
Fósforo (resina) 10 – 20cm	mg dm <sup>-3</sup>	33,76	20,00	1,32
Potássio 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,74	2,96	0,73
Potássio 10 –20 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,10	2,98	0,40
Cálcio 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	27,28	33,70	12,64
Cálcio 10 – 20 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	18,30	35,90	10,96
Magnésio 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,42	10,16	7,48
Magnésio 10 – 20 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,30	10,68	5,88
Hidrogênio + alumínio 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	41,82	34,40	40,16
Hidrogênio + alumínio 10 – 20 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	48,16	31,52	44,52
Alumínio 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,84	0,86	9,64
Alumínio 10 – 20 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,80	0,42	13,12
Capacidade de troca catiônica 0 – 10 cm	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	84,30	81,14	61,20
Capacidade de troca catiônica 10 – 20	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	78,02	81,14	61,76
Saturação por bases 0 – 10 cm	%	49,78	56,92	33,72
Saturação por bases 10 – 20 cm	%	38,00	60,60	27,84

## Dados físicos do solo

Foram levantados os atributos físicos indicadores da qualidade dos solos. Para granulometria, as amostras de solo foram deformadas e foram determinados, em laboratório, os teores de areia, silte e argila. Foram coletadas amostras indeformadas de solo, com anéis volumétricos de 100 cm<sup>3</sup>, para determinação da densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>), conforme metodologia descrita por Camargo et al. (1986). A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando o penetrômetro de impacto, segundo Stolf (1991), e a resistência média para camadas de 5 cm em MPa, da superfície (zero) até 40 cm de profundidade (quatro camadas, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm

e 30-40 cm) até 40 cm de profundidade (quatro camadas, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm).

Foi realizada uma medição por ponto até 40 cm de profundidade. As medições de permeabilidade foram efetuadas com o permeâmetro modelo IAC, de acordo com método estabelecido por Vieira (1998). Com as medições, são obtidas taxas constantes de infiltração correspondente a uma altura da carga hidráulica. Foram calculadas a infiltração tridimensional e a condutividade hidráulica saturada em cada ponto de amostragem do solo. Os dados médios por área de amostragem são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Dados físicos do solo médios para as culturas de soja, cana-de-açúcar e pastagem.

Dados físicos do solo	Soja	Cana-de-açúcar	Pastagem
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	125,29	234,64	364,86
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	507,21	471,42	367,68
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	367,50	293,94	267,46
Densidade 0-10 cm (g cm <sup>-3</sup> )	1,23	1,28	1,46
Densidade 10-20 cm (g cm <sup>-3</sup> )	1,32	1,40	1,48
Resistência penetração 0-10 cm MPa	2,53	5,51	5,01
Resistência penetração 10-20 cm MPa	5,21	9,08	6,50
Resistencia penetração 20-30 cm MPa	4,91	7,24	7,18
Resistência penetração 30-40 cm MPa	3,94	5,12	5,54
Infiltração de água no solo 10 cm	95,92	118,20	-
Infiltração de água no solo 20 cm	89,39	74,62	18,69

### Dados biológicos do solo

Foram determinadas a densidade e a composição dos principais grupos de microrganismos em sistemas agrícolas. Os microrganismos foram contados utilizando microscópio de epifluorescência, após coloração com DAPI (4,6-diamino-2-fenil-indol). Para a conversão de biovolume em carbono, foi utilizado o fator 105 fg C mm<sup>-3</sup>. A composição e a diversidade bacteriana foram determinadas pela técnica FISH (*fluorescence in situ hybridization*), seguindo o protocolo recomendado por Manz (1999) para a preparação das amostras. Foi quantificada a densidade de bactérias e medida a atividade a partir da estimativa do fluxo de gases para a atmosfera. O fluxo de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foi estimado utilizando um cilindro transparente (*static chamber technique*) (SATPATHY et al., 1998), com diâmetro interno de 20 cm e altura de 90 cm. Em cada área de amostragem, foram colocados, no mínimo, cinco cilindros. Os gases foram determinados por cromatografia gasosa. Após a análise, a densidade, a diversidade microbiana e o fluxo de gases foram integrados com os demais processos da metodologia do índice de qualidade do solo. Os dados da biologia do solo estão na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dados médios de fluxo de gases e bactérias do solo.

Dados biológicos do solo	Soja	Cana-de-açúcar	Pastagem
CO <sub>2</sub> mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	67,03	49,47	46,11
N <sub>2</sub> O μg N m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	12,32	0,58	-0,66
CH <sub>4</sub> μg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	3,65	5,13	-1,79
Bactérias por grama de solo (10 x 10 <sup>+8</sup> ) 0-5 cm	0,76	1,52	0,60
Bactérias por grama de solo (10 x 10 <sup>+8</sup> ) 5-10 cm	0,91	1,44	0,75
Bactérias por grama de solo (10 x 10 <sup>+8</sup> ) 10-15 cm	0,77	1,22	0,59

### Dados da produção agropecuária

Dados de produção de soja, cana e biomassa de pastagem foram obtidos nos mesmos pontos de coleta de solos, abrangendo toda a área. Para soja, cana-de-açúcar e pastagem, foram delimitadas áreas úteis em cada ponto de amostragem, coletadas as partes produtivas da planta na fase de colheita e obtidas as produções em kg ha<sup>-1</sup> ou t ha<sup>-1</sup>.

Particularmente para pastagem (*Brachiaria brizantha* Hochst. ex A. Rich), a massa de forragem foi estimada conforme o método do rendimento comparativo (HAYDOCK; SHAW, 1975) utilizado por Machado et al. (2007). O método requer a seleção de quadrados padrão, que representaram as diferenças de produção a serem encontradas na área. A seleção desses padrões promoveu o treinamento do observador para as estimativas visuais posteriores. Após a calibragem visual, quadrados de ferro com área de 0,25 m<sup>2</sup> foram marcados na pastagem, e cada observador atribuiu o seu escore visual. Posteriormente, os quadrados foram cortados, a forragem, recolhida e seca em estufa, e foi feito o cálculo da regressão entre o escore visual e o peso da forragem seca. A taxa de acúmulo diário de

massa seca (MS, em  $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) foi estimada nas mesmas datas da amostragem da fitomassa, a cada 28 dias no período de um ano, utilizando 15 gaiolas de exclusão ao pastejo, conforme metodologia citada por Moraes et al. (1990).

Os dados médios de produtividade estão na Tabela 4, e as fotos das três áreas amostradas quanto à produção estão na Figura 2.

**Tabela 4.** Dados médios de produtividade dos sistemas agropecuários soja, cana-de-açúcar e pastagem estação verão (V) e outono (O).

Produtividade das culturas	
Soja ( $\text{t ha}^{-1}$ )	2,03
Cana-de-açúcar ( $\text{t ha}^{-1}$ )	117,85
Biomassa da pastagem (V) ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ )	2.142,00
Biomassa da pastagem (O) ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ )	6.048,00



**Figura 2.** Fotos das culturas durante a amostragem da produção agropecuária: a) cana-de-açúcar, b) pastagem e c) soja.

## Metodologia dos índices de qualidade do solo

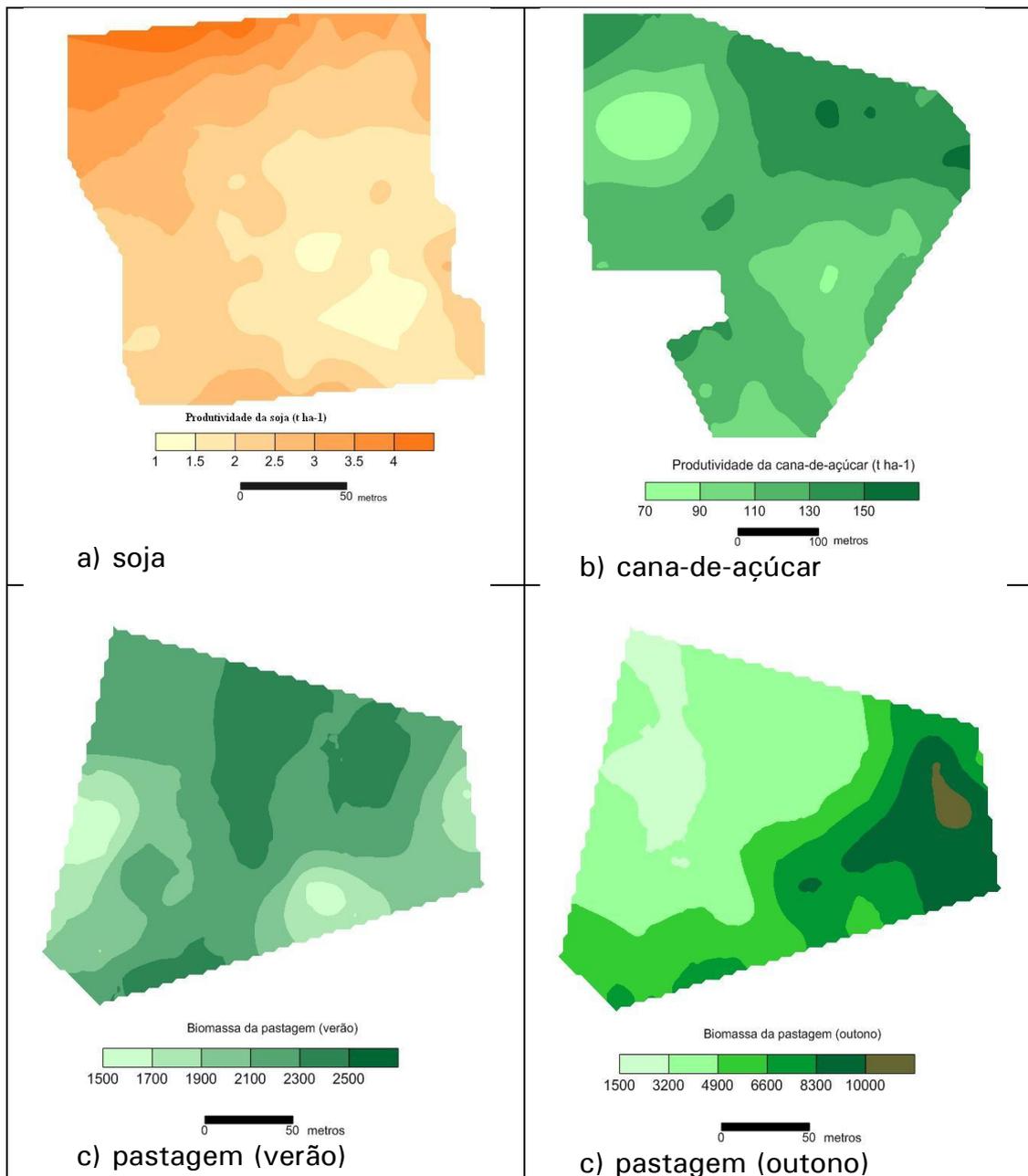
O índice de qualidade do solo é uma ferramenta metodológica com foco na avaliação relativa de atributos físicos, químicos e biológicos. Os requerimentos básicos para o cálculo do índice incluem a seleção de variáveis e a mensuração de alguns atributos do solo (VALLADARES et al., 2007). Para auxiliar no estabelecimento dos pesos dos indicadores de qualidade do solo, foram utilizados padrões dos atributos levantados em literatura, e os atributos foram correlacionados com a produção dos sistemas agropecuários.

## Análise de dados – estatística e geoestatística

Primeiramente os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, e foram determinados média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimos e máximos, assimetria e curtose. Foi realizada a análise de frequência dos dados, de modo a verificar se houve distribuição normal das variáveis e/ou se havia necessidade de transformações. Para a análise de variabilidade espacial dos atributos obtidos espacialmente em pontos georreferenciados, foram utilizadas técnicas de geoestatística, particularmente a análise de semivariogramas descrita por Vieira (2000).

A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância, de acordo com a distância entre pontos, e foram construídos e ajustados semivariogramas. Segundo Vieira (2000), medições localizadas próximas devem ser mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias, isto é, a semivariância aumenta com a distância até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance tiveram distribuição aleatória e, por isso, foram independentes entre si. O resultado do trabalho está expresso na forma de mapas de isolinhas decorrentes de interpolação por krigagem, de acordo com Druck et al. (2004). A análise foi realizada com auxílio dos programas descritos em Vieira et al. (2002), com os softwares Surfer 9.0 e ArcInfo (com as extensões Geostatistical Analyst, 3D Analyst e Spatial Analyst).

Exemplos de mapas obtidos dos atributos físicos, químicos, biológicos do solo e de produtividade dos sistemas agropecuários estão na Figura 3.



**Figura 3.** Mapas da produtividade dos sistemas agropecuários obtidos por interpolação de dados por krigagem:

a) soja, b) cana-de-açúcar, c) pastagem (verão), d) pastagem (outono).

## Considerações finais

Os dados dos produtos expostos foram representados espacialmente e compõem a base de dados georreferenciados produzida pelo projeto “Variabilidade espacial dos índices de qualidade do solo para sistemas agropecuários” disponibilizada pela Embrapa Monitoramento por Satélite e parceiros.

Como produto, serão disponibilizados a metodologia do cálculo dos índices de qualidade do solo para os sistemas agropecuários e os

mapas decorrentes do estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e da produtividade das culturas.

O banco de dados possibilitou organizar todos os dados gerados em conjunto com dados primários oriundos de coletas em campo e propiciou a análise espacial dos indicadores da qualidade do solo.

## Referências

- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106.)
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- GOOGLE. **Municípios de Mogi Mirim e Nova Odessa, Estado de São Paulo**, 2012. Disponível em: <<http://www.maps.google.com>>. Acesso em: 16 jul. 2012.
- HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 15, p. 663-670, 1975.
- MACHADO, L. A. Z.; FABRÍCIO, A. C.; ASSIS, P. G. G. de; MARASCHIN, G. E. Estrutura do dossel em pastagens de capim-marandu submetidas a quatro ofertas de lâminas foliares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 10, p. 1495-1501, 2007.
- MANZ, W. In situ analysis of microbial biofilms by rRNA targeted oligonucleotide probing. **Methods in Enzymology**, v. 310, p.79-90, 1999.
- MORAES, A. de; MOOJEN, E. L.; MARASCHIN, G. E. Comparação de métodos de estimativa de taxa de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990. Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1990. p. 332.
- SATPATHY, S. N.; MISHRA, S.; ADHYA, T. K.; RAMAKRISHNAN, B.; RAO, V. R.; SETHUNATHAN, N. Cultivar variation in methane efflux from tropical rice. **Plant Soil**, 202, p. 223-229, 1998.
- STOLF, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.
- VALLADARES, G. S.; DE MARIA, I. C.; QUARTAROLI, C. F.; GREGO, C. R.; CAMARGO, O. A. de. **Índice de qualidade dos solos do nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. 16 p. (Circular Técnica, 13).
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.
- VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, v. 16, p. 47-50, 1998.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical 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, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 1-45.

## Comunicado Técnico, 32

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**  
**Endereço:** Av. Soldado Passarinho, 303  
Fazenda Chapadão  
CEP 13070-115 Campinas, SP  
**Fone:** (19) 3211-6200  
**Fax:** (19) 3211-6222  
**E-mail:** cnpm.sac@embrapa.br

**1ª edição**  
Versão eletrônica (2012)

## Comitê de Publicações

**Presidente:** Cristina Criscuolo  
**Secretária-Executiva:** Bibiana Teixeira de Almeida  
**Membros:** Daniel Gomes dos Santos Wendriner Loebmann, Fabio Enrique Torresan, Janice Freitas Leivas, Ricardo Guimarães Andrade, Shirley Soares da Silva e Vera Viana dos Santos

## Expediente

**Supervisão editorial:** Cristina Criscuolo  
**Revisão de texto:** Bibiana Teixeira de Almeida  
**Normalização bibliográfica:** Vera Viana dos Santos  
**Editoração eletrônica:** Shirley Soares da Silva  
**Ilustrações:** Acervo da Unidade

## Agradecimentos

Ao Instituto Agronômico de Campinas, ao Instituto de Zootecnia e à Fazenda Aparecida, parceiros que cederem as áreas de amostragem, e a todos os parceiros do projeto "Variabilidade espacial dos índices de qualidade do solo para sistemas agropecuários", internos e externos à Embrapa, que nos apoiaram na realização do trabalho.



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

