



Variabilidade espacial de parâmetros de solo e índice de vegetação em área cultivada com sorgo e capim-marandu em sistema de integração lavoura-pecuária

Alberto C. de Campos Bernardi¹
Célia Regina Grego²
Ricardo Guimarães Andrade³
Ladislau Marcelino Rabello⁴
Ricardo Y. Inamasu⁵

Introdução

A rotação de culturas anuais com pastagens, também conhecida como sistema de integração lavoura-pecuária (SILP), tem sido utilizada como uma das alternativas para a sustentabilidade, econômica e ecológica, dos sistemas de produção agropecuária. De acordo com Kluthcouski e Aidar (2003), a utilização do consórcio de culturas anuais com forrageiras pode ser preconizada na formação e na reforma de pastagens, na produção de forragem para alimentação animal na entressafra e também no confinamento de bovinos, bem como na obtenção de cobertura morta para plantio direto de culturas.

A agricultura de precisão (AP) auxilia os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH e KHOSLA, 2003). Entretanto, a AP requer ferramentas para avaliar a variabilidade espacial do solo que possibilitem a redução das amostragens intensivas e caras (MCBRATNEY e PRINGLE, 1999).

A condutividade elétrica (CE) aparente do solo integra a textura e a disponibilidade de água, duas características do solo que afetam a produtividade, e pode auxiliar na interpretação das variações de rendimento das culturas (KITCHEN et al., 1999) e foi relacionada com a variabilidade espacial da produção das culturas (KITCHEN et al., 1999; LUCHIARI et al., 2001). No Brasil, Machado et al. (2006) verificaram que os valores da CE estavam relacionados com o teor de argila do solo e sua variabilidade espacial e foi útil para o estabelecimento dos limites de zonas de manejo em lavoura de soja.

Os índices de vegetação obtidos por satélite têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa de culturas e pastagens, uma vez que o sensoriamento remoto fornece padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas e tem sido útil na estimativa de parâmetros biofísicos (MOGES et al., 2004; NUMATA et al., 2007).

¹ Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, alberto@cnpse.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

² Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP., cregrego@cnpm.embrapa.br.

³ Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP., ricardo@cnpm.embrapa.br.

⁴ Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, rabello@cnpdia.embrapa.br.

⁵ Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, ricardo@cnpdia.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

O índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI), por ser uma ferramenta rápida e eficiente de detecção de variações na vegetação (ROUSE et al., 1973), é comumente usado para avaliar a sanidade, a biomassa e o teor de nutrientes das plantas. Este índice também se correlaciona com rendimentos agrícolas (MOCHHEIM e BARBER, 1998). O cálculo é feito pela diferença de refletância entre a faixa de infravermelho próximo (NIR) e a do vermelho visível (VIS), normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (ROUSE et al., 1973). Neste índice, é incluída especificamente a região do vermelho, em substituição a de toda região do visível, devido à maior absorção da radiação eletromagnética pela clorofila para esta faixa espectral em relação às demais. Em adição, esta faixa espectral tem a vantagem de corresponder a de maior comprimento de onda na faixa do visível e de menor interferência da atmosfera (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007). Além disso, é um índice adequado para áreas com coberturas vegetais maiores que 80%, pois é pouco afetado pelos fatores topográficos (LYON et al., 1998).

O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial das propriedades químicas e físicas do solo e de um índice de vegetação em área cultivada com sorgo e capim-marandu em sistema de lavoura-pecuária.

Condução do trabalho

O estudo foi conduzido em área de 12 ha na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (22°01' S e 47°54' W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa (CALDERANO FILHO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com histórico de 1502 mm de precipitação pluvial anual, e médias de temperaturas mínima e máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente (CEPAGRI, 2010).

As amostragens do solo, realizadas em outubro de 2008, precederam a semeadura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) var. BRS 610 (híbrido) e do capim-marandu (*Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf cv Marandu sin.: *Brachiaria brizantha*). Esta foi realizada em novembro de 2008 de forma

a resultar em uma população de 5 plantas por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,8 m. A semeadura da forrageira (8 kg ha⁻¹ de sementes comerciais) ocorreu concomitantemente à do sorgo, entre linhas, porém em operação distinta e sem adubação de plantio.

A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade de amostragem hexagonal (Figura 1) com 6 subamostras para compor uma amostra composta, sendo que cada hexágono cobria a área de 1 ha, e as subamostras foram retiradas aleatoriamente, dentro dos limites do polígono. Foram coletadas 12 amostras e mais 8 pontos extras na transversal da área, totalizando assim 20 amostras. A coleta de amostras de solo foi realizada com um quadriciclo (Figura 2) equipado com GPS e trado de rosca de aço inoxidável, com regulagem de profundidade e de acionamento elétricos, que possibilitou a delimitação dos pontos com suas respectivas coordenadas geográficas.

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas de acordo com Primavesi et al. (2005) e analisadas para determinação do pH em água, da matéria orgânica, do P disponível pelo método da resina, dos teores trocáveis de K, Ca e Mg, da acidez trocável e potencial, e dos teores de argila e areia. Indiretamente foram calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0.

A condutividade elétrica (CE) do solo foi medida com o equipamento Veris modelo 3100 da Veris Technologies, Salina, KS (LUND et al., 1999). Essa medida ocorreu antes do plantio do sorgo e do capim-marandu. Duas imagens do Landsat 5 (TM5) foram utilizadas neste estudo: 2009/04/22 e 2009/10/31, respectivamente, correspondente ao final do ciclo do sorgo (fevereiro) e ao início do ciclo da forragem (outubro). O NDVI foi calculado de acordo com Choudhury (1987), conforme a equação (1):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

Em que, ρ_{NIR} e ρ_R são as refletâncias das bandas do vermelho e infravermelho próximo (nm).

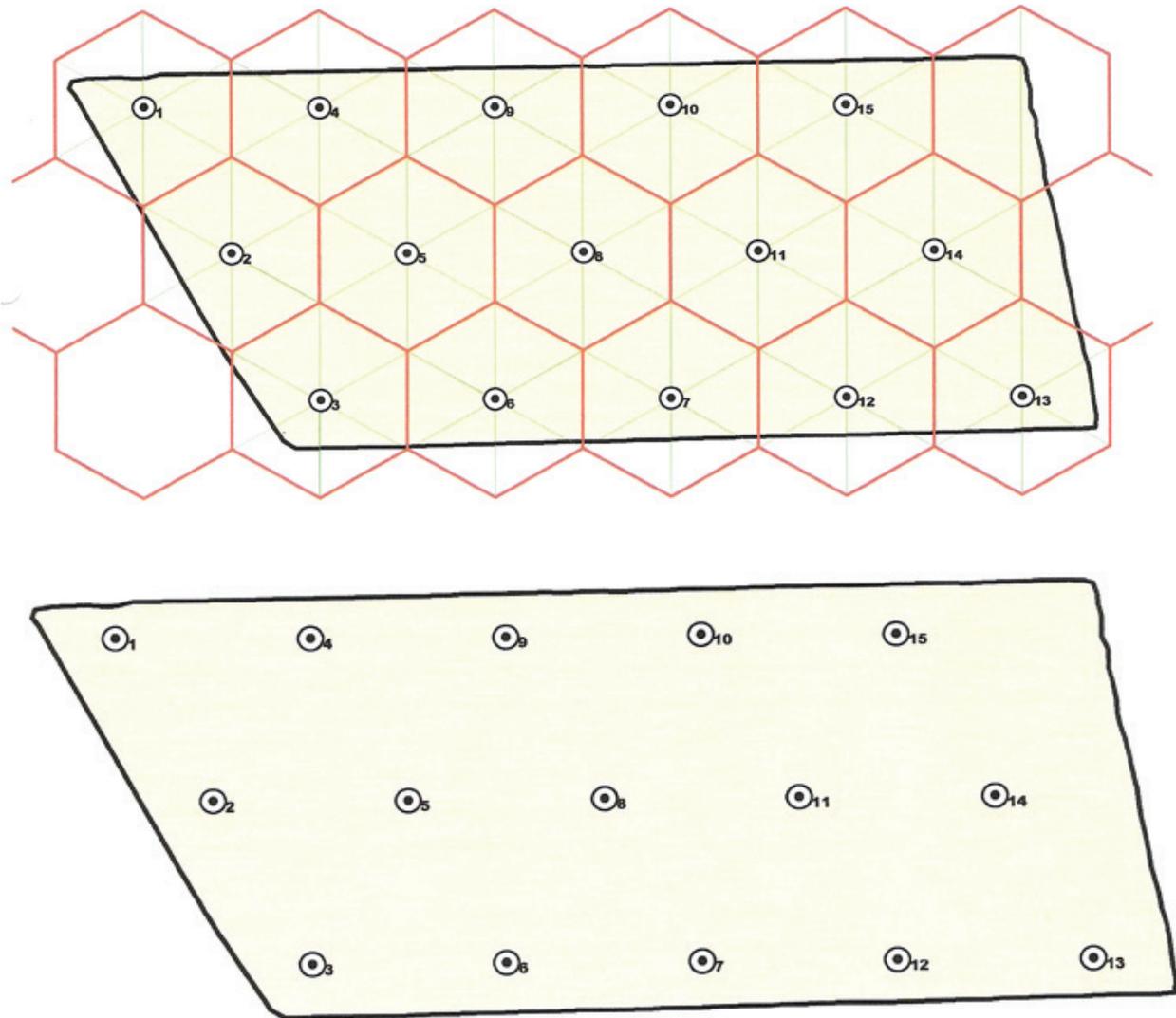


Figura 1. Esquema da amostragem de solo em malha regular hexagonal e a localização dos pontos.



Figura 2. Quadriciclo equipado com amostrador de solo (Foto: Bunge Fertilizantes).

Os modelos de semivariograma foram ajustados utilizando GEOEST (VIEIRA et al., 2002). Os mapas de NDVI e CE foram estimados pelo método da krigagem, e o mapa das propriedades do solo pelo método do inverso do quadrado da distância. Os mapas de contorno das estimativas foram feitos com Arc Gis 9.2.

Apresentação e discussão dos resultados

Os parâmetros estatísticos de todas as variáveis analisadas são apresentados na Tabela 1. Esses parâmetros estatísticos como média, variância, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose dos atributos do solo da área de estudo na profundidade de 0 a 20 cm foram obtidos a fim de verificar a existência de uma tendência central, a dispersão e a variabilidade dos atributos analisados: pH em água; matéria orgânica; P disponível pelo método da resina; teores de K trocável, areia e argila; saturação por bases, capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0, condutividade elétrica (CE) e índices NDVI (sorgo e capim-marandu).

O pH, saturação por bases (V%), teor de areia e os índices NDVI (sorgo e capim-marandu) foram os atributos que apresentaram as menores magnitude

de variação, ou seja, coeficiente de variação (CV) inferior a 10%. Os teores de matéria orgânica, de argila e CTC apresentaram CV entre 10 e 15%, e o teor de K+ apresentou CV de 24%. Os teores de P e CE apresentaram as mais altas variabilidades, ou seja, CV maior que 30%.

O conjunto de dados para os parâmetros argila, condutividade elétrica, NDVI (sorgo e do capim-marandu) se aproximam da distribuição normal, uma vez que os valores dos coeficientes de assimetria e curtose aproximam-se de zero (Vieira et al., 2000).

De acordo com Kravchenko (2003) o nível de variabilidade dos dados é importante no manejo de sítios específicos, uma vez que as propriedades do solo com alta variabilidade (como P e CE, no presente estudo) são potencialmente mais apropriadas para serem manejadas espacialmente que aquelas uniformemente distribuídas (como V%). Por outro lado, o mapeamento das propriedades do solo com alta variabilidade espacial pode ter menor acurácia que os valores com menor variabilidade. As tendências de variação dos valores dos atributos de solo obtidos nesse estudo estão de acordo aos observados por Mulla e McBratney (2000), Machado et al. (2004) e Bernardi et al. (2009) para diversos parâmetros de solo.

Tabela 1. Estatísticas descritivas para pH, M.O., P, K, CTC, V%, areia, argila, CE, e NDVI de um sistema de integração lavoura-pecuária.

	pH água	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K cmol _c dm ⁻³	CTC	V %	Areia	Argila	CE	NDVI (sorgo)	NDVI (capim-marandu)
Média	6,33	43,60	36,35	1,42	65,37	66,68	653,35	284,30	2,94	0,75	0,67
Desvio padrão	0,18	4,87	20,52	0,34	9,17	6,66	19,23	38,64	1,43	0,03	0,04
Mínimo	6,00	35,00	9,00	0,80	52,30	54,80	627,00	215,00	0,40	0,56	0,60
Máximo	6,70	55,00	87,00	2,20	82,50	79,40	691,00	351,00	11,10	0,80	0,76
n	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16018,00	136,00	132,00
cv	2,76	11,17	56,45	23,86	14,02	10,00	2,94	13,59	48,76	4,34	6,09
Curtose	-0,1154	0,19346	0,608366	0,696197	-0,84426	-0,30559	-1,06781	-0,73989	1,886	1,799	1,790
Assimetria	0,1427	0,49804	0,933684	0,485565	0,41062	0,121486	0,152338	0,055745	-0,028	0,001	0,050

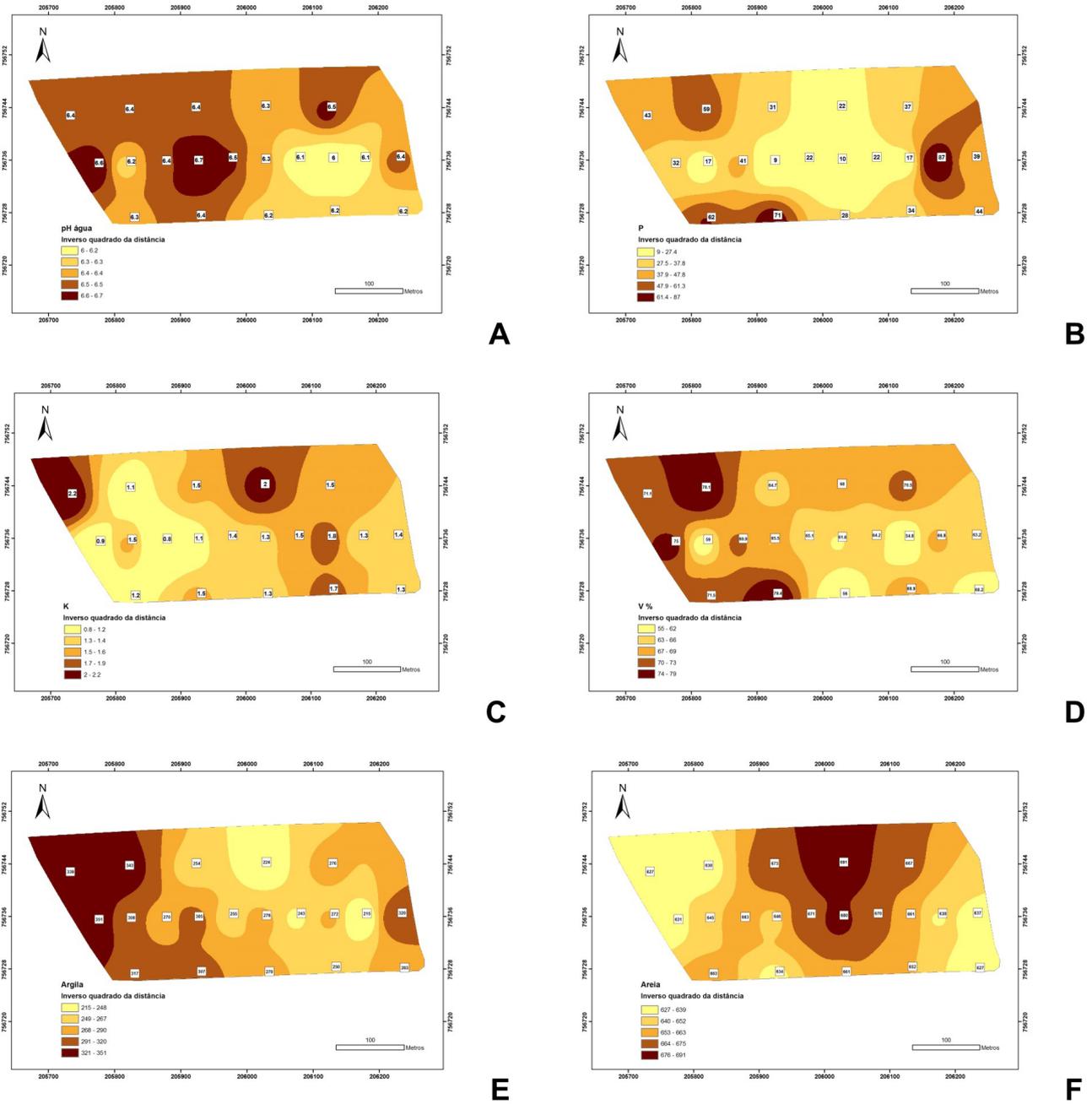
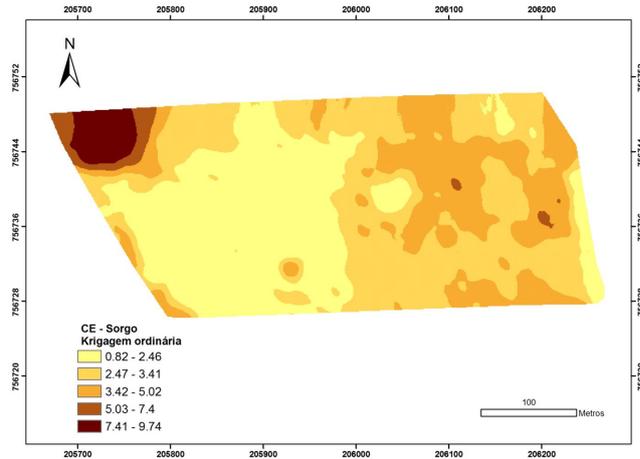
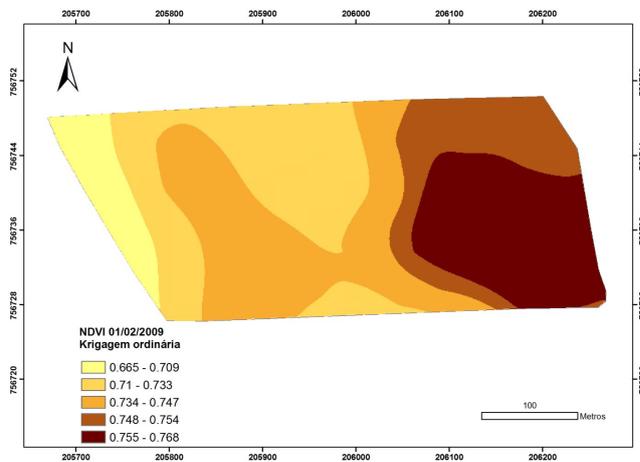


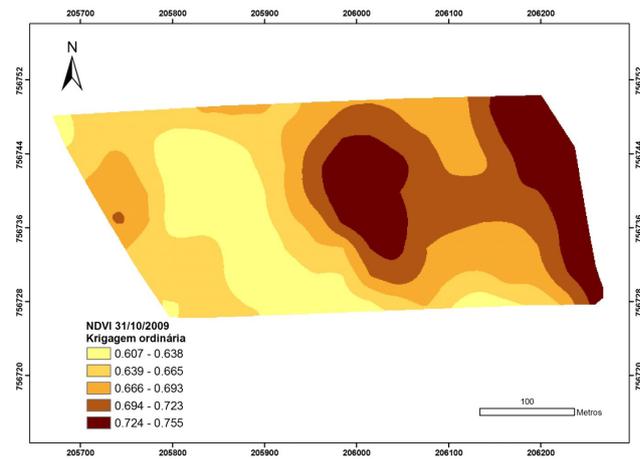
Figura 3. Mapas espacializados dos parâmetros de fertilidade do solo: pH (A), fósforo (B), potássio (C), V% (D), argila (E) e areia (F) da camada de 0-20 cm de profundidade de um sistema de integração lavoura-pecuária.



A



B



C

Figura 4. Mapas krigados da condutividade elétrica aparente do solo (A) e NDVI do sorgo (A) e pastagem (B) de um sistema de integração lavoura-pecuária.

Os semivariogramas experimentais para as variáveis NDVI e CE foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados (Tabela 2). O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais de NDVI (duas épocas) e do CE. Trangmar et al. (1985) já havia demonstrado que este modelo é o que melhor se ajusta para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos do solo. Os alcances da dependência espacial indicados pelos modelos dos semivariogramas foram maiores para o NDVI, com valores de 162 e 230 m, que foram maiores que o da CE (74 m). Estes resultados indicam que grades de amostragem com espaçamentos de 160 m seriam adequados para a caracterização da variabilidade espacial do NDVI para esta área de estudo. Então as imagens do satélite LANDSAT 5 utilizadas com resolução de 30 X 30 m são adequadas para este propósito. O mesmo ocorreu para as medidas de CE, nas quais espaçamentos de 74 m poderiam ser utilizados para caracterizar sua variabilidade espacial.

Já os parâmetros do solo (pH, MO, P, K, CTC, V%, argila e areia) apresentaram efeito pepita puro indicando fraca dependência espacial (Vieira et al. 2000). Isso provavelmente ocorreu devido à baixa densidade de pontos da grade de amostragem utilizada (20 pontos)

Na Figura 3 é apresentada a espacialização dos parâmetros de fertilidade do solo - pH, P, K, areia, argila, V% e CTC - da camada de 0-0,2 m de profundidade obtidos pelo inverso do quadrado da distância. De acordo com Raji et al. (1996), a acidez (Figura 3 A) pode ser considerada muito baixa, uma vez que os valores de pH são maiores que 6,0.

Os valores para P (Figura 3 B) foram considerados de baixo a médio (de 7 a 40 mg dm⁻³) nas áreas claras do mapa, e altos (entre 41 e 80 mg dm⁻³) nas áreas mais escuras. Os valores de K (Figura 3 C) estiveram entre baixo (0,8 a 1,5 mmolc dm⁻³) e médio (1,6 a 3,0 mmolc dm⁻³), e a saturação por bases (Figura 3 D) entre média (51 a 70%) e alta (71 a 90%). Estes valores indicam, na prática, que há diferenças dentro da área estudada, e que estas diferenças poderiam ser corrigidas com o uso de aplicação de fertilizantes (com fósforo e potássio) em taxas variadas. Destaca-se ainda uma tendência dos teores P e valores de V% serem maiores nos pontos do mapa que apresentam, respectivamente, maiores teores de argila (Figura 3 E) e menores de areia (Figura 3 F).

Após o ajuste dos semivariogramas das variáveis CE e NDVI, os parâmetros foram utilizados no processo de krigagem gerando mapas interpolados (Figura 4). Como a medida de CE integra algumas propriedades do solo como textura, matéria orgânica, CTC (Lund et al., 1999) era esperada uma tendência deste mapas apresentarem o mesmo padrão. No entanto, houve apenas a tendência do mapa de CE (Figura 4 A) acompanhar o mapa do teor de argila (Figura 3 E), como também havia sido observado por Machado et al. (2006).

O NDVI depende do contraste espectral entre as bandas vermelho e infravermelho próximo e é sensível ao conteúdo de clorofila das folhas e índice de área foliar da vegetação (MOGES et al., 2004; NUMATA et al., 2007), o que sugere aumentos do NDVI indicando maior produção (áreas mais escuras) da parte aérea, tanto do sorgo (Figura 4 B) como do capim-marandu (Figura 4 C).

Tabela 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para CE e NDVI de um sistema de integração lavoura-pecuária.

Variável	C0 (Efeito pepita)	C1 (variância estrutural)	a (alcance)	Modelo de Ajuste
NDVI 01/02/2009 (sorgo)	0.000616	0.000386	161.72	Esférico
NDVI 31/10/2009 (capim-marandu)	0.00017	0.0018	230	Esférico
CE	0.9	0.448	74.39	Esférico

Conclusões:

Os resultados deste estudo em sistema de integração lavoura-pecuária mostraram que:

A densidade de amostragem adotada foi insuficiente para uma adequada caracterização da variabilidade espacial de parâmetros do solo.

O mapa da CE apresentou com a mesma tendência do teor de argila .

O sensoriamento remoto via imagens orbitais tem potencial para o mapeamento da variabilidade espacial das lavouras e cultura subsequente (capim-marandu).

Agradecimentos

À Bunge Fertilizantes pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Referências

- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. I.; RABELLO, L. M. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada em sistema de integração lavoura-pecuária: um estudo de caso**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. 2009. 8 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado técnico, 93).
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 95 p. (EMBRAPA-CNPQ. Boletim de Pesquisa, 7).
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koepfen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- CHOUDHURY, B. J. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 22, n. 2, p. 209–233, 1987.
- KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. Soil Science Society. **American Journal**, v. 67, p. 1564-1571, 2003.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, p. 607–617, 1999.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 183-225.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, v. 8, p. 361–381, 2003.
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON S. **Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Madison, WI. Proceedings... Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2000. 1 CD-ROM
- LUND, E. D.; CHRISTY, C. D.; DRUMMOND, P. E. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999. Odense. **Proceedings...** Odense: Elsevier, 1999, p. 771-780,
- LYON, J. G.; YUAN, D.; LUNETTA, R. S.; ELVIDGE, C. D. A change detection experiment using vegetation indices. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 4, p. 143-150, 1998.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006.

MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219–236, 1999.

MOCHHEIM, K. P.; BARBER, D. G. Canada's using NOAA NDVI data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 17-27, 1998.

MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1431-1441, 2004.

NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F. R.; LEONIDAS, F. C.; SOARES, J. V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 314–327, 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2007. 130 p.

PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE, 1973, Washington. **Proceedings...** Washington.: NASA; Goddard Space Flight Center, 1973 p. 309-317.

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

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.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p.45-94. 1985.

CGPE:

Comunicado Técnico, 96

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Pecuária Sudeste
Endereço: Rod. Washington Luiz, km 234,
São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
E-mail: sac@cppse.embrapa.br

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



1ª edição on-line: (2010)

Comitê de publicações

Presidente: Ana Rita de Araujo Nogueira.
Secretário-Executivo: Simone Cristina Méo Niciura.
Membros: Ane Lisye F.G. Silvestre, Maria Cristina Campanelli Brito, Milena Ambrosio Telles, Sônia Borges de Alencar.

Expediente

Revisão de texto: .
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito.

Apoio:

