



INDICADORES FÍSICOS DA QUALIDADE DO SOLO RELACIONADOS ESPECIALMENTE COM A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E PASTAGEM

RAQUEL M. LONG¹; CÉLIA R. GREGO²; CRISTINA A. G. RODRIGUES³;
SANDRA F. NOGUEIRA⁴; ANDRÉ L. DOS S. FURTADO⁵

Nº 12505

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi relacionar espacialmente, por meio da análise de variabilidade espacial utilizando a geoestatística, os atributos indicadores da qualidade física do solo e da produtividade da cana-de-açúcar e pastagem. Duas áreas foram amostradas, a de cana-de-açúcar em Mogi Mirim, SP e a de pastagem de braquiária em Nova Odessa, SP. Os atributos analisados usando geoestatística foram densidade do solo, infiltração de água, produtividade de biomassa da pastagem e produtividade da cana-de-açúcar. Na área de pastagem houve dependência espacial para a densidade de 0-10 cm, para a infiltração de água a 20 cm e para a produtividade de biomassa. Na área de cana-de-açúcar, a dependência ocorreu apenas para a densidade do solo e produtividade. Locais com maior densidade do solo indicaram menores produtividades da cana-de-açúcar e da pastagem, sendo este um importante atributo a ser considerado em estudos de qualidade do solo. A insuficiência na distância de amostragem e o número de pontos são fatores que podem ter ocasionado a não dependência espacial de alguns atributos estudados. Para tanto, sugere-se que, em estudos futuros, sejam considerados atributos indicadores de fácil obtenção, como os de sensores e imagens de satélite, para auxiliar no planejamento das amostragens de campo.

ABSTRACT

The objective of this study was to detect spatial relations among indicative attributes for soil quality and sugarcane and pasture productivity using spatial variability analysis through geostatistics. Two areas were sampled (sugarcane and *Brachiaria* pasture), and the attributes analyzed using geostatistics were soil density, water infiltration, pasture biomass productivity and sugarcane productivity. We detected spatial

¹ Bolsista CNPq: Graduação em Geografia, PUC-Campinas, Campinas-SP, raquel.long@gmail.com.

² Orientadora: Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

³ Colaboradora: Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁴ Colaboradora: Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁵ Colaborador: Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.



dependence only for the 0-10 cm density and for sugarcane and pasture biomass productivity. Areas with greater soil density indicated lower sugarcane and pasture productivity, which qualifies this as an important attribute to be considered in soil quality studies. Insufficient sampling distance and number of points are factors that may have caused the lack of spatial dependence for some of the attributes studied. Therefore, we suggest that future studies consider indicative attributes which are easily obtained, such as those provided by satellite images and sensors, to aid in the planning of field samplings.

INTRODUÇÃO

Os indicadores físicos da qualidade do solo são fatores importantes para a determinação e avaliação da produtividade dos sistemas agropecuários. A discussão acerca desse tema intensificou-se a partir da década de 1990, com o intuito de se controlar a degradação dos recursos naturais (BOUMA, 2002; HARTEMINK, 1998).

A correlação dos indicadores físicos de qualidade do solo com a localização das áreas amostradas possibilita melhor manejo da variabilidade espacial do solo no campo, tendo em vista que se torna possível uma visualização clara das manchas indicadoras da dependência espacial, a qual nem sempre existe na aplicação de outros métodos de avaliação que não consideram o espaço.

Segundo Filizola e Gomes (2006), os atributos físicos de qualidade do solo assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Têm também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo.

A resistência do solo à penetração é um dos atributos físicos do solo diretamente relacionado com o crescimento das plantas e modificado pelos sistemas de preparo do solo. Valores excessivos de resistência do solo à penetração podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999) e na direção preferencial do crescimento radicular (IIJIMA; KONO, 1991). Estudos indicam que a resistência do solo à penetração das raízes tem efeitos diretos no crescimento da parte aérea das plantas e na partição de carboidratos entre a raiz e parte aérea (BAQUERO et al., 2012). Dessa forma, a resistência do solo à penetração é fundamental para a avaliação dos efeitos do manejo do ambiente físico do solo para o crescimento das plantas.

Vieira (2000) ressalta a necessidade de se avaliar a variabilidade espacial das amostragens de solo em campo por meio da geoestatística, no sentido de verificar a existência de dependência espacial, ou seja, a relação de similaridade entre pontos vizinhos amostrados. Segundo os autores, depois de verificada essa dependência é possível estimar valores para locais não amostrados, com variância mínima e sem tendência, por meio do método de krigagem. Dessa forma, a geoestatística revela-se uma ferramenta adequada para estudos que envolvem avaliação da qualidade do solo.

O objetivo deste trabalho é relacionar espacialmente, por meio da análise de variabilidade espacial utilizando a geoestatística, os atributos indicadores da qualidade física do solo e da produtividade da cana-de-açúcar e pastagem.

MATERIAL E MÉTODOS

As duas áreas de estudo apresentadas neste trabalho são a área de cana-de-açúcar e a área de pastagem de braquiária. A imagem de satélite correspondente à grade de amostragem está na Figura 1.

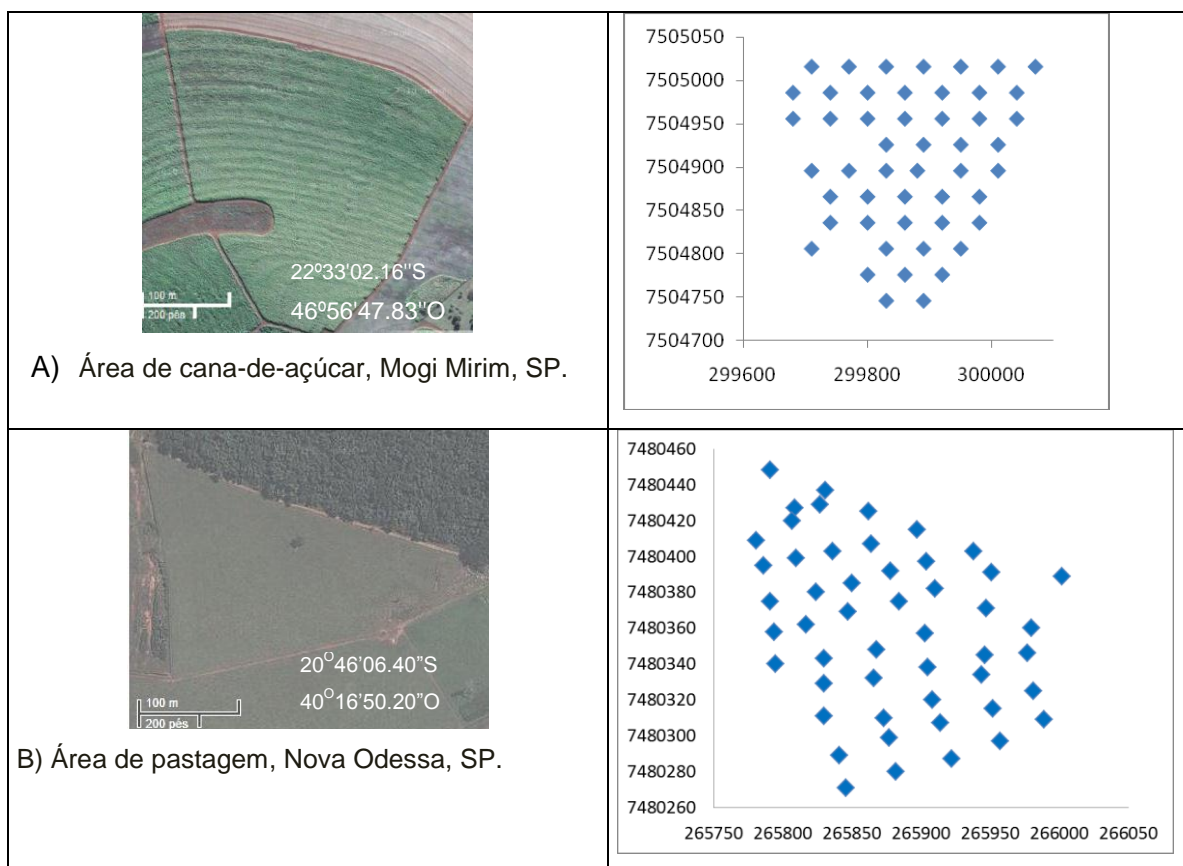


FIGURA 1. Imagens de satélite (GEOEYE, 2012) e grades (com coordenadas em UTM) das áreas de amostragem: A) Área de cana-de-açúcar, Mogi Mirim, SP; B) Área de pastagem, Nova Odessa, SP.

A área de cana-de-açúcar está localizada na fazenda Aparecida, em Mogi Mirim, SP (22°33'02.16"S, 46°56'47.83"O, com altitude média de 667 m). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, segundo Embrapa (2006). A área de pastagem de braquiária está localizada no Instituto de Zootecnia, em Nova Odessa, SP (20°46'06.40"S, 40°16'50.20"O, 570 m de altitude). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho amarelo, segundo Embrapa (2006). De acordo com a classificação climática internacional de Koeppen, as regiões das áreas experimentais apresentam transição entre os tipos climáticos Cwa e Cfa, perfil característico de clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido.

Os atributos físicos do solo obtidos e analisados neste trabalho foram:

- Densidade do solo: foi utilizada a metodologia do anel volumétrico, segundo Camargo et al. (1986), e obtida a densidade do solo (kg cm^{-3}) de 0-10 e de 10-20 cm.

- Infiltração de água no solo: foi utilizado o permeâmetro de Guelf modelo IAC (VIEIRA, 1998). O cálculo da infiltração (mm h^{-1}) foi realizado a partir da infiltração tridimensional, e a condutividade hidráulica saturada de campo, segundo Reynolds et al. (1992) a 10 e a 20 cm.

Produtividades obtidas nos dois sistemas agropecuários:

- Produtividade da cana-de-açúcar: a colheita da variedade SP 3280 de quinto corte foi realizada por meio da pesagem de dez colmos em cada ponto de amostragem, e os colmos e perfilhos foram contados numa linha de 2 m em cada ponto. Os dados foram tabulados e a produtividade (t ha^{-1}) foi calculada.

- Produtividade da pastagem de braquiária (*B.brizantha*): a estimativa da taxa de acúmulo de matéria seca, ou produtividade (kg MS ha^{-1}) foi obtida por meio de amostragens realizadas a cada 28 dias. Para tanto, empregou-se o método do triplo emparelhamento, segundo Davies et al. (1993), e calculou-se o acúmulo de matéria seca. Os dados foram agrupados para o período de verão e outono.

Os dados obtidos foram submetidos a análise estatística descritiva e geoestatística usando programas desenvolvidos por Vieira (2000). Foram realizados o processamento e a análise dos dados, que resultaram na elaboração e no ajuste de semivariogramas dos dados relacionados. A partir do semivariograma, verificou-se dependência espacial e, com esse resultado, foi realizada a krigagem ordinária dos dados com dependência espacial.

Com a krigagem foi possível interpolar os dados nos locais não amostrados, produzindo um conjunto de informações necessárias para a elaboração do mapa de isolinhas, forma de visualização desses dados interpolados pela krigagem. Os valores

interpolados por krigagem foram importados para o programa SURFER, no qual, de acordo com o contorno da área, foram obtidos os mapas de isolinhas dos atributos físicos do solo e da produtividade das culturas de cana-de-açúcar e pastagem das áreas amostradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados submetidos à estatística descritiva (Tabela 1) apresentaram, em sua maioria, normalidade de distribuição de frequência, com valores de assimetria e curtose próximos de zero, não indicando impeditivo para a análise geoestatística dos dados.

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos estudados: densidade do solo, em kg cm^{-3} , (0-10 e 10-20 cm); infiltração de água no solo (mm h^{-1}); produtividade da pastagem (kg MS ha^{-1}); produtividade da cana-de-açúcar (t ha^{-1}).

Atributos	Média	Variância	D. P.	Coef. Var.	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Pastagem								
Densidade 0-10 cm	1,466	0,012	0,110	7,513	1,260	1,650	0,021	-0,697
Densidade 10-20 cm	1,483	0,008	0,089	6,023	1,18	1,670	0,744	0,312
Infiltração de água a 20 cm	18,69	231,6	15,22	81,44	6,037	96,59	3,168	4,38
Produtividade Verão de 2010	2142.0	236400.0	486.2	22.7	1200.0	2930.0	-1.0	-0.2
Produtividade Outono de 2011	6048.0	12260000.0	3501.0	57.9	2202.0	13710.0	0.8	-0.5
Cana-de-açúcar								
Densidade 0-10 cm	1,277	0,005	0,070	5,497	1,180	1,410	0,543	-0,893
Densidade 10-20 cm	1,402	0,009	0,094	6,672	1,180	1,560	-0,209	-0,046
Infiltração de água a 10 cm	118,20	3.542,00	59,51	50,35	48,30	241,50	0,85	-0,04
Infiltração de água a 20 cm	74,62	2.758,00	52,52	70,38	24,15	241,50	1,68	2,95
Produtividade	117,8	757,00	27,51	23,35	57,1	187,3	0,09	-0,02

D.P. = desvio padrão; Coef. Var. = coeficiente de variação em %.

A única variável que apresentou valores de simetria e curtose distantes de zero foi a infiltração de água a 20 cm, provavelmente devido ao alto coeficiente de variação apresentado nos dados (81,44%), por ser um dado bastante pontual (VIEIRA, 1998). Os semivariogramas (Figura 2) foram construídos e ajustados de acordo com os parâmetros que indicam a dependência espacial. Porém, não foi possível ajustar os semivariogramas para a densidade de 10-20 cm na pastagem e densidade e infiltração de água no solo para a área com cana-de-açúcar. Essa impossibilidade de ajuste é

causada pelo chamado efeito pepita puro que, segundo Vieira (2000), é devido à não existência de patamar no semivariograma, indicando aleatoriedade nos dados para a distância amostrada. Esse resultado provavelmente indica que os fatores distância de amostragem e número de pontos foram insuficientes para que os atributos com efeito pepita puro pudessem expressar dependência; além disso, tanto a densidade quanto a infiltração são medidas muito pontuais. Na pastagem, o solo encontrava-se muito seco, característico do ponto de murcha permanente, o que pode ter mascarado as diferenças de densidade de 10-20 cm.

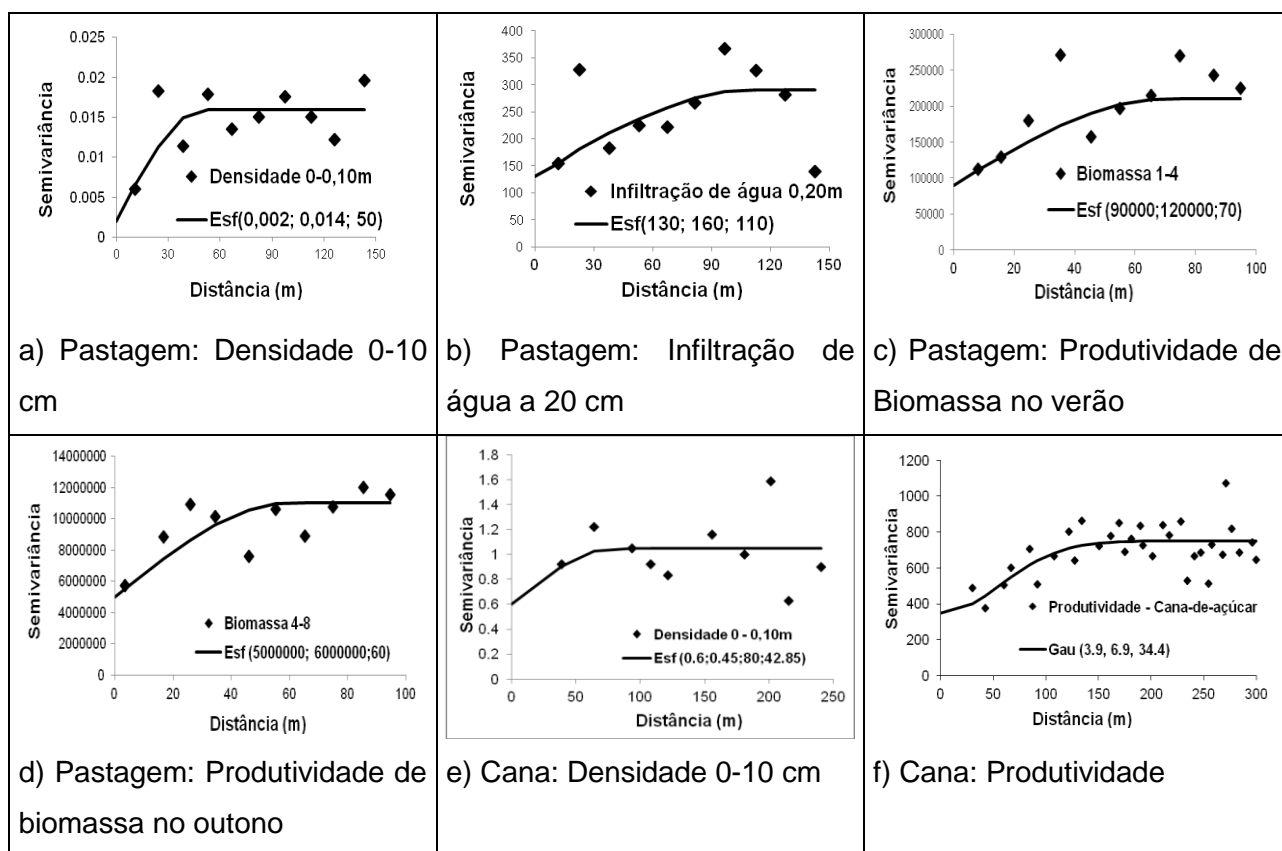


FIGURA 2. Semivariogramas das variáveis que apresentaram dependência espacial: a) densidade do solo, em kg cm^{-3} , (0-10 cm) na pastagem; b) infiltração de água no solo (mmh^{-1}) na pastagem; c) produtividade da pastagem no verão (kg MS ha^{-1}); d) produtividade da pastagem no outono (kg MS ha^{-1}); e) densidade do solo, em kg cm^{-3} , (0-10 cm) na cana-de-açúcar; f) produtividade da cana-de-açúcar (t ha^{-1}).

Mapas de isolinhas (Figura 3) foram construídos com as variáveis que possibilitaram ajuste dos semivariogramas.

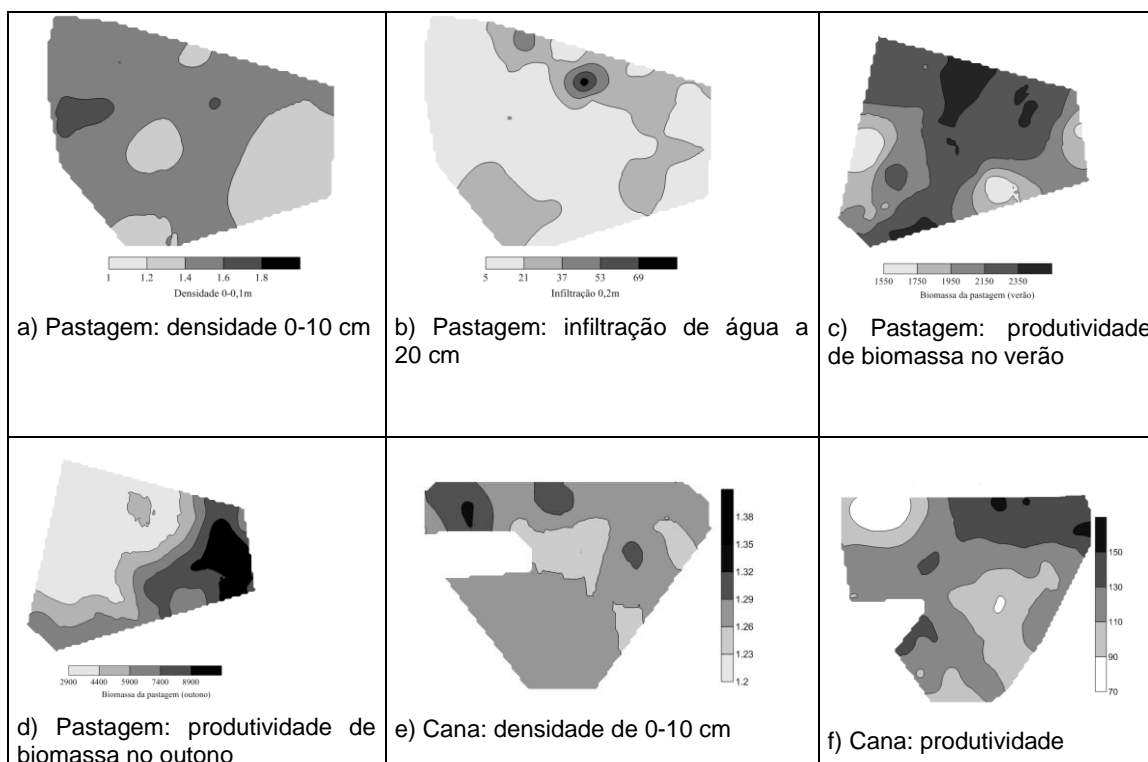


FIGURA 3. Mapas de isolinhas das variáveis que apresentaram dependência espacial: a) densidade do solo, em kg cm⁻³, (0-10 cm) na pastagem; b) infiltração de água no solo (mm h⁻¹) na pastagem; c) produtividade da pastagem (kg MS ha⁻¹) no verão; d) produtividade da pastagem (kg MS ha⁻¹) no outono; e) densidade do solo, em kg cm⁻³, (0-10 cm) na cana-de-açúcar; f) produtividade da cana-de-açúcar (t ha⁻¹).

Para a pastagem, notou-se que os locais com maior densidade do solo apresentaram menor infiltração de água, indicando maior compactação da área. Esse resultado está de acordo com Miguel et al. (2009), que concluíram que a taxa de infiltração de água no solo apresenta estrutura de dependência espacial que aumenta com a intensidade de pisoteio. A produtividade no verão não permite comparação com a de outono. Isso se deve às diferenças de precipitação no período, o que não permite detectar relações de similaridade para os dois mapas de produtividade de biomassa, ou seja, não permite verificar correlações positivas ou negativas de manchas com maiores ou menores valores para um mesmo local da área. A biomassa no outono apresenta certa relação com a densidade do solo, indicando que um local mais denso propicia menor crescimento da biomassa da pastagem estudada.

Para a cana-de-açúcar, nos mapas de densidade e produtividade pode-se identificar que locais mais densos, com as manchas mais escuras indicando maior densidade do solo, levam à redução da produtividade. Isso está de acordo com Baquero et al. (2012), que encontraram impeditivo ao pleno desenvolvimento radicular



da cana-de-açúcar devido ao aumento nos atributos físicos resistência à penetração, densidade e porosidade do solo, em comparação com a mata nativa.

CONCLUSÃO

Houve dependência espacial para a densidade de 0-10 cm e para a produtividade da cana-de-açúcar e biomassa da pastagem.

Os mapas obtidos pela análise geoestatística permitiram concluir que locais com maior densidade do solo indicaram menores produtividades dos sistemas agropecuários, sendo este um importante atributo a ser considerado em estudos de qualidade do solo.

Para os dados que não apresentaram dependência espacial, como a densidade de 10-20 cm na pastagem, densidade (10-20 cm) e infiltração de água no solo para área com cana-de-açúcar, não foi possível a obtenção dos mapas de krigagem. Isso indica que os fatores distância de amostragem e número de pontos foram insuficientes para que estes atributos pudessem expressar dependência. Sugere-se que em estudos posteriores, para auxiliar no planejamento das amostragens, sejam considerados atributos indicadores de fácil obtenção, como os de sensores e imagens de satélite. Assim, será possível concentrar a densidade de amostragem nas regiões onde existe maior variabilidade e diminuí-la nos locais mais uniformes.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – PIBIC, pela bolsa concedida, e à Embrapa Monitoramento por Satélite, pela oportunidade de aprendizado.

REFERÊNCIAS

- BAQUERO, J. E.; RASLICH, R.; MEDINA, C. de C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 63-70, 2012.
- BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 129-136, fev. 2002.
- 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.)



DAVIES, D. A.; FORTHERGILL, M.; MORGAN, C. T. Assessment of contrasting perennial ryegrass, with and without white clover, under continuous sheep stocking in the uplands. Herbage production, quality and intake in years. **Grass Forage Science**, v. 48, p. 213-222, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FILIZOLA, H.; GOMES, M. **Indicadores Físicos e químicos de qualidade do solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8 p.

GEOEYE. **Municípios de Mogi Mirim e Nova Odessa, Estado de São Paulo, 2012**. Disponível em: <<http://www.maps.google.com>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane cultivation in Papua New Guinea. **Geoderma**, v. 85, p. 283-306, 1998.

IJIMA, M.; KONO, Y. Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 60, p. 130-138, 1991.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 197-202, 1999.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513-1519, 2009.

REYNOLDS, W. D.; VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, n. 72, p.489-501, 1992.

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.