

## Variabilidade espacial da capacidade de troca catiônica e do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar.

**Marcelo Rodrigo Alves<sup>(1)</sup>; José Eduardo Soria<sup>(2)</sup>; Marcelo Andreotti<sup>(3)</sup>; Morel de Passos e Carvalho<sup>(3)</sup>; Nídia Raquel Costa<sup>(2)</sup>; Lucas Fernando Joaquim<sup>(1)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Engenheiros da CSolos Mapeamento e Consultoria, Piracicaba, SP; [marcelo@csolos.com.br](mailto:marcelo@csolos.com.br); [lucas@csolos.com.br](mailto:lucas@csolos.com.br);  
<sup>(2)</sup> Acadêmicos da pós-graduação em Agronomia (Sistemas de Produção) da FEIS/Unesp, Ilha Solteira, SP; [j.eduardosoria@gmail.com](mailto:j.eduardosoria@gmail.com); [nidiarcosta@gmail.com](mailto:nidiarcosta@gmail.com); <sup>(3)</sup> Professores da FEIS/Unesp; [dreotti@agr.feis.unesp.br](mailto:dreotti@agr.feis.unesp.br) (Bolsista CNPq); [morel@agr.feis.unesp.br](mailto:morel@agr.feis.unesp.br).

**RESUMO:** Vários fatores são responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas, dentre eles, destaca-se os atributos químicos do solo. O objetivo do trabalho foi analisar a variabilidade espacial do atributo químico capacidade de troca catiônica e sua interação com o potencial produtivo do solo para a cultura da cana-de-açúcar. Para as análises foram utilizados dados do levantamento de solos do Centro de Tecnologia Canavieira realizado na região noroeste do Estado de São Paulo, com fornecimento dos dados das coordenadas geográficas, da capacidade de troca de cátions e dos ambientes de produção. Foi realizada a análise estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas e mapas de krigagem. A capacidade de troca catiônica, na camada de 0 a 0,25 m, apresentou coeficiente de variação médio e forte dependência espacial. Os ambientes de produção apresentaram coeficiente de variação médio e moderada dependência espacial, sendo possível gerar em ambos os casos mapas de krigagem. A regressão entre estes atributos apresentou função quadrática, podendo assim aferir o ambiente de produção da cana-de-açúcar pelo valor da capacidade de troca catiônica do solo.

**Termos de indexação:** *Saccharum* spp.; geoestatística; ambientes de produção.

### INTRODUÇÃO

A produção e maturação da cultura da cana-de-açúcar são influenciadas por vários fatores, sendo os principais a interação edafoclimática, o manejo da cultura e a variedade escolhida (Cesar et al., 1987). Entre os fatores de produção responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas, os atributos químicos do solo assumem grande importância, pois, em muitos casos, não variam no espaço e no tempo ao acaso, mas de acordo com uma continuidade aparente ou dependência espacial (Corá & Beraldo, 2006). Sendo assim, Zanão Júnior et al. (2010) destacam que é fundamental o conhecimento da variabilidade espacial destes atributos para o estabelecimento do correto manejo da fertilidade do solo. O presente

trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do atributo químico capacidade de troca de catiônica e sua interação com o potencial produtivo do solo para a cultura da cana-de-açúcar na região noroeste do Estado de São Paulo.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na região noroeste do estado de São Paulo, Brasil, entre as latitudes 20°20'20" e 20°45'51" Sul e as longitudes 51°01'10" e 51°31'30" Oeste, englobando os municípios de Castilho, Ilha Solteira, Itapura, Pereira Barreto e Santa Fé do Sul. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é definido como Aw. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a área de estudo encontra-se predominantemente sobre as formações do Grupo Bauru, o qual apresenta o Arenito como principal rocha. Próximo às margens dos rios Paraná, São José dos Dourados e Tiete, tem-se o afloramento do Diabásio, pertencente à formação Serra Geral do Grupo São Bento.

#### Caracterização dos atributos avaliados

Foram utilizados dados do levantamento de solos do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, realizado na região noroeste do Estado de São Paulo. As informações fornecidas consistem em 638 pontos amostrais dos quais são conhecidas as coordenadas geográficas, os valores do atributo do solo estudado e a estimativa do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar. A coleta das amostras de solos foi realizada sob a cultura da cana-de-açúcar, sendo a amostragem realizada com o auxílio de um trado holandês, no meio da entrelinha da cultura. Foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0-0,25 m, as quais foram submetidas às determinações analíticas químicas em laboratório, segundo Raij et al. (2001). A capacidade de troca de cátions (CTC) foi calculada pela soma das bases do solo (potássio, cálcio e magnésio) mais a acidez potencial (H + Al). A estimativa do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar foi obtida a partir dos ambientes de produção (Joaquim et al., 1994;

Joaquim et al., 1997), sendo os ambientes transformados em valores numéricos (0 a 10) para análise dos dados, onde os melhores ambientes apresentam valores próximos a 10 e os piores ambientes apresentam valores próximos a 0.

### Análise estatística e geoestatística

A análise estatística foi efetuada com o SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) pela análise descritiva dos atributos. Foi realizada a correlação entre os atributos pesquisados para detectar a existência de correlações significativas entre o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar em função da CTC do solo. Seguidamente, efetuaram-se regressões entre os atributos.

A análise geoestatística foi feita com o programa Gamma Design Software 7.0 (GS+, 2004; Dalchiavon & Carvalho, 2012). Para cada atributo foi analisada a dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma isotrópico. O avaliador da dependência espacial (ADE) foi classificado como: a) fraco ( $ADE \leq 0,25$ ), b) moderado ( $0,25 < ADE \leq 0,75$ ), e c) forte ( $ADE < 0,75$ ), proposto por Cambardella et al. (1994). Efetuaram-se também as krigagens ordinárias para os atributos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de troca de cátions (T1) da camada 0-0,25 m apresentou os seguintes valores na análise da estatística descritiva: a) média de  $62,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; b) mediana de  $53,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; c) valor máximo de  $287,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; d) valor mínimo de  $31,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; e) desvio padrão de  $30,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; f) coeficiente de variação de 48,8%; g) coeficiente de curtose de 10,004; e, h) coeficiente de assimetria de 2,655; sendo a distribuição indefinida (não normal). O potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar (AMB) apresentou os seguintes valores na análise da estatística descritiva: a) média de 5,3; b) mediana de 5,0; c) valor máximo de 9; d) valor mínimo de 1; e) desvio padrão de 1,8; f) coeficiente de variação de 34,2%; g) coeficiente de curtose de 0,148; e, h) coeficiente de assimetria de 0,331; sendo a distribuição indefinida (não normal).

O tamanho da área e a quantidade de pontos amostrais, além da heterogeneidade dos pontos, devido à ocorrência de diferentes solos, podem ser a causa da distribuição indefinida dos dados dos atributos analisados, não permitindo avaliar a área de maneira homogênea. Os atributos T1 e o AMB apresentaram média variabilidade dos dados, de acordo com Warrick & Nielsen (1980). Segundo Carvalho et al. (2003), a variabilidade dos atributos

químicos do solo é consequência de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo. Braga (2011) observou uma distribuição tendendo a lognormal para capacidade de troca de cátions na camada de 0-0,20 m com um CV de 18,2%, entretanto numa escala muito menor que a do presente trabalho. Campos et al. (2009) verificaram valor de CV para o atributo T1 de 39%, em uma escala maior de 505 ha, enquadrando-se como média variabilidade, semelhante ao presente trabalho.

Os semivariogramas dos atributos estudados (T1 e AMB) apresentaram os parâmetros ajustados de: a) modelo: ambos exponenciais; b) efeito pepita ( $C_0$ ):  $1,48 \cdot 10^2$  e 1,38; c) patamar ( $C_0+C$ ):  $9,62 \cdot 10^2$  e 3,34; d) alcance ( $A_0$ ): 3,7 e 9 Km; e) coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ): 0,729 e 0,862; f) soma do quadrado do resíduo (SQR):  $6,37 \cdot 10^4$  e 0,151; e, f) avaliador da dependência espacial (ADE): 0,846 e 0,586. As validações cruzadas apresentaram os seguintes valores para os atributos (T1 e AMB): coeficiente adjunto (a) igual a 6,22 e 0; coeficiente angular (b) igual a 0,904 e 1,001 e coeficiente de correlação (r) de 0,555 e 0,612, respectivamente.

O atributo T1 apresentou forte dependência espacial e o AMB apresentou moderada dependência espacial, confirmando que suas variações não ocorrem ao acaso. Souza et al. (2010), ajustaram os atributos químicos do solo e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar ao modelo esférico, diferindo do presente trabalho. Braga (2011) verificou um ajuste gaussiano para a capacidade de troca catiônica na camada de 0-0,20 m, com moderada dependência espacial ( $ADE = 0,389$ ) e com um coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ) de 0,777, mesmo neste caso sendo numa malha geoestatística de menor escala e com alcance de 61,5 m.

A equação de regressão do AMB em função dos teores de T1 foi a seguinte:

$$AMB = 1,5223 + 0,077 T1 - 0,0002 T1^2$$

$$(r = 0,610^{**}, n = 638)$$

Portanto, pode-se aferir o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar da região estudada pelo valor da capacidade de troca de cátions na camada de 0-0,25 m, com valor máximo ajustado de  $192,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Souza et al. (2010) correlacionaram diversos atributos químicos do solo com a produtividade da cana-de-açúcar e verificaram baixa correlação entre eles, com exceção do teor de potássio. Braga (2011) não verificou correlação significativa entre a produtividade da cana-de-açúcar e os valores de capacidade de troca de cátions na camada de 0-



0,20 m.

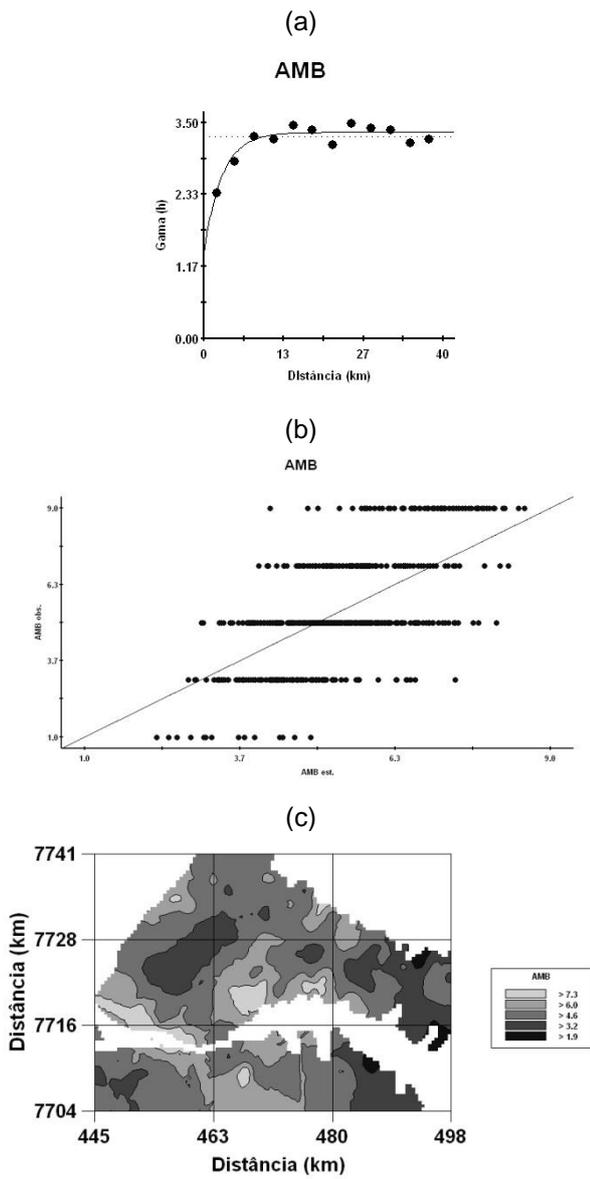
Nos mapas de krigagem (Figuras 1 e 2) dos atributos T1 e AMB, pode-se constatar semelhança entre eles, onde nas regiões com menores valores de capacidade de troca catiônica foram verificados os piores valores para o ambiente de produção, e vice-versa. Também Campos et al. (2009) utilizaram um conjunto de mapas de krigagem de atributos granulométricos e químicos do solo para estabelecer zonas de manejo do solo diferenciado e os ambientes de produção.

## CONCLUSÕES

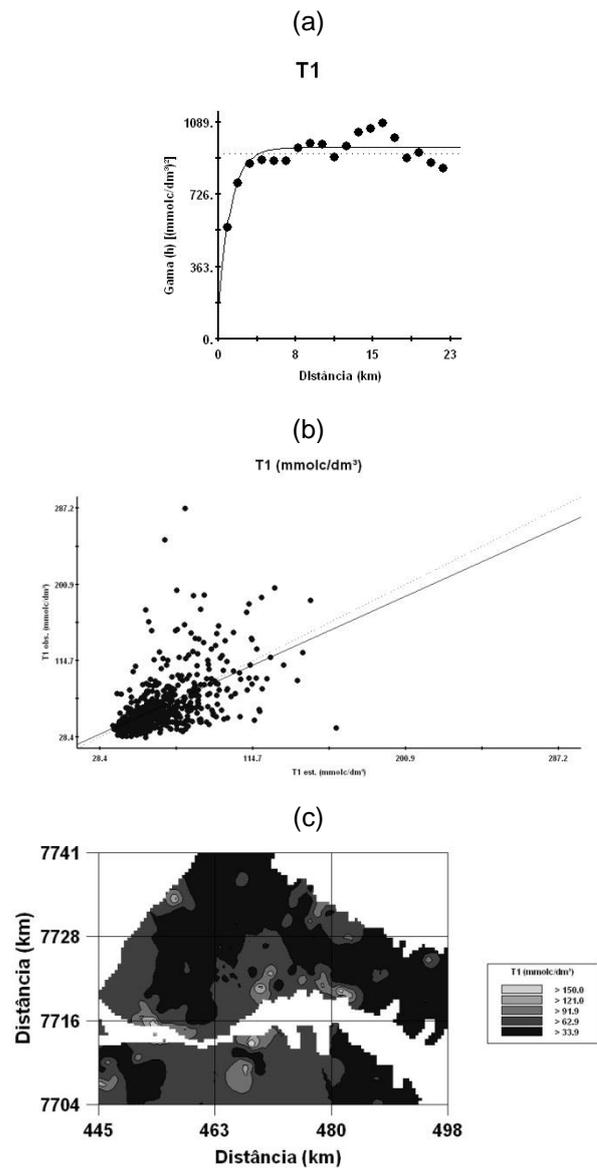
Os ambientes de produção de cana-de-açúcar podem ser estimados a partir dos valores da capacidade de troca catiônica da camada de 0-0,25 m nos solos da região noroeste de São Paulo.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, J. A. Inter-relação da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físicos-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do Noroeste Paulista. 2011, 85f. Dissertação de Mestrado, FEIS/UNESP, Ilha Solteira-SP, 2011.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:297-304, 2009.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:695-703, 2003.
- CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. da. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 6:32-38, 1987.
- CORÁ, J. E. & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, 26:374-387, 2006.
- DALCHIAVON, F. C. & CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:541-552, 2012.
- GS+: *Geostatistics for Environmental Sciences*. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: São Paulo, 1981, v.1-2.
- JOAQUIM, A. C.; BELLINASSO, I. F.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; BARATA, M. Q. F. Potencial e manejo de solos cultivados com cana-de-açúcar. In: *Seminários Copersucar de Tecnologia Agrônômica*, 6, Piracicaba, 1994. p.1-9.
- JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; SARTO, L. F. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: *Seminários Copersucar de Tecnologia Agrônômica*, 7, Piracicaba, 1997. p.68-76.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.
- SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, J. M.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura da cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, 40:840-847, 2010.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; ZANÃO, M. P. C.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. *Revista Ceres*, 57:429-438, 2010.



**Figura 1** – Semivariograma (a), validação cruzada (b) e mapa de krigagem (c) do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar.



**Figura 2** – Semivariograma (a), validação cruzada (b) e mapa de krigagem (c) dos valores de capacidade de troca de cátions do solo da camada 0-0,25 m.