

## Correlação linear e espacial entre os ambientes de produção da cana-de-açúcar e as bases trocáveis do solo na região noroeste do Estado de São Paulo.

**José Eduardo Soria<sup>(1)</sup>; Marcelo Andreotti<sup>(2)</sup>; Morel de Passos e Carvalho<sup>(2)</sup>; Nídia Raquel Costa<sup>(1)</sup>; Lucas Fernando Joaquim<sup>(3)</sup>; Fernando Cesar Bertolani<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</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>(2)</sup> Professores da FEIS/Unesp; [dreotti@agr.feis.unesp.br](mailto:dreotti@agr.feis.unesp.br) (Bolsista PQ 2 –CNPq); [morel@agr.feis.unesp.br](mailto:morel@agr.feis.unesp.br); <sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo da CSolos Mapeamento e Consultoria, Piracicaba, SP; [lucas@csolos.com.br](mailto:lucas@csolos.com.br); <sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo do CTC, Piracicaba, SP; [fbertolani@ctc.com.br](mailto:fbertolani@ctc.com.br).

**RESUMO:** A geoestatística é uma ferramenta vantajosa para o conhecimento dos diferentes ambientes de produção da cana-de-açúcar. O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial das bases do solo e sua interação com os ambientes de produção por meio da geoestatística. 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 soma de bases e dos ambientes de produção. Foi realizada a análise estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas e mapas de krigagem. A soma de bases na camada de 0,25 a 0,50 m apresentou coeficiente de variação alto e moderada dependência espacial e os ambientes de produção apresentaram coeficiente de variação médio e moderada dependência espacial, sendo possível gerar mapas de krigagem. Foi verificada correlação linear significativa entre os atributos analisados. Os valores de soma de bases e ambientes de produção apresentaram dependência espacial, sendo que suas variações não ocorreram de forma aleatória.

**Termos de indexação:** *Saccharum* spp.; geoestatística; atributo químico do solo.

### INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, produzido esta cultura em diversas regiões e tipos de solo. Segundo Dias (1997), a cultura encontra-se em vários tipos de solos que estão sob a influência de diferentes climas, o que resulta em vários tipos de ambientes para a produção. O conhecimento dos diferentes ambientes de produção, pela análise da variabilidade espacial dos atributos do solo, apresenta-se como ferramenta vantajosa para avaliar a variabilidade na produtividade e melhorar o manejo na lavoura por meio de um gerenciamento agrícola que leve em consideração informações pontuais do solo e da

cultura (Amado et al., 2009). Souza et al. (2010), avaliando os atributos químicos do solo e a produtividade da cana-de-açúcar, verificaram que tanto os atributos do solo estudados, quando a produtividade da cana apresentaram dependência espacial. O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial do atributo químico soma de bases do solo e sua interação com os ambientes de produção da cana-de-açúcar por meio da geoestatística.

### 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 0,25-0,50

m, as quais foram submetidas às determinações químicas analíticas em laboratório, segundo Rajj et al. (2001). A soma de bases foi calculada pela soma das bases do solo (potássio, cálcio e magnésio). 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 (Schlotzhaber & Littell, 1997) pela análise descritiva dos atributos. Foi realizada a correlação entre os atributos pesquisados. Objetivou-se detectar a existência de correlações significativas entre o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar com a soma de bases do solo. Seguidamente, efetuaram-se regressões entre os atributos do solo.

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), e depois efetuaram-se krigagens ordinárias para os atributos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor de soma de bases (SB2) da camada 0,25-0,50 m apresentou os seguintes valores na análise da estatística descritiva: a) média de 31,2  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; b) mediana de 23,9  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; c) valor máximo de 167,6  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; d) valor mínimo de 5,7  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; e) desvio padrão de 23,3  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; f) coeficiente de variação (CV) de 74,7%; g) coeficiente de curtose de 8,311; e, h) coeficiente de assimetria de 2,552; 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).

A distribuição indefinida dos dados dos atributos analisados pode ter sido causada pelo tamanho da área, quantidade e heterogeneidade dos pontos amostrados, em diferentes classes de solos, numa escala onde a distância entre os pontos amostrais não permite avaliar as áreas de maneira homogênea. O atributo SB2 apresentou uma alta variabilidade e o AMB apresentou média variabilidade dos dados, segundo Warrick & Nielsen (1980). De acordo com Campos et al. (2009), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, e valores elevados de CV podem ser considerados os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados. Braga (2011) observou uma distribuição lognormal para soma de bases na camada de 0,20-0,40 m com um CV de 32,4%, entretanto, numa escala muito menor que a do presente trabalho. Campos et al. (2009) verificaram valor de CV para o atributo SB de 63%, semelhante à do presente trabalho e também em uma escala maior de 505 ha.

Os semivariogramas dos atributos estudados (SB2 e AMB) apresentaram os seguintes parâmetros, respectivamente: a) modelo: esférico e exponencial; b) efeito pepita ( $C_0$ ): 2,92.10<sup>2</sup> e 1,38; c) patamar ( $C_0+C$ ): 5,84.10<sup>2</sup> e 3,34; d) alcance ( $A_0$ ): 7,9 e 9 km; e) coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ): 0,773 e 0,862; f) soma do quadrado do resíduo (SQR): 1,57.10<sup>4</sup> e 0,151; e, f) avaliador da dependência espacial (ADE): 0,500 e 0,586. Já as validações cruzadas apresentaram os seguintes valores para os atributos (SB2 e AMB): coeficiente adjunto (a) igual a -1,25 e 0; coeficiente angular (b) igual a 1,043 e 1,001 e coeficiente de correlação (r) igual a 0,563 e 0,612.

Os atributos estudados apresentaram moderada dependência espacial, confirmando que suas variações não ocorreram ao acaso. Souza et al. (2010), ajustaram os atributos químicos do solo e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar ao modelo esférico, corroborando com o ajuste do atributo SB2 do presente trabalho. Braga (2011) verificou um ajuste gaussiano para a soma de bases na camada de 0,20-0,40 m, entretanto com forte dependência espacial ( $ADE = 0,896$ ) e com um coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ) de 0,966, mas neste caso numa malha geoestatística de menor escala e com alcance de 70,8 m.

A equação de regressão do AMB em função dos valores de SB2 foi a seguinte:

$$AMB = 2,89 + 0,097 SB2 - 0,0004 SB2^2$$

$$(r = 0,668^{**}, n = 638 \text{ e } PM = 121,25 \text{ mmolc dm}^{-3})$$

Sendo assim, pode-se estimar o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar para a região pelo valor da soma de bases na



camada de 0,25-0,50m utilizando a equação acima, onde o melhor ambiente seria estimado pelo valor de 121,25  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de SB2. Souza et al. (2010) correlacionaram diversos atributos químicos do solo com a produtividade da cana-de-açúcar e observaram 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 soma de bases na camada de 0,20-0,40 m.

Nos mapas de krigagem (Figuras 1 e 2) dos atributos SB2 e AMB, pode-se constatar semelhança entre eles, onde as regiões com menores valores de soma de bases proporcionam os piores 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.

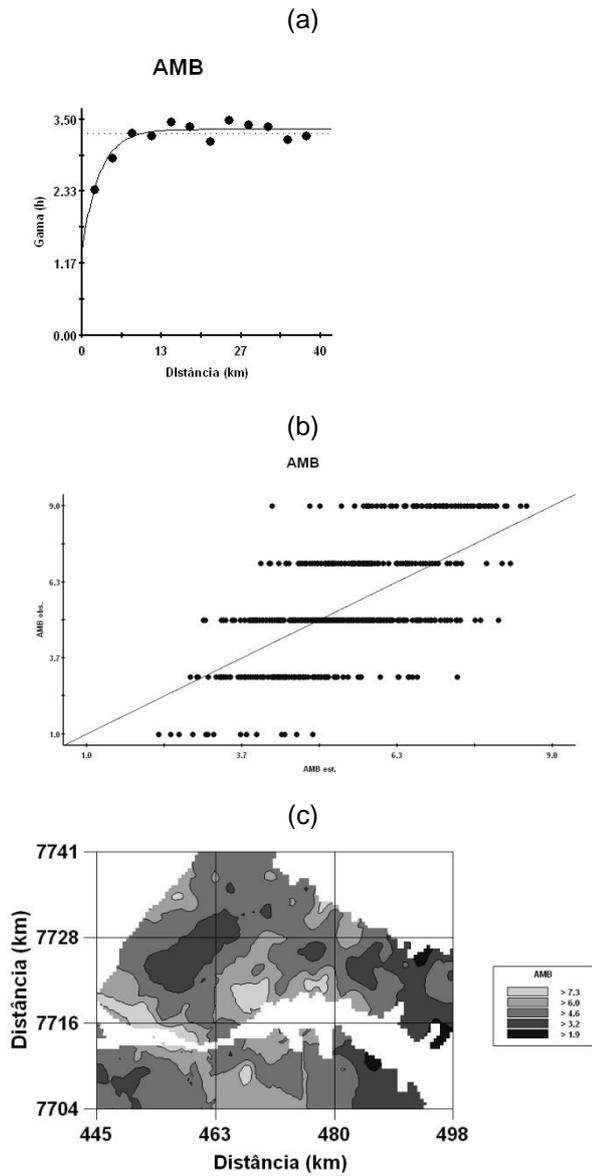
## CONCLUSÕES

O valor de soma de bases na camada de 0,25-0,50 m e o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar apresentam dependência espacial, sendo possível gerar mapas de krigagem semelhantes.

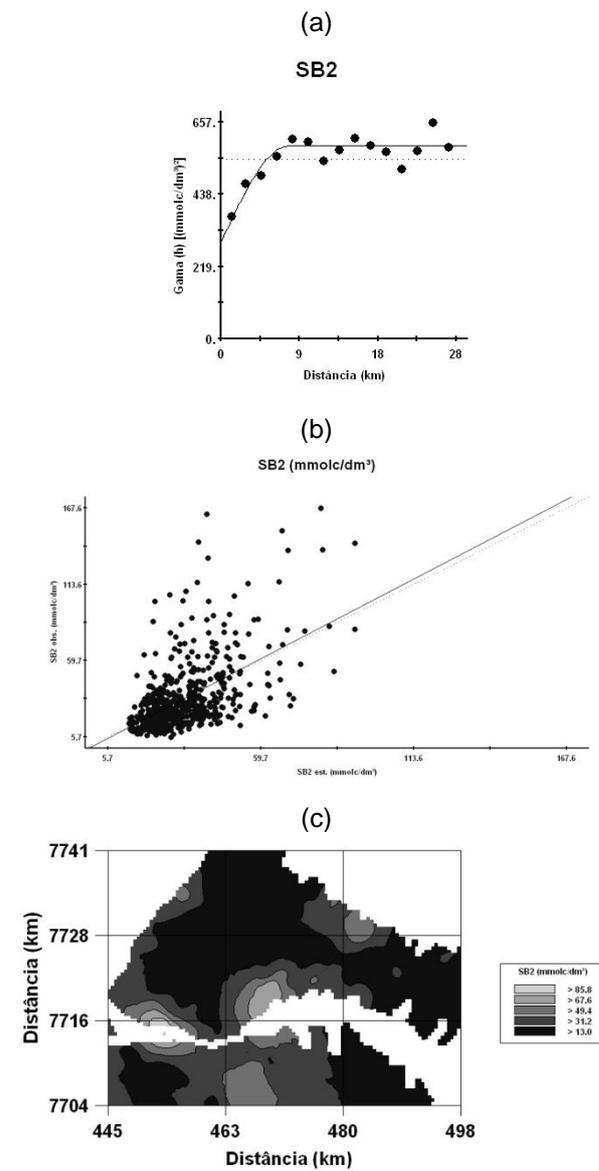
Existe correlação entre os atributos analisados, podendo ser estimado o ambiente de produção pelos valores de soma de bases do solo.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:831-843, 2009.
- 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.
- 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.
- DIAS, F. L. F. Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo. 1997, 64f. Dissertação de Mestrado, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, 1997.
- GS+: Geostatistics for Environmental Sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159p.
- 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 cultivado 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 Agrônomo, 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.



**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 soma de bases do solo da camada 0,25-0,50 m.