



## **Influencia do pH do solo na variabilidade espacial de alguns atributos tecnológicos da cana-de-açúcar.**

**César Gustavo da Rocha Lima<sup>(1)</sup>; Adriano Souza<sup>(2)</sup>; Morel de Passos e Carvalho<sup>(3)</sup>; Nídia Raquel Costa<sup>(4)</sup>; Sara Dias da Silva Lisboa<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista; Ilha Solteira, São Paulo; E-mail: cesarlima@dec.feis.unesp.br

<sup>(2)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista

<sup>(3)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista

<sup>(4)</sup> Pós-Doutoranda; Universidade Estadual Paulista

<sup>(5)</sup> Mestranda; Universidade Estadual Paulista

**RESUMO:** O processo industrial sucroalcooleiro visa principalmente a produtividade e a qualidade de seu produto industrializável, que por sua vez depende da qualidade química dos solos. Com dados de experimentação coletados na fazenda Valença-I, Suzanápolis-SP, foram analisadas os atributos tecnológicos da cana-de-açúcar: teores de açúcares totais recuperáveis (ATR), sólidos solúveis totais (BRI), sacarose no caldo (POL), pureza aparente (PUR) e teor de fibra (FIB); e o pH de um Argissolo Vermelho distrófico em diferentes profundidade no perfil (0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,80-1,00 m). Objetivou-se avaliar a variabilidade, a dependência e as correlações espaciais entre os atributos da planta com os do solo. Para tanto instalou-se uma rede geoestatística contendo 118 pontos amostrais, em uma área de 10,5 ha<sup>-1</sup>. O estudo mostrou que os atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, bem como os atributos do pH do solo, apresentaram baixa e média variabilidade. Especialmente, à exceção da PUR, os demais atributos (planta e solo) apresentaram dependência espacial, seguindo padrões bem definidos. Por outro lado, os atributos tecnológicos da planta apresentaram interação inversa entre causa/efeito com o pH do solo em todas as camadas no perfil.

**Termos de indexação:** atributos químicos do solo; manejo do solo; geoestatística.

### **INTRODUÇÃO**

O processo industrial canavieiro visa principalmente a produtividade e a qualidade de seu produto industrializável, que por sua vez tem forte dependência da qualidade química dos solos. Logo seu manejo é de essencial importância.

Segundo Rajj (1991), quando se trata de manejo químico do solo, o pH é um dos mais importantes atributos, uma vez que ele está diretamente ligado à solubilidade, concentração, disponibilidade e

capacidade de retenção da maioria dos nutrientes essenciais às plantas. Vários estudos como os de Souza et al. (2004) tem apresentado importantes resultados da interação, entre causa-efeito, do pH do solo com o desenvolvimento das culturas. Assim, a aplicação das técnicas de geoestatística na pesquisa agrônômica pode proporcionar o manejo específico em áreas agrícolas, resultando em economia de insumos e melhor resposta das culturas. Neste sentido, tem-se observado uma crescente aplicação da geoestatística nos estudos de manejo do solo voltado ao processo produtivo canavieiro (Mello et al., 2006; Souza et al., 2007).

Diante do exposto, objetivou-se analisar a variabilidade, a dependência, e as correlações espaciais entre os atributos tecnológicos da cana-de-açúcar e o pH do solo em profundidade no perfil.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido em 2013/2014 com dados experimentais de coleta na Fazenda Valença-I, município de Suzanápolis, SP, Brasil, na latitude 20° 27' 33" S e longitude 51° 08' 05" W. O tipo climático local é o Aw, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, e com precipitação e temperatura médias anuais de 1400mm e 24,5°C respectivamente. O solo estudado foi um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto textura média/argilosa, A moderado, hiperdistrófico, meso-epieutrófico, endoálico, endodêmico, epicompactado, muito profundo, fortemente ácido.

A planta-teste foi a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade RB 855453, implantada sobre área de pastagem (braquiária). A dessecagem foi feita com Roundup WG (glifosato) 2,5 kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial. No preparo do solo foram realizadas: uma gradagem pesada, e duas gradagens intermediárias; Aplicação a lanço de 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.



O planta-teste foi introduzida a campo em maio de 2010. No momento da sulcação utilizou-se 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 6-30-24 e para cobertura dos toletes foi aplicado Regent 800 WG (fipronil) 250 g ha<sup>-1</sup> (p.c.). Após o primeiro corte (mecanizado) foi feita aplicação de 1 t ha<sup>-1</sup> de gesso e 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 18-00-27. Posteriormente ao segundo corte, realizou-se adubação da soqueira com 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 18-00-27. Na coleta de dados, a cultura encontrava-se no terceiro corte e bisada.

Para coleta dos dados, foi alocada uma rede geoestatística amostral constituída de 118 pontos, distribuídos aleatoriamente de forma a cobrir toda a área do talhão. O perímetro de abrangência dos pontos de coleta cobriu uma extensão de aproximadamente 10,5 ha<sup>-1</sup>. Na malha de coleta os pontos amostrais espaçavam-se, na grande malha, em aproximadamente 34 m, ao passo que na malha de refinamento, aproximadamente 17 m.

Foram determinados os atributos do solo e da planta, individualmente coletados no entrono de cada ponto amostral. Para coleta dos atributos da planta definiu-se uma área útil, de duas linhas de 3 m de cultivo (9 m<sup>2</sup>) ao redor de cada ponto.

Para a obtenção dos atributos tecnológicos da planta, foram coletados 10 colmos industrializáveis, retirados em sequência na touceira. Os feixes foram despontados, despalhados, numerados e encaminhados ao laboratório PCTS (Pagamento da Cana-de-açúcar pelo Teor de Sacarose) da Usina Vale do Paraná, Suzanópolis (SP), onde obteve-se: os teores de açúcares totais recuperáveis (ATR), expresso em kg t<sup>-1</sup> de colmos; sólidos solúveis totais-BRIX (BRI), sacarose no caldo (POL), pureza aparente (PUR) e fibra (FIB), todos expressos em %, conforme Consecana (2006).

Os atributos do solo avaliados neste ensaio foram o pH em água (pHa) e pH em Cloreto de Cálcio (pHc) cujas amostras coletadas na entrelinha da semeadura da cana-de-açúcar nas seguintes profundidades: 1) 0-0,20 m; 2) 0,20-0,40 m e, 3) 0,80-1,00 m, utilizando para tal um trado caneca. As amostras deformadas do solo foram secas ao ar (TFSA), posteriormente passadas por uma peneira de 2,0 mm sendo as análises químicas realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP. O pHa foi determinado por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo/água (1:2,5). O pHc foi determinado em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5) conforme Embrapa (2009).

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva com o auxílio da estatística clássica, utilizando o Software SAS. Assim, para testar a hipótese da normalidade ou da

lognormalidade dos atributos, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk a 1%.

A análise espacial foi realizada pelo uso do pacote geoestatístico Gamma Design Software 7.0 - GS+. Assim, isoladamente para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial pelo cálculo do semivariograma simples. Aos atributos que apresentaram tendência em seus dados foi aplicada a técnica do refinamento polinomial (Dalchiavon et al., 2011). Seguidamente com o uso do pacote geoestatístico GS+, ajustaram-se os semivariogramas cruzados entre as combinações de atributos da planta vs solo.

Os ajustes semivariográficos, simples e cruzados, foram efetuados pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (RSS); b) o maior coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), e c) o maior avaliador da dependência espacial (ADE).

A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a) ADE ≤ 25% indicando variável espacial fracamente dependente; b) 25% < ADE ≤ 75% moderadamente dependente, e c) ADE > 75% fortemente dependente (Robertson, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os atributos da planta, FIB e PUR (Tabela 1), foram observadas baixas variabilidades, muito provavelmente devido ao fato de se tratar de cana queimada e enfeixada à mão o que deve ter reduzido as impurezas. Já os atributos POL, BRI e ATR apresentaram média variabilidade dos dados, com 13,8%, 11,3% e 11,9%, respectivamente. Já para os atributos do solo, nas camadas superficiais, 0-0,20 m, 0,20-0,40 m, os atributos pHa e pHc apresentaram baixa variabilidade, muito provavelmente devido ao efeito da correção e incorporação do calcário. Na camada mais profunda (0,80-1,00 m) o pHa apresentou baixo CV, ao passo que o pHc apresentaram médio CV. Ficando tal fato em sintonia com os trabalhos de Corá et al. (2004), e Souza et al. (2007) os quais também constataram ora baixa ora média variabilidade.

### INSERE TABELA 1

No geral os valores médios apresentados na Tabela 1(ATR; BRI; POL; FIB; PUR) indicaram cifras dentro do padrão industrial (SEGATO et al., 2006). Ainda, pode-se inferir que o pH do solo avaliado apresentou valores abaixo da média ideal, indicando acidez um pouco elevada conforme classes apresentadas por Raij et al. (1991).

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros semivariográficos simples ajustados. Assim, à exceção da PUR que apresentou efeito pepita puro (epp.), os demais atributos evidenciaram



dependência espacial para as distâncias amostradas.

#### INSERE TABELA 2

A análise dos parâmetros semivariográficos simples revelou para os atributos da planta ajustes do tipo esférico (ATR, BRI, POL e FIB), com alcances variando de 139,0 m (FIB) a 267,7 m (BRI). Já a análise dos parâmetros dos atributos do solo indicou ajustes do tipo esférico (pHa1), do tipo exponencial (pHc1, pHc2, pHa2) e do tipo gaussiano (#pHa3, #pHc3), com alcances variando de 75 m (pHc3) a 324,0 m (pHa2). O pH do solo avaliado, apresentou no geral parâmetros semivariográficos semelhantes aos obtidos em diversos trabalhos (CORÁ et al., 2004; MELLO et al., 2006) uma vez que, ora um ora outro modelo foi observado.

Sabe-se que o valor do alcance pode influenciar a qualidade da estimativa. Assim, com base nos alcances observados, para a área em questão, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos empregados na agricultura de precisão não deverão ser menores que 75,0 m, bem como para novas amostragens dos mesmos atributos, o espaçamento mínimo amostral na rede de coleta não deverá maior que 75 m de distância.

Na análise dos semivariogramas cruzados (Tabela 3) foi observado apreciáveis ajustes entre atributos da planta, Assim, foi encontrado ajustes do tipo esférico  $ATR=f(BRI)$ ;  $POL=f(BRI)$ , com alcances entre 240,0 a 248,0 m, e avaliadores da dependência espacial (ADE) entre alto e muito alto. Portanto na avaliação dos atributos tecnológicos, tanto ATR como POL podem ser espacialmente estimados por meio do BRI que é de mais fácil de obtenção a campo.

#### INSERE TABELA 3

Já nos semivariogramas cruzados entre atributos da planta versus do solo (Tabela 3), observou-se que a maioria dos atributos avaliados apresentou correlação e dependência espacial entre si. A exceção ficou para FIB o qual não apresentou nenhuma correlação. Convém ressaltar o desempenho geral dos atributos químicos do solo quando cruzados com os atributos da planta, uma vez que em todas as camadas do solo, houve correlação na maioria dos testes realizado, indicando que o pH, apesar de no presente caso não parecer afetar negativamente os atributos tecnológicos em virtude do manejo adotado durante o ciclo da cultura, é um importante indicador químico do solo quando avaliado no âmbito espacial independentemente da metodologia empregada em sua determinação.

## CONCLUSÕES

As características tecnológicas da cana-de-açúcar, bem como os atributos do pH do solo, apresentaram baixa e média variabilidade dos dados;

Espacialmente, à exceção da PUR, todos os demais atributos (planta e solo), apresentaram dependência espacial;

Ainda, do ponto de vista espacial, todos atributos tecnológicos da planta apresentaram forte correlação com o pH do solo e,

O estudo do solo na camada mais profunda permitiu concluir ser válido seu conhecimento, uma vez que também demonstrou apreciável interação com os componentes tecnológicos da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. Piracicaba, 2006. 116p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERARDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas do solo, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: 2009. 627p.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 10, p. 294–305, 2006.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livrocere, 2006. p.399-400.

SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. & CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. Ciência Agrícola, v. 31, p. 371-377, 2007.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Ciência Rural, v. 34, p. 1763-1771, 2004.



**Tabela 1.** Análise descritiva dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar e do pH do solo.

Atributo	Medidas estatísticas descritivas								
	Média	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade	
		Mínimo	Máximo		Varição (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
<b>Atributos da Planta</b>									
ATR (kg t <sup>-1</sup> )	136,0	90,69	171,84	16,179	11,9	0,209	-0,466	0,0708	NO
BRI (%)	19,51	14,00	26,22	2,205	11,3	0,167	0,169	0,8752	NO
POL (%)	16,66	10,08	23,19	2,297	13,8	0,633	-0,395	0,0916	NO
PUR (%)	85,48	77,22	92,61	3,22	3,8	-0,252	-0,444	0,0340	TN
FIB (%)	13,55	11,10	17,28	1,258	9,3	-0,461	0,285	0,1937	LN
<b>Atributos do Solo (0-0,20m)</b>									
pHa1	5,87	5,30	6,60	0,247	4,2	-0,013	0,122	0,0313	TL
pHc1	4,64	4,00	5,20	0,233	5,0	-0,326	-0,016	0,0656	NO
<b>Atributos do Solo (0,20-0,40m)</b>									
pHa2	6,01	5,40	6,70	0,240	4,0	-0,100	0,083	0,0561	NO
pHc2	4,75	4,30	5,40	0,249	5,2	-0,479	0,199	0,0204	TL
<b>Atributos do Solo (0,80-1,00m)</b>									
pHa3	5,99	5,20	6,80	0,364	6,1	-0,767	-0,107	0,0123	IN
pHc3	4,78	4,20	5,90	0,486	10,2	-1,072	0,523	0,0001	IN

**Tabela 2.** Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os atributos da cana e para o pH do solo.

Atributos <sup>(a)</sup>	Parâmetros do Ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação Cruzada		
							%	classe	a	b	r
<b>γ(h) Simples da Planta</b>											
ATR(kg t <sup>-1</sup> )	esf	9,380.10 <sup>1</sup>	2,112.10 <sup>2</sup>	243,4	0,904	1,160.10 <sup>3</sup>	55,6	média	7,41	0,946	0,546
BRI (%)	esf	1,760	5,204	267,7	0,982	1,730.10 <sup>-1</sup>	66,2	alta	3,90.10 <sup>-1</sup>	0,980	0,614
POL (%)	esf	2,670	5,420	235,1	0,875	8,420.10 <sup>-1</sup>	50,8	média	4,00.10 <sup>-1</sup>	0,976	0,519
PUR (%)	epp	1,060.10 <sup>1</sup>	1,060.10 <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
FIB (%)	esf	7,100.10 <sup>-1</sup>	1,410	139,0	0,840	2,090.10 <sup>-2</sup>	49,6	média	9,80.10 <sup>-1</sup>	0,927	0,373
<b>γ(h) Simples do Solo 0-0,20 m</b>											
pHa1	esf	3,410.10 <sup>-2</sup>	6,510.10 <sup>-2</sup>	184,2	0,860	7,521.10 <sup>-5</sup>	47,6	média	3,90.10 <sup>-1</sup>	0,934	0,499
pHc1	exp	1,060.10 <sup>-2</sup>	4,330.10 <sup>-2</sup>	100,5	0,959	5,657.10 <sup>-6</sup>	75,5	alta	1,30	0,721	0,311
<b>γ(h) Simples do Solo 0,20-0,40 m</b>											
pHa2	exp	2,960.10 <sup>-2</sup>	6,130.10 <sup>-2</sup>	324,0	0,980	9,702.10 <sup>-6</sup>	51,7	média	6,60.10 <sup>-1</sup>	0,890	0,444
pHc2	exp	2,791.10 <sup>-2</sup>	5,772.10 <sup>-2</sup>	123,6	0,971	3,928.10 <sup>-6</sup>	51,6	média	6,90.10 <sup>-1</sup>	0,856	0,329
<b>γ(h) Simples do Solo 0,80-1,00 m</b>											
#pHa3	gau	5,720.10 <sup>-2</sup>	8,939.10 <sup>-2</sup>	98,3	0,992	3,426.10 <sup>-6</sup>	36,0	baixa	0,00	0,932	0,383
#pHc3	gau	1,300.10 <sup>-1</sup>	1,745.10 <sup>-1</sup>	75,0	0,898	8,206.10 <sup>-5</sup>	25,5	baixa	0,235	-1,00.10 <sup>-2</sup>	0,879

<sup>(a)</sup> atributos precedidos de “#” foram trabalhados com seus respectivos resíduos; <sup>(b)</sup> gau = gaussiano, exp = exponencial, esf = esférico; epp = efeito pepita puro; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre atributos da cana e do pH do solo.

Atributos <sup>(a)</sup>	Parâmetros do Ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação Cruzada		
							%	classe	a	b	r
<b>γ(h) cruzado entre atributos (Planta x Planta)</b>											
ATR=f(BRI)	esf	-7,440	-2,993.10 <sup>1</sup>	248,0	0,895	4,070.10 <sup>1</sup>	75,1	4,18.10 <sup>1</sup>	0,697	0,527	
POL=f(BRI)	esf	1,580	4,858	240,0	0,857	1,180	67,5	5,37	0,681	0,502	
<b>γ(h) cruzado entre atributos (ATR x SOLO)</b>											
ATR=f(pHa1)	esf	-8,000.10 <sup>-2</sup>	-6,100.10 <sup>-1</sup>	177,1	0,842	2,590.10 <sup>-2</sup>	86,9	5,11.10 <sup>1</sup>	0,629	0,480	
ATR=f(pHc2)	esf	-3,610.10 <sup>-1</sup>	-8,690.10 <sup>-1</sup>	274,3	0,825	4,340.10 <sup>-2</sup>	58,5	5,30.10 <sup>1</sup>	0,615	0,471	
ATR=f(#pHa3)	esf	-2,650.10 <sup>-1</sup>	-1,270	177,0	0,681	2,210.10 <sup>-1</sup>	79,1	4,78.10 <sup>1</sup>	0,655	0,506	
<b>γ(h) cruzado entre atributos (POL x SOLO)</b>											
POL=f(pHa1)	gau	-4,450.10 <sup>-2</sup>	-1,050.10 <sup>-1</sup>	254,8	0,931	1,760.10 <sup>-4</sup>	57,6	6,48	0,613	0,452	
POL=f(pHa2)	gau	-4,890.10 <sup>-2</sup>	-1,338.10 <sup>-1</sup>	277,6	0,852	1,113.10 <sup>-3</sup>	63,5	6,24	0,629	0,470	
POL=f(#pHc3)	gau	-1,000.10 <sup>-4</sup>	-2,182.10 <sup>-1</sup>	175,1	0,961	1,638.10 <sup>-3</sup>	100,0	6,84	0,594	0,477	
<b>γ(h) cruzado entre atributos (BRI x SOLO)</b>											
BRI=f(pHc2)	gau	-4,030.10 <sup>-2</sup>	-1,096.10 <sup>-1</sup>	248,3	0,936	2,755.10 <sup>-4</sup>	63,2	3,46	0,826	0,633	
BRI=f(#pHa3)	gau	-8,300.10 <sup>-3</sup>	-1,446.10 <sup>-1</sup>	153,4	0,976	2,972.10 <sup>-4</sup>	94,3	4,61	0,766	0,583	

<sup>(a)</sup> atributos precedidos de “#” foram trabalhados com seus respectivos resíduos; <sup>(b)</sup> gau = gaussiano, esf = esférico; <sup>(c)</sup> SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.