

# ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO POTASSIO NO SOLO EM SEIS TALHÕES EM CANA-DE-AÇÚCAR

Magda Zuleta Bonilla<sup>1</sup>, Lucas Amaral Rios<sup>2</sup>

## RESUMO

O foco da Agricultura de Precisão (AP) é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos, realizada por meio de tecnologias recentes adaptadas para o meio agrícola, com o objetivo de possibilitar a redução do uso de insumos e do impacto sobre o meio ambiente, causados pelo excesso utilizado. O objetivo do trabalho foi detectar a dependência espacial entre amostras para a variável Kresidual (Potássio residual) em dois tipos de solo (argiloso e arenoso), com seis áreas em cada um deles, para a cultura de cana-de-açúcar, localizados na usina São Martinho, município de Padrópolis, região de Ribeirão Preto (SP). O processo de amostragem foi feito numa profundidade de 0 – 20 cm. Os análises, tanto espacial como não espacial foram feitos no software livre R version 2.13.0 e o pacote geoR. O modelo geoestatístico foi ajustado pelo método da máxima verossimilhança e foram obtidos mapas de krigagem para áreas onde a variável foi espacialmente correlacionada. Recomendações de adubação em taxa variável podem ser feitas nas áreas para as quais foram obtidos os mapas de krigagem.

**Palavras chaves:** agricultura de precisão, geoestatística, taxa variável.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

## INTRODUÇÃO

O foco da Agricultura de Precisão (AP) é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos, realizada por meio de tecnologias recentes adaptadas para o meio agrícola, com o objetivo de possibilitar a redução do uso de insumos e do impacto sobre o meio ambiente, causados pelo excesso utilizado. O setor sucroalcooleiro do Brasil vem investindo fortemente nas tecnologias de AP. Estima-se que 10% da área de cana-de-açúcar vêm sendo cultivada com AP, especificamente a tecnologia de aplicação de adubação em taxa variada, ou seja, a aplicação de adubação é feita só na quantidade requerida pela cana-de-açúcar e no local preciso.

Muitas dessas tecnologias ainda estão em desenvolvimento, como a aplicação localizada de defensivos e o mapeamento da produtividade segundo MOLIN (2001). Outras estão em plena adoção, como por exemplo, a utilização de distribuidores de fertilizantes e corretivos que fazem a regulagem e a dosagem automaticamente, de acordo com a necessidade ou recomendação para cada local do campo como o menciona BAIO (2006).

Entre entando, o reto para a tecnologia da AP não só em cana-de-açúcar, é fazer entender que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos, podendo assim melhorar a produtividade. Medir essa variação espacial e temporal pode ser feito utilizando um tipo de estatística denominada geoestatística, que considera a dependência espacial entre as amostras numa área determinada. FARIAS (2002) estabelece que as variações espaciais podem ser estudadas através de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas.

Neste caso particular, o objetivo do presente trabalho foi detectar a dependência espacial entre amostras para a variável  $K_{\text{residual}}$  (Potássio residual) em dois tipos de solo

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

(argiloso e arenoso), com seis áreas em cada um deles, para a cultura de cana-de-açúcar, e observar uma possível variabilidade espacial, utilizando as técnicas fornecidas pela geoestatística.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados analisados para este trabalho foram coletados em seis talhões de cana-de-açúcar, localizados na usina São Martinho, município de Padrópolis, região de Ribeirão Preto (SP). As seis áreas são caracterizadas por dois tipos de ambientes, segundo PRADO (2007), em A e B.

As áreas de ambientes A são 1, 2, 5 e 6, com solo argiloso, classificado como Latossolo Vermelho, apresentando boa fertilidade e grande acúmulo de água. As áreas de ambiente B são 3 e 4, com solo arenoso, classificado como Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho Amarelo respectivamente, apresentando baixa fertilidade e baixa retenção de água. As áreas 1 (8,9ha), 2 (10,7ha) e 6 (10,7ha) são da variedade RB855453, de segundo, quarto e terceiro corte respectivamente, ou seja, fazendo referência ao ano que foram cortadas. As áreas 3 (11,4ha) e 4 (11,1ha) são da variedade CTC2, de segundo e terceiro corte respectivamente. A área 5 (9,8ha) é da variedade RB855156, de terceiro corte. Os dados referentes às áreas 1,2,3 e 4 foram coletados no ano 2009, enquanto os dados das áreas 5 e 6 foram coletados no ano 2010. A figura 1 mostra o contorno das seis áreas estudadas com seus respectivos pontos amostrais.

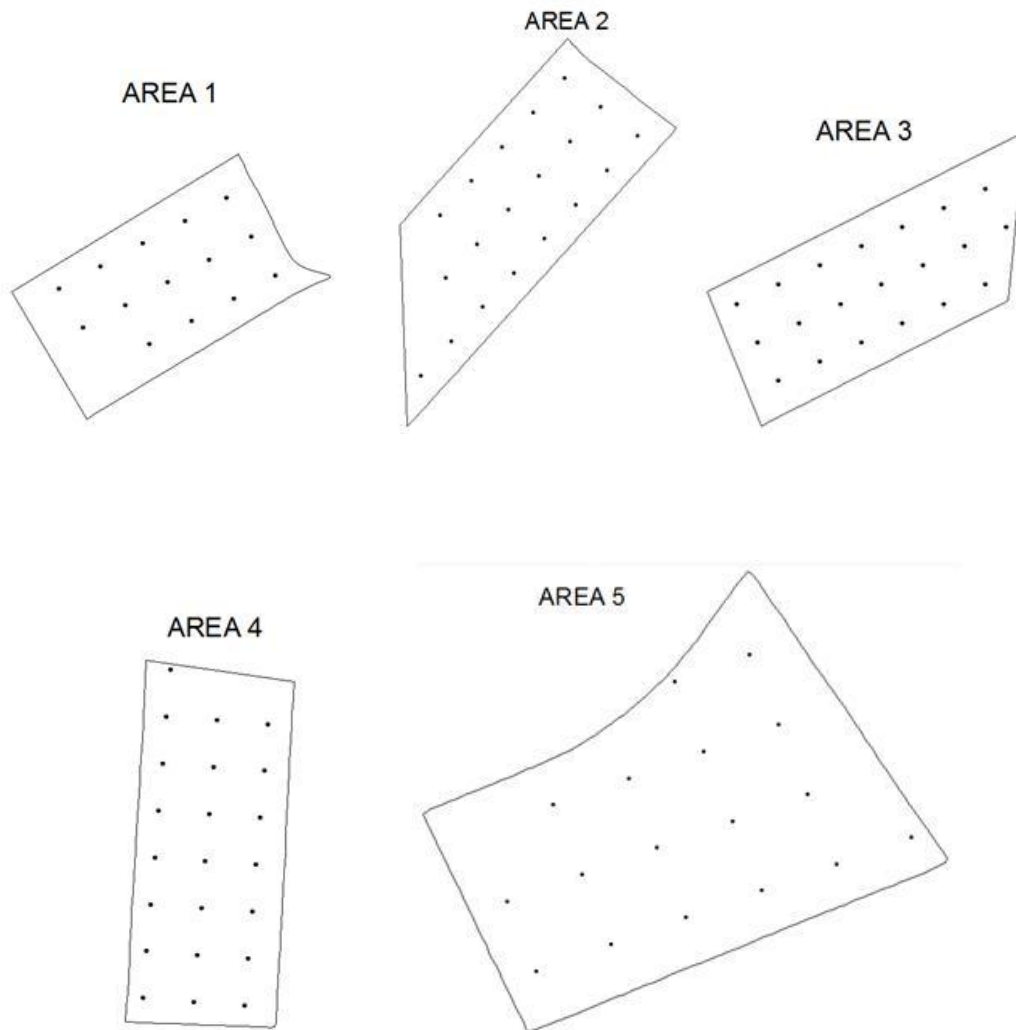
Para o processo de amostragem, cada área foi controlada com um GPS e para a coleta das amostras foi feita uma grade regular de media hectare. Em um raio de 5m a partir do ponto central de cada grade foram coletadas oito subamostras de solo (amostragem composta), numa profundidade de 0 – 20 cm. As subamostras forma misturadas, e uma quantidade da mistura de solo foi enviada para os analises de laboratório. Os resultados dessas análises foram os valores das variáveis em cada ponto que foram analisados com a geoestatística.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

Inicialmente foi feita uma análise exploratória dos dados, em quanto a tendências e normalidade, para visualizar por meio de gráficos o comportamento da variável em estudo. Logo, para a variável  $K_{\text{residual}}$  das seis áreas que apresentara dependência espacial, utilizou-se a interpolação por krigagem, a fim de inferir valores para locais não amostrados, gerando os mapas temáticos. Os análises, tanto espacial como não espacial foram feitos no software livre R version 2.13.0 e o pacote geoR.



---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

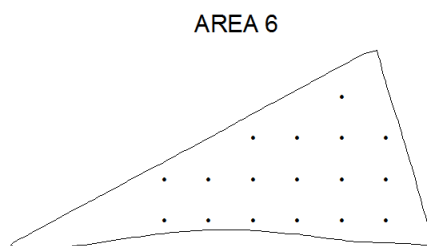


Figura 1. Contorno dos seis talhões de cana-de-acucar e seus respectivos pontos amostrais.

## RESULTADOS

### ANALISE EXPLORATÓRIO NÃO ESPACIAL

Começar com uma análise exploratória sem ter em conta o fator espacial é importante para toda análise estatística de dados, pois seu objetivo principal é explorar o estado dos dados enquanto a presença de pontos discrepantes ou *outliers* e o ajuste da distribuição normal. Segundo ISAAKS & SRIVASTAVA (1989), a normalidade não é uma exigência da geoestatística, mas é conveniente que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, pois as estimativas da Krigagem podem ser comprometidas, já que elas são baseadas nos valores médios.

Na figura 2 são apresentados os histogramas da variável  $K_{residual}$  nas seis áreas estudadas. Pode-se observar que para todas as áreas, há pequenos desvios de simetrias, sendo mais significativas nas áreas 4, 5 e 6, donde os gráficos de box-plot mostraram com mais clareza a existência de pontos discrepantes ou *outliers* nestas áreas (resultados não apresentados). No entanto, segundo CARVALHO (2004) os histogramas só servem para visualizar o comportamento da variável em estudo, com relação à tendência de concentração de dados (simétricos ou assimétricos), o que pode

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

direcionar procedimentos diferenciados de análise, o que limita esta ferramenta para diagnosticar a não normalidade dos dados. Esse fato considerou a realização do teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para as seis áreas de estudo, Tabela 1.

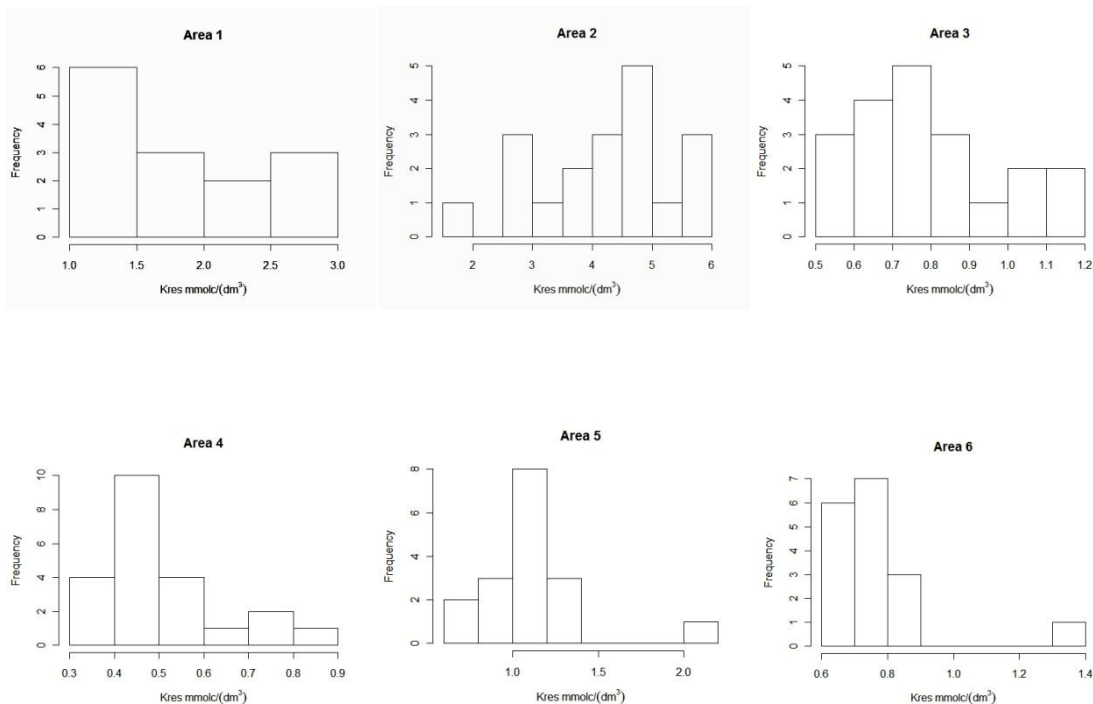


Figura 2. Histogramas da variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ) para as seis áreas estudadas.

Segundo os resultados apresentados na tabela 1, os valores de  $p$  sugerem que as áreas 1, 4, 5 e 6 precisam transformação dos dados. Para corrigir os efeitos de assimetria e pontos discrepantes que se estavam apresentando nestas áreas, e aproximar a distribuição normal aos valores da variável  $K_{\text{residual}}$ , foi utilizada a ferramenta de transformação Box-Cox, servindo de suporte para a utilização do modelo Gaussiano como uma aproximação dos dados. Mas a transformação dos dados só foi feita para a área 1. Nas áreas 4, 5 e 6 o problema era de pontos discrepantes e ao transformar os dados nestas áreas os modelos obtidos apresentavam o parâmetro  $\beta_0$  (média condicional) com valores negativos. O problema foi solucionado tirando o ponto discrepante ou outlier da análise nas quatro áreas, pois ele poderia estar influenciando fortemente na

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

simetria dos dados, o melhor, afetando sua aproximação para uma distribuição normal dos mesmos.

Tabela 1. Valores descritivos de probabilidade do teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ) nas seis áreas estudadas.

	$K_{\text{residual}}$ ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ )	
	W	Valor p
Área 1	0,8606	0,0311
Área 2	0,9235	0,1316
Área 3	0,9143	0,0770
Área 4	0,9061	0,0394
Área 5	0,8374	0,0069
Área 6	0,7437	0,0004

## ANALISE EXPLORATÓRIO ESPACIAL

A análise exploratória espacial iniciou-se com uma visualização gráfica da variável  $K_{\text{residual}}$  em relação às suas coordenadas, possibilitando a detecção de *outliers* e tendências espaciais. Na figura 3 são apresentados os gráficos de pontos obtidos para a variável  $K_{\text{residual}}$  nas seis áreas de estudo.

Nota-se nas áreas 3 e 4 um comportamento semelhante entre os pontos mais próximos. Enquanto que para as áreas 1, 2 5 e 6 o comportamento dos pontos é diferente de seus vizinhos, indicando possivelmente a presença de *outliers* espaciais. Interpretando os gráficos de pontos e relacioná-lo com o que pode estar acontecendo no talhão, temos que a área 2 mostrou os valores mais altos de  $K_{\text{residual}}$  (média), possivelmente por que é o solo mas velho (4to corte ou quarto ano) que apresenta maior acumulação de potássio (K) no solo além de ser mias estável. Nas áreas 5 e 6 também apresenta valores altos de K residual, pertencentes à terceira corte, além que a área 5 recebi vinhaça, que é grande fonte de potássio, seguido da área 1 que também recebe vinhaça.

Na área 6 pode-se observar uma tendência na coordenada X, onde os valores de  $K_{\text{residual}}$  vão crescendo, o que pode ser explicado por alguma declividade do terreno. Quando o

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

solo não tem sido preparado e é aplicada a adubação, os grãos de adubo podem ser carregados por escoamento superficial por ação da chuva e acumula-se em locais mais baixos.

As áreas 3 e 4 são do solo arenoso (baixa fertilidade), possivelmente o baixo número de amostras pôde afetar a presença de dependência espacial e a distância entre amostras foi maior do que a distância à que haveria dependência espacial.

Continuando com o análise exploratório espacial foi aplicado o variograma empírico ou semivariograma, uma das ferramentas mais utilizadas para determinar a dependência espacial entre amostras. O semivariograma é definido pela literatura como a variância da diferença de distância entre todos os pares de pontos  $V_{ij}$  contra as distâncias correspondentes, o que significa que quanto mais próximos estiverem os pontos amostrados, maior será a semelhança entre eles e, portanto, menores a semivariância, e quanto mais distantes estiverem os pontos amostrados menor será a semelhança e, conseqüentemente, maior a dispersão (variância).

Na figura 4 são apresentados os variogramas da variável  $K_{\text{residual}}$  para as seis áreas estudadas. Devido, principalmente, à pequena quantidade de pontos amostrados dentro de cada área, os variogramas tornaram-se pouco informativos em relação a possíveis correlações espaciais. Por esta razão, os variogramas foram utilizados neste trabalho só como uma ferramenta de análise exploratória e não como base para definir a existência ou não de dependência espacial.

Para a definição da dependência espacial foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança, cujos resultados serão expostos mais adiante. Os semivariogramas das seis áreas estudadas foram pouco informativos e inicialmente não sugeriam a existência de correlação espacial. Portanto foi utilizada a técnica do Envelope de variograma empíricos computados de permutação aleatórios, que ajudaram a dar indícios de correlação espacial. Só na área 3, ainda com a utilização de técnica de envelope, não mostrou indícios de correlação espacial.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br



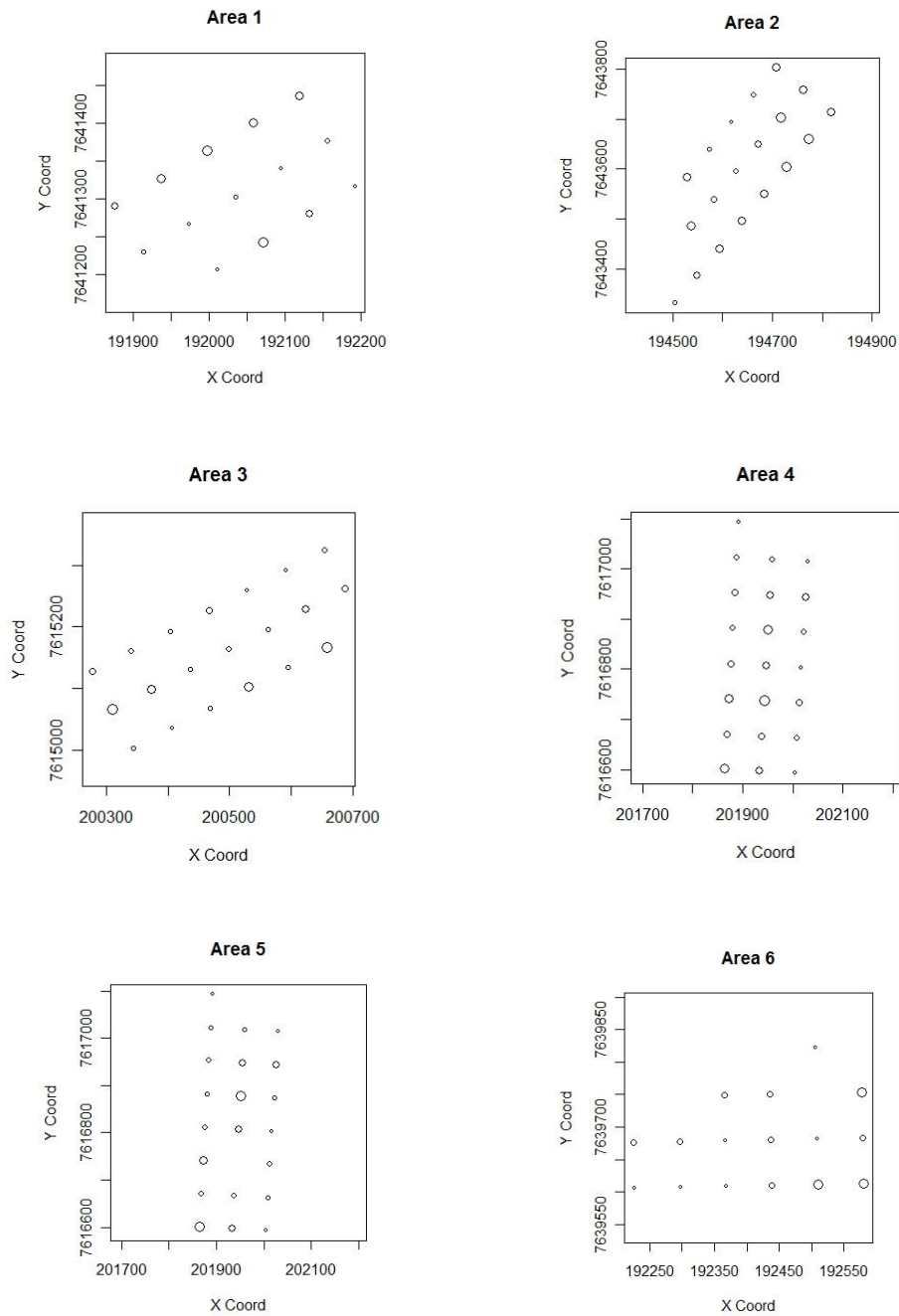


Figura 3. Gráfico de círculos representando os pontos amostrados (sistema de coordenadas UTM) para as seis áreas estudadas da variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ).

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

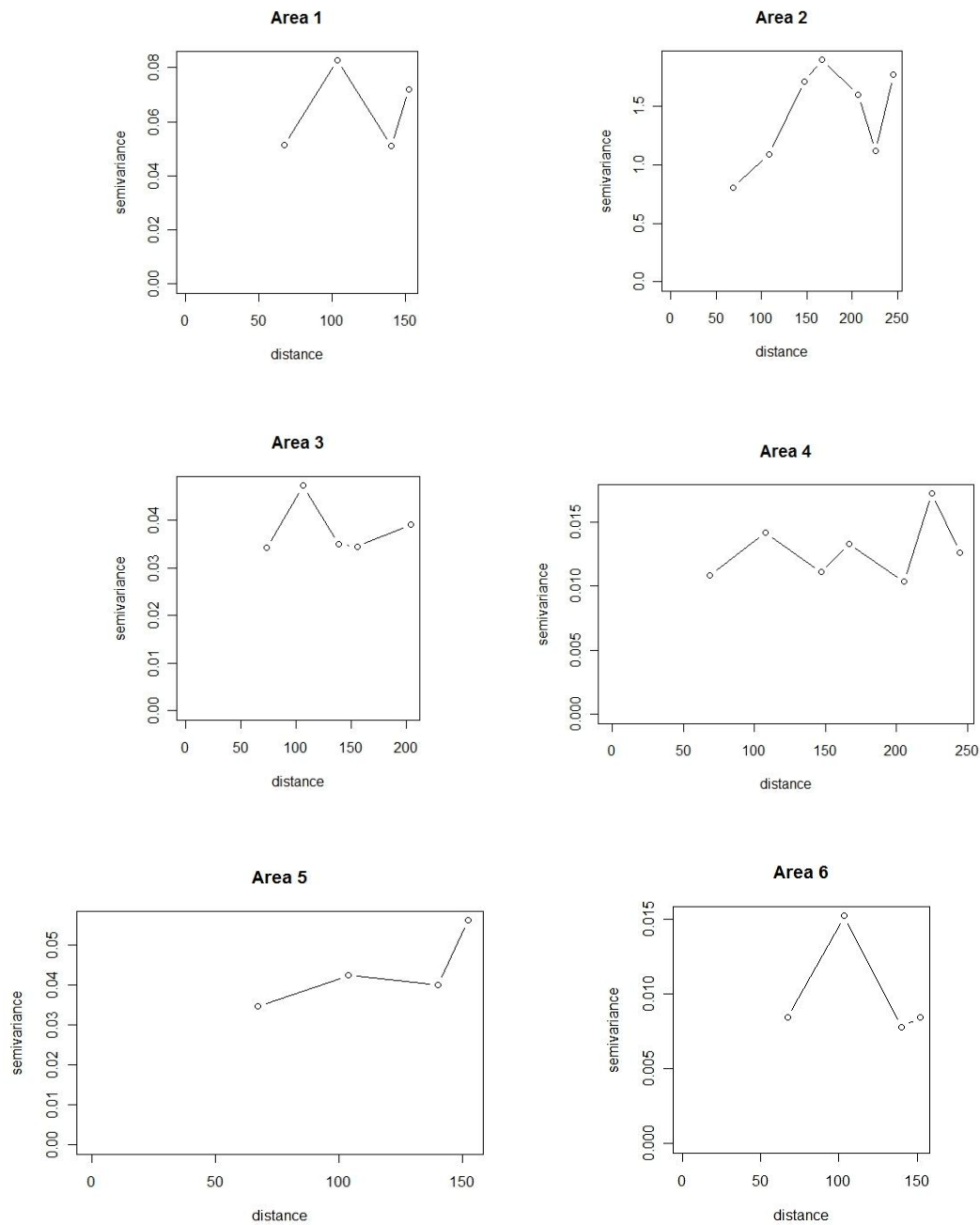


Figura 4. Variogramas amostrais para a variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ) das seis áreas estudadas.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

## ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS E PREDIÇÃO ESPACIAL

Para a estimação dos parâmetros do modelo geostatístico foi utilizado para este trabalho o método de Máxima Verossimilhança, como já se mencionou. Segundo EBERT (2001) o método de Máxima Verossimilhança é um método paramétrico, por que envolve parâmetros (vetor média e matriz de covariância) da distribuição gaussiana multivariada que estima estes parâmetros através das amostras de treinamento.

Os parâmetros estimados do modelo Gaussiano estacionário, têm-se a  $\beta$  como a média, a  $\sigma^2$  como a variância, a  $\tau^2$  como a variância do erro de medida ou efeito pepita e  $\phi$  como uma função do alcance.

Para a variável  $K_{\text{residual}}$  foi assumido o modelo Gaussiano com função de correlação Exponencial ( $k=0,5$ ). Vários autores têm constatado predomínio do modelo esférico e exponencial para as análises de atributos do solo (BERNER et al, 2007; CAMPOS et al, 2007). As estimativas dos demais parâmetros das seis áreas estudadas são apresentadas na Tabela 2.

Para a variável  $K_{\text{residual}}$  foi detectada correlação espacial nas áreas 2, 5 e 6, do solo argiloso e não foi detectada correlação espacial na área 1. Nas áreas 3 e 4, pertencentes ao solo arenoso, não foram detectadas correlações espaciais. Para as áreas onde foi detectada a correlação espacial foram obtidos os mapas de Krigagem da variável resposta  $K_{\text{residual}}$ , Figura 5.

A krigagem estima valores por meio de uma função linear, sendo suas estimativas combinações lineares ponderadas das observações, apresentando média residual próxima de zero e mínima variância dos erros, SOARES et al (2009).

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

Tabela 2. Estimativas obtidas por máxima verossimilhança para os parâmetros  $\beta_0$  (média condicional),  $\tau^2$  (erro da variância),  $\sigma^2$  (variância),  $\phi$  (phi) para a variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ) nas seis áreas estudadas.

TIPO DE SOLO		$\beta_0$	$\tau^2$	$\sigma^2$	$\phi$
ARGILOSO	Area 1	0,4485	0,0561	0,0	0,0
	Area 2	4,178	0,0	1,321	88,457
	Area 5	1,0649	0,0	0,0372	30,6311
	Area 6	0,7241	0,0	0,0118	31,2026
ARENOSO	Area 3	0,8097	0,0355	0,0	0,0
	Area 4	0,4953	0,0125	0,0	0,0

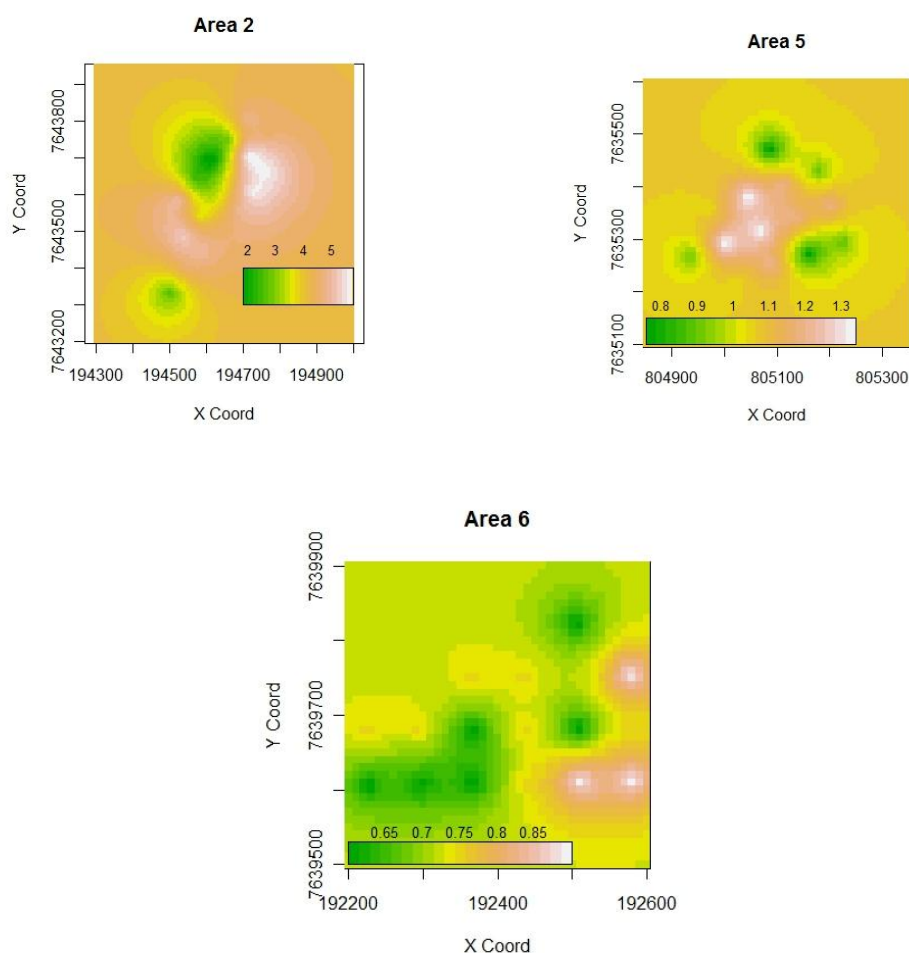


Figura 5. Mapas de Krigagem das áreas 2, 5 e 6 (solo argiloso) onde foi detectada estrutura de correlação espacial para a variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ).

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

## DISCUSSÃO

As médias  $\beta_0$  no solo argiloso para  $K_{\text{residual}}$  foram maiores do que no solo arenoso. Isso pôde acontecer porque as cargas das argilas adsorvem mais facilmente as cargas do potássio. Enquanto que para o solo arenoso as cargas do potássio poderiam estar-se perdendo. Segundo SOARES (2010) a variabilidade espacial do potássio (K) pode ser explicada por sua alta mobilidade no solo, ou seja, esta muito relacionada com a textura do solo na área.

Nas áreas 1, 3 e 4 as estimativas de  $\sigma^2$  resultaram nulas, o que indica ausência de estrutura espacial, corroborada pela estimativa nula do parâmetro de alcance,  $\phi=0$ .

No caso de solo arenoso, áreas 3 e 4, é possível que a metodologia de amostragem não foi a adequada e que seja necessário adensar mais o conjunto amostral de maneira que não afete a dependência espacial, além do que já foi explicado.

Nas áreas 2, 5 e 6 foi detectada a presença de dependência espacial. A área 2 mostrou os valores mais altos de média e alcance, fato relacionados possivelmente com a textura do solo e ano de corte explicados anteriormente. Os valores das estimativas dos parâmetros das áreas 5 e 6 foram semelhantes, destacando-se as variâncias baixas, de maneira geral, a continuidade espacial é mais uniforme. Além, os valores de  $\tau^2$  foram iguais a zero, ou seja, sem erro de medição nas amostras, e portanto, o modelo está sendo estimado somente com o termo espacial.

Com a análise das amostras, não houve uma distinção clara entre o comportamento da variável  $K_{\text{residual}}$  nos dois tipos de solo, possivelmente pelo número reduzido de áreas amostradas. Com os resultados do modelo foi possível, por Krigagem, produzir os mapas de predição de  $K_{\text{residual}}$  para as áreas 2, 5 e 6. SOUZA et al (2006) define a Krigagem como uma técnica de estimação de locais não amostrados, usando propriedades estruturais do semivariograma confeccionados a partir de locais amostrados.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

O valor da variável  $K_{\text{residual}}$  nos pontos amostrados e aqueles preditos em pontos vizinhos indica a quantidade de material necessária. Neste sentido, o mapa da distribuição espacial de atributos químicos no solo permite localizar problemas e a possibilidade de sugerir adubações eficientes segundo as necessidades apresentadas, bem como a aplicação de insumos em taxas variáveis, o que permite reduzir custos de insumos.

## CONCLUSÃO

Com a análise de resultados concluiu-se que as técnicas de geoestatística mostraram-se aplicáveis para a investigação do comportamento espacial da variável  $K_{\text{residual}}$  ( $\text{mmolc}/\text{dm}^3$ ) nas áreas estudadas onde foi detectada uma correlação espacial, mostrados com mais clareza pelos mapas de predição.

Como não foi possível detectar diferenças claras entre as continuidades espaciais dos dois tipos de solo (argiloso e arenoso) é sugerido um estudo que considere um maior número de áreas de ambos os solos e que as áreas dentro de cada tipo de solo sejam analisadas em conjunto, mas não separadamente.

Recomendações de adubação em taxa variável podem ser feitas nas áreas para as quais foram obtidos os mapas de Krigagem.

## REFERÊNCIAS

BAIO, F.H.R. Aplicação de A. P. no plantio. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, cap. 4, p. 92-101. 2006.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

BERNER, P. G. M. et al. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-acucar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 05, p. 837-844, 2007.

CAMPOS, M. C. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 02, p. 149-157, 2007.

CARVALHO, G.E. *Geoestatística Básica e Aplicada*. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Matemáticas. p.78. 2004.

ERBERT, M. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*. Master Tesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

FARIAS, P.R.S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; FERRAZ, L.C.C.B.; SOLIS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: economic implications. *Journal of Nematology*, Orlando. v.34, p.232-238, 2002.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University, p. 561, 1989.

MOLIN, J.P. *Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade*. Piracicaba: o autor, p. 83, 2001.

PRADO, H. *Pedologia Fácil Aplicações na Agricultura*, Piracicaba, p.105, 2007.

SOARES, S.L.J de; BATISTA, O.R de; ROCHA. W da; OLIVEIRA, P.C; ZANCANELLA, Q. W. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.). v 28, n.2, p. 31-39, Maio – Agosto 2010.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br

SOARES, S. G de; SOARES, S. L, J de; ASSIS ,S. S de; XAVIER, A.C. Aplicação de lógica fuzzy e geoestatística na análise da fertilidade de um solo sob pastagem. Revista Ciência Agronômica, v. 40, n. 3. p. 323-330. 2009.

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 da cana de-açúcar. Cienc. Agrotec,v.31, p.371-377. 2006.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), ESALQ/USP, magzule@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), gMAP- Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ESALQ/USP, lucasamaral@agronomo.eng.br