

**MAPEAMENTO DA DENSIDADE DO SOLO NUMA ÁREA CULTIVADA COM  
VIDEIRA USANDO A TÉCNICA DE KRIGAGEM**

**AQUINO, Leandro Sanzi<sup>1</sup>; RECKZIEGEL, Luis Nestor<sup>1</sup>; RIBEIRO, Paula Rose de Almeida<sup>2</sup>; TIMM, Luís Carlos<sup>1</sup>, BASSOI, Luis Henrique<sup>2</sup>; RAMOS, Clóvis Manoel Carvalho<sup>3</sup>; TAVARES, Vitor Emanuel Quevedo<sup>1</sup>; HARTWIG, Marcelo Peske<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Deptº de Engenharia Rural – FAEM/UFPel

Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900. [leandrosoq@gmail.com](mailto:leandrosoq@gmail.com)

<sup>2</sup>Embrapa Semi-Árido – Caixa Postal 23 CEP 56302-970 Petrolina-PE

<sup>3</sup>DTCS – UNEB - CEP 48900-000 Juazeiro-BA

<sup>4</sup>Deptº de Engenharia Rural – ESALQ-USP- CEP 13418-900 Piracicaba-SP

## **1. INTRODUÇÃO**

A fruticultura irrigada no Vale do São Francisco (VSF) é um importante componente do agronegócio brasileiro, sendo a videira uma das espécies frutícolas de maior destaque nesse contexto, tanto pela possibilidade de cultivo e comercialização com os mercados interno e externo por produtores pequenos, médios e grandes, como pela geração de renda e criação de empregos diretos e indiretos, o que contribui para a inclusão social. Neste sentido, o estudo do ambiente físico no qual a planta se desenvolve, particularmente o solo e sua variabilidade espacial, poderá induzir técnicas de manejo mais apropriadas para a racionalização do uso da água, para minimizar o impacto ambiental e para a obtenção de frutos com a qualidade desejada (Reichardt & Timm, 2004). Este estudo e posterior manejo da variabilidade do solo e da cultura no espaço e no tempo consiste no princípio básico do conceito de Agricultura de Precisão ou manejo por zonas uniformes (Coelho, 2005). Nielsen & Wendroth (2003) destacam o uso da ferramenta Geoestatística para estudar a variabilidade espacial e posterior construção dos mapas de contorno, por meio da técnica de krigagem, para obter as zonas homogêneas que possibilitem um manejo diferenciado da área.

Tominaga et al. (2002) citam que, dentre os atributos físicos de solos tropicais, a densidade influencia importantes processos no solo e na planta tais como: o movimento de água, a compactação do solo, a aeração do solo e o desenvolvimento do sistema radicular da cultura. Baseado nisto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a estrutura de variabilidade espacial, por meio de técnicas geoestatísticas e a construção do mapa de contorno da densidade do solo em uma área cultivada com videira.

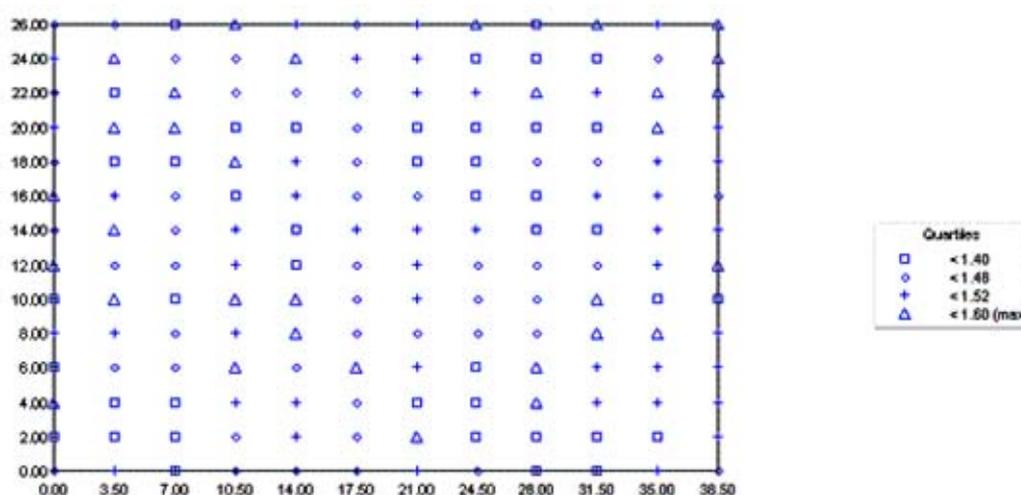
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Em uma área experimental cultivada com videira (espaçamento de 3,5 m entre linhas e 2,0 m entre plantas) pertencente à Fazenda Alpha Vale, localizada em Petrolina-PE, foi estabelecida uma malha retangular de 14 x 12 pontos, totalizando 168 pontos. Em cada ponto, foi coletada uma amostra de solo com anel volumétrico (5 cm de altura x 5 cm de diâmetro) para determinação da densidade do solo, na faixa de 20-40 cm de profundidade, seguindo metodologia descrita em Embrapa (1997). Inicialmente, foi feita a análise exploratória do conjunto de dados obtendo-se

as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (amplitude, valor máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação) e da forma da dispersão dos dados (simetria e curtose). Por meio do software GS+ (Gamma Design Software, 2004) foi realizado o estudo da variabilidade espacial através da construção do semivariograma experimental e ajuste do semivariograma teórico. Constatada a estrutura de dependência espacial, foi gerado o mapa de contorno dos valores de densidade na área experimental por meio da técnica de krigagem (Vieira, 2000; Webster & Oliver, 2001) usando o software Surfer (Golden Software, 1999).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial da densidade do solo na camada de 20-40 cm, na qual pode-se verificar que a distribuição das classes de quartis é homogênea em toda a área, não indicando nenhuma tendência ao longo da malha.



**Figura 1.** Distribuição espacial dos valores de densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) na área experimental na faixa de 20-40 cm de profundidade.

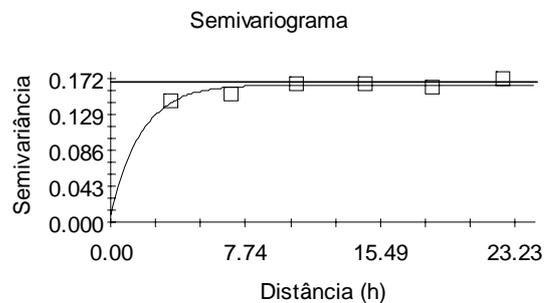
A Tabela 1 apresenta o resumo estatístico da análise exploratória no conjunto de valores de densidade. A amplitude de variação dos valores de densidade foi de  $0,48 \text{ g.cm}^{-3}$ , sendo o valor máximo, mínimo e médio de  $1,60 \text{ g.cm}^{-3}$ ,  $1,12 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ , respectivamente. Segundo classificação do coeficiente de variação CV proposta por Warrick & Nielsen (1980) os dados possuem pequena variação em torno da média ( $\text{CV} = 6,89\%$ , i.e.,  $\text{CV} < 15\%$ ). Uma condição bastante desejada na análise Geoestatística é que os dados possuam uma distribuição normal que pode ser verificada por meio do valor do coeficiente de assimetria que neste caso teria que ser igual a 0. Nota-se que o valor é de  $-1,23$  que sugere uma possível transformação dos dados no intuito de uma normalização. Neste sentido, foi feita a transformação utilizando a função exponencial que satisfaz a condição de normalidade através do teste de Komogorov-Smirnov ao nível de 1 % de significância.

**Tabela 1.** Resumo estatístico dos resultados obtidos para densidade do solo.

Nº de amostras	Média ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Mediana ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Mínimo ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Máximo ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Amplitude	Desvio-Padrão ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	CV (%)	Assimetria	Curtose
----------------	------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------	--------------------------------------	--------	------------	---------

168	1,45	1,48	1,12	1,60	0,48	0,10	6,89	-1,23	0,84
-----	------	------	------	------	------	------	------	-------	------

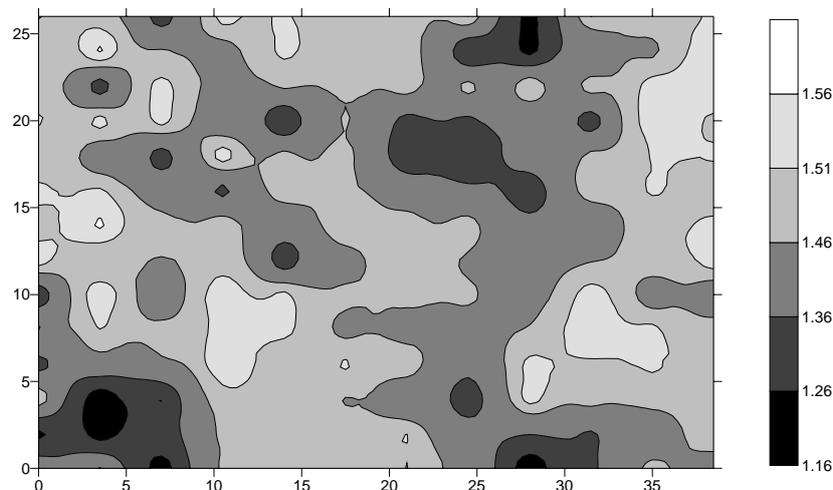
A Figura 2 apresenta o semivariograma isotrópico experimental e o teórico dos dados transformados de densidade bem como os seus respectivos parâmetros, o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) que indicam a qualidade do ajuste do modelo de semivariograma teórico ao experimental.



Exponential model ( $C_0 = 0.00910$ ;  $C_0 + C = 0.16520$ ;  $A_0 = 1.75$ ;  $r^2 = 0.709$ ;  
 RSS =  $1.321E-04$ )

**Figura 2.** Semivariograma isotrópico experimental e teórico para a densidade do solo, indicando os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), do patamar ( $C_0+C$ ), do alcance ( $A_0$ ), do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e da soma dos quadrados dos resíduos (SQR).

Segundo Guimarães (2004), no caso do modelo teórico de ajuste ser exponencial (Figura 2), o software GS+ fornece a amplitude  $A_0$  ( $=1,75$  m) que deve ser multiplicada pelo fator 3, pára obter a amplitude real  $A$ , de dependência espacial, i.e., neste estudo  $A$  é de  $5,25$  m, que indica que os valores de densidade separados por uma distância superior a este valor são independentes entre si, propiciando desta forma a aplicação da Estatística Clássica (Grego et al., 2006). O modelo matemático (semivariograma teórico) que melhor se ajustou aos valores da semivariância foi o exponencial, por apresentar o menor valor de SQR (critério utilizado pelo software GS+), corroborando com os resultados obtidos por Souza et al. (2004) nesta mesma camada de solo (20-40 cm). A partir do ajuste do semivariograma, foi utilizada a técnica de krigagem para interpolação espacial dos dados no intuito da construção do mapa de contorno dos valores de densidade do



**Figura 3.** Mapa de contorno mostrando a distribuição da densidade do solo na área experimental na camada de 20-40 cm.

solo na área (Figura 3).

Analisando o mapa nota-se que houve uma maior ocorrência de valores de densidade na faixa de  $1,36$  a  $1,51$   $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , indicando um possível manejo diferenciado ao longo da área experimental. Já a sub-área com valores mínimos e máximos de densidade foi pequena quando comparada às demais.

#### 4. CONCLUSÕES

A técnica de Geoestatística permitiu detectar a existência da estrutura de dependência espacial entre os valores de densidade do solo distantes de até  $5,25$  m além de possibilitar a construção do mapa de isovalores de densidade ao longo da área experimental na camada de solo de 20-40 cm o que subsidiará o manejo diferenciado da irrigação na área.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005. 63p.  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2004.

GOLDEN SOFTWARE, INC. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. New York: User's Guide, 1999. 619p.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R.; ANTONIO, A.M.; DELLA ROSA, S.C. Geostatistical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.341-350, 2006.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Faculdade de Matemática-Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p. (Apostila).

NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O. **Spatial and temporal statistics: sampling field soils and their vegetation**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2003. 398p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478p.

SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T.; BENTO, M.J.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, p.51-58, 2004.

TOMINAGA, T.T.; CASSARO, F.A.M.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; TIMM, L.C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.40, p.605-614, 2002.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLED, D. (Ed). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for environmental scientists**. Chichester (England): John Wiley & Sons Ltd, 2001. 271p.