

Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas canavieiras

Anderson Antonio da Silva Gualberto ¹
Marcos Rafael Nanni ¹
Carlos Antonio da Silva Junior ¹
Franciele Romagnoli ¹
Aline de Carvalho Gasparotto ¹
Rafael Moreno Campos ¹
Roney Berti de Oliveira ¹
Everson Cezar ¹

¹ Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Agronomia, Avenida Colombo, 5790, Jardim Universitário, CEP: 87020-900, Maringá, PR.
{anderson_agrouem; carlos-junior89; franciele_romagnoli; alinegaspa}@hotmail.com,
mrnanni@uem.br, {rafaelmorenocampos; roneybertioliveira}@gmail.com,
eversoncezar@yahoo.com.br

Abstract. The objective of this study was to quantify and evaluate the spatial distribution of chemical soil attributes on different grids sampling in a study area located in Bom Sucesso, in the state of Paraná, through descriptive statistical analysis and geostatistics. A grid sampling edge with the size 50 x 50 m was set comprising four samples per hectare by the GPS system. Each collection point has leased the field from which extracted soil samples from the surface horizon at a depth of 00-0,20m, 51,15ha totaling an area of 203 sampling points. The samples were determined the values of K and Ca + Mg. Gratings with smaller sample intensities were established from the initial grid, withdrawing samples randomly, generating grids: 70.8 x 70,8m (2 samples / ha), 100 x 100m (1 sample/ha), 141 4 x 141,4m (1 sample/2ha), 173.3 x 173,3m (1 sample/3 ha) and 200 x 200m (1 sample/4ha). The data obtained from each of the soil chemical properties in different sampling grids were subjected to descriptive statistical analysis and geostatistical study, building experimental semivariogram to understand their spatial dependence structure. The Ca + Mg and K attributes spatially dependent in at least one of the sampling grids. The ranges of chemical attributes Ca + Mg and K ranged from 240 to 700m. The semivariograms of the Ca + Mg attribute structure showed moderate spatial dependence.

Keywords: Spatial distribution of attributes, spatial dependence, descriptive statistics, geostatistics. Distribuição espacial de atributos, dependência espacial, estatística descritiva, geoestatística.

1. Introdução

A agricultura brasileira, nas últimas décadas, passou por constantes mudanças e avanços tecnológicos, rápida automação pela introdução de máquinas e implementos agrícolas, com auxílio de controles computacionais e tecnologia de posicionamento global (GPS), melhoramento genético de plantas, novos princípios ativos e posicionamento de defensivos agrícolas, tecnologia de liberação controlada em fertilizantes, em busca do aumento da produção e redução de impactos negativos ao ambiente (Silva, 2013).

Embora vários trabalhos tenham sido realizados na área de variabilidade espacial abrangendo, principalmente, a relação solo-planta, os mesmos não têm alcançado a devida difusão entre técnicos e engenheiros na extensão rural.

Informações sobre variáveis ligadas à produção agrícola são bastante divulgadas, mas pouco conhecidas quanto ao seu comportamento espacial. Algumas caracterizações didáticas como “ambiente de produção”, são constantemente preconizadas no setor agrícola, porém bastante subjetiva a quem estabelece os critérios, avaliações e componentes de produção (Silva, 2013).

Na busca de tentar compreender e caracterizar melhor a espacialização das variáveis de produção, estabelecendo melhores parâmetros e critérios para classificar os “ambientes de produção”, projetos e pesquisas é necessário para que possam contribuir e auxiliar nas práticas e decisões agrônomicas.

O estudo mais aprofundado da variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo faz-se necessário, uma vez que as práticas agrícolas de manejo são dependentes desta variabilidade, com impacto direto na produção agrícola e ambiente. Acredita-se ser a forma mais elaborada para entender as variáveis de produção ligadas ao sistema solo-planta.

O conhecimento destas variações é imprescindível para o levantamento e classificação dos ambientes com potencial produtivo avaliação da sua fertilidade, desenvolvimento de sistemas adequados de amostragens, planejamento experimental e definições de práticas apropriadas de manejo e recuperação de áreas de produção agrícola.

Sendo assim, neste trabalho buscou-se estudar e avaliar os atributos químicos Ca+Mg e K no solo em função de sua distribuição e comportamento espacial, visando fornecer subsídios ao manejo localizado em área de produção de cana de açúcar.

2. Material e Métodos

A área escolhida para a realização dos estudos está localizada no município de Bom Sucesso, ao noroeste do Estado do Paraná, delimitada pelas coordenadas UTM e projeção SAD 69, com base no fuso 22 sul e meridiano 51o W.G. 420291 m - 421699 m e 7382200 m - 7383393 m do Equador. O município de Bom Sucesso (Figura 1), fundado em 1954, possui área total de 323 km², e altitude média de 580m tendo como referência altimétrica o Marégrafo de Imbituba.

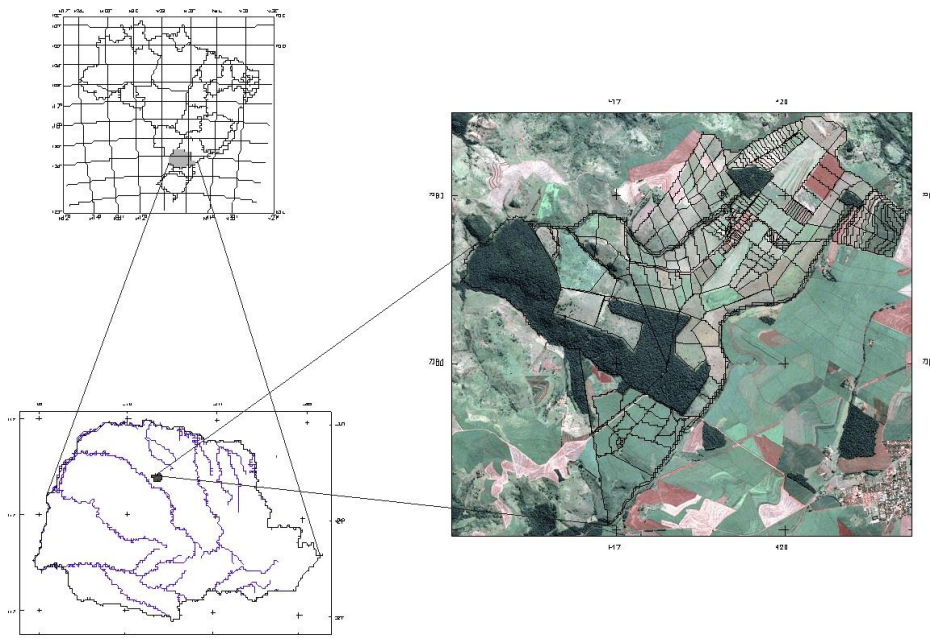


Figura 1. Localização do Município de Bom Sucesso e da área de estudo.

Para realização das atividades de laboratório/escritório foram utilizados os seguintes programas computacionais: Excel, para montagem das planilhas de dados; o Sistema para

Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING versão 5.2.2, 2012) para elaboração do banco de dados e toda a manipulação de informações georreferenciadas; SMS (Spatial Management System) para produção das grades regulares; AutoCad para trabalhar os vetores (linhas) dos mapas ; Surfer (versão 8.01, 2002) para confecção de mapas 3D e software VARIOWIN2.2 Pannatier, (1996), para realização das análises de dependência espacial e STATISTICA 8 (Statsoft) para análise de estatística descritiva e o modulo geoestatístico/validação do SPRING 5.2.2 (INPE) para interpolação dos atributos do solo pelo interpolador krigeagem.

O trabalho iniciou-se pela preparação do mapa em sistema CAD no software AutoCAD e trabalhado no sistema de informações cartográficas para inserir o mesmo num banco de dados. Este mapa foi readequado dentro do Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas - SPRING desenvolvido pelo INPE e exportado para o software SMS para a produção de grades regulares de amostragem e re-importado novamente para SPRING. Segundo Câmara et al. (1998), o SPRING é um sistema de geoprocessamento de última geração idealizado por programação orientada-a-objeto, com múltiplas funções e algoritmos para processamento de banco de dados georreferenciados.

Para realização da coleta das amostras de solo, foi estabelecida uma grade regular (Figura 3) de amostragem, distante de 50 em 50 metros como grade base (referência), compreendendo quatro amostras por hectare numa área de 51,14 ha.

Outras grades foram estabelecidas a partir desta diminuindo a quantidade de pontos amostrais (Nanni, 2011): 70,8 x 70,8m compreendendo duas amostras por hectare; 100 x 100m compreendendo uma amostra por hectare; 141,4 x 141,4m compreendendo uma amostra a cada dois hectares; 173,3 x 173,3m compreendendo uma amostra a cada três hectares; 200 x 200 m compreendendo uma amostra a cada quatro hectares (Figura 2).

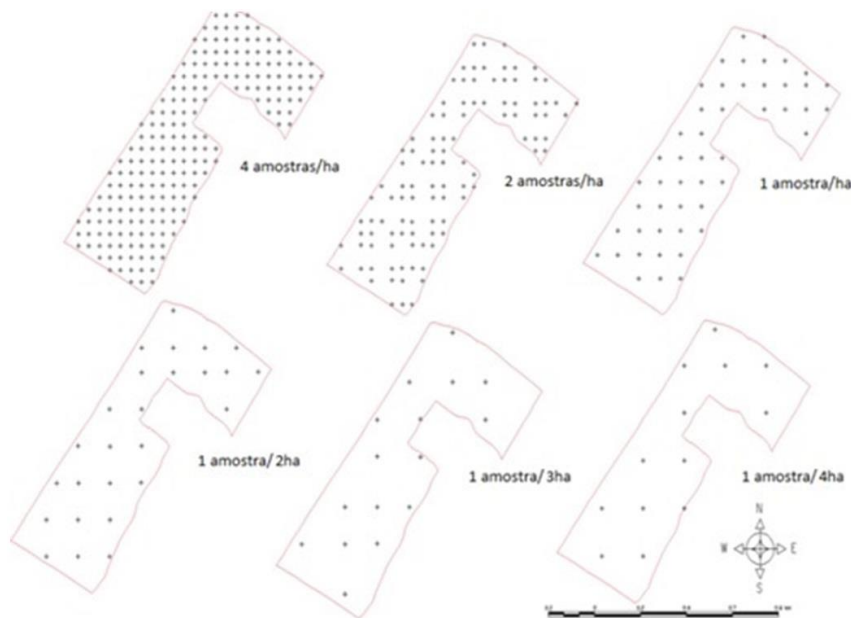


Figura 2. Grades regulares de amostragem.

A amostragem foi realizada por meio de tradagens nas profundidades de 0–0,20 m no horizonte superficial para a grade de 50x50m uma amostra por ponto sem subamostra. A

profundidade de 0–0,20 m foi escolhida para análise por ter sido considerada a profundidade efetiva mais explorada pelo sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar, além de representar o horizonte diagnóstico de correção/fertilidade.

Para as coletas de amostras de solo, os pontos foram localizados pelo sistema GPS, facilitando o processo de prospecção, pois forneceu a coordenada de todos os locais dos pontos a serem visitados, diminuindo a possibilidade de erros e permitindo a possibilidade de retornar ao mesmo ponto para novas coletas de confirmação.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e conduzidas ao Laboratório Agrônomo Rural de Maringá, para análise química macro nutrientes.

Os elementos químicos analisados foram: Cálcio e Magnésio (Ca+Mg) e Potássio (K), utilizando-se os métodos desenvolvidos pela Embrapa (1997).

Com a finalidade de analisar e comparar a distribuição espacial dos atributos: Ca+Mg e K, encontrar qual a melhor grade regular de amostragem (50; 70,8; 100; 141,4; 173,3 e 200m) dentre as estabelecidas que melhor caracteriza a distribuição espacial do atributo no solo e que retrata com fidelidade as condições locais.

Para cada atributo químico do solo estudado realizou-se análise estatística descritiva e a comparação de média pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com auxílio do software Statistica. Na estatística descritiva calculou-se a média, mediana, mínimo, máximo a variância, a assimetria, a curtose, o coeficiente de variação, desvio padrão e o tipo de distribuição. Utilizou-se o teste de Lilliefors (P-Valor) a 5% de probabilidade para testar a hipótese de normalidade.

Os atributos Ca+Mg e K apresentaram distribuição normal em todas as grades regulares de amostragem, sendo uma característica importante para posteriormente realizar estudo geoestatístico. Considerou-se, neste trabalho, que os dados atendem à condição de estacionaridade intrínseca que ocorre quando a esperança (E) de $Z(x_i)$ é constante, $\mu(x_i) = \mu$ e a variância (VAR) do incremento entre $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ é finita e independente da posição no espaço, dependendo apenas da distância de separação h , já que os dados são simétricos em relação à normalidade Gonçalves et al, (1997) e Vieira et al, (2000). Este nível de estacionaridade dos dados é suficiente para a aplicação da geoestatística.

3. Resultados e Discussões

Para melhor compreensão da distribuição dos atributos nas diferentes grades de amostragem avaliados na área de estudo, foram estabelecidos os valores da média aritmética dos atributos para cada grade, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Médias aritméticas e coeficiente de variação (CV) dos atributos dos solos obtidos a partir das amostras escolhidas para as diferentes grades.

| Atributo | Grade | | | | | | CV (%) |
|----------------|-------|-------|------|--------|--------|------|--------|
| | 50m | 70,8m | 100m | 141,4m | 173,3m | 200m | |
| K | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 10,41 |
| Ca + Mg | 6,7 | 6,6 | 6,5 | 7,0 | 7,1 | 6,9 | 3,33 |

*Cálcio e Magnésio (Ca+Mg) e Potássio (K) dados em Cmolc.dm⁻³

De acordo com a Embrapa et al. (2010), os valores médios dos atributos químicos do solo na camada de 0 - 0,20 m (Tabela 1), permitiram classificar a sua fertilidade como elevada para pH e Carbono, uma vez que o mesmo foi corrigido (Calagem).

Segundo Vanni et al. (1998), se o coeficiente de variação for menor que 35%, a série de dados pode ser considerada homogênea e a média pode apresentar significância, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida.

Para todas as grades regulares os CV's apresentaram-se com valores baixos sendo, provavelmente devido ao mesmo manejo de solos e tratos culturais (Adubação) estabelecidos para área.

Os resultados da análise descritiva dos atributos químicos do solo são apresentados nas Tabelas 2 e 3 separadamente. A aplicação do teste de normalidade ao conjunto de dados revela que os atributos: Ca+Mg e K apresentam distribuição normal.

Analisando-se os resultados obtidos na estatística descritiva (Tabela 2), observa-se que os valores de Ca+Mg e K demonstraram e mantiveram baixo CV em todas as grades regulares de amostragem (<12%), segundo critérios propostos por Warrick e Nielsen et al. (1980).

Tabela 2. Estatística descritiva dos valores de Ca+Mg para as diferentes grades de amostragem

| Grade ¹ (m) | N ² | min | mediana | máx | méd | Curtose | Assim. | CV% ³ | σ^4 | DP ⁵ | P ⁶ |
|------------------------|----------------|-----|---------|------|-----|---------|--------|------------------|------------|-----------------|----------------|
| 50 | 203 | 3,4 | 6,7 | 13,2 | 6,8 | 2,2 | 0,8 | 0,2 | 2,3 | 1,5 | 0,0* |
| 70,8 | 103 | 3,4 | 6,6 | 11,4 | 6,6 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | 2,2 | 1,5 | 0,5 |
| 100 | 48 | 3,7 | 6,6 | 13,2 | 6,5 | 4,6 | 1,3 | 0,3 | 2,7 | 1,6 | 0,1 |
| 141,4 | 26 | 3,9 | 7,2 | 9,7 | 7,0 | -0,6 | -0,1 | 0,2 | 2,2 | 1,5 | 0,7 |
| 173,3 | 16 | 3,6 | 7,4 | 9,7 | 7,1 | -0,6 | -0,3 | 0,3 | 3,1 | 1,8 | 0,8 |
| 200 | 13 | 5,1 | 6,9 | 8,5 | 6,9 | -0,2 | -0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,9 | 1,0 |

¹ em metros; ² número de pontos amostrados; ³ coeficiente de variação (%); ⁴ variância; ⁵ desvio padrão; ⁶ teste de Lilliefors; **, *, significantes a 1 e 5 % respectivamente.

O K (Tabela 3) também apresentou distribuição normal, CV e DP baixo nas diferentes grades, atendendo a normalidade, como relatado por Nanni et al. (2001). No entanto, diferentes resultados foram observados por Cavalcante et al. (2007).

Tabela 3. Estatística descritiva dos valores de K para as diferentes grades de amostragem.

| Grade ¹ (m) | N ² | min | mediana | máx | méd | Curtose | Assim. | CV% ³ | σ^4 | DP ⁵ | P ⁶ |
|------------------------|----------------|-----|---------|-----|-----|---------|--------|------------------|------------|-----------------|----------------|
| 50 | 203 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | -0,7 | 0,2 | 43,9 | 0,0 | 0,2 | 0,1 |
| 70,8 | 103 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | -0,8 | 0,3 | 45,3 | 0,0 | 0,2 | 0,0 |
| 100 | 48 | 0,1 | 0,6 | 1,0 | 0,5 | -0,6 | 0,1 | 42,0 | 0,1 | 0,2 | 0,9 |
| 141,4 | 26 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | -0,7 | 0,2 | 46,9 | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| 173,3 | 16 | 0,1 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | -1,2 | 0,1 | 47,8 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 200 | 13 | 0,2 | 0,4 | 0,9 | 0,4 | -0,9 | 0,6 | 53,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |

¹ em metros; ² número de pontos amostrados; ³ coeficiente de variação (%); ⁴ variância; ⁵ desvio padrão; ⁶ teste de Lilliefors; **, *, significantes a 1 e 5 % respectivamente.

A análise variográfica indicou que os atributos do solo analisados (Figura 3 e 4) separadamente nas diferentes grades regulares de amostragem apresentaram dependência espacial, com exceção do atributo Ca+Mg na grade de 200m. O atributo químicos Ca+Mg apresentou estrutura de dependência espacial moderada, com alcance (Ao) que corresponde a zona de influência da dependência espacial em torno de 700m nas grades de amostragem (Tabela 4).

Tabela 4. Semivariograma dos valores de Ca+Mg para as diferentes grades de amostragem.

| Semivariograma | | Efeito Pepita | Semivariância | Alcance (m) | IGF |
|----------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------|
| Grade (m) | Modelo | Co | (Co + C) | A0 | |
| 50 | Exponencial | 1,19086 | 2,43286 | 290 | 2,39E-03 |
| 70,8 | Esférico | 1,64465 | 2,30465 | 240 | 3,73E-03 |
| 100 | Gaussiano | 1,93302 | 2,63502 | 400 | 1,09E-02 |
| 141,4 | Esférico | 1,23165 | 2,63465 | 480 | 7,17E-02 |
| 173,3 | Gaussiano | 2,28511 | 3,49411 | 700 | 3,79E-02 |
| 200 | | Efeito Pepita Puro | | | |

IGF¹(Indicação da qualidade do ajuste).

O atributo K apresentou estrutura do semivariograma com dependência espacial moderada em todas as grades regulares estabelecidas (Tabelas 5), concordando com resultados obtido por Salviano et al. (1998) e Souza et al. (1998). O K apresentou um alcance em torno de 240-700m, com continuidade espacial maior que os demais atributos da área de estudo.

Tabela 5. Semivariograma dos valores de K para as diferentes grades de amostragem.

| Semivariograma | | Efeito Pepita | Semivariância | Alcance (m) | IGF ¹ |
|----------------|-------------|---------------|---------------|-------------|------------------|
| Grade (m) | Modelo | Co | (Co + C) | A0 | |
| 50 | Exponencial | 0,022673 | 0,054173 | 240 | 2,72E-03 |
| 70,8 | Gaussiano | 0,028984 | 0,054184 | 240-300 | 6,38E-03 |
| 100 | Esférico | 0,024378 | 0,051878 | 240-300 | 3,19E-03 |
| 141,4 | Esférico | 0,014706 | 0,059106 | 240-300 | 8,10E-02 |
| 173,3 | Esférico | 0,012669 | 0,036269 | 240-300 | 4,45E-02 |
| 200 | Gaussiano | 0,012673 | 0,059796 | 700 | 1,79E-02 |

IGF¹(Indicação da qualidade do ajuste).

Os semivariogramas do atributo Carbono foram ajustados em sua maioria no modelo esférico. Os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, podendo ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (Grego e Vieira, 2005), sendo que a classe de dependência espacial moderadas pode ser atribuída aos fatores intrínsecos (mineralogia e textura), ao passo que aos extrínsecos (manejo do solo) atribui-se fraca dependência.

A dependência espacial moderada seria devido à homogeneização do solo, confirmado esta hipótese quando se analisa a amplitude de variação dos atributos químicos Ca+Mg e K que apresentam CV baixo, situação semelhante foi observada por Cavalcante et al, 2007 estudando sistemas de uso e manejo do solo. Mapas de distribuição espacial dos atributos químicos Ca+Mg e K foram gerados a partir da interpolação por krigagem das grades que obtiveram dependência espacial, Figuras (5 e 6)

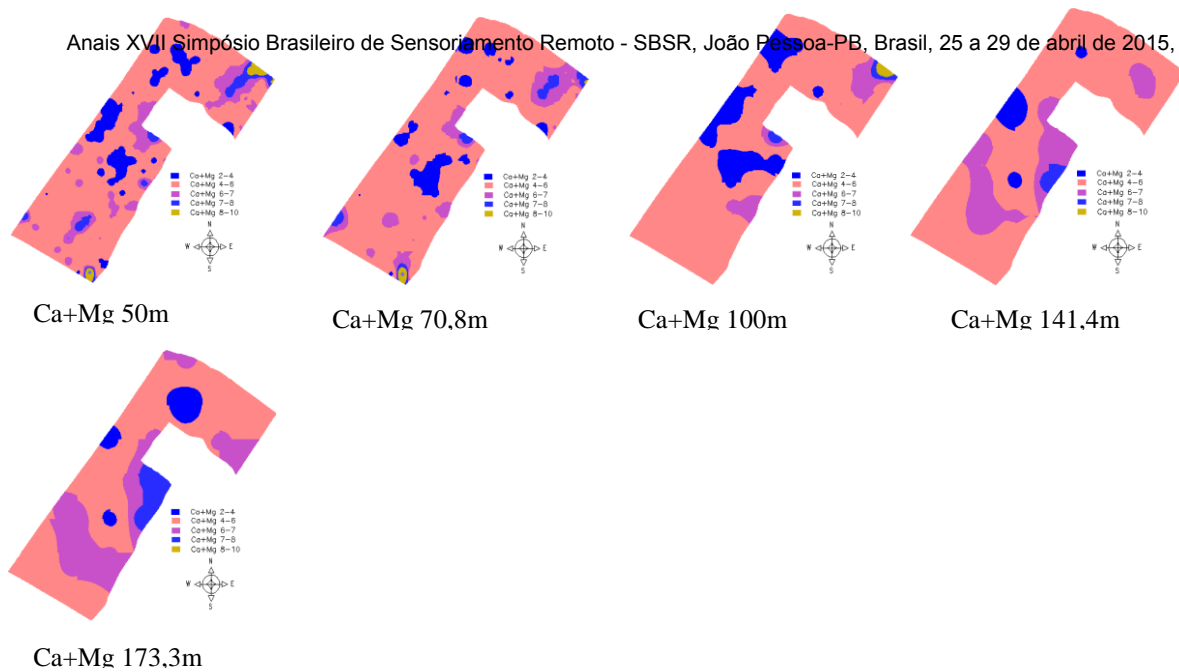


Figura 5. Mapas de distribuição espacial do atributo Ca+Mg.

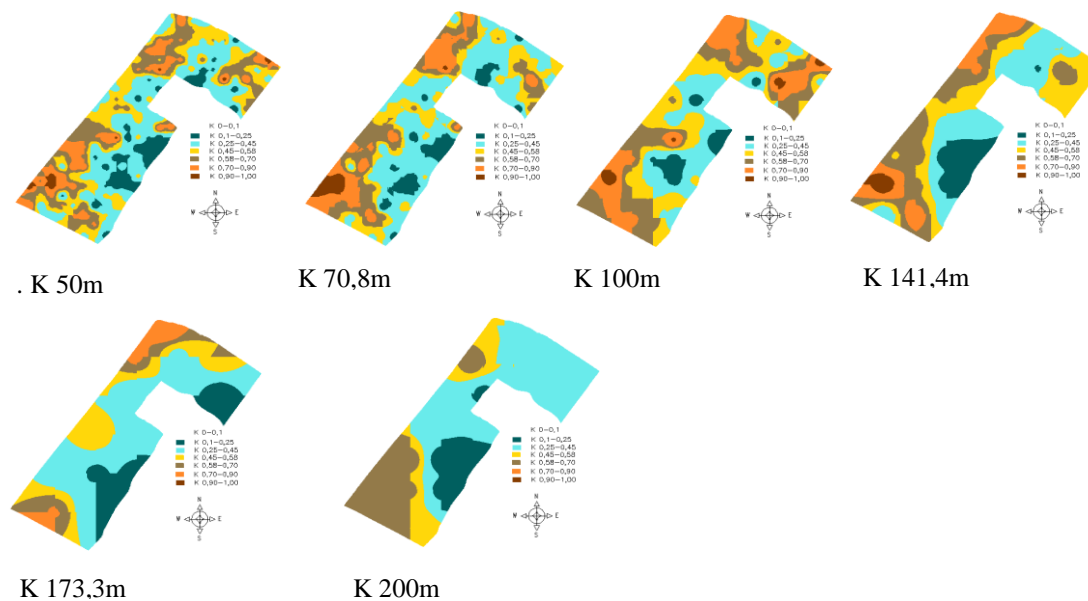


Figura 6. Mapas de distribuição espacial do atributo K

4. Conclusões

A estatística descritiva dos atributos da área de estudo analisados em conjunto com diferentes grades regulares de amostragem demonstrou homogeneidade química, ou seja, se a opção for pelas medidas de tendência central, todas as grades apresentaram resultados muito próximos, independente da intensidade de amostragem.

Nas análises semivariográfica todos os atributos apresentaram dependência espacial: pH, com exceções: pH grade de 141,4, 173,3 e 200m.

Os resultados obtidos nos semivariogramas de forma separada para cada atributo em suas grades regulares de amostragem estabeleceram qual grade regular com menor densidade de amostras o atributo pode ser caracterizado de forma satisfatório e representativo pela geostatística: - Ca+Mg grades regulares de 173,3m (1 amostra a cada 3 hectares) e K grades regulares de 173,3m e/ou 200m (1 amostra a cada 3 ou a cada 4 hectares).

REFERÊNCIAS

- Câmara, G. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**. 1998. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.htm>> Acesso em: dez. 2006.
- Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". **Journal Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M. de; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1329-1339, 2007.
- EMBRAPA. **Centro nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010. 212p.
- Gonçalves, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação. Piracicaba**, 1997. 118p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Grego, R.G.; Vieira, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.169-177, 2005.
- McBratney, A. B.; webster, R. **How many observations are need for regional estimation of soil properties**. Soil Science, v.135, n.3, p.177-83, 1983.
- Nanni, M.R., Povh, F.P., Demattê, J.A.M., DE Oliveira, R.B., Chicati, M.L., Cezar, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, v.68, n.3, p.386-392, 2011.
- Pannatier, Y. **Variowin: software for spatial data analysis in 2D**. New York: Springer-Verlag, 1996. 90p.
- Salviano, A.A.C.; Vieira, S.R.; Sparovek, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.22, n.1, p 115-122, 1998.
- Silva, A.A. **Estudo de diferentes grades regulares de amostragem para avaliação de atributos químicos do solo e mapas de fertilidade em área de cultivo de cana de açúcar**. Maringá 2013. 5p. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Maringá.
- Souza, L.S.; Cogo, N.P.; Viera, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n.3, p 77-86, 1998.
- Vanni, S.M. **Modelos de regressão: Estatística aplicada**. SãoPaulo, Legmar Informática, 1998. 177p.
- Vieira, S. R. **Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP)**. *Bragantia*, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. **Spatial variability of some physical properties of the soil**. In: Hill, D. ed. *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, 1980, Cap. 13, p. 319-344.
- Webster, R.; oliver, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.