

AValiação DO TAMANHO DA MALHA DE AMostragem DE SOLO EM ÁREAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Roney Berti de Oliveira ¹
Marcos Rafael Nanni ²
Marcelo Luiz Chicati ²
Everson Cesar ²
Carlos Antônio da Silva Junior ²
Anderson Antônio da Silva ²

¹ Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Caixa Postal 324 – 78580-000 – Alta Floresta - MT, Brasil
roneyberti@unemat.br

² Universidade Estadual de Maringá - UEM
Avenida Colombo, 5790 – 87020-900 – Maringá - PR, Brasil
marcos.nanni@gmail.com
mlchicati@yahoo.com.br
eversoncezar@yahoo.com.br
carlos-junior89@hotmail.com
anderson_agrouem@hotmail.com

Abstract. The objective of this study was to evaluate different sizes of sampling grid in the spatial distribution of soil properties in a area of production of sugarcane located into a municipal district of Bom Sucesso, Paraná State. For this, three sampling grids with dimensions of 100, 250 and 500 meters were established between the sampled points. Using the GPS system, each sampling point of was localized in the study area and subsequently was collected soil samples from surface horizons for physical and chemical analysis in order to model the spatial distribution of these attributes. The samples were collected at 0-20 cm surface horizon representative for all grids. For statistical data analysis and production of cartographic maps we used the semivariogram models generated by geostatistical tool to evaluate the three proposals grids and later used the kriging method to elaboration maps by spatial distribution for this attributes. Spatial analysis demonstrated the presence of spatial dependence only for the base saturation, aluminum saturation, cation exchange capacity and the sum of bases in grid of 250 meters and base saturation for grid of 100 meters. For grid of 500 meters none attributes showed spatial dependence, demonstrating pure nugget effect the formation of denser sampling grid is therefore required.

Word-key: soil mapping, space distribution of attributes, geographical information sistem, geostatistic mapeamento de solo, distribuição espacial de atributos, sistemas de informação geográfica, geoestatística

1. Introdução

A implantação de projetos agrícolas eficientes sem o devido conhecimento da área de trabalho pode levar a sérios problemas, que, caso não sejam evidentes a curto prazo, certamente aparecerão em futuro próximo. Certas decisões tomadas por parte dos profissionais que atuam na área extensionista necessitam de bases bem fundamentadas em dados obtidos através das pesquisas. Levantamentos de solos com expressão cartográfica em níveis mais detalhados, seguramente permitem a obtenção de um grande número de informações que adequadamente manejadas, possibilitam aos técnicos e agricultores empregarem técnicas e estabelecerem planejamentos para que possam prolongar e até mesmo aumentar a capacidade produtiva de suas terras. O propósito de um levantamento de solos pode ser considerado de duas maneiras: o primeiro, refere-se à possibilidade de fornecer aos usuários informações sobre os solos e as condições da paisagem em algum lugar de interesse, e o segundo é a possibilidade de fornecer informações que poderão ser utilizadas para tomada de decisões acerca do planejamento de

uso da terra (LARACH, 1983; YOUNG, 1998). A intensidade da amostragem em áreas sob uso contínuo depende de vários fatores, como por exemplo, os níveis dos nutrientes em relação às necessidades das culturas, os padrões da variabilidade espacial destes nutrientes, as recomendações de adubação utilizadas, a expectativa de resposta à adubação e os custos adicionais decorrentes do esquema de amostragem (MALARINO, 1998). Existem diversas estratégias de amostragem para diferentes propósitos e estudos do solo. Sameshima & Yamamoto (1996) expuseram diversos tipos de malhas de amostragem para interpolação de dados. Diversos são os trabalhos onde os autores não entraram em concordância sobre o tamanho e forma das malhas (DELCOURT et al., 1996, KING et al., 1998; YANG et al., 1998; MORTON et al., 1998; REETZ Jr. 2000). Com o emprego da interpolação de dados, a evolução da ciência da computação e sistemas de informação geográfica, abriu-se uma porta para manipulação de dados em curto espaço de tempo, não havendo mais necessidade de agrupamento de dados em classes, sendo estes elaborados automaticamente em mapas de isolinhas (McBRATNEY & DE GRUIJTER, 1992, BURROUGH et al., 1997 e McBRATNEY & ODEH, 1997). A variabilidade dos solos tem sido abordada pela classificação numérica, por métodos de estatística multivariada, classificação contínua (fuzzy), geoestatística, métodos de fractais, morfologia matemática e teoria do caos (BURROUGH et al., 1994). Embora estes métodos estatísticos permitam inferir sobre a variabilidade do solo (vertical e horizontal), a dependência espacial entre as amostras somente pode ser modelada através da geoestatística (WEBSTER, 1985). A variação espacial das propriedades do solo pode ser descrita usando-se a teoria e os métodos geoestatísticos onde o semivariograma fornece uma descrição imparcial da escala do padrão de variação espacial (OLIVER 1999) e esta ferramenta geoestatística possibilita a detecção e análise da estrutura e dependência espacial dos atributos do solo (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Diante disto o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes tamanhos de malha de amostragem na caracterização de atributos do solo.

2. Metodologia de Trabalho

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 51° W.G. 414000 m - 422000 m e 7377000 m - 7384000 m do Equador, apresentando 2243 ha de área total, sendo 471 ha composto por vegetação nativa da Floresta Estacional Semidecidual (MAACK, 1981) e 1772 ha cultivados com cana-de-açúcar. Para realização da coleta das amostras de solo, foi estabelecido malhas regulares de amostragem distantes de 500 em 500 metros conforme orientações da Embrapa (1996), compreendendo 1772,17 ha da área; outro grid de 250 em 250 metros compreendendo 1480,75 ha, e, posteriormente, um grid de 100 por 100 metros em uma porção de 77,42 ha. A amostragem foi realizada por meio de tradagens nas profundidades de 0–20 cm representante do horizonte superficial para os grids de 500, 250 e 100. A profundidade de 0–20 cm foi escolhida para análise por ter sido considerada a profundidade efetiva mais explorada pelo sistema radicular, além de representar o horizonte diagnóstico de superfície. 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. Os elementos químicos analisados foram: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), carbono (C), Potencial Hidrogeniônico (pH), saturação por bases (V%), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por alumínio (m%) e acidez potencial (H+Al), silte, argila, areia grossa e areia fina, utilizando-se os métodos desenvolvidos pela Embrapa (1997). A dependência espacial dos atributos foi analisada por meio de semivariogramas gerados no

software GS+ (Gamma Design Software, 2000), assim como a estatística descritiva. O índice de dependência espacial foi calculado conforme metodologia de Cambardella et al. (1994). Para a confecção dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado a krigagem como método de interpolação no software SSToolBox (Site-Specific Technology Development Group, 2003).

3. Resultado e Discussões

Com a finalidade de estabelecer a distribuição espacial dos atributos diagnósticos dos solos necessários à sua classificação, bem como definir qual o melhor grid para estabelecimento de limites de classes de solos que retratassem com fidelidade as condições locais, foi avaliada a dependência espacial para os teores de silte, argila, areia, silte/argila, relação textural A/B, CTC, V% e m%. Destes atributos, apenas V%, CTC, m% e SB apresentaram dependência espacial, sendo que apenas o atributo V% apresentou dependência para a grade de amostragem de 100 m. A Tabela 1 mostra a estatística descritiva destas variáveis. Os valores de média, mínimo, máximo, assimetria, curtose, desvio padrão e coeficiente de variação referem-se a cada grid separadamente. A assimetria e curtose indicam a proximidade entre a distribuição de frequência dos dados e a distribuição normal cujos valores, segundo Vieira (1997) são, respectivamente, 0 e 3. Com exceção do m%, os demais atributos avaliados apresentaram assimetria e curtose o suficiente de 0 e 3 para poderem ser considerados com distribuição normal. Os coeficientes de assimetria e curtose para m% indicam proximidade de distribuição log normal (VIEIRA, 1997). Isso deve-se ao fato que muitos valores para m% foram nulos, fazendo com que a curva de distribuição se deslocasse intensamente para a esquerda, o que é evidenciada pelo valor positivo da assimetria. O maior valor de coeficiente de variação foi para a saturação de alumínio (CV de 286%). Os atributos V% para ambas as classes apresentaram pequena variação, enquanto a CTC e SB, neste caso, podem ser considerados elevados.

Tabela 1: Estatística descritiva dos atributos escolhidos para discriminação das classes de solos da área de estudo.

Grades	Estatística Descritiva							
	Atributo	Média	Mín	Máx	Assimetria	Curtose	CV (%)	Desvio Padrão
100 m	V%	67,9	39,1	83,7	-0,99	0,17	16,3	11,1
	CTC	16,7	9,6	34,8	1,52	3,35	26,3	4,2
250 m	m%	2,2	0,0	46,4	4,63	23,82	286,4	6,3
	SB	11,4	2,8	28,9	1,24	2,26	40,4	4,6
	V%	66,3	23,9	96,8	-0,74	0,92	18,1	12,0

A Tabela 2 mostra os modelos que melhor ajustaram para cada uma das variáveis e seus respectivos parâmetros, os quais foram utilizados na krigagem para a geração dos mapas. O V% nas duas grades (100 e 250 m) apresentou forte dependência espacial, juntamente com o m% na grade de 250 m. Já a CTC e a soma de bases apresentaram moderada dependência espacial. Todas as demais variáveis amostradas que não estão apresentadas na Tabela 2 tiveram efeito pepita puro, ou seja, as grades escolhidas para amostragem não foram suficientes para detectar a dependência espacial, sendo necessária amostragem mais densa. Tal condição torna-se discordante daquela apresentada por Vieira et al. (1992), onde este conclui que a malha adotada para amostragem mostrou-se adequada para os propósitos estabelecidos, ou seja, caracterizar a variabilidade espacial de propriedades físicas dos solos, dentre elas valores de silte, argila e areia, podendo-se até estender a grade para 100 metros. Para a grade de 500 m, ocorreu a condição de efeito pepita nulo para os atributos físicos e químicos do solo o que poderia levar a conclusão que, para um levantamento pedológico detalhado, o grid de amostragem deveria ser menor, ou seja, o espaçamento entre pontos

utilizados não foi suficiente para apresentar influência espacial detectável (TRANGMAR et al., 1985). Segundo Carvalho et al. (2003), o alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas. Ele indica a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, como demonstrado por Vieira et al., (1983); e Vieira, (1997), ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores. Observa-se, pela Tabela 2 que os valores de alcance para a maioria dos atributos que foram maiores que 300 metros, podendo chegar próximo aos 500 metros para V%.

Tabela 2: Ajuste dos semivariogramas para as grades de 100 e 250 metros dos atributos que apresentaram dependência

Atributos	Modelos e Parâmetros					Classe
	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Semivariância (C ₀ + C)	Alcance (a)	IDE 100x[C ₀ /(C ₀ +C)]	
Grade 100						
V%	Esférico	0,0001	0,0723	496	0,1	F
Grade 250						
CTC	Exponencial	0,0139	0,038	330	36,6	M
m%	Esférico	0,1	44,45	469	0,2	F
SB	Exponencial	3,97	13,39	369	29,6	M
V%	Esférico	27,1	153,6	455	17,6	F

1. $C_0/(C_0+C) = IDE =$ Índice de dependência espacial.

2. F = dependência espacial forte ($C_0 < 25\%$ da semivariância total); M = dependência espacial moderada ($25\% < C_0 < 75\%$ da semivariância total); W = dependência espacial fraca ($C_0 > 75\%$ da semivariância total); A = aleatório (efeito pepita puro), adaptado de Cambardella et al., (1994).

O modelo para os semivariogramas foi o esférico para V% (grade de 100 e 250m) e m%. Para a CTC e SB o modelo ajustado foi o exponencial. As Figuras 1a e 1b apresentam os semivariogramas experimentais para 2 atributos que apresentaram dependência espacial na malha de 250 metros.

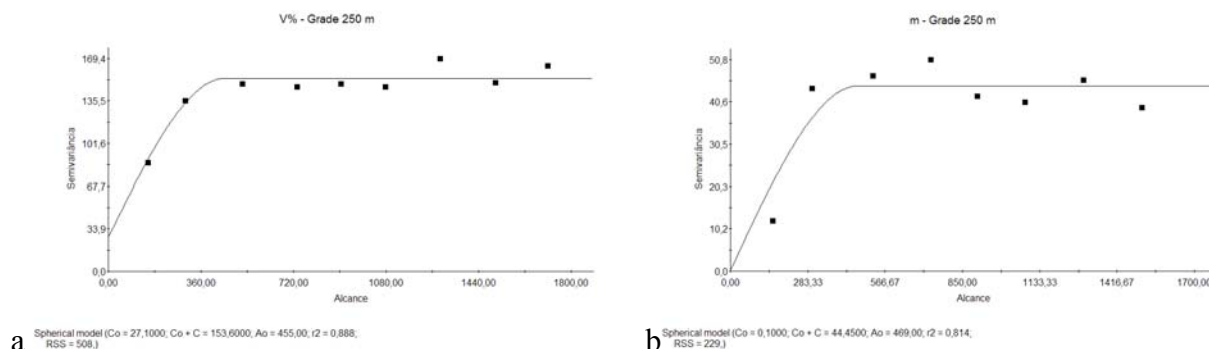


Figura 1: Semivariograma para a Saturação por Bases (a) e Saturação por Alumínio (b) da malha de 250m.

Dos atributos avaliados, o único que apresentou dependência espacial para ambas as grades foi o V%, sendo de 496 m para a grade de 100 e 455 metros para a grade de 250. Rodrigues (2002) obteve por meio de semivariograma alcance de 357 para este atributo e Manzione (2002) alcance de 373, ambos utilizando uma grade de amostragem de 60 x 60 metros. Desta forma podemos concluir que independente da grade utilizada, podemos estabelecer a dependência espacial para este atributo. Já para os atributos de m%, SB, e CTC, constatou-se dependência espacial somente para a grade de 250 tendo alcance de 469 metros para o m%, 369 metros para a SB e 330 metros para a CTC, discordando assim de Manzione (2002), que não detectou dependência espacial para estes atributos, podendo talvez, a dependência espacial estar associada à classe de solo estudada. Nas Figuras 2a e 2b estão relacionados os mapas de distribuição de dois atributos que apresentaram dependência espacial. Diante do mapa elaborado, pode-se observar que a distribuição da CTC se mostrou

ligada às condições, principalmente de relevo e cobertura vegetal. Nas áreas mais aplainadas os valores são mais baixos que aqueles encontrados nas áreas com relevo mais acidentado e, portanto, aparecimento dos Neossolos, que sob as condições de cobertura vegetal por floresta, ocorre aumento dos teores de carbono e desta forma o aumento da CTC.

A soma de base acompanhou, de certa forma, a distribuição da CTC e da saturação por alumínio. Observa-se, pela Figura 2 que onde há ocorrência de maiores valores de CTC, há contrariamente a inversão dos valores de m%. Onde a saturação por alumínio foi 0, a saturação por bases foi máxima e vice-versa, pelo próprio antagonismo entre essas propriedades.

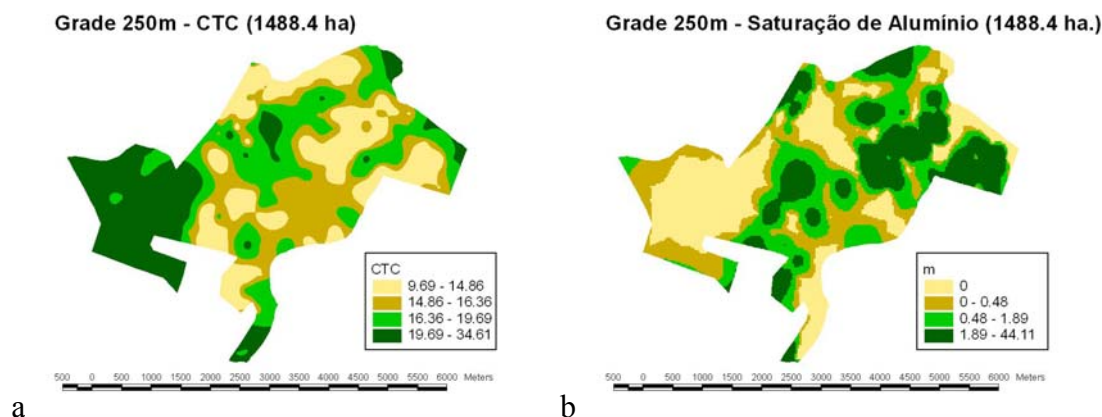


Figura 2: Distribuição espacial dos valores de CTC (a) e Saturação por Alumínio (b) m% na camada superficial e grade de amostragem de 250m.

A saturação por alumínio denota com clareza a necessidade de manejos diferenciados dentro da área de estudo, mesmo que a classe de solo seja mapeada dentro de uma única unidade. As variações no campo são extremas, o que leva a introduzir estratégias que venham conciliar as necessidades de fertilidade aliadas às condições técnicas e operacionais de condução das culturas.

4. Conclusão

Os atributos V% obtidos das análises coletadas em grid de 100 metros; V%, CTC, m% e SB do grid de 250 metros apresentaram dependência espacial. Os demais atributos avaliados não apresentaram dependência espacial para nenhuma das malhas estabelecidas. A malha de 250 metros pode ser estendida na região de estudo para servir de guia de amostragem para os atributos que apresentaram dependência espacial. A densidade de amostragem adotada em grid de 500 metros, não foi adequada para avaliação da dependência espacial dos atributos diagnósticos de fertilidade do solo.

Referências Bibliográficas

- Burrough, P. A.; Van Gaans, P. F. M.; Hootsmans, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. **Geoderma**, v.77, p.115-35, 1997.
- Burrough, P. A.; Bouma, J.; Yates, S. R. The state of the art in pedometrics. **Geoderma**, v.62, p.311-26, 1994.
- Carvalho, M. P; Takeda, E. Y.; Freddi, O. S. Variabilidade Espacial de Atributos de um Solo sob Videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:695-703. 2003.
- Delcourt, H.; Darius, P. L.; De Baerdemaeker, J. The spatial variability of some aspects of topsoil fertility in two Belgian fields. **Comput. Electron Agric.**, v.14, p. 179-96, 1996.

- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Embrapa. SNLCS. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro, 1996. 94p
- Issaks, E. H.; Srivastava, M. An introduction to applied geostatistics. New York: **Oxford University Press**, 1989. 560p.
- King, B. A.; Stark, J. C.; Taberna JR., J. P. In season spatial variability of potato petiole Nitrogen. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. Proceedings... St. Paul, American Society of Agronomy, **Crop Science Society of America and Soil Science Society of America**, 1998. p.55-66.
- Larach, J.O.I. Bases para leitura de mapas de solos. EMBRAPA, SNLCS, rio de Janeiro, 1983. **SNLCS**, Série Miscelânea
- Larach, J.O.I. Usos de levantamentos de solos. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte,9 (109): 26-32, 1983.
- Maack, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio/ Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná; 1981.
- Malarino, A. Using precision agriculture to improve soil fertility management and on-farm research. **Integrated crop management**, IC - 480, p.12-14, 1998. (Precision Ag. edition)
- Marques Junior, J.; Corá, J. E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: Mecanização e agricultura de precisão, 27, 1998. Poços de Caldas: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 1998. p.31-70.
- McBratney, A. B.; DE Gruijter, J. J. A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragades. **J. Soil Sci.**, v.43, p.159-76, 1992.
- McBratney, A. B.; Odeh, I. O. A. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. **Geoderma**, v.77, p.85-113, 1997.
- Morton, T. M.; Buchleiter, G. W.; Heermann, D. F. Quantifying the effects of water availability on corn yield under a center-pivot irrigation system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. Proceedings... St. Paul, **American Society of Agronomy**, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p.31-42.
- Oliver, M.A. Exploring soil spatial variation geoestatistically. In: EUROPEAN CONF ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Denmark. Anais... Denmark: **IPAS**, 1999. p.03-18
- Reetz JR., H. F. Map making for variable rate fertilization. **Better Crops**, v.84, n.2, p. 18–20, 2000.
- Rdrigues, M. Introdução ao geoprocessamento. **Anais**, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1, 1990. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1990, p.1-26.
- Sameshima, R, H.; Yamamoto, J. K. Análise de malhas de amostragem e processos de interpolação na representação de superfícies topográficas por meio de TDMs. **Geociências**, v.15, n.1, p.67-92, 1996.
- Sng, A. N.; Dwivedi, R. S. The utility of LANDSAT imagery as an integral part of the data base for small-scale soil mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.9, p.1099-1108, 1986.
- Tragmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v.38, p.45-94, 1985.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, 2000 a. p.1-54.

Vieira, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

Vieira, S. R.; Castro, O. M.; Topp, G. C. Spatial variability of some soil physical properties in tree soils of São Paulo, Brazil. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Brasília, v. 27, p. 333-341, 1992.

Webster, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: STEWART, B. A., (Ed.) Advance in soil science, 1985. New York: **Springer-Verlag**, v.3, p.1-70.

Yang, C.; Anderson, G.L.; King, JR., J.H.; Chandler, E.K. Comparasion of uniform and variable rate fertilization strategies using grid soil sampling, variable rate technology an yield monitoring. **Anais**, INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota; p.675-87

Young, A. (1998). "Land resources—Nowand for the Future." **Cambridge University Press**, Cambridge.