

## VARIABILIDADE ESPACIAL DO PH DO SOLO OBTIDA EM DIFERENTES DENSIDADES AMOSTRAIS EM ÁREA DE CERRADO DO OESTE DA BAHIA

CHARLES CARDOSO SANTANA<sup>1</sup>, MICHEL CASTRO MOREIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), santana.agr@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), michelcm@ufob.edu.br

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** O conhecimento da variabilidade espacial do solo auxilia no estabelecimento de manejos que visam aumentar a produtividade das culturas. Objetivou-se assim, analisar a variabilidade espacial do potencial hidrogeniônico (pH) do solo amostrado sob diferentes densidades amostrais. O trabalho foi conduzido em uma área de 50 hectares. Uma malha amostral com 50 células foi definida, tendo-se uma relação de uma amostra por hectare (1A/1ha). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, sendo determinado o pH. A partir da malha de 1A/1ha, foram simulados os planos de amostragem em grade, considerando uma amostra em dois hectares (1A/2ha), em quatro hectares (1A/4ha) e em nove hectares (1A/9ha). A análise geoestatística aplicada possibilitou caracterizar a dependência espacial e prever os valores de pH nos locais não amostrados. A representação da variabilidade espacial em mapas permitiu identificar regiões com baixos e adequados níveis de pH, indicando a necessidade de correção da acidez. A variabilidade espacial do pH pôde ser identificada com a diminuição da densidade amostral em até 1A/4ha, demonstrando que para solos da mesma região a amostragem em 1A/4ha é suficiente para representar a variabilidade do pH no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, amostragem do solo, geoestatística.

## SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PH OBTAINED AT DIFFERENT SAMPLE DENSITIES IN THE CERRADO OF WESTERN BAHIA

**ABSTRACT:** Knowledge of the spatial variability of the soil helps in establishing management practices that aim to increase the productivity of crops. The objective was to analyze the spatial variability of the hydrogen ion potential (pH) of the sampled soil under different sample densities. This work was conducted in an area of 50 hectares. A sample mesh with 50 cells was defined, with a ratio of one sample per hectare (1S/1ha). The pH was determined in soil samples that were collected at a depth from 0 to 20 cm. Grid sampling plans were simulated using a sample of two hectares (1S/2ha), four hectares (1S/4ha) and nine hectares (1S/9ha). The geostatistical analysis applied allowed us to characterize the spatial dependence and to predict the values of pH in locations not sampled. The representation of the spatial variability on maps allowed us to identify regions with low and appropriate levels of pH, indicating the need for soil acidity correction. The spatial variability of pH could be identified with the decrease of sample density by up to 1S/4ha, demonstrating that for soils in the vicinity of the sampling, it is sufficient to use 1S/4ha to represent the variability of pH in the soil.

**KEYWORDS:** Precision agriculture, soil sampling, geostatistics.

**INTRODUÇÃO:** A Agricultura de Precisão (AP) é um sistema de gerenciamento agrícola que se baseia na variabilidade espacial (VE) das características do solo e da cultura, para a aplicação, no local correto, na quantidade necessária e no momento adequado, dos insumos requeridos para a produção agrícola (GIMENEZ; ZANCANARO, 2012). Todas as etapas que envolvem a AP podem ser comprometidas se o estudo da VE das características do solo, por meio do processo de amostragem, não for feito de maneira correta, pois não representaria a realidade do campo, comprometendo a veracidade dos mapas gerados. No processo de amostragem do solo, as amostras são coletadas, na maioria das vezes, considerando uma grade amostral na qual os pontos são georreferenciados, identificados e recebem tratamento individualizado para a confecção de mapas dos atributos do solo (CAON; GENUÍ, 2013). A amostragem em grade, no entanto, a depender da VE dos atributos do solo, pode aumentar o custo da produção, devido ao grande número de amostras necessárias para representar a realidade do campo (MOLIN et al., 2015). Para adoção da AP, torna-se requisito essencial e de eficiência do planejamento agrícola obter um número ótimo de amostras que possibilite economia financeira, reduza a mão de obra e o tempo e, ao mesmo tempo, reflita precisamente a realidade do campo (CAON; GENUÍ, 2013). A AP, por permitir aumentar a eficiência da atividade agrícola e contribuir para um manejo mais sustentável, é fundamental em regiões com intenso desenvolvimento agrícola, como ocorre no oeste da Bahia, em região sob o bioma Cerrado. Objetivou-se assim, analisar a variabilidade espacial do potencial hidrogeniônico (pH) do solo amostrado sob diferentes densidades amostrais.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado no município de São Desidério (12° 45' 43,20" S; 45° 15' 3,60" W), região Oeste do Estado da Bahia. O solo no local é classificado como Latossolo vermelho amarelo, de textura arenosa (EMBRAPA, 2006), e foi manejado, nos últimos anos, com práticas convencionais de cultivo de soja, milho, algodão e feijão. Inicialmente, realizou-se a delimitação da área e em seguida, gerou-se uma malha com 50 células de 100 m x 100 m (10.000 m<sup>2</sup>), tendo-se uma relação de uma amostra por hectare (1A/1ha). Com base na malha amostral (MA) de 1A/1ha, a coleta de solo foi realizada em uma profundidade de 0 - 20 cm. No laboratório de análises de solos, a determinação do pH foi realizada conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Para avaliar o efeito da redução do adensamento amostral na VE do pH, foram criados os planos para células maiores, a partir da MA de 1A/1ha. Os planos criados foram: uma amostra em dois hectares (1A/2ha), uma amostra em quatro hectares (1A/4ha) e uma amostra em nove hectares (1A/9ha). Após a definição das MAs, os dados de pH foram submetidos à análise estatística descritiva (média; mediana; mínimo; máximo; desvio-padrão (s); coeficientes de variação (CV); de assimetria (Cs) e de curtose (Cc)). De posse dos valores de CV, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa, para CV < 15%; moderada, para CV de 15 a 35%; e alta, para CV > 35% (WILDING; DREES, 1983). A normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk (S-W) (p<0,05). A análise da VE do pH para cada grade de amostragem foi realizada através dos semivariogramas no programa computacional GS+, Versão 7, considerando os modelos com melhor coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e a menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Diante do modelo matemático, definiram-se: o efeito pepita (C0), a contribuição (C1), o patamar (C0+C) e o alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado pela equação:  $IDE = [C1 / (C0 + C1)] \times 100$ . Com base nos valores de IDE, classificou-se o Grau de Dependência Espacial (GDE) como: fraca, para IDE < 25%; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e forte, para IDE > 75% (CAMBARDELLA et al., 1994). Após a análise da VE do pH, realizou-se a interpolação utilizando o método de Krigagem para os dados que apresentaram estrutura espacial, e do Inverso da Potência da Distância, para os dados que não apresentaram estrutura espacial (efeito pepita puro), no programa computacional QGIS.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 apresenta-se a estatística descritiva do pH considerando as densidades amostrais, onde se verifica que apenas para a densidade amostral (DA) de 1A/4ha o valor foi diferente das demais densidades amostrais. Em relação aos valores medianos, observa-se, que independente da DA, não houve diferença em relação aos valores médios de suas respectivas DAs, o que favoreceu a obtenção de baixos valores de Dp, CV, Cc e Cs. Esses resultados demonstram que, apesar dessa variação entre os valores máximos e mínimos, a área não apresenta variação brusca dos valores quando se realiza uma comparação com os valores mais próximos de um determinado ponto, ou seja, apresenta uma variação gradual dos valores de pH.

TABELA 1. Estatística descritiva do potencial hidrogeniônico (pH), considerando as diferentes densidades amostrais.

D.A.	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Dp	CV(%)	Cc	Cs
1A/1ha	5,7	5,7	5,1	6,1	0,2	4,1	-0,05	-0,3
1A/2ha	5,7	5,7	5,2	6,1	0,2	4,0	0,2	-0,3
1A/4ha	5,6	5,6	5,1	5,9	0,3	4,5	0,03	-0,9
1A/9ha*	5,7	5,7	5,3	5,9	0,2	3,8	0,7	-1,0

D.A.: densidade amostral; 1A/1ha: uma amostra em um hectare; 1A/2ha: uma amostra em dois hectares; 1A/4ha: uma amostra em quatro hectares; 1A/9ha: uma amostra em nove hectares; Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cc: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria; \*: não normal a 5% de probabilidade.

De acordo com os critérios de interpretação de Sousa e Lobato (2004), os valores médios de pH (5,70) são considerados adequado. Observa-se, no entanto, que a partir do valor máximo (6,1) e mínimo (5,1), os resultados podem ser considerados de baixo a adequado, a depender do local amostrado, indicando que a interpretação considerando apenas os valores médios não representa o comportamento espacial deste atributo em toda a área. Diante desses resultados, é possível inferir que existem locais na área com valores de pH ( $< 5,5$ ) considerados limitantes à máxima expressão da capacidade produtiva para as culturas anuais (soja), pois todos os demais atributos químicos são dependentes do mesmo, e possivelmente, a acidez do solo está afetando a disponibilidade dos elementos que se encontram em níveis adequados no solo. De acordo com os critérios estabelecidos por Wilding e Drees (1983), o pH apresentou dispersão classificada como baixa, devido aos CVs nas diferentes DAs oscilarem de 3,8 a 4,5%. As variações encontradas dos teores de pH em relação à amplitude indicam a potencialidade do uso do manejo de sítio específico na área, tendo em vista que essa amplitude pode ocasionar problemas quando se usa a média como base para tomada de decisão na aplicação de corretivos e fertilizantes, ocasionando condições de sub ou superdosagens. Apesar de se ter encontrado distribuições assimétricas, verifica-se através dos valores médios e medianos semelhantes, e Cs e Cc próximos a zero, indica que os dados apresentaram distribuição de frequência normal, exceto para a DA de 1A/9ha. Analisando a VE, percebe-se que os dados coletados em MAs, menor ou igual a 1A/4ha (200 x 200 m) apresentaram dependência espacial, o que permite a predição dos valores em locais não amostrados, através da Krigagem (Tabela 2). Verifica-se ainda que, as DAs que apresentaram dependência espacial, ajustaram-se ao modelo esférico, exponencial e o gaussiano. Os teores de pH na DA de 1A/9ha apresentaram EPP (ausência de dependência espacial). Esses resultados estão relacionados, principalmente, à redução do número de pontos coletados, atrelado ao aumento da distância entre os pontos. Para Webster e Lark (2012), a redução da precisão dos modelos ajustados até tornarem-se aleatórios, ocorre em função da redução do conjunto de dados da variável em análise, ou seja, a MA não possui pontos suficientes para detectar a dependência espacial. Os valores de “a” nas diferentes DAs, que teve dependência espacial identificada, ocorreram acima de 300 m. Apesar dos valores considerados longos possibilitarem uma amostragem mais espaçada, não significa que apresentarão alta precisão quando feita nas mesmas distâncias dos alcances, pois distâncias menores apresentam maior dependência espacial (COELHO, 2005). Em relação aos valores de C0 e C0+C, observam-se que tiveram baixos valores, em todas as DAs (1A/1ha, 1A/2ha, e 1A/4ha), evidenciando a boa continuidade da estrutura espacial dos valores de pH. Em relação ao IDE, todas as DAs (1A/1ha, 1A/2ha, e 1A/4ha), foram classificadas como forte (IDE  $> 75\%$ ). Pelos valores da Tabela 2 é possível observar baixos valores da SQR e  $R^2$  acima de 0,5, indicando a adequação dos modelos ajustados.

TABELA 2. Parâmetros geoestatísticos (semivariograma) dos valores do potencial hidrogeniônico (pH), considerando as diferentes densidades amostrais.

D.A.	Modelo	a	C <sub>0</sub> +C	C <sub>0</sub>	IDE	SQR	R <sup>2</sup>
1A/1ha	Esférico	505	0,08	0,039	Forte	5,6E-1	0,99
1A/2ha	Exponencial	342,6	0,06	0,011	Forte	3,2E-5	0,59
1A/4ha	Gaussiano	332,6	0,08	0,004	Forte	1,0E-4	0,66
1A/9ha	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP

D.A.: densidade amostral; 1A/1ha: uma amostra em um hectare; 1A/2ha: uma amostra em dois hectares; 1A/4ha: uma amostra em quatro hectares; 1A/9ha: uma amostra em nove hectares; EPP: efeito pepita puro; a - alcance; C0+C: patamar; C0: efeito pepita; IDE: índice de dependência espacial; SQR: soma dos quadrados dos resíduos; e R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

A partir dos dados de pH espacializados na forma de mapas temáticos (Figura 1), verifica-se o mesmo comportamento espacial até a densidade amostral 1A/4ha, apesar das variações existentes entre os valores máximos e mínimos.

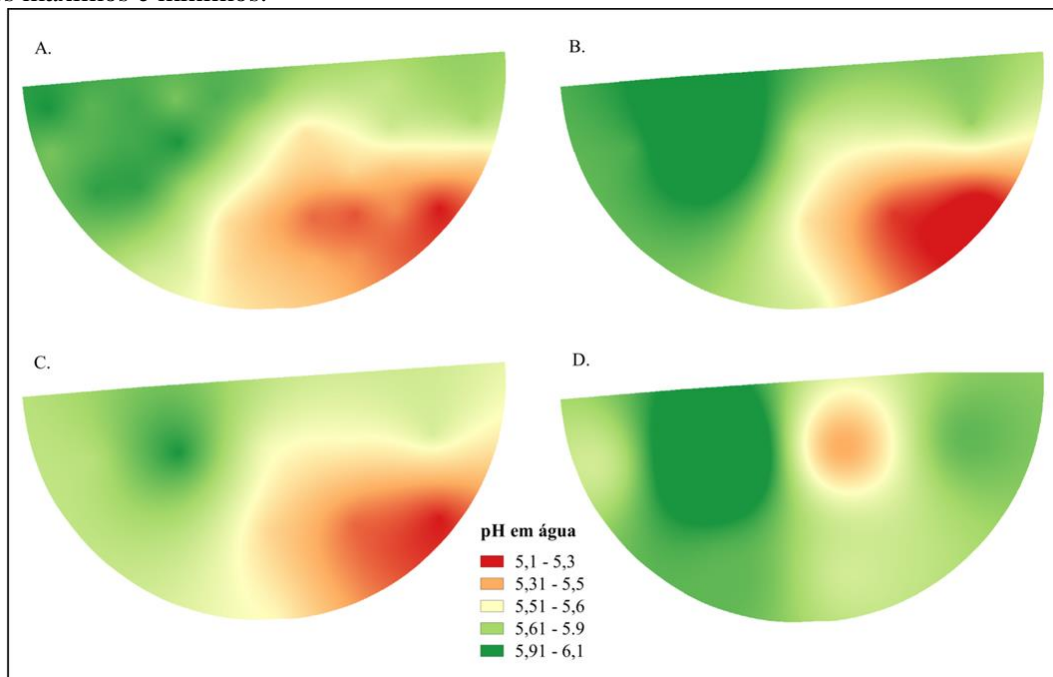


FIGURA 1. Espacialização do potencial hidrogeniônico (pH), considerando diferentes densidades amostrais, em que: A. uma amostra em um hectare (1A/1ha); B. uma amostra em dois hectares (1A/2ha); C. uma amostra em quatro hectares (1A/4ha); e D. uma amostra em nove hectares (1A/9ha).

**CONCLUSÕES:** A variabilidade espacial do pH pôde ser identificada com a diminuição da densidade amostral em até 1A/4ha, demonstrando que para solos da mesma região a amostragem em 1A/4ha é suficiente para representar a variabilidade do pH no solo.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB, pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAON, D.; GENUÍ, A. M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 17, n. 6, p. 629-639, 2013.
- COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 60p. 2005.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, 306 p.
- GIMENEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica da amostragem em grade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, p. 19-25, 2012.
- MOLIN, J. P. et al. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 238 p.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.
- WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. (Ed.). **Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983, p. 83-116.