



Revista  
Técnico-Científica



## VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO EM DIFERENTES DENSIDADES DE AMOSTRAGEM

Klayton Antonio do Lago Lopes<sup>1</sup>, Francisco Ivo dos Santos Aguiar<sup>2</sup>, Ismênia Ribeiro de Oliveira<sup>3</sup>,  
Jussara Silva Dantas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Chapadinha, MA, [klaytonlopes2011@gmail.com](mailto:klaytonlopes2011@gmail.com). <sup>2</sup>Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ. <sup>3</sup>Docente da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Dr.<sup>a</sup> em Agronomia (Ciência do Solo), Chapadinha, MA. <sup>4</sup>Docente da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), Dr.<sup>a</sup> em Agronomia (Ciência do Solo), Pombal, PB.

**RESUMO:** O presente trabalho objetivou caracterizar a distribuição espacial dos atributos químicos de um Argissolo Amarelo distrocoeso típico em função de diferentes densidades de amostragem. Foram estabelecidas três grades amostrais quadradas com 80, 100 e 121 pontos em uma área de produção de soja de 6,2 ha, na profundidade de 0,0-0,2 m. Foram analisados os atributos matéria orgânica, cálcio e fósforo remanescente. Para analisar a precisão da interpolação foram utilizados a raiz quadrada do erro médio e o quadrado médio do erro. Os três atributos apresentaram grau de dependência espacial moderado nas três densidades amostrais estudadas. Os atributos matéria orgânica, cálcio e fósforo remanescente apresentaram os menores valores da raiz quadrada do erro médio e do quadrado médio do erro em grades amostrais distintas. Não havendo diferença significativa no erro entre as três intensidades amostrais analisadas, em função destes parâmetros estudados. Os mapas de krigagem demonstraram semelhança entre a distribuição espacial dos atributos nas três intensidades amostrais avaliadas. Em uma área de 6,2 ha, a quantidade de pontos amostrais (80, 100 e 121 pontos) não interferiu significativamente na análise da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e no detalhamento das informações dos mapas interpolados por krigagem.

**Palavras-chave:** Geoestatística, Interpolação, Krigagem ordinária.

## SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A YELLOW DYSTROPHIC ARGISOL AT DIFFERENT SAMPLING DENSITIES

*ABSTRACT: In this way, the present work aimed to characterize the spatial distribution of the chemical attributes of a typical dystrophic Yellow Argisol in function of different sampling densities. Three square sample grids with 80, 100 and 121 points were established in a soybean production area of 6.2 ha, at a depth of 0.0-0.2 m. The organic matter, calcium and phosphorus remaining attributes were analyzed. In order to analyze the interpolation precision, we used the square root of the mean error and the mean square of the error. The three attributes presented moderate degree of spatial dependence in the three sampled densities studied. The remaining organic matter, calcium and phosphorus presented the lowest mean root mean square error and mean square error values in different sample grids. There was no significant difference in error between the three sample intensities analyzed, due to these parameters. The kriging maps showed similarity between the spatial distribution of the attributes in the three sample intensities evaluated. In an area of 6.2 ha, the number of sampling points (80, 100 and 121 points) did not significantly interfere in the analysis of the spatial variability of soil chemical attributes and in the detailing of the interpolated maps information by kriging.*

*Keywords: Geostatistics, Interpolation, Ordinary Kriging.*

### INTRODUÇÃO

Com intuito de otimizar de forma racional a produção agrícola mundial, tornaram-se necessário o monitoramento e o gerenciamento do processo de produção agrícola (KESTRING et al., 2015). A agricultura de precisão (AP) utiliza novas tecnologias desenvolvidas para o monitoramento intensivo do campo, visando potencializar a produtividade e o rendimento econômico das culturas (GREGO et al., 2014; DIAS et al., 2017). A AP utiliza da amostragem georreferenciada como tecnologia fundamental para a aplicação de manejo específico de forma localizada de acordo com a variabilidade espacial (GREGO et al., 2014).

A qualidade da caracterização da distribuição espacial dos atributos do solo depende principalmente da escolha de uma amostragem adequada. A amostragem georreferenciada, por meio de grades amostrais, deve caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo, sendo uma das mais importantes ferramentas utilizadas na agricultura brasileira (CHERUBIM et al., 2015). Os métodos

geoestatísticos são muito utilizados no estudo da dependência espacial dos atributos físico-químicos do solo e da produtividade das culturas (KESTRING et al., 2015). A dependência espacial é avaliada e utilizada para interpolar valores em locais não amostrados, estas informações são utilizadas para construir mapas de variabilidade espacial a partir da amostragem (GREGO et al., 2014)

A forma e o tamanho da configuração amostral podem afetar os estimadores teóricos e conseqüentemente a descrição da estrutura de dependência espacial e as estimativas espaciais de valores não medidos, e posteriormente, a credibilidade dos resultados apresentados pelo mapa temático construído (KESTRING et al., 2015). Assim, um dos principais limitantes ao uso da AP é o número de amostras necessária para formar a malha amostral ideal que represente espacialmente a distribuição dos atributos no solo (SOUZA et al., 2014). Uma maior disponibilidade de dados observados favorece a representatividade da variabilidade espacial dos atributos em diferentes escalas (GREGO et al., 2014). No entanto, a amostragem de solos muito densa pode tornar inviável, economicamente, a análise da distribuição espacial dos atributos. Desta forma, a intensidade amostral deve ser a menor possível e suficiente para garantir a dependência espacial e uma acurácia representativa.

Para as condições brasileiras, são poucas as pesquisas que buscam determinar uma dimensão ideal de grade amostral para a coleta georreferenciada de solo em áreas de AP (CHERUBIM et al., 2015). Atualmente no Brasil, as áreas comerciais têm feito uso de malhas amostrais de 100x100 ou 175x175 m, que por razões econômicas geram uma amostra a cada 1 ou 3 ha, respectivamente (CHERUBIN et al., 2014). Souza et al. (2014) sugerem uma amostragem mais densa com dimensões de grades amostrais de no mínimo 100 pontos. Cherubin et al. (2014) relataram que malhas amostrais de 100x100, 142x142 e 173x173 m, equivalente a uma amostra a cada um, dois e três ha, respectivamente, possibilitaram caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos no solo.

Considerando que ainda não há pesquisas conclusivas sobre a quantidade de amostras necessárias para representar a distribuição espacial dos atributos

químicos dos solos no Brasil. O presente trabalho objetivou analisar a distribuição espacial de atributos químicos de um Argissolo Amarelo distrocoeso típico utilizando diferentes intensidades de amostragem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Brejo, MA, microrregião de Chapadinha, MA, nas coordenadas geográficas de  $03^{\circ} 36' S$  e  $42^{\circ} 52' W$  (Figura 01). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com temperatura média anual superior a  $27^{\circ} C$  e precipitação pluvial média anual de 1.835 mm.

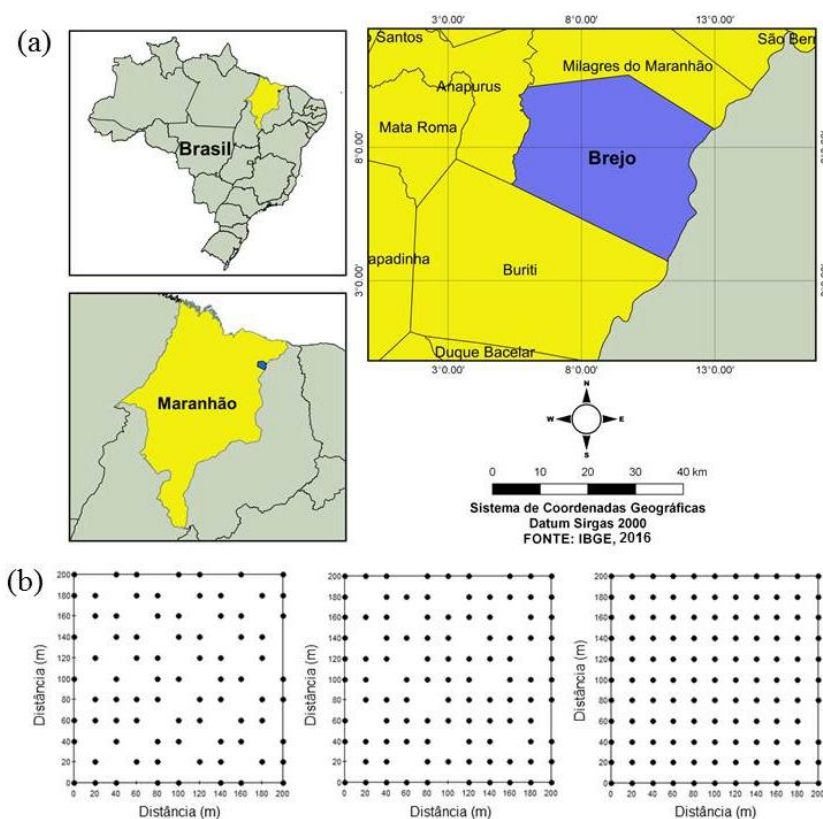


Figura 1. Localização da área experimental (a); e grades amostrais de 80, 100 e 121 pontos, respectivamente.

Figure 1. Location of the experimental area (a); and sampling grids of 80, 100 and 121 points, respectively.

O solo foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, formado por sedimentos areno argilosos do Grupo Barreiras, característico da unidade

geomorfológica Tabuleiros Costeiros (ATLAS DO MARANHÃO, 2002). A caracterização a área de estudo foi realizada por Dantas et al. (2014), os quais estudaram a ocorrência de solos coesos e suas relações com a paisagem na região leste do Estado do Maranhão.

Foram estabelecidas três grades amostrais quadradas com 80, 100 e 121 pontos em uma área 6,2 ha de produção de soja, com seis anos de cultivo, na profundidade de 0,0-0,2 m. Foram analisados os atributos matéria orgânica (MO), cálcio (Ca) e fósforo remanescente (P rem). O teor de MO foi determinado multiplicando o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724 (JACKSON, 1982). O teor de Ca foi extraído pelo método propostos por Raij et al. (2001). O teor de fósforo remanescente (P rem) determinado de acordo com Alvarez V. et al. (2000).

A estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose) dos valores observados dos atributos, foi realizada com o objetivo de obter informações para identificar tendência, dispersão e forma de distribuição dos dados. Para verificar a hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, a nível de 5% de probabilidade. A classificação do grau de dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ( $C_0/C_0 + C_1$ ), sendo considerada forte, quando  $\leq 25\%$ ; moderado, quando  $25\% < GDE \leq 75\%$ ; e fraco quando  $GDE > 75\%$  (CAMBARDELLA et al., 1994).

A variabilidade espacial dos atributos MO, Ca e P rem foram caracterizadas por meio do semivariograma, determinado por meio do cálculo da variância em razão da distância de separação entre amostras por meio da Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 1})$$

em que,  $\hat{\gamma}(h)$  é a semivariância experimental para uma distância de separação  $h$ ,  $z(x_i)$  é o valor da propriedade no ponto  $i$ , e  $N(h)$  é o número de pares de pontos separados pela distância  $h$ .

Conforme o ajuste do modelo matemático, os valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$  foram definidos os parâmetros do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; variância estrutural,  $C_1$ ; patamar,  $C_0 + C_1$  e o alcance,  $a$ ). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (SOARES, 2006). A escolha dos modelos teóricos dos semivariogramas e o ajuste dos seus parâmetros foi feita observando o melhor coeficiente de correlação obtidos pela técnica de validação cruzada e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo os valores de  $R^2$  mais próximos de 1 aqueles que caracterizam o modelo mais eficiente para expressar o fenômeno estudado.

Após a modelagem dos semivariogramas, foi utilizada a técnica krigagem ordinária (KO) para a interpolação de valores em locais não mostrados (SOARES, 2006). Essa técnica é baseada em uma média móvel ponderada das amostras vizinhas, obtida pela Equação 2.

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com, } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 2})$$

na qual  $\hat{z}(x_0)$ , é o valor estimado no ponto 0;  $N$  é o número de valores utilizados na estimação;  $\lambda$  é o peso associado a cada valor observado, e  $z(x_i)$  é o valor observado no ponto  $i$ . Os pesos ( $\lambda_i$ ) de cada vizinho são determinados utilizando o modelo do semivariograma ajustado, resultando em uma estimativa de variância mínima (SOARES, 2006).

Para analisar a precisão da interpolação foram utilizados a raiz quadrada do erro médio (RQEM) e o quadrado médio do erro (QME) (KRAVCHENKO, 2003).

## RESULTADOS

Os resultados referentes à estatística descritiva (Tabela 1) indicaram normalidade dos dados para os atributos MO e P rem, em ambas as intensidades de amostragem, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, a nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1. Estatística descritiva de atributos químicos do solo nas diferentes intensidades de amostragem.

Table 1. Descriptive statistics of soil chemical attributes at different sampling intensities.

Pontos	Média	Mediana	DP	CV	Mín.	Máx.	Ass.	Curt.	P-valor
<b>MO (mg kg<sup>-1</sup>)</b>									
80	16,95	17,00	3,51	20,71	8,00	27,00	0,53	1,00	>0,150*
100	17,31	18,00	3,21	18,56	11,00	27,00	0,41	0,57	>0,150*
121	17,28	17,00	3,45	19,96	8,00	27,00	0,37	0,51	>0,150*
<b>Ca (mmolc dm<sup>-3</sup>)</b>									
80	14,80	13,00	6,62	44,72	5,00	46,00	2,06	6,14	<0,010
100	14,91	14,00	6,10	40,94	5,00	46,00	2,03	7,47	0,037
121	14,52	13,00	5,92	40,75	5,00	46,00	1,98	7,43	<0,010
<b>P rem (mg L<sup>-1</sup>)</b>									
80	51,02	51,40	3,25	6,37	42,60	58,40	-0,17	-0,28	>0,150*
100	50,51	50,90	3,69	7,30	42,60	58,40	-0,21	-0,48	>0,150*
121	50,35	50,48	3,84	7,64	39,00	58,40	-0,30	-0,27	>0,150*

DP= Desvio-padrão; CV= Coeficiente de variação (%); Mín= Mínimo; Máx= Máximo; Ass.= Coeficiente de assimetria; Curt.= Coeficiente de curtose; P-valor para o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov a nível de 5% de significância; (\*) Variável com distribuição normal.

Os atributos MO e Ca apresentaram os menores valores de alcance na grade amostral de 100 pontos, ao passo que o P rem apresentou menores valores de alcance na grade amostral de 80 pontos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos químicos do solo em diferentes intensidades de amostragem.

Table 2. Models and estimated parameters of the experimental semivariograms for the chemical attributes of the soil at different sampling intensities.

Pontos	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	Alcance	GDE (%)	R <sup>2</sup>	SQR
MO (mg kg <sup>-1</sup> )						
80	5,61	12,74	69,31	44,00	0,871	2,53E+00
100	6,67	10,43	78,97	63,96	0,706	3,01E+00
121	5,84	12,12	52,51	48,17	0,878	1,04E+00
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )						
80	0,07	0,14	47,36	53,59	0,678	2,38E-04
100	0,09	0,14	69,62	68,07	0,602	3,10E-04
121	0,06	0,10	38,53	60,54	0,888	1,81E-05
P rem (mg L <sup>-1</sup> )						
80	4,74	10,46	91,21	45,35	0,800	3,49E+00
100	7,66	13,43	44,07	57,04	0,911	3,50E-01
121	8,86	14,36	45,38	61,71	0,812	7,06E-01

C<sub>0</sub>=Efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>= Patamar; GDE= Grau de Dependência Espacial (C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)\*100; R<sup>2</sup>= Coeficiente de Determinação; SQR= Soma dos Quadrados dos Resíduos.

Os atributos MO, Ca e P rem apresentaram os menores valores da raiz quadrada do erro médio (RQEM) e do quadrado médio do erro (QME) em grades amostrais distintas (Tabela 3). Não havendo diferença significativa no erro entre as três intensidades amostrais analisadas, em função destes parâmetros estudados.



Tabela 3. Raiz quadrada do erro médio (RQEM) e quadrado médio do erro (QME) da validação cruzada da análise geoestatística e interpolação por krigagem dos atributos químicos do solo nas diferentes intensidades de amostragem.

Table 3. Square root of the mean error (RQEM) and mean square of the error (QME) of the cross-validation of the geostatistical analysis and kriging interpolation of the chemical attributes of the soil at different sampling intensities.

Pontos	80	100	121
MO (mg kg <sup>-1</sup> )			
RQEM	3,30	3,12	3,26
QME	10,87	9.76	10,60
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )			
RQEM	5,52	5,93	4,28
QME	30,46	35.14	18,35
P rem (mg L <sup>-1</sup> )			
RQEM	3,05	3,64	3,73
QME	9,27	13.24	13,93

Os mapas de krigagem das três intensidades de amostragem podem ser observados na Figura 2, e indicam semelhanças na distribuição espacial dos atributos.

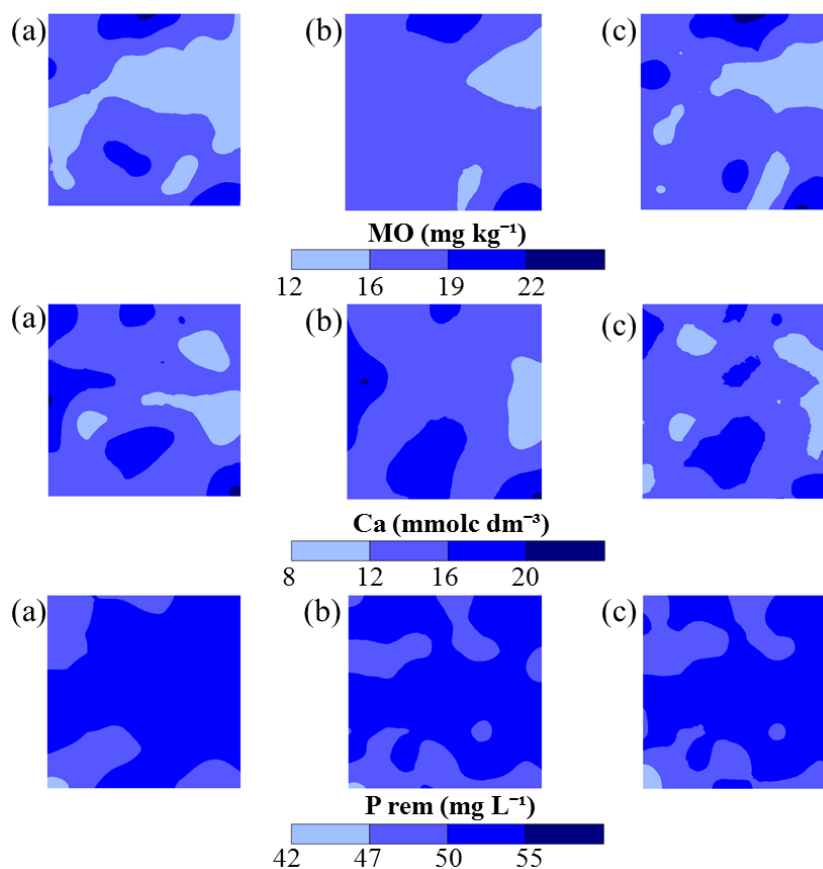


Figura 2. Mapas de krigagem dos atributos químicos do solo nas diferentes intensidades de amostragem: 80 pontos (a); 100 pontos (b); 121 pontos (c).

Figure 2. Kriging maps of soil chemical attributes at different sampling intensities: 80 points (a); 100 points (b); 121 points (c).

## DISCUSSÃO

A normalidade dos dados pode ser comprovada pelos valores do coeficiente de assimetria (Ass.) e curtose (Curt.) próximos à zero. Todos os atributos em ambas as densidades de amostragem apresentaram valores do coeficiente de assimetria (Ass.) de moderada ( $0,15 < |Ass.| < 1$ ) a Forte ( $1 < |Ass.|$ ) (CRESPO, 2002).

O coeficiente de variação (CV) indicou média variabilidade (CV de 12% a 60%) para os atributos MO e Ca, e baixa variabilidade ( $CV < 12\%$ ) para o P rem, nas três amostragens estudadas (WARRICK & NIELSEN, 1980). Assemelhando-se aos resultados obtidos por Lima et al. (2013), Resende et al. (2014) e Oliveira et al. (2015).

O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si, indicando que pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. Os menores valores de alcance dos atributos MO e Ca foi detectado na grade amostral de 100 pontos, diferentemente do P rem que apresentou menores valores de alcance na grade amostral de 80 pontos, indicando que estes atributos apresentam uma maior variabilidade no solo estudado. Os três atributos apresentaram GDE moderado nas três densidades amostrais estudadas. Assemelhando-se aos resultados obtidos por Cherubim et al. (2014) e Resende et al. (2014).

O maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) foram encontrados na densidade amostral de 121 pontos para os atributos MO e Ca, e na amostragem de 100 pontos para o P rem. Desta forma, a redução do número de amostras promoveu um decréscimo no  $R^2$  e um aumento no SQR para os atributos MO e Ca, diferentemente do P rem que apresentou esse comportamento apenas para a grade amostral de 80 pontos.

Embora o Ca tenha sido o atributo mais exigente em número de amostras, o aumento do intervalo de amostragem e a redução do número de amostras não promoveram um aumento significativo na RQEM e no QME nas estimativas por krigagem nas diferentes intensidades amostrais estudadas.

Souza et al. (2014) obteve similaridade nas grades amostrais acima de 100 pontos, no entanto detectou um incremento expressivo no erro para as grades de 58 e 53 pontos, refletindo na recomendação mínima de 100 pontos para viabilizar o uso da geoestatística e da krigagem. Cherubim et al. (2015) observou que o uso de grades com malhas amostrais menores promove o aumento da acurácia na caracterização da variabilidade espacial de atributos químicos do solo.

Os mapas de krigagem demonstraram semelhança entre a distribuição espacial dos atributos nas três intensidades amostrais avaliadas. Diferentemente do observado por Cherubim et al. (2015), pois relataram que os mapas de fertilidade do solo tornam-se mais similares à medida que aumentaram o número de pontos da

grade amostral. O Ca foi o atributo que apresentou maior variabilidade entre as diferentes grades amostrais, em relação aos outros atributos. Esse comportamento é provavelmente efeito do manejo de correção do solo da respectiva área de produção de soja.

## CONCLUSÕES

Em uma área de 6,2 ha, a quantidade de pontos amostrais (80, 100 e 121 pontos) não interferiu significativamente na análise da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e no detalhamento das informações dos mapas interpolados por krigagem. As três intensidades de amostragem podem ser alternativas eficazes para determinação da variabilidade espacial de atributos químicos em relevos e solos com o mesmo padrão do estudo.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 27-32, 2000.

ATLAS DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/Laboratório de Geoprocessamento - UEMA. 2. ed. São Luís: GEPLAN, 2002. 44p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 58, n. 05, p.1.501-1.511, 1994.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 50, n. 02, p. 168-177, 2015.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; DA ROS, C.O.; PIAS, O.H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, p. 425-432, 2014.

CRESPO, A. A. *Estatística fácil*. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224p.

CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 900p.

DANTAS, J. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. A.; CAMARGO, L. A.; BARBOSA, R. S. Gênese de solos coesos do leste Maranhense: relação solo-paisagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1039-1050, 2014.

DIAS, F. P. M.; CASTRO, J. R.; NUNES, F. J.; NONATO, A. C. R.; BOTELHO JUNIOR, F.; FÉ, J. A. R.; SANTOS, D. N.; NÓBREGA, J. C. A. Eficiência de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial de atributos físicos do solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 40, n. 02, p. 31-36, 2017.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, Embrapa, cap. 5, p. 74-83, 2014.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *A Introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, 1989. 592 p.

JACKSON, M. L. *Análisis químico de suelos*. Barcelona: Omega, 1982. p. 282-309.

KESTRING, F. B. F.; GUEDES, L. P. C.; BASTIANI, F.; URIBE-OPAZO, M. A. Comparação de mapas temáticos de diferentes grades amostrais para a produtividade da soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 35, n. 04, p. 733-743, 2015.

KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 67, p. 1564-1571, 2003.

- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. S. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 01, p. 16-23, 2013.
- OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPO, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da região de Manicoré, AM. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Mossoró, v. 39, n. 03, p. 668-681, 2015.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELA, H. & QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.
- RESENDE, J. M. A.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 04, p. 1077-1090, 2014.
- SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006. 214p.
- SOUZA, Z. M. de; SOUZA, G. S. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, p. 261-268, 2014.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. p. 319-344.