

NÚMERO DE AMOSTRAS PARA O ESTUDO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS EM LATOSSOLOS ORIGINADOS NOS SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS

Sérgio Roberto Lemos de Carvalho*
Francisco Souza Fadigas**

O conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo pode contribuir para o planejamento e otimização na condução de experimentos, para o planejamento de implantação de culturas, objetivando a agricultura de precisão. O objetivo deste estudo foi determinar o número de amostras de solo a serem coletadas para o estudo de atributos físicos e químicos em um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, originado de sedimentos da Formação Barreiras. O espaço amostral correspondeu a área da Estação Experimental de Fruticultura Tropical da EBDA em Conceição do Almeida (BA), utilizando-se como metodologia a amostragem sistemática com grade conhecida e amostras georreferenciadas. A amostragem em malha (grid) de 32 x 32m possibilitou a caracterização geostatística das variáveis estudadas. A caracterização da variabilidade dos resultados foi realizada segundo o resumo estatístico com a determinação das medidas de posição, dispersão e verificação da normalidade da distribuição, complementada com a verificação da presença de "outliers". Pequeno número de amostras simples (menor que 30) é suficiente para representar uma amostra composta, dentro dos limites de precisão estabelecidos na pesquisa, exceto para o cálcio e o índice de fertilidade a ele relacionado (soma de bases).

Palavras-chave: Variabilidade espacial. Latossolo. Metal pesado.

The knowledge of spatial variability of soil attributes can contribute to the planning and optimization in the conduction of experiment, to the planning crop implantation, aiming the precision agriculture. The objective of this studying was to value the number of samples of physics and chemistry attributes in a Distrocohesive Yellow Latosol alfisol lead of Barreiras Formation sediments. The sample space corresponded to Tropical Fruit Experimental Station area of EBDA in Conceição do Almeida (BA), using with methodology the systematic sampling with sample known and georeference samples. The sampling grid of 32 x 32m provided the geostatistic characterization of variables studied. The characterization of variability of the results was fulfilled according to statistic summary with the determination of the position, dispersion and verification measurements of the normal distribution, supplemented with the verification of the outlier presence. Small numbers of subsamples (smaller than 30) is enough to represent a compound sample, inside of the precision limits established in research, except to the calcium and fertility index it related sum of basis.

Key words: Spatial variability. Latosol. Heavy metal.

INTRODUÇÃO

Os baixos platôs costeiros, também denominados Tabuleiros Costeiros, são superfícies relacionadas aos sedimentos do Grupo Barreiras - Terciário Superior, assentadas sobre embasamento cristalino e apresentando altitude entre 20 e 220 m. Sua morfologia está relacionada ao nivelamento do terreno ocorrido na mais recente era cenozoica, cujos processos de formação consistiram, em parte, da redução das rochas cristalinas pela ação do intemperismo e erosão e, em parte, pela acumulação de produtos clásticos da erosão. Em certos trechos da costa nordestina essas superfícies, que ocupam cerca de 8,5 milhões de hectares, são cortadas em falésias abruptas formando extensos planal-

tos escarpados (CINTRA, 1997).

Segundo Goulart Júnior (1987), é flagrante a impossibilidade de comparação de amostras de solo que, mesmo ocorrendo sobre uma única litologia, sofrem um processo de fracionamento e mistura mecânica, sem levar em conta a atuação diferenciada da lixiviação em diferentes ambiências. Dessa maneira, o padrão de intensa lixiviação dos solos que ocorre no ambiente dos Tabuleiros Costeiros concorre para o não desenvolvimento de concentrações nítidas e passíveis de fácil detecção e reconhecimento. Concorre ainda como fator complicador, a ocorrência na área de intercalações de litologias quimicamente contrastantes (Cristalino/Formação Barreiras). Tudo isto conduz a uma grande dificuldade na interpretação da correlação

*Doutor em Geologia (UFBA); Pesquisador da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola - EBDA; Professor da Faculdade Maria Milza - FAMAM. E-mail: sergior@ufba.br

**Doutor em Ciência do Solo (UFBA); Professor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - CETEC/UFRB. E-mail: fadigas@ufrb.edu.br

entre os sedimentos originais e a concentração dos metais no solo.

O conhecimento espacial dos atributos do solo e dos metais pesados em determinada área é importante para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental, assim como é importante para a definição da intensidade de amostragem do solo para sua caracterização, possibilitando, desta maneira, reduzir o erro padrão da média, maximizando a eficiência da amostragem, e reduzir os custos e mão-de-obra do trabalho (CORÁ et al., 2004).

O conhecimento do padrão de variabilidade de cada característica química do solo é importante para definir o procedimento de amostragem do solo para fins de avaliação de sua fertilidade e o número mínimo de amostras simples para formar uma amostra composta representativa da área (OLIVEIRA et al., 2002), que depende ainda do erro admitido em torno da média verdadeira, determinado a partir da estatística clássica (COCHRAN, 1977; FERREIRA, 2005). Algumas técnicas podem ser empregadas para caracterizar a variabilidade das propriedades dos solos, como levantamento de solos, amostragem, utilização de sensores eletrônicos, ou mesmo métodos indiretos, como o sensoriamento remoto e modelos de simulação. Manzionne afirma que:

Uma forma de coletar amostras ou fazer mediadas no campo deve estar de acordo com um plano espacial, sendo regionalizada segundo transecções em dada direção ou segundo uma malha (grid) em duas direções. Assim, ao contrário de amostras casualizadas, tem-se uma constância amostral na área, percorrendo todo espaço possibilitando a caracterização da sua distribuição. Este tipo de amostragem pode ser feito a partir de diversos tamanhos e formas de grid, dependendo do tipo de trabalho e nível de detalhamento que se deseja obter, além da tecnologia disponível e do tamanho da área (MANZIONNE, 2002, p. 7).

Diversos métodos sistemáticos de amostragem têm sido desenvolvidos para melhor avaliar a fertilidade do solo (SILVA et al., 2002). Haneklaus et al. (1997), avaliando a variabilidade espacial de amostras de solo na Alemanha, em estudo sobre a textura do solo, teor de matéria orgânica e nutrientes disponíveis, obtiveram que o número representativo de amostras de solos seria de 4 subamostras, por amostra composta para textura do solo e de 11 subamostras por hectare para a matéria orgânica e nutrientes.

Sobre amostragem do solo, Rajj afirma o seguinte:

Uma regra adequada para a amostragem de um solo é coletar sempre 20 amostras simples por amostra composta, qualquer que seja a

área a amostrar, mesmo que ela represente apenas 10m². Isto porque a variabilidade das propriedades químicas de um solo manifestam-se em pequenas distâncias (1981, p. 61).

O objetivo do presente trabalho foi determinar o número de amostras de solo a serem coletadas para representar a fração granulométrica argila e os atributos químicos: pH, soma de bases, cátions básicos (cálcio, magnésio, potássio), capacidade de troca catiônica efetiva, carbono orgânico, acidez potencial e concentração de metais pesados em um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, em ambiente natural (não antropizado), no domínio dos Tabuleiros Costeiros.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALE SOLO

O estudo foi realizado em uma reserva natural na Estação Experimental da EBDA, em Conceição do Almeida (BA), em solo classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (EMBRAPA, 2006). A referida Estação está localizada na região fisiográfica do Recôncavo Baiano. As coordenadas geográficas da área experimental são: 12°47'3438" de latitude Sul e 39°09'031" de longitude Oeste, estando a 220m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Thornthwaite, corresponde ao tipo C₁, seco e subúmido.

AMOSTRAGEM

O padrão de amostragem utilizado foi a sistemática, na qual os pontos de amostragem são localizados em intervalos regulares em um grid. Isto garante uma cobertura total da área, sendo a forma mais simples de se identificar os pontos e demarcá-los. A amostragem sistemática apresenta maior exatidão do que a aleatória, por causa da dependência espacial das propriedades do solo (Mc BRATNEY; WEBSTER, 1983).

A amostragem sistemática do solo foi realizada em outubro de 2006 nos pontos de interseção em um "grid" de 32 x 32m, com pontos espaçados de intervalos regulares de 4 x 4m, totalizando 162 amostras em superfície e subsuperfície. O material do solo foi coletado com trado pedológico nas profundidades de 0,0 – 0,2m e 0,8 – 1,0m. O croqui utilizado a campo para a coleta das amostras, com o esquema de amostragem adotado neste estudo, é apresentado na Figura 1.

Após a coleta das amostras, o material foi acondicionado em béqueres de polietileno (previamente lavados com ácido nítrico 10%), lacrados com filme plástico e transportados para o laboratório. O material foi submetido à secagem à temperatura ambiente (25 a 30°C), quarteados, sendo duas partes separadas para

as análises químicas, uma parte para a avaliação granulométrica e a outra estocada como contra-prova.

Os procedimentos analíticos foram realizados nos laboratórios da Universidade Federal da Bahia (Instituto de Geociências – IGEO), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (Laboratório de Química do Solo e Física do Solo), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA – Pesquisa e Desenvolvimento).

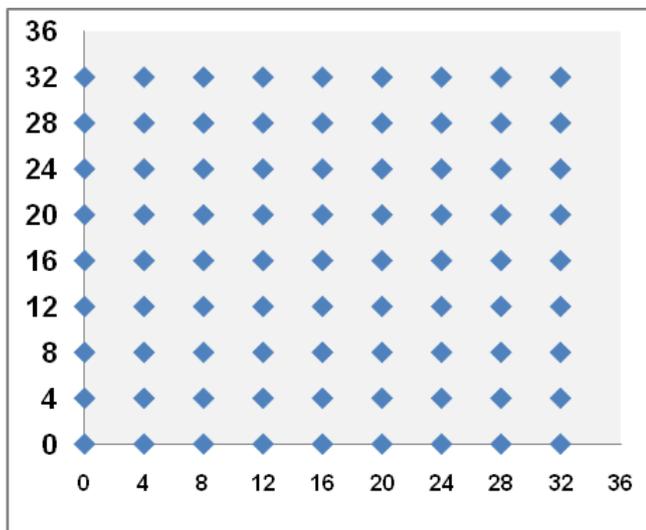


Figura 1. Esquema de amostragem do solo (metro x metro) utilizado em área sob vegetação natural, em Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico localizado em Conceição do Almeida, BA. (Retângulos indicam os pontos amostrados)

DETERMINAÇÕES

As amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2mm de diâmetro de malha para análise química e trituradas em almofariz de porcelana, para determinação de metais pesados. Em seguida, as amostras foram caracterizadas física e quimicamente.

As determinações do teor de carbono orgânico (C_{org}), K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , Na^+ , pH, acidez ativa (pH em água e KCl) e acidez potencial ($Al^{+3}+H^+$) sendo indiretamente calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a saturação por bases e por alumínio, a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 e a capacidade de troca efetiva ($CTC_{EFETIVA}$), foram realizadas no laboratório de Solos da EBDA e a análise granulométrica (determinação dos teores de areia, silte e argila) foi realizada no laboratório de Física do Solo da UFRB. Todos os

procedimentos foram realizados segundo EMBRAPA (1997).

DETERMINAÇÃO DOS METAIS NO SOLO

EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS

O equipamento utilizado para a abertura das amostras com ataque ácido (água régia) foi um bloco digestor marca Tecnal modelo Te 40/25 (Piracicaba, São Paulo, Brasil).

Foi utilizado um espectrômetro de emissão óptica seqüencial com plasma indutivamente acoplado (ICPOES) marca GBC, modelo integra XL, equipado com câmara de nebulização do tipo *cross-flow* e nebulizador *double-pass*. Os extratos obtidos foram analisados utilizando-se argônio ultrapuro. Todas as determinações foram realizadas utilizando-se as seguintes condições de operação: potência incidente de 1200W; vazão do gás plasma, auxiliar e de nebulização de 10, 0,5 e 0,6 L.min⁻¹, respectivamente; linha de emissão de Cd (228,802nm), Co (308,2), Cr (267,7), Cu (324,8), Mo (202), Pb (220,4), Zn (206,2), Mn (257,6) e Fe (259,9) e altura de observação 10mm; vazão de introdução da amostra de 2,8 mL.min⁻¹.

REAGENTES E SOLUÇÕES

O ácido nítrico utilizado foi grau p.a. (Marca Merck) e todas as soluções foram preparadas usando água purificada a uma resistividade 18,2μΩ.cm⁻¹ (água deionizada).

PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO

A determinação dos teores de metais pesados (**Cu, Fe, Cd, Ni, Pb, Co, Mo, Mn e Zn**) no solo foi feita em triplicata, tomando-se cerca de 250 mg de cada amostra (TFSA), triturada em gral até pó fino e passada em peneira número 100 (145μm). Em seguida procedeu-se a extração com abertura ácida para dissolução com água-régia (HCl/HNO₃) para a determinação dos pseudo-totais (McGRATH; CUNLIFFE, 1985), após avaliação do método com amostras certificadas (NIST - solo *San Joaquin* – SRM 2709). Os extratos obtidos foram analisados por espectrometria, em plasma de acoplamento indutivo (ICPOES). Os valores de concentração dos metais foram expressos em peso seco (105°C).

Toda vidraria utilizada (béqueres, balões volumétricos, balões de fundo chato e béqueres de polietileno) foi previamente descontaminada utilizando imersão em HNO₃ 1:1 e água deionizada recém preparada.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

ESTATÍSTICA CLÁSSICA

A verificação da normalidade da distribuição dos dados foi feita com base nos coeficientes de assimetria e curtose, e confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Nas avaliações, utilizou-se o pacote estatístico STATISTICA 7.1 (Statsoft, 2004).

As medidas de posição e dispersão são bastante sensíveis à presença de “outliers”, de forma que a verificação de ocorrência desses processos deve preceder as demais etapas de variabilidade. Assim, utilizou-se o critério de Libardi et al. (1986), segundo o qual o limite crítico para os “outliers” é definido a partir da dispersão interquartil (DQ), sendo o limite superior definido por $(Q_3 + 1,5 DQ)$ e o inferior por $(Q_1 - 1,5 DQ)$, em que Q_1 e Q_3 são o primeiro e o terceiro quartil, respectivamente.

Desta forma, quando os atributos avaliados apresentaram valores atípicos, os procedimentos estatísticos foram novamente aplicados após sua eliminação do conjunto de dados.

NÚMERO DE AMOSTRAS

O número mínimo de subamostras necessárias para compor uma amostra composta e estimar o valor médio das propriedades do solo avaliadas (GONÇALVES, 1980), para as percentagens entre 10 e 30% em torno da média, e para o nível de 5% de probabilidade (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000), foi calculado com base no coeficiente de variação.

A definição do número de amostras para obtenção da média seguiu a recomendação de Santos & Vasconcelos (1987) através da equação:

$$n = \left(t_{\alpha/2} \cdot X \cdot \frac{CV}{D} \right)^2$$

em que “n” é o número de amostras simples para formar uma amostra composta representativa, $t_{\alpha/2}$ é o valor tabelado da distribuição *t* de Student, o qual depende do nível $\alpha/2$ de probabilidade (bilateral) e do número de graus de liberdade $(n-1)$, CV é o coeficiente de variação da característica do solo a ser avaliada, em percentagem, e D é o erro admitido em torno da média, em percentagem. Este erro amostral é a máxima diferença que o investigador admite suportar entre a média verdadeira e a média amostral.

Segundo Oliveira et al. (2002), quando há dependência espacial, as variâncias só têm sentido se for levada em conta a distância entre as amostras. Assim, considerando que o valor do alcance da dependência espacial de uma determinada característica do solo é uma informação valiosa, uma vez que por meio dela se estabelece a distância mínima entre amostras simples para que estas sejam consideradas independentes realizou-

se também o cálculo do número de subamostras a partir do valor do alcance calculado a partir dos semivariogramas, de acordo com o critério estabelecido por Mulla & McBratney (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando uma propriedade do solo segue a distribuição normal e as amostras são independentes, pode-se identificar o número de amostras necessário em futuras amostragens, para se obter uma previsão com um nível de probabilidade desejado (SANTOS; VASCONCELOS, 1987).

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados referentes ao número de amostras para as variáveis analisadas em superfície e em subsuperfície. Previamente à efetivação dos cálculos, processou-se à eliminação dos valores *outliers*, verificando-se uma tendência geral na redução do número de amostras em todas as variáveis que apresentaram valores atípicos.

Considerando que este cálculo de amostras exige a normalidade dos dados, foi realizada a transformação logarítmica com os atributos pH, alumínio trocável, soma de bases e $CTC_{EFETIVA}$ na profundidade de 0,0 - 0,2m e com o pH, cálcio e potássio de 0,8 - 1,0m para obter tal condição, e, para não alterar a escala original de valores, realizou-se, em seguida, novo ajuste para tal fim (*back transformation*). Desta forma, ainda que não tenha havido modificação na média ajustada em relação ao valor original, o coeficiente de variação ajustado apresentou uma pequena redução em seu valor.

Devido ao alto coeficiente de variação do cálcio na camada superficial e do cálcio e do potássio na camada subsuperficial, o número de amostras necessárias para obter uma variação em torno de 10% em torno da média, que é o percentual geralmente utilizado em estudos desta natureza (LIBARDI; MELO FILHO, 2006; SOUZA et al., 2007), foi bastante alto nestes atributos. Souza (1992) encontrou resultados de mesma magnitude para o potássio.

O procedimento rotineiro de se retirar vinte amostras simples para formar uma composta (RAIJ, 1981; ANGHINONI; VOLKWEISS, 1984) para os atributos físicos e químicos avaliados, em sua grande maioria, estariam sendo estimados com uma variação em torno da média entre 10 e 20%. Porém, para os metais pesados, que apresentaram homogeneidade bem destacada neste aspecto em relação aos demais atributos, uma variação de 10% em torno da média seria uma estimativa de erro bastante aproximada para se obter valores de referência, tanto em superfície quanto em subsuperfície. Ressalva-se que o cobre e o níquel apresentaram um coeficiente de variação bem superior aos demais metais, determinando assim, maior variação em torno da média para corresponder a uma demanda em torno de 20 subamostras. Para Schlindwein & Anghinoni

(2000), os limites de precisão utilizados nas pesquisas ($\alpha=0,05$ e $\epsilon=10\%$) podem ser demasiadamente exigentes para as condições de lavoura.

A quantidade de amostras simples necessárias para representar o carbono (Figura 2) ficou em torno de 15, para um erro admissível de 10%, concordando com resultados obtidos por Souza et al. (2007). Em subsuperfície, devido à maior dispersão dos dados deste atributo, faz-se necessário uma maior quantidade de amostras simples para formação da composta, ainda que dentro do valor usualmente recomendado para amostragens de rotina.

A matriz inorgânica de adsorção apresenta um comportamento diferente da fração orgânica, necessitando em torno do dobro da quantidade de amostras simples em superfície, em relação ao carbono, porém, em subsuperfície, devido à pequena variação, necessitará de uma pequena quantidade de amostras simples para a formação da composta.

O pH (Figura 2) foi a variável que apresentou o menor coeficiente de variação, concordando com resultados obtidos por vários autores (SANTOS; VASCONCELOS, 1987; OLIVEIRA et al, 1999; CHAVES et al, 2006). Para Oliveira et al, (1999) esse menor coeficiente de variação indica que o pH não deve ser empregado como indicador para determinar o número de amostras simples de solo para se fazer uma amostra composta, devendo-se utilizar outros atributos que apresentem maiores valores para o coeficiente de variação.

Como o valor de "t" tabelado normalmente é menor que dois, para os valores de α normalmente utilizados (0,05 a 0,20), o número de amostras simples para formar uma amostra composta depende, principalmente, do coeficiente de variação, da característica avaliada e do erro admitido em torno da média (OLIVEIRA et al., 2002), mas não do tamanho da população (ANDRIOTTI, 2003). A partir de um erro na faixa entre 15 – 20%, na maioria dos casos, nesta pesquisa, entre 15 e 25 amostras simples seriam necessárias para compor uma amostra composta representativa, em superfície, para os atributos físicos e químicos, concordando com resultados obtidos por Schindwein & Anghinoni (2000). Esta mesma amplitude de amostras foi encontrada para os metais pesados, considerando uma faixa de erro entre 10-20%, nas duas profundidades estudadas. De uma maneira geral, para os atributos, o número de subamostras foi menor para pH e carbono e maior para potássio e cálcio. Quanto aos metais pesados, a menor quantidade refere-se ao zinco, ao ferro e ao chumbo, enquanto que os metais cobalto e titânio apresentaram os maiores valores, considerando as exceções constituídas pelo cobre e pelo níquel.

Para Libardi & Melo Filho (2006), um dos principais objetivos dos estudos de variabilidade é quantificar o número de amostras que devem ser obtidas para representar adequadamente o valor médio de uma pro-

priedade ou característica do solo. A aplicação de semi-variograma determina o raio de influência, ou alcance, entre unidades de amostra, indicando a distância ideal para seleção de unidades de amostra independentes, exigidas pela teoria de amostragem para definição de intervalos de confiança.

Segundo Guarçoni et al. (2006), a dimensão que melhor representa a variabilidade (variância estrutural), o alcance, é mais importante para a definição da dimensão "ideal" da unidade de amostra do que a que representa o teor médio local de determinada característica, concordando assim com Guerra (1998) quando afirma que o número de amostras para avaliação pelo critério geoestatístico é mais preciso que aquele proporcionado pela estatística clássica, devido à existência de dois tipos de variáveis: aleatória e espacial.

De acordo com Mulla & McBratney (2000), a extensão do lado de quadrado adotado na célula de amostragem de solo pode ser definida como sendo $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ do valor do alcance do semivariograma do atributo sob análise. Assim, nesta pesquisa, a metade do valor do alcance foi usada para cálculo do lado de um quadrado hipotético como célula de amostragem.

As Figuras 4 e 5 apresentam o número de amostras para os atributos e metais pesados estimados pelo critério geoestatístico. O cálcio apresentou valores muito elevados pela estatística clássica contrastando com os valores apresentados pela análise geoestatística enquanto que o potássio apresentou valor bem menor em subsuperfície. Não foi considerado o cálculo do número de amostras para o potássio, o chumbo, o cromo e o titânio em superfície e para o cobre e o cobalto em ambas profundidades, em função dos parâmetros do semivariograma teórico e do correlograma (índice de Moran) evidenciar a presença do efeito pepita puro, caracterizando assim a independência das microvariações desta variável com os vetores espaciais. Além disso, também não foi calculado o número de amostras para aquelas variáveis que, mesmo apresentando dependência espacial, expressa pelo variograma e pelo correlograma, apresentaram um alcance superior ao comprimento (máximo vetor) da área estudada; incluíse nesta situação, o zinco e o níquel em superfície e o chumbo em subsuperfície.

O pequeno valor de alcance da dependência espacial do magnésio, do manganês e do alumínio_{pt} em superfície e do alumínio trocável e do pH em subsuperfície na área experimental mostra que estas tendem a apresentar distribuição espacial aleatória quando se faz a estratificação do terreno em áreas aparentemente homogêneas. Para Oliveira et al (2002), isto garante o uso da estatística clássica para determinação do número de amostras simples para formar uma amostra composta representativa da área. Porém, para atributos que apresentam valores elevados de alcance como soma de bases e a CTC_{EFETIVA} em subsuperfície, há a necessidade de estratificar a área para estimar o núme-

ro de amostras simples para formar uma amostra composta. De qualquer forma, o alcance indica a distância mínima para que as amostras simples sejam independentes entre si.

De forma comparativa, a quantidade mínima de amostras necessárias para um procedimento de amostragem por meio da geoestatística corresponde a maiores valores que aqueles apresentados pela estatística clássica, aproximando-se, para a maioria das variáveis,

de valores correspondentes a um erro em torno da média inferior a 10%. Outro detalhe a ser observado é que, de uma maneira geral, para a maioria das variáveis analisadas, o método geoestatístico apresenta uma tendência de se coletar uma maior quantidade de amostras em superfície, provavelmente pelo efeito de descontinuidade, enquanto que pelo método clássico, esta tendência reverte-se para a subsuperfície por apresentar um maior efeito de dispersão.

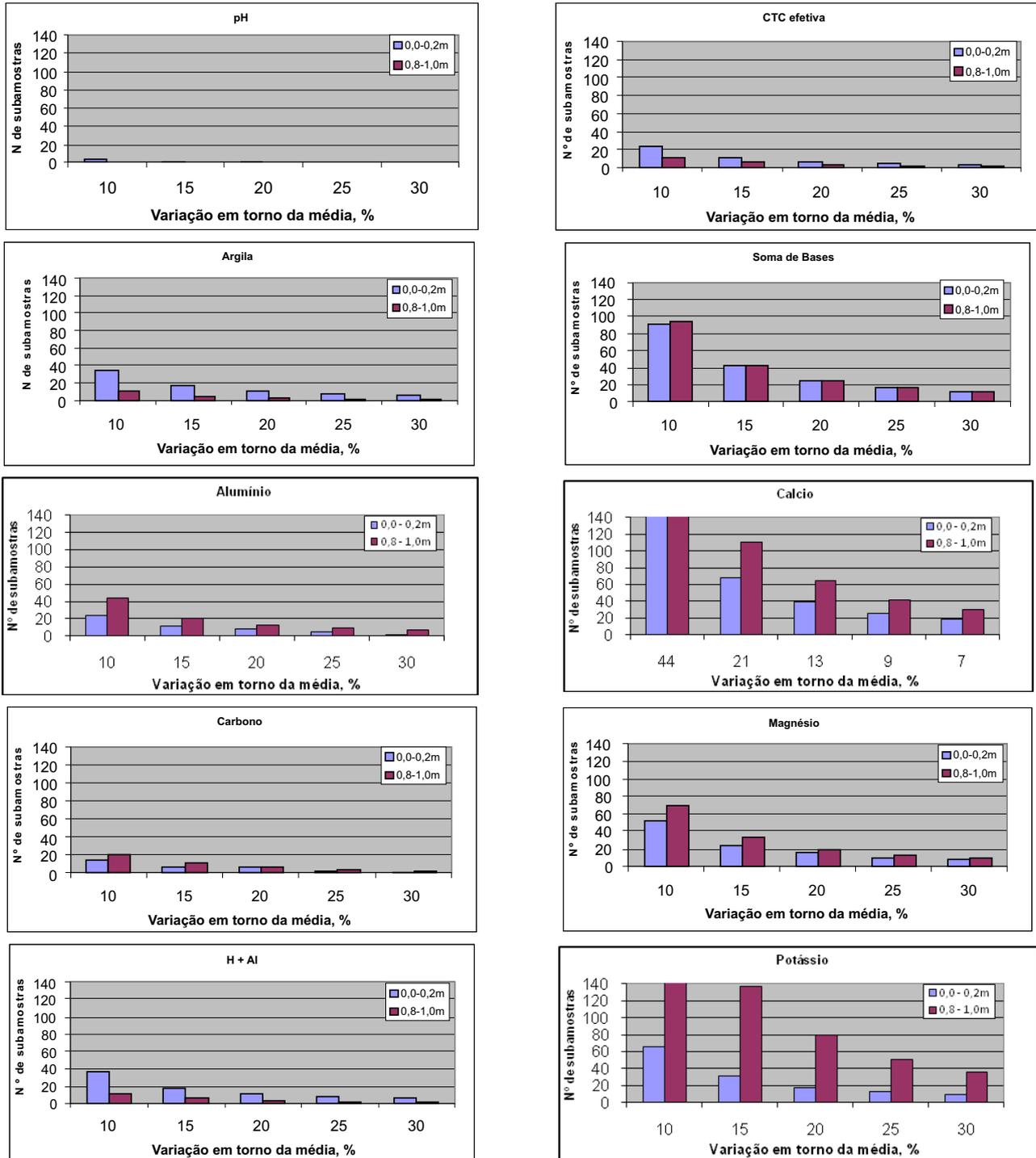


Figura 2. Número mínimo de subamostras para estimar os atributos pH, argila, alumínio, carbono, H+Al, CTC efetiva, soma de bases, cálcio, magnésio, potássio respectivamente, da camada superficial e subsuperficial de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico em Conceição do Almeida (BA)

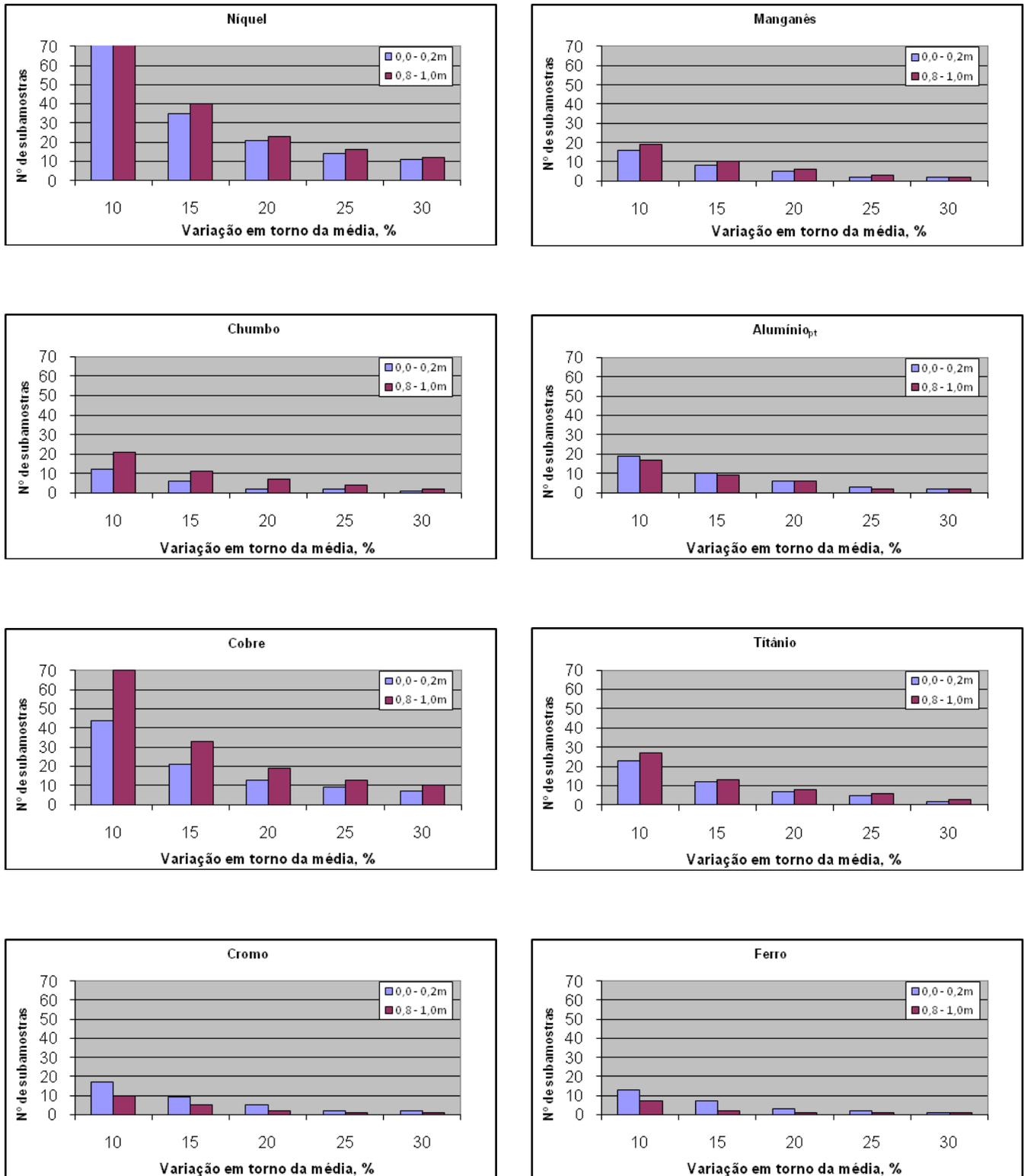


Figura 3. Número mínimo de subamostras para estimar os metais, zinco, manganês, chumbo, cobre, cromo, cobalto, níquel, alumínio, titânio, ferro respectivamente, da camada superficial e subsuperficial de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico em Conceição do Almeida (BA)

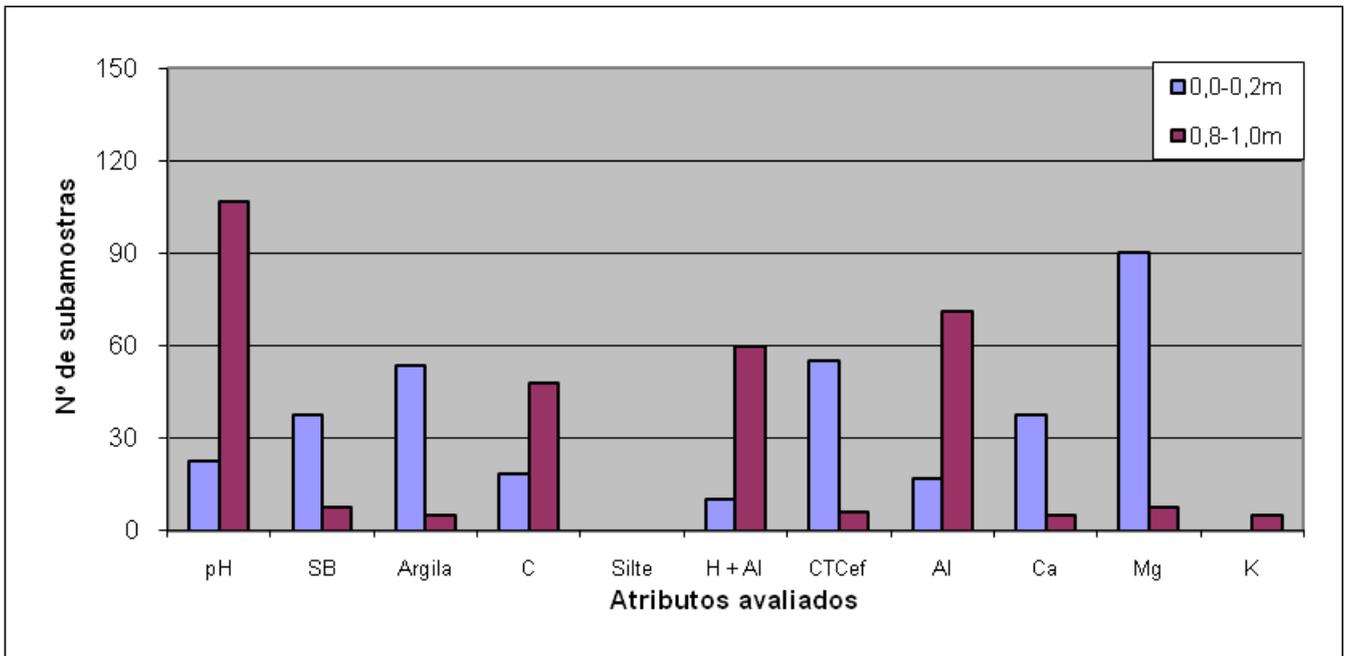


Figura 4. Número mínimo de amostras para estimar os atributos estudados na área da pesquisa, respectivamente, da camada superficial e subsuperficial de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, em Conceição do Almeida (BA)

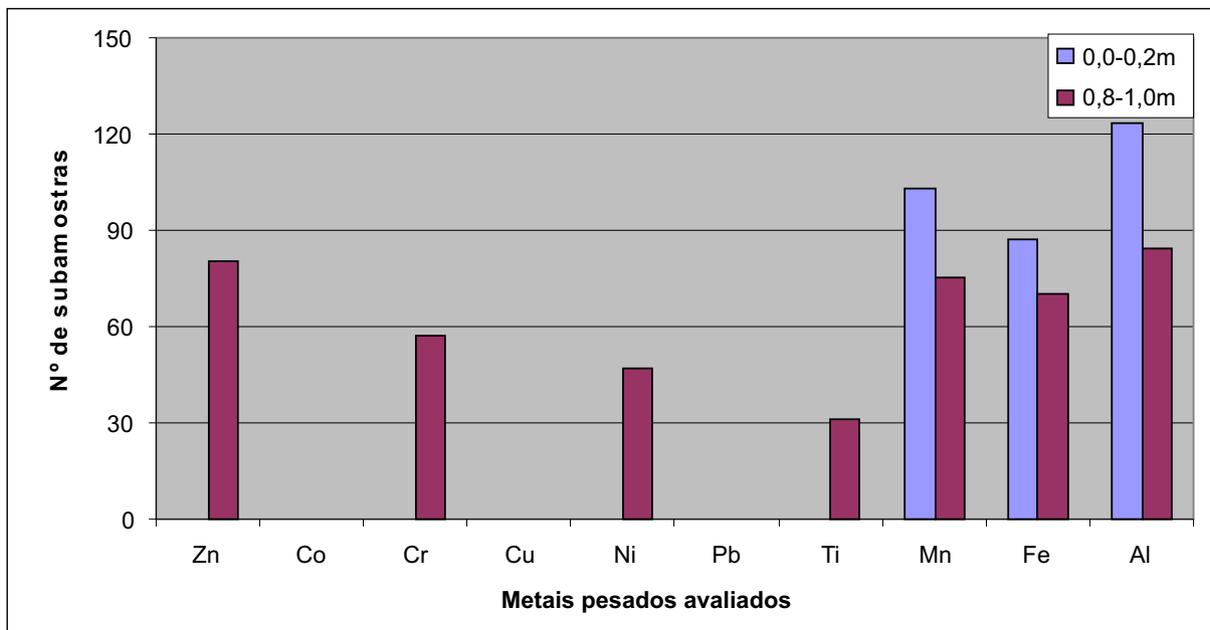


Figura 5. Número mínimo de amostras para estimar os metais estudados na área da pesquisa, respectivamente, da camada superficial e subsuperficial de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, em Conceição do Almeida (BA)

CONCLUSÕES

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

- 1) Enquanto o pH apresentou a menor variação, os cátions básicos, com destaque para o cálcio e seus parâmetros associados, apresentaram valores acentuados de dispersão nas profundidades estudadas.
- 2) Pequeno número de subamostras (menor do que 30) é suficiente para representar o solo, dentro dos limites de precisão estabelecidos na pesquisa (probabilidade de erro $\alpha=0,05$ e erro em relação à média variando entre 10 e 15%); porém o número de amostras foi elevado para o cálcio e seu parâmetro associado: soma de bases.
- 3) A quantidade de amostras necessárias para um procedimento de amostragem pelo método geoestatístico mostrou-se superior em relação ao método clássico, correspondendo, de uma maneira geral, a um erro amostral inferior a 10%

METAIS PESADOS

- 4) O coeficiente de variação indicou média variabilidade para todos os metais analisados nas profundidades em estudo.
- 5) Quanto ao número de subamostras, os metais apresentaram uma homogeneidade bastante acentuada em relação aos demais atributos, sendo que uma variação de 10% em torno da média correspondeu a uma demanda de, aproximadamente, vinte subamostras, tanto em superfície quanto em subsuperfície.

REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I. & VOLKWEISS, S. J. Recomendação de uso de fertilizantes no Brasil. In: ESPINOSA, W. & OLIVEIRA, A. J. In: SIMPÓSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984 **Anais**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1984. p.179-204.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003, 165 p.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; SILVA, P. C. M. & VASCONCELOS, A. C. F. de. Variabilidade de propriedades químicas de um Neossolo Flúvico da Ilha de Picos (Pernambuco). **Revista Ciência Agronômica**. 37: 135-141, 2006.

CINTRA, F. L. D. Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. 1997. 106 p. (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba, SP.

COCHRAN, W. G. *Sampling techniques*. New York: John & Wiley, 1977. 428p.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T. & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de Agricultura de Precisão na cultura da Cana-de-Açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1013-1022, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 1997, 212 p. il. (EMBRAPA-CNPS. Documento, 1).SNCLS, 1979, 1v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratórias e geoestatísticas da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, 23: 1149-1157, 2001.

GOULART JÚNIOR, J. L. B. Estudo geoquímico orientativo: distribuição de metais traços em solos sobre mineralizações hidrotermais, da Seqüência Contendas Mirante (Bahia-Brasil). 1987. 179f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal da Bahia.

GUARÇONI M., A.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G.; FREIRE, F. M. Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de amostras simples necessário à sua representação. **Revista Brasileira de Geociências**, 30:943-954, 2006.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística Operacional**. Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, 1988.

HANEKLAUS, S.; RUEHLING, I.; SCHROEDER, D; SCHNUG, E. Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of Northern Germany. In: Proceedings of the EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Proceedings...** Oxford: Bios Scientific

Publishers, 1997. p785-792.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:(1)11-12, 1996.

LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J. F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação de condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 30:197-206, 2006.

MANZIONE, R. L. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari-MG. 2002. 143p. (Dissertação Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônomicas- Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, 135:177-183, 1983.

McGRATH, S. P.; CUNLIFFE, C. H. A simplified method for the extraction of metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludge. **Journal Science Food Agriculture**, 36:794-798, 1985.

MULLA, D. J.; McBRATNEY, A. B. Soil Spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. A321-352.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; CANTARUTTI, R. B. & BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: **Tópicos em Ciência do Solo, II. Viçosa**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:783-789, 1999.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**, Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142p.

SANTOS, H. L. & VASCONCELOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 11:97-100, 1987.

SCHLINDWEIN, J. A. A. & ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de Atributos de Fertilidade e Amostragem do Solo no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 24: 85-92, 2000.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S. do; VALENCIA, L. I. O.; ANDRADE, A. G. de & MEIRELLES, M. S. Amostragem de solo em área de soja sob Plantio Direto: uso de Técnicas de Agricultura de Precisão. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. 2002, 7 p. (EMBRAPA-Solos. Comunicado Técnico, 10).

SOUZA, L. S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. 1992. 162 p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P. & VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 21: 367-372, 1997.

STATSOFT, Inc (2004) STATISTICA (data analysis software system) version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>