

Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte¹

Spatial variability of texture in two soils of saline desert in Rio Grande do Norte State, Brazil

Alessandra Monteiro Salviano Mendes², Renildes Lúcio Ferreira Fontes³ e Maurício de Oliveira⁴

Resumo - Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da textura do solo, em duas áreas do “Deserto Salino”, na região da planície aluvial do Rio Apodi/Mossoró-RN. Para atingir esse objetivo, utilizaram-se técnicas de geoestatística. As áreas foram georeferenciadas em imagens de satélite (LandSat TM-7), empregando-se um GPS portátil. O esquema de amostragem foi ao acaso com 60 unidades amostrais, com volume de 1 dm³, coletadas na camada de 0 a 5 cm. Com exceção do teor de areia grossa no Vertissolo hidromórfico, todos os demais componentes granulométricos, em ambos os solos, apresentaram dependência espacial, sendo o esférico e o exponencial os modelos ajustados aos semivariogramas. O valor do efeito ‘pepita’ teve pequena contribuição na variância total dos dados e as variáveis apresentaram forte dependência espacial. Houve grande variação na distância até onde as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial (alcance), tanto dentro das áreas como entre as áreas estudadas para a maioria das variáveis, indicando que a utilização de um mesmo esquema de amostragem não é apropriado quando se trabalha com muitas variáveis. Por meio dos mapas de ‘krigagem’, identificaram-se padrões semelhantes de distribuição espacial para algumas características físicas em função da dinâmica da água.

Palavras-chave: Geoestatística. Textura. Distribuição espacial.

Abstract -The present work aimed to evaluate the spatial variability of the soil texture in two areas of the “Saline Desert”, in the alluvial plain of the Apodi/Mossoró River region, RN, Brazil, by using geostatistical techniques. Areas were georeferenced in satellite images (LandSat TM-7) using a portable GPS. The sampling outline was a random (irregular grid) with 60 sampling of 1 dm³ volume, collected from 0 to 5 cm in the soil. Most of the variables presented spatial dependence, and the models adjusted to the semivariograms were the spherical and the exponential. The nugget effect had small contribution in total variance of th data and the variables presented strong spatial dependence. There was large variation in the distance up to where the variables presented spatial dependence (reach), within and among the studied areas, for most of the variables. This fact indicated that the use of the same sampling outline is not appropriated when many variables are used. Based on the kriging maps, similar patterns of spatial distribution were identified for some physical characteristics as a function of the water dynamics.

Key words: Geostatistic. Granulometry. Spatial distribution.

¹Recebido para publicação em 06/09/2005; aprovado em 05/10/2007

Parte da Tese de doutorado do primeiro autor

²Eng. Agrônoma, D.Sc., Pesquisadora da Embrapa Semi-Árido, BR 428, km 152, CEP 56302-970. Petrolina-PE, amendes@cpatsa.embrapa.br.

³Eng. Agrônomo, Bolsista do CNPq, Ph.D., Departamento de Solos, UFV, MG, renildes@ufv.br.

⁴Eng. Agrônomo, D.Sc., Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, RN.

Introdução

O Deserto Salino é uma extensa faixa de terra que ocorre na zona litorânea do Rio Grande do Norte e trecho da porção oriental do Estado do Ceará. No Rio Grande do Norte, sua incidência mais expressiva ocorre nos ambientes estuarianos dos rios Açú e Apodi/Mossoró que ocupam uma área aproximada de 236.000 ha, dos quais 54.600 ha são ocupados pelo deserto salino (FERNANDES, 1998).

Como a área em estudo localiza-se em ambiente estuarino das planícies aluviais de rios que se desenvolveram sobre sedimentos que apresentam grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, os solos daí originados apresentam grande variação de suas características de um local para outro. O conhecimento da variabilidade espacial de sua granulometria é importante, para o entendimento de processos pedogenéticos, da dinâmica da água e acúmulo de sais, além de minimizar erros na sua amostragem e no seu manejo.

Os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa. Segundo Sousa et al. (1999) Os solos aluviais são ainda mais problemáticos, podendo exibir diferenças significativas nas suas propriedades e características em pequenas dimensões, tanto vertical como horizontalmente, acarretando problemas de manejo de solo e água.

Vários estudos relatam que a variabilidade das propriedades físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (EGUCHI et al., 2002; CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004; LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007). Nesses casos, o uso da geoestatística permite que a estrutura de dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente, e assim indicar alternativas de manejo adequadas considerando a variabilidade das suas características físico-hídricas e químicas do solo sobre o desenvolvimento das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar, de forma preliminar, a variabilidade espacial da textura do solo em duas áreas do “Deserto Salino”, na região da planície aluvial do Rio Apodi/Mossoró, RN.

Material e Métodos

A área de estudo, correspondente a trechos do estuário do rio Apodi/Mossoró, localiza-se nos municípios de Mossoró, Grossos e Areia Branca, entre os paralelos 4°

56' e 5° 15' S e os meridianos 37° 26' e 37° 04' W Gr, na microrregião de Mossoró, mesorregião do Oeste potiguar. Os solos estudados, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), são classificados como Gleissolo Sáfico (GZ) e Vertissolo Hidromórfico (VH).

A seleção da área foi feita seguindo-se locais característicos onde há diferenças consideráveis nos níveis de salinidade. Dentro da área escolhida foram selecionados dois locais de amostragens com dimensões de 250 x 200 m (5,00 ha) na área 1 (Vertissolo Hidromórfico) e 250 x 250 m (6,25 ha) na área 2 (Gleissolo Sáfico), selecionando-se 60 unidades amostrais em cada uma delas. As amostras foram retiradas na camada de 0-20 cm de profundidade. A textura foi determinada pelo método da pipeta após dispersão com hexametáfosfato de sódio (EMBRAPA, 1997).

Com objetivo de obter informações preliminares sobre a dispersão das variáveis em estudo, inicialmente, a variabilidade dos dados foi avaliada por meio de estatística descritiva utilizando-se a média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose e, o coeficiente de variação. Em função deste, a variabilidade das variáveis foi classificada como baixa (CV<12%), média (CV<12>62%) e alta (CV>62%) (WARRICK; NIELSEN, 1980). Foram, também, elaborados os gráficos de distribuição de frequência absoluta e a hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), ao nível de 1% de probabilidade.

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística, conforme Vieira et al. (1983) e Robertson (1998) e do ajuste de semivariogramas. Esta análise baseia-se na suposição de que medições, de uma determinada variável, realizadas em pontos mais próximos são mais semelhantes umas às outras, que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição, dada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo N(h) o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h, sendo o gráfico de g(h) denominado semivariograma.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de g(h) são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 ; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor

constante; o alcance é a distância máxima até onde ocorre dependência espacial. A função semivariância foi calculada para todas as direções, semivariograma isotrópico, com o objetivo de perceber a presença de dependência espacial dos dados. Foram testados os seguintes modelos:

- Esférico (Esf): $g(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$ para $0 < h < a$, e $g(h) = C_0 + C_1$ para $h > a$;
- Exponencial (Exp): $g(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)]$ para $0 < h < d$, em que d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido;
- Gaussiano (Gau): $g(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$.

Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor R^2 (coeficiente de determinação) e o menor SQR (soma de quadrados do resíduo) (SOUZA et al., 2004). A razão entre o efeito pepita e o patamar [$C_0/(C_0 + C_1)$], expressa em porcentagem, foi usada para classificar o grau de dependência espacial para cada variável, sendo considerado forte se esta razão for $> 25\%$ do patamar, moderado, se estiver entre 25 e 75%, e fraco, se a razão for $> 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994). Os mapas de isolinhas foram elaborados utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem na interpolação dos dados como definido em Fuks (1998) e Vieira (2000).

Resultados e Discussão

Ocorreram grandes variações para os dados de textura, sendo que a classificação textural dos solos variou de franca até muito argilosa. A variação textural, indicada pelos valores máximos e mínimos de areia, silte e argila, está apresentada na Tabela 1. A elevada variabilidade da textura pode ser atribuída ao fato de se tratar de solos situados em região de várzea e sujeitos à inundações periódicas. Estes solos, por serem derivados de sedimentos aluviais diversos apresentando grande heterogeneidade com relação às suas características morfológicas, físicas, químicas, físico-químicas e mineralógicas. Além disso, existe grande quantidade de material ainda em decomposição, fato que contribui para obtenção de valores bem distintos até mesmo entre pontos de amostragem situados bem próximos. Além disso, por ser uma área próxima ao litoral e por ausência de vegetação durante boa parte do ano, as partículas mais finas do solo, provavelmente, também são submetidas ao transporte eólico.

Os dados de areia grossa, em ambos os solos, apresentaram grande amplitude de valores (Tabela 1). Entretanto,

por levar em consideração apenas os valores extremos do conjunto de dados, essa amplitude pode ter sido afetada por valores discrepantes, o que é demonstrado pela assimetria à esquerda apresentada nos histogramas de frequência (Figura 1). Na fração areia grossa essa influência de valores discrepantes ocorreu, uma vez que a maioria dos valores se situou na classe de 0 a 5%, entretanto, os altos valores do coeficiente de curtose observados para essa fração demonstram que a maioria dos valores encontra-se em torno da média.

Os baixos teores de areia grossa (Tabela 1) estão relacionados a granulometria mais fina do material de origem. O teor de areia fina (Tabela 1) também apresentou variabilidade elevada, sendo o CV para o Vertissolo Hidromórfico, maior. O elevado coeficiente de curtose indica que a maioria dos valores encontrados situa-se em torno da média. No Gleissolo Sáfico, os dados foram mais homogêneos, provavelmente, pela inexistência de cobertura vegetal que deve permitir o levante das partículas mais finas pelos fortes ventos, comuns na região durante o período de coleta das amostras de solo.

Os teores médios de silte (Tabela 1) estão dentro do intervalo encontrado por Fernandes (1998), em um estudo ambiental do Deserto Salino. Apesar das médias dos teores de silte serem próximas, estes são mais elevados no Gleissolo Sáfico.

O teor de argila apresentou menor variabilidade no Vertissolo Hidromórfico (Tabela 1). Novamente, neste caso, a presença de cobertura vegetal e a maior agregação desse solo reduz a influência da erosão eólica que pode resultar no direcionamento das partículas mais finas na direção predominante dos ventos.

A proximidade entre os valores da média e da mediana, além dos valores do coeficiente de curtose próximos de zero, indica que, nos dois solos, os dados seguem a curva normal para silte e argila, entretanto, no Gleissolo Sáfico isso ocorreu apenas para a fração areia fina (Tabela 1). Esses resultados foram corroborados pelos obtidos com o teste KS, ao nível de 1% de significância (Figura 1). A distribuição normal para as variáveis argila e silte também é relatada por outros pesquisadores (CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004; LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007). Essa distribuição não é uma exigência para a aplicação de técnicas de geoestatística, recomendando-se, apenas, que a distribuição não apresente caudas muito alongadas para não comprometer as análises (WEBSTER, 1985).

Tendo-se o CV como medida de dispersão (WARRICK; NIELSEN, 1980), encontrou-se que seu valor

Tabela 1 - Estatística descritiva para as frações texturais (%) de amostras coletadas na camada de 0-5 cm do Vertissolo Hidromórfico e do Gleissolo Sáfico, no município de Mossoró-RN

Variável	Min	Max	M	Med	Dp	A	EA	C	EC	CV (%)
Vertissolo Hidromórfico										
Areia Grossa (%)	0,00	280,00	40,85	40,00	50,06	2,77	0,31	9,62	0,61	104,41
Areia Fina (%)	20,00	69,00	11,14	8,00	12,00	2,90	0,31	9,84	0,61	107,77
Silte (%)	60,00	840,00	450,31	440,00	160,98	0,24	0,31	-0,51	0,61	37,49
Argila (%)	40,00	760,00	380,69	400,00	200,95	-0,04	0,31	-0,98	0,61	54,13
Gleissolo Sáfico										
Areia Grossa (%)	10,00	340,00	60,00	40,00	60,05	2,95	0,31	9,45	0,61	100,81
Areia Fina (%)	50,00	670,00	260,86	250,00	120,83	0,65	0,31	0,46	0,61	47,77
Silte (%)	40,00	800,00	480,98	490,00	130,27	-0,46	0,31	1,82	0,61	27,09
Argila (%)	40,00	830,60	190,43	170,00	130,52	2,13	0,31	7,54	0,61	69,59

Min = mínimo; Max = Máximo; M = média; Méd = mediana; DP = desvio padrão; A = assimetria; EA = erro padrão da assimetria; C = curtose; EC = erro padrão da curtose; CV = coeficiente de variação

foi elevado para areia grossa nos dois solos, para areia fina no Vertissolo Hidromórfico e para argila no Gleissolo Sáfico, sendo médio para silte e argila no Vertissolo hidromórfico, e para areia fina e silte no Gleissolo Sáfico e varia com o solo. Eguchi et al. (2002) e Sousa et al. (1999), estudando a variabilidade espacial de características físicas em um solo Aluvial, encontraram valores de CV considerados médios para os teores de argila e silte. O desvio padrão e o CV dão idéia da magnitude de variabilidade de propriedades químicas e físicas dos solos, porém, nada informam quanto à dependência espacial dessas propriedades, o que só é possível através de técnicas geoestatísticas (SOUZA, 1999). A análise de variabilidade de características do solo, a partir de parâmetros oriundos da estatística clássica é extremamente útil. Entretanto, apresenta como grande restrição, a não avaliação da distribuição dos dados no espaço, não permitindo, desse modo, que se chegue a conclusões sobre a relação entre a variação dos dados e os locais de amostragem.

A anisotropia é uma característica muito freqüente nos elementos da natureza, isto é, avariabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos intensamente em outra direção. Todavia, não comprovou-se sua ocorrência a partir da análise dos semivariogramas direcionais, o que levou à utilização de semivariogramas médios isotrópicos (Figura 2). Esse procedimento foi adotado visando proporcionar a construção de mapas de variabilidade da textura mais representativos das áreas em estudo (CAMARGO et al., 2001).

Encontrou-se dependência espacial para todas as variáveis, exceto para o teor de areia grossa no Vertissolo

Hidromórfico. Considera-se que o semivariograma apresenta efeito pepita-puro quando não é possível identificar a estrutura da variância e os valores da semivariância se mantêm a um determinado nível, comportando-se de forma mais ou menos constante, independente do aumento da distância entre amostras. Assim, pode-se assumir que, além da distribuição ser completamente ao acaso, há independência entre amostras e os métodos da estatística clássica podem ser aplicados, com a média aritmética representando bem o conjunto de dados. No entanto, isso não significa, necessariamente, que não exista estrutura de variância. Provavelmente, nesse caso, a dependência espacial ocorreu em uma escala de distância menor do que a que foi utilizada entre os pontos de amostragem (lag). Esse problema pode ser contornado com a utilização de uma amostragem preliminar para determinar o espaçamento ideal entre amostras, o que permitiria encontrar a estrutura de variação adequada para cada variável a ser estudada.

Segundo os critérios utilizados, o modelo esférico foi o que se ajustou melhor aos dados, com o modelo exponencial ajustando-se apenas para a variável silte no Gleissolo Sáfico (Tabela 2). Nos trabalhos de variabilidade espacial de características físicas do solo é comum encontrar ajuste dos semivariogramas a esses dois modelos (EGUCHI et al., 2002; SOUZA et al., 2004; CAMPOS et al., 2007) e de acordo com Vieira (1997) e Carvalho et al. (2002) o modelo esférico predomina nos estudos dos atributos do solo.

A avaliação do efeito pepita permite verificar o grau de descontinuidade da variação dos dados à distâncias menores do que aquelas amostradas (JOURNAL;

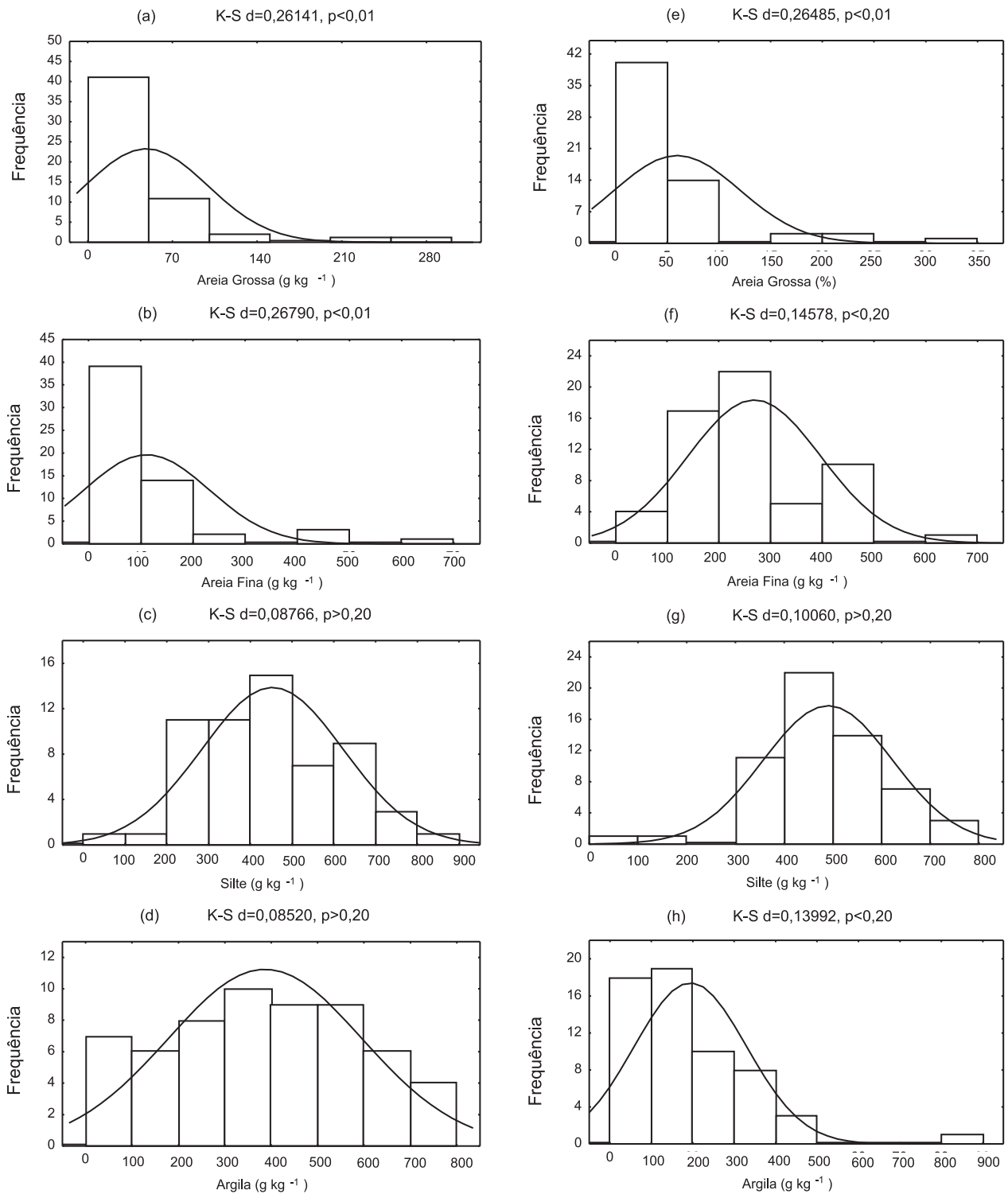


Figura 1.- Histograma de frequência e linhas de distribuição normal para os componentes granulométricos ($g\ kg^{-1}$) de amostras coletadas na camada de 0-5 cm do Vertissolo Hidromórfico (a, b, c, d) e do Gleissolo Sáfico (e, f, g, h), no município de Mossoró-RN

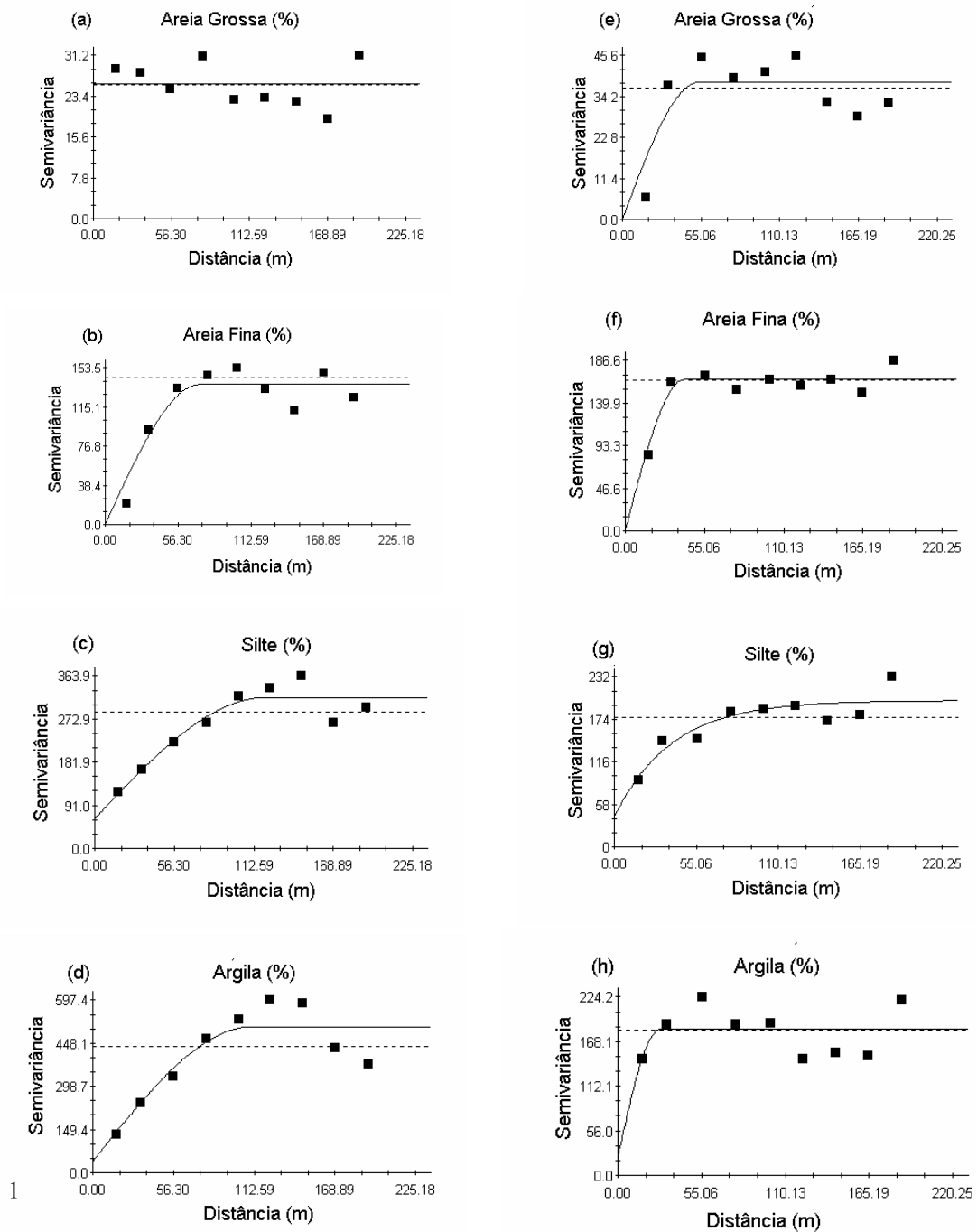


Figura 2 - Semivariogramas experimentais isotrópicos para os componentes granulométricos ($g\ kg^{-1}$) de amostras coletadas na camada de 0-5 cm do Vertissolo Hidromórfico (a, b, c, d) e do Gleissolo Sálco (e, f, g, h), no município de Mossoró-RN

HUIJBREGTS, 1978). Com a expressão do efeito pepita em porcentagem da semivariância total, pode-se comparar seu valor relativo entre as propriedades do solo (TRANGMAR et al., 1985). Esses valores foram usados na definição de

classes distintas de dependência espacial para as variáveis estudadas (CAMBARDELLA et al., 1994). Observa-se, entre as frações texturais, que todas apresentaram forte dependência espacial, com exceção da areia grossa no

Vertissolo Hidromórfico (Tabela 2). Forte dependência espacial para o teor de argila, em um Latossolo do Estado de São Paulo, foi encontrada por Eguchi et al. (2002), enquanto Silva (1988), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, observou contribuição elevada do efeito pepita para a variância total da população.

Na variação da semivariância em função da distância, o patamar é atingido quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante com o aumento da distância entre eles. O patamar é estabelecido quando a semivariância é aproximadamente igual à variância total dos dados (Figura 2) e permite a determinação do alcance delimitando a extensão da correlação espacial entre as amostras. Isso define a área de influência de cada ponto de amostragem, sendo útil para escolha do método estatístico a ser usado na análise dos dados e no julgamento da representatividade. Adicionalmente, auxilia definição da distância mínima entre as unidades amostrais para se garantir a independência entre as amostras.

Os valores de alcance encontrados demonstram considerável variabilidade entre as variáveis para cada área estudada, sendo os maiores valores, encontrados no Vertissolo Hidromórfico. Isso indica que, no Vertissolo

Hidromórfico, para garantir a interdependência entre as amostras, as distâncias entre as amostras simples coletadas devem ser maiores.

Os parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados foram utilizados para fazer a estimativa de valores em locais não amostrados por meio da krigagem (Figura 3).

Os mapas de distribuição espacial, no Vertissolo Hidromórfico, permitem a visualização de mudanças bruscas dos valores das frações texturais, em determinadas regiões da área (Figura 3 a, b, c). As isolinhas mais próximas indicam áreas de maior variabilidade, enquanto as áreas de maior espaçamento entre as mesmas demonstram sua menor variabilidade.

A região central da área engloba as menores concentrações de partículas grossas e maiores concentrações de partículas finas. Essa região, apesar de ser plana, apresenta uma pequena elevação em relação ao leito do rio, aonde a água, durante os períodos de inundação, chega com menos energia, depositando ali, preferencialmente, as partículas de menor diâmetro. Observa-se que os valores das frações texturais estão distribuídos de forma mais dispersa ao longo de todo o Gleissolo Sáfico (Figura 3 d, e, f) quando comparado com o Vertissolo Hidromórfico (Figura 3a, b, c).

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais isotrópicos ajustados para as frações texturais (%) de amostras coletadas na camada de 0-5 cm do Vertissolo Hidromórfico e do Gleissolo Sáfico, no município de Mossoró-RN

Característica	Modelo	Efeito pepita C_0	Patamar $(C_0 + C)$	Alcance (A_0)	R^2	ER (%)	Classe
Vertissolo Hidromórfico							
Areia grossa	EPP	25,65					SD
Areia fina	Esférico	0,10	137,50	73,90	0,879	0,07	A
Areia	Esférico	0,10	215,00	70,60	0,912	0,05	A
Silte	Esférico	62,90	318,10	120,90	0,888	19,77	A
Argila	Esférico	40,00	505,60	111,70	0,804	7,91	A
Gleissolo Sáfico							
Areia grossa	Esférico	0,10	38,13	53,40	0,677	0,26	A
Areia fina	Esférico	0,10	165,80	40,90	0,864	0,06	A
Areia	Esférico	0,10	267,80	50,70	0,843	0,04	A
Silte	Exponencial	41,80	199,80	38,80	0,802	20,92	A
Argila	Esférico	23,40	184,00	27,20	0,162	12,72	A

ER=[Co/(C+Co)]x100; SD=sem dependência espacial; A=Alta dependência espacial

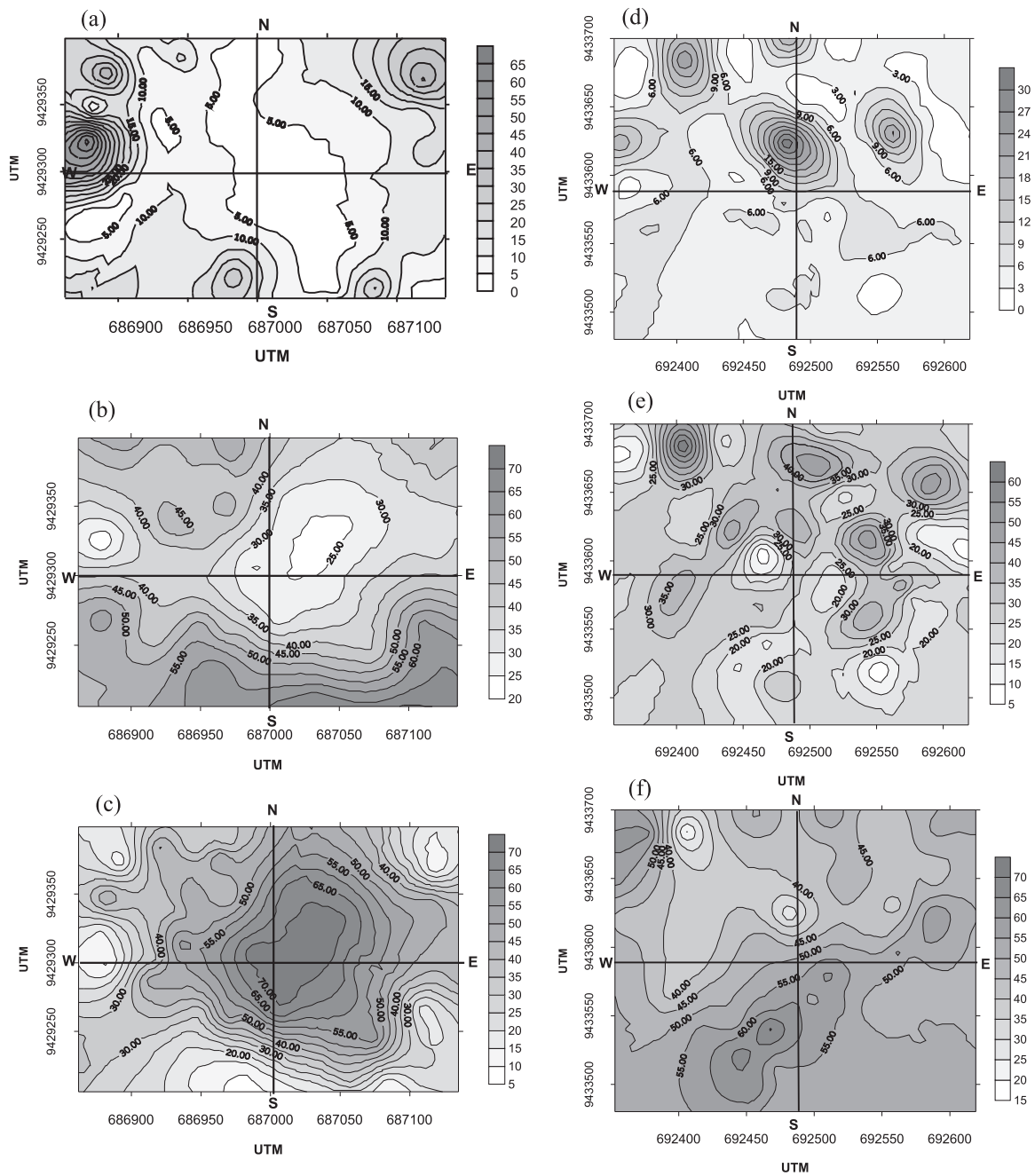


Figura 3 - Distribuição espacial da proporção (g kg⁻¹) de areia fina, silte e argila do Vertissolo Hidromórfico (a, b, c) e dos teores (g kg⁻¹) de areia grossa, areia fina e silte do Gleissolo Sáfico (d, e, f)

Conclusões

1. A fração areia apresentou elevada variabilidade, enquanto as demais apresentaram variabilidade média;
2. Com exceção do teor de areia grossa em ambos os solos e de areia fina no Vertissolo Hidromórfico, as demais variáveis apresentaram distribuição normal;
3. Existe dependência espacial para as frações texturais, com exceção do teor de areia grossa no Vertissolo Hidromórfico, tendo as mesmas apresentado forte correlação espacial;
4. Os modelos ajustados aos dados de todas as variáveis foram do tipo esférico e exponencial;

5. Os valores de alcance apresentaram grande variação tanto entre os solos quanto para o mesmo solo, sendo as maiores distâncias encontradas no Vertissolo Hidromórfico;
6. A variabilidade da textura varia com a fração e o tipo de solo estudado; e
7. A “ferramenta” geoestatística permitiu separar o comportamento quanto a variabilidade espacial das frações grosseiras (AG e AF) em relação as frações finas.

Referências

- CAMBARDELLA, C. A. et al. Spatial variability in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 02, p. 1501-1511, 1994.
- CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. A importância da modelagem da anisotropia na distribuição espacial de variáveis ambientais utilizando procedimentos geoestatísticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 395-402.
- CAMPOS, M. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 02, p.149-157, 2007.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 08, p. 1151-1159, 2002.
- 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**, v. 27, n. 04, p. 695-703, 2003.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 02, p. 242-246, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 211 p.
- ESAM. Estação climatológica da ESAM. Disponível em: <<http://www.esam.br/cppgclima.asp>> Acesso em: 01 fev. 2005.
- FERNANDES, C. A. D. **Estudo ambiental preliminar do “Deserto salino” e sua influência na poluição do ar na cidade de Mossoró**. 1998. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 1998.
- FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (ed.). **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Serviço de Produção de Informação/EMBRAPA/CPAC, 1998. p. 373-410.
- JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.
- LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 02, p. 192-199, 2006.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for environment sciences – GS+ User’s guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1988. 152 p.
- SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105f. Tese (Doutorado em Solos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- SOUSA, J. R. de; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 03, n. 02, p.140-144, 1999.
- SOUZA, L. C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
- SOUZA, Z.M., et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 02, p.309-319, 2004.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, n. 01, p. 45-94, 1985.
- VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 03, p. 1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, v. 56, n. 01, p. 181-190, 1997.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v. 01, p. 1-54.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties the soil. In: HILL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: STEWART, B. A. (ed.), **Advance in Soil Science**, New York: Academic Press, 1985. v. 03, p. 1-70.