
DISTRIBUIÇÃO E INCERTEZA DA ERODIBILIDADE EM UM LATOSSOLO-VERMELHO AMARELO HÚMICO SOB CULTIVO DE CAFÉ ARÁBICA

Samuel de Assis Silva¹, Julião Soares de Souza Lima², Mauri Martins Teixeira³

RESUMO

O objetivo com a realização deste trabalho foi estudar o comportamento espacial da erodibilidade de um Latossolo Vermelho Amarelo húmico, por meio de mapas de distribuição e incerteza, utilizando métodos de *krigagem*. O experimento foi realizado em uma área cultivada com *Coffea arabica* L. variedade catuai. O solo foi coletado na camada de 0-0,20 m distribuídos em uma malha amostral, totalizando 50 pontos. Avaliou-se a erodibilidade por meio de modelos indiretos, com base nas frações granulométricas do solo e no teor de matéria orgânica. Os dados foram, inicialmente, submetidos à análise descritiva e exploratória. A análise geoestatística foi utilizada sobre o conjunto real de dados e também sobre os dados de erodibilidade após codificação por indicação. Os resultados foram interpolados por *krigagem* ordinária e *krigagem* indicativa para a confecção de mapas de distribuição e incertezas. O valor médio de erodibilidade ficou acima do tolerado para Latossolos, sendo que na maior proporção da área a probabilidade de encontrar valores de erodibilidade acima do tolerado para Latossolos foi maior que 50%, principalmente nas porções mais altas do terreno.

Palavras-chave: Geoestatística, *Krigagem* indicativa, Erosão, Manejo e conservação.

ABSTRACT

DISTRIBUTION AND UNCERTAINTY OF ERODIBILITY OF A HUMIC RED YELLOW OXISOL UNDER 'ARABICA' COFFEE CULTIVATION

The objective of this work was to study the spatial behavior of erodibility of a humic Red Yellow Oxisol through distribution maps and uncertainty using kriging methods. The experiment was set in an area cultivated to *Coffea arabica* L. cv catuai. The soil was collected from 0 to 0.20 m depth, from 50 points distributed in a sampling grid. Initially, the soil erodibility was evaluated with the use of indirect models based on soil particle fractions and organic matter content. Data were initially subjected to a descriptive and exploratory analysis. Geoestatistic analysis was used on the set of real data and also on the erodibility data after codification by indication. Results were interpolated by ordinary and indicative kriging to make maps of distribution and uncertainties. The mean erodibility value was higher than tolerated for Oxisol soils, and in the major portion of the area, probability of finding erodibility values greater than 50%, was high at the higher land elevations.

Keywords: Geostatistic, Indicative kriging, Erosion, Management and conservation.

Recebido para publicação em 29/09/2008. Aprovado em 23/06/2008

1 Doutorando em Engenharia Agrícola, Bolsista CNPq - Brasil, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, CEP 36570-000. Email: samuel-assis@hotmail.com

2 Prof. Associado, Depto. de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, CEP 29500-000. Email: limajss@yahoo.com.br

3 Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, CEP 36570-000. Email: mauri@ufv.br

INTRODUÇÃO

A erosão é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo, uma vez que reduz a capacidade produtiva de culturas e causa sérios danos ambientais, tais como assoreamento e poluição das fontes de água (ZARTL et al., 2001; COGO et al., 2003), sendo dependente de inúmeros fatores, desde os relacionados ao clima, até os intrínsecos ao sistema solo, como o seu potencial em sofrer erosão, denominado erodibilidade.

O conhecimento da capacidade resistiva do solo ao escoamento superficial e as características deste escoamento são fundamentais para o correto dimensionamento do sistema de drenagem e do estabelecimento de medidas para o controle da erosão (GRIEBELER et al. 2005).

A erodibilidade, representada pelo fator K, retrata o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas. Portanto, refere-se à predisposição do solo à erosão. A erodibilidade é o fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo (textura, matéria orgânica, capacidade de infiltração, compactação) que podem variar de acordo com o tipo de solo e com o tipo de manejo (SILVA et al., 2000; KUHN & BRYAN, 2004).

Avaliações experimentais do valor do fator K, conforme as normas estabelecidas pela Equação Universal de Perda de Solo - USLE demandam excessivos gastos e exigem muito tempo nas suas determinações. Uma vez que trabalham com o processo direto da causa e efeito, que é o fenômeno da erosão do solo. Tais motivos levam a estimativa do fator K por outros meios menos complexos, denominados métodos indiretos de determinação (MANNIGEL et al., 2002).

A erodibilidade apresenta grande variabilidade espacial, explicada pela diversidade e variabilidade do solo, a qual tem influência na suscetibilidade à erosão (BERTOL et al., 2007). Wang et al. (2002) afirmaram que a geoestatística é importante ferramenta para o estudo dos processos de erosão, uma vez que o processo de perda de solo apresenta notória variabilidade espacial.

A geoestatística tem sido aplicada, principalmente, para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não amostrados e também para definir áreas com maior ou

menor probabilidade que um determinado evento ocorra, por meio da *krigagem* indicativa, considerando que os valores das variáveis, tidas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados (LANDIM & STURARO, 2002).

A *krigagem* por indicação é um estimador de *krigagem* não linear, ou seja, um estimador de *krigagem* linear aplicado a um conjunto de dados que foram modificados segundo uma transformação gaussiana, lognormal ou outra (BONISCH et al., 2004). Na *krigagem* por indicação é necessária a realização de uma transformação não linear sobre o conjunto de dados amostrais, que é denominada codificação por indicação. A principal vantagem da *krigagem* por indicação baseia-se no fato de ser uma técnica paramétrica, ou seja, nenhum tipo de distribuição para a variável aleatória (VA) é considerado *a priori*. Isso possibilita uma estimativa da função de distribuição para a VA. Dessa forma, a *krigagem* indicativa permite a determinação de incertezas e a inferência de valores do atributo em locais não amostrados (FELGUEIRAS, 1999).

O objetivo com a realização deste trabalho foi estudar o comportamento espacial da erodibilidade de um Latossolo-Vermelho Amarelo húmico por meio de mapas de distribuição e incerteza utilizando métodos de *krigagem*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de aproximadamente 0,5 ha, cultivada há 5 (cinco) anos com *Coffea arabica* L. variedade catuaí, no espaçamento de 2,0 x 0,60 m. A área apresenta diferença de nível acentuada com 30° de inclinação e está localizada na Fazenda Jaguarai, no município de Reduto, na região leste do Estado de Minas Gerais, a 20° 45' 45,4" de latitude S e 41° 32' 9,75" de longitude W. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo húmico com horizonte A bastante espesso e rico em matéria orgânica, conforme classificação apresentada pela EMBRAPA (2006).

Para o mapeamento das propriedades do solo, construiu-se uma malha de amostragem, totalizando 50 pontos georreferenciados (Figura 1), com as amostras de solo coletadas na projeção das copas de três plantas de cafeeiro, na camada de 0 - 0,2 m, com auxílio de uma sonda

inoxidável. As amostras de solo foram homogeneizadas para formar uma composta, com os pontos amostrais, sendo denominados de células de amostragens.

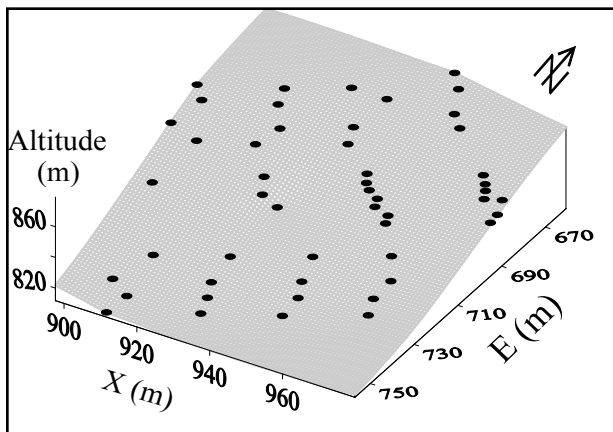


Figura 1. Modelo digital de elevação (MDE) da área em estudo com a distribuição dos pontos amostrais.

A composição granulométrica das amostras foi determinada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação por 12 h, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, de acordo com a Lei de Stokes, sendo a fração silte determinada por diferença. A fração areia foi subdividida em areia grossa (AG) e areia fina (AF). Para a determinação da matéria orgânica, foi utilizado o método de Walkley-Black (EMBRAPA, 1997).

Para o cálculo de erodibilidade do solo, utilizou-se a equação proposta por Wischmeier et al. (1971) e utilizada por Correchel (2003):

$$K = \left(\frac{[2,1(10^4)(12 - MO)M^{14} + 3,25(EST - 2) + 2,5(PER - 3)]}{100} \right)^{0,1317} \quad (1)$$

em que

K = valor estimado para o fator K , em $t h MJ^{-1} mm^{-1}$;

M = fator textural e corresponde à soma dos teores de silte (%) e areia fina (%) multiplicada por 100 menos o teor de argila (%);

MO = teor de matéria orgânica (%); EST e PER são códigos, adimensionais, correspondentes à estrutura e permeabilidade do solo, respectivamente, conforme descrição em Wischmeier et al. (1971).

Nesse trabalho foi utilizado valor 3 para estrutura (granular média) e 6 para permeabilidade (textura média

a argilosa). O fator 0,1317 na equação foi sugerido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1978) e refere-se à conversão da unidade original do fator K para o sistema métrico internacional.

Os dados foram, inicialmente, submetidos a uma análise descritiva e exploratória, com a normalidade testada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$).

A análise geoestatística foi realizada, inicialmente, sobre o conjunto real dos dados com a finalidade de verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca conforme equação:

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

em que

$N(h)$ = número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

Os dados de erodibilidade passaram por uma transformação não linear, denominada codificação por indicação. Esse procedimento é o primeiro passo para realização da *krigagem* indicativa e consiste em transformar os dados originais em indicadores, isto é, transformar os valores que estão acima de um determinado nível de corte em 1 e os que estão abaixo, em 0:

$$i_j(V_c) = \begin{cases} 0 & \text{se } V_j \leq V_c \\ 1 & \text{se } V_j > V_c \end{cases} \quad (3)$$

em que

V_c = nível de corte;

V_j = valor observado.

Neste trabalho, essa transformação foi realizada utilizando como valor de corte o limite de erodibilidade para Latossolos, apresentado por Bertoni e Lombardi Neto (1990) que é de $0,0149 t h MJ^{-1} mm^{-1}$, atribuindo 1 (um) para valores acima e 0 (zero) para valores abaixo.

A análise geoestatística foi efetuada para os dados de erodibilidade após codificação por meio de ajuste do semivariograma indicativo estimado pela seguinte equação:

$$\gamma^*(h, V_c) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [i(x+h, V_c) - i(x+V_c)]^2 \quad (4)$$

em que

h = passo (*lag*) básico;

V_c = nível de corte (*cutoff*);

N = número de pares.

À nuvem de pontos $[h, y(h, V_c)]$ ajustou-se uma função matemática, cujos parâmetros são conhecidos como: Efeito Pepita (C_0) - correspondendo ao valor da interseção no eixo das semivariâncias; patamar ($C_0 + C_1$), aproximadamente igual ao valor da variância dos dados; Alcance (a) - que representa a distância na qual o semivariograma atinge o valor do patamar e a região de dependência espacial entre as amostras (VIEIRA et al., 1983).

A escolha do modelo adotado baseou-se na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla (R^2) do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais. Na seqüência, também foi utilizado o R^2 da validação cruzada (R^2 -VC) (valores observados *versus* valores estimados), como critério de escolha.

Para análise do índice de dependência espacial (IDE%), foi utilizado a relação definida pelo *software* GS+ ($C_1 / C_0 + C_1$) e os intervalos propostos por Zimback (2001), que considera a dependência espacial fraca ($IDE \leq 25\%$); moderada ($25\% < IDE \leq 75\%$) e forte ($IDE > 75\%$).

Quadro 1. Estatística descritiva das variáveis matéria orgânica (MO), areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (SIL), argila (ARG), fator textural (M) e erodibilidade (K)

Variáveis	Variáveis Estatísticas								
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV%	s	C_s	C_k	KS
MO	3,73	3,75	2,95	4,37	8,83	0,33	-0,37	-0,06	ns
AG	332,17	335,73	284,96	378,97	6,87	22,82	-0,30	-0,03	ns
AF	130,21	130,69	92,79	163,49	13,85	18,03	-0,44	-0,42	ns
SIL	69,21	69,57	20,78	124,04	41,78	28,92	0,20	-0,99	ns
ARG	464,72	463,86	381,07	555,97	8,42	39,12	-0,05	-0,06	ns
M	193,23	190,55	113,07	256,33	16,68	32,23	0,03	-0,28	ns
K	0,0151	0,0151	0,0147	0,0155	1,22	0,00	0,16	-0,40	ns

2

O coeficiente de variação (CV) classificado segundo Warrick e Nielsen (1980) apresentou baixos valores (CV < 12%) para MO, AG, ARG e K; médio ($12\% < CV < 60\%$) para AF, SIL e M. Esses valores estão de acordo com os observados por Gonçalves et al. (2001). A maior variabilidade foi observada para a variável silte, justificado

2 MO - dag kg⁻¹; AG, AF, SIL e ARG - g kg⁻¹; K - t h MJ⁻¹mm⁻¹; CV - coeficiente de variação (%); s - desvio padrão; C_s - coeficiente de assimetria; C_k - coeficiente de curtose; ns - distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5% de probabilidade.

As funções semivariograma foram utilizadas na produção de mapas interpolados por *krigagem* ordinária no caso de dados reais e por *krigagem* indicativa para a erodibilidade após codificação, quando foram avaliadas a distribuição das propriedades do solo e realizadas estimativas de probabilidade baseadas em valores que se situam abaixo ou acima do nível de corte (*cutoff*), neste caso a suscetibilidade limite dos Latossolos. Tais procedimentos foram realizados no *software* GS+ e os mapas construídos no *software* SURFER.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis matéria orgânica (MO), areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (SIL), argila (ARG), fator textural (M) e erodibilidade (K) estão apresentados no Quadro 1.

As medidas de tendência central (média e mediana) são próximas para todas as variáveis, indicando simetria na distribuição dos dados, que é confirmada por valores de coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para as variáveis estudadas. Silva et al. (2007), avaliando o comportamento espacial da erosão hídrica em Latossolo também observaram normalidade para essas variáveis. Souza et al. (2005), estudando a influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo, verificaram normalidade para a variável K.

pela sua movimentação no solo no escoamento superficial durante o processo erosivo, além disso, o seu método de determinação contribui para sua variação, devido ao risco de se incorporar a essa fração parte da variabilidade existente nos atributos areia e argila.

O valor médio de erodibilidade encontra-se acima do tolerado para latossolos, segundo limite apresentado por Bertoni e Lombardi Neto (1990) ($0,0149 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Izidorio et al. (2005) e Silva et al. (2007) encontraram valores semelhantes também trabalhando com Latossolo em áreas declivosas.

Como o valor médio de MO foi reduzido, conforme Ribeiro et al. (1999), acredita-se que tais valores de K estejam relacionados à sua perda, pois essa, segundo Wischmeier et al (1971), pode alterar o valor de K, uma vez que, possui ação cimentante, importante na agregação dos solos, deixando as partículas menos susceptíveis à ação das gotas das chuvas, além de proporcionar aumento da macroporosidade e, com isso, favorecer a infiltração de água no solo. Em seus estudos, Cogo et al. (2003), comprovaram a eficiência da matéria orgânica na redução das perdas de solo em diferentes sistemas de manejo.

Na medida em que o manejo do solo, nas diversas atividades humanas, elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica mais exposta à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada. Dessa forma, tanto o impacto

dessas gotas quanto a enxurrada contribuem para modificar as condições físicas da superfície do solo, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração de água (ALBUQUERQUE et al. 2002).

Os resultados da análise geoestatística (Figura 2) indicam que os atributos areia grossa, areia fina, silte e argila apresentam dependência espacial, ajustando-se o modelo esférico com o alcance de 40; 37; 11 e 12 m, respectivamente, indicando que o método convencional para análise do solo, baseado no valor médio, é inadequado para caracterizar a variabilidade espacial das características do solo (WANG et al., 2002).

O silte foi a variável que apresentou menor continuidade espacial e, conseqüentemente, maior variabilidade espacial. Isso se justifica pela forma de sua obtenção na análise textural, já que é realizada por diferença, após a sedimentação da argila, o que faz com que parte da variabilidade das demais frações granulométricas sejam incorporadas a essa fração, reduzindo a sua continuidade espacial e conseqüentemente elevando sua variabilidade. O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante no estudo do semivariograma, uma vez que, indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu vizinho (GUERRA, 1988).

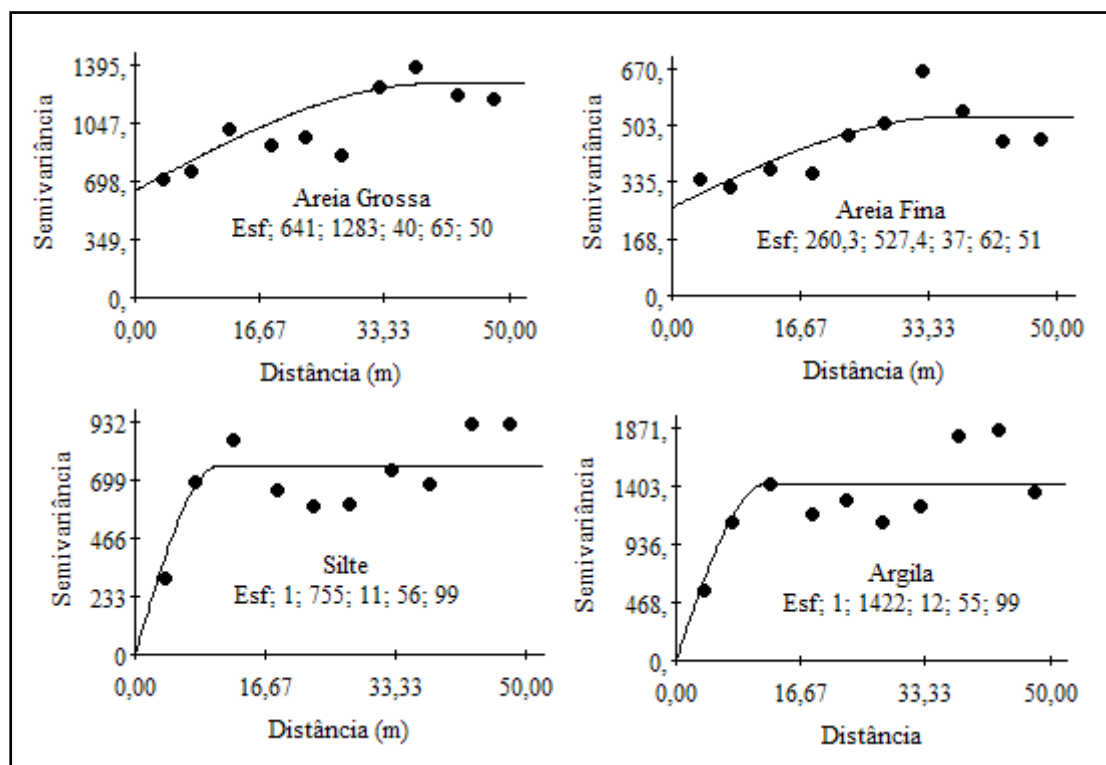


Figura 2. Modelos e parâmetros dos semivariogramas (efeito pepita; patamar; alcance, R²; índice de dependência espacial) das frações granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila).

O modelo esférico ajustou-se as semivariâncias estimadas das variáveis matéria orgânica, erodibilidade e da probabilidade da erodibilidade, com alcances de 33; 46 e 16 m, respectivamente. O modelo gaussiano ajustou-se ao fator textural com maior coeficiente de determinação (R^2) e alcance de 48 m, apresentando melhor ajuste do

semivariograma experimental. Quanto melhor o ajuste, mais fácil é a definição de zonas uniformes de manejo para a área em estudo, ou seja, de subáreas do campo que expressem a combinação de fatores que determinam um dado fenômeno, facilitando o seu controle (LANDIM & STURARO, 2002).

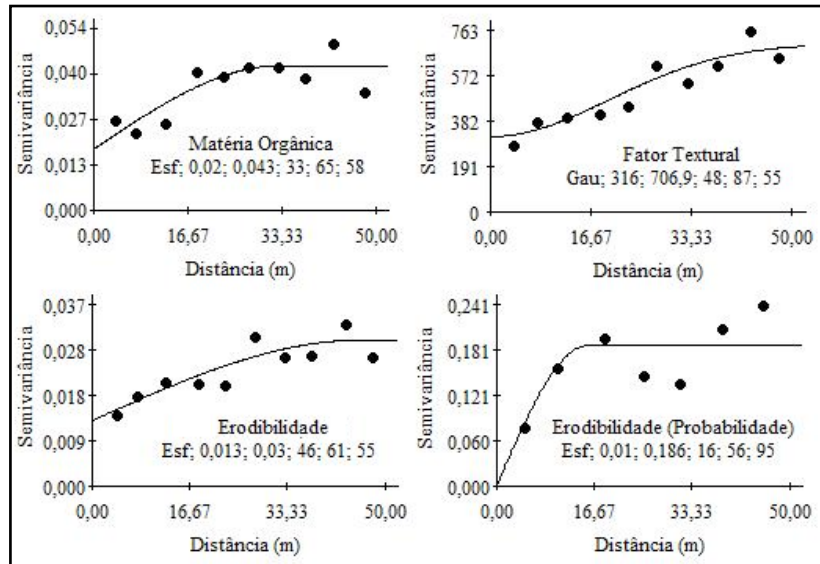


Figura 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas experimentais e o indicativo (efeito pepita; patamar; alcance, R^2 ; índice de dependência espacial) para as variáveis matéria orgânica, fração textural, erodibilidade e probabilidade da erodibilidade

O IDE, segundo classificação proposta por Zimback (2001), foi alto apenas para a probabilidade da erodibilidade (95%) e as demais variáveis apresentaram IDE médio, variando de 55 a 58%.

Após definição dos modelos e parâmetros dos semivariogramas, os dados foram interpolados por meio

da *krigagem* ordinária e *krigagem* indicativa para mapear a erodibilidade do solo, a probabilidade de ocorrência, o teor de matéria orgânica, fator textural e as frações granulométricas que controlam o potencial dos solos em suportar a ação dos agentes erosivos. Esses mapas estão apresentados nas Figuras 4 e 5.

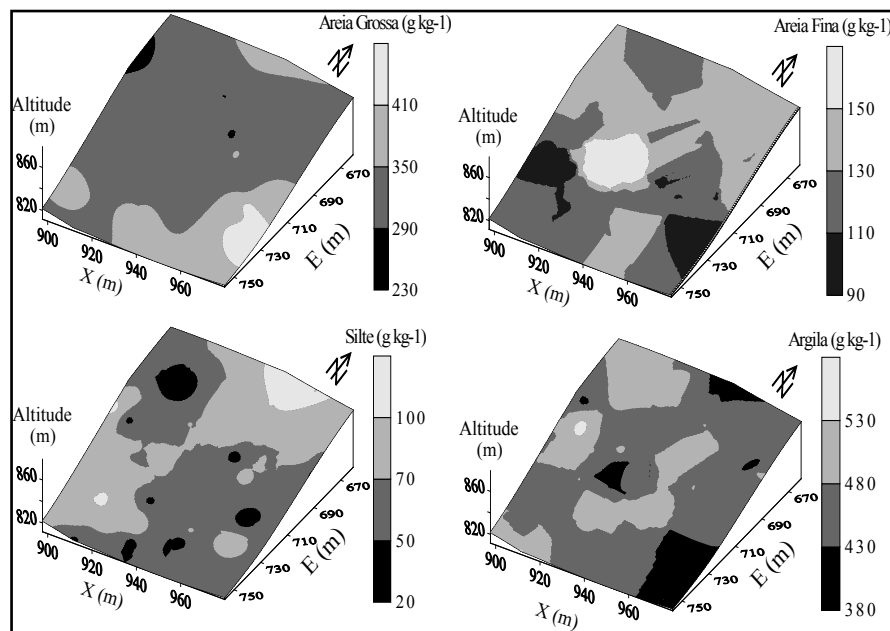


Figura 4. Distribuição espacial das frações granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila) na área em estudo

Analisando os mapas, observa-se a distribuição espacial das frações na área de estudo, com grande amplitude nas variáveis e a influencia da declividade sobre sua distribuição.

Os maiores valores de areia grossa são encontrados na porção inferior direita da área sendo que a maior totalidade da área apresenta valores entre 290 a 350 g kg⁻¹, enquanto que a areia fina tem seus maiores valores na porção superior direita da área. A argila tem distribuição mais descontinua

com maior proporção da área com valores entre 430 e 480 g kg⁻¹, enquanto a maior parte da área do silte apresenta concentrações entre 50 a 100 g kg⁻¹.

Nos mapas apresentados na Figura 5, observa-se que a maior proporção da área em estudo apresenta teor de matéria orgânica no intervalo de 3,7 a 3,9 dag kg⁻¹, o que, segundo Ribeiro et al. (1999), é classificado como média concentração para essa variável nos solos do Estado de Minas Gerais.

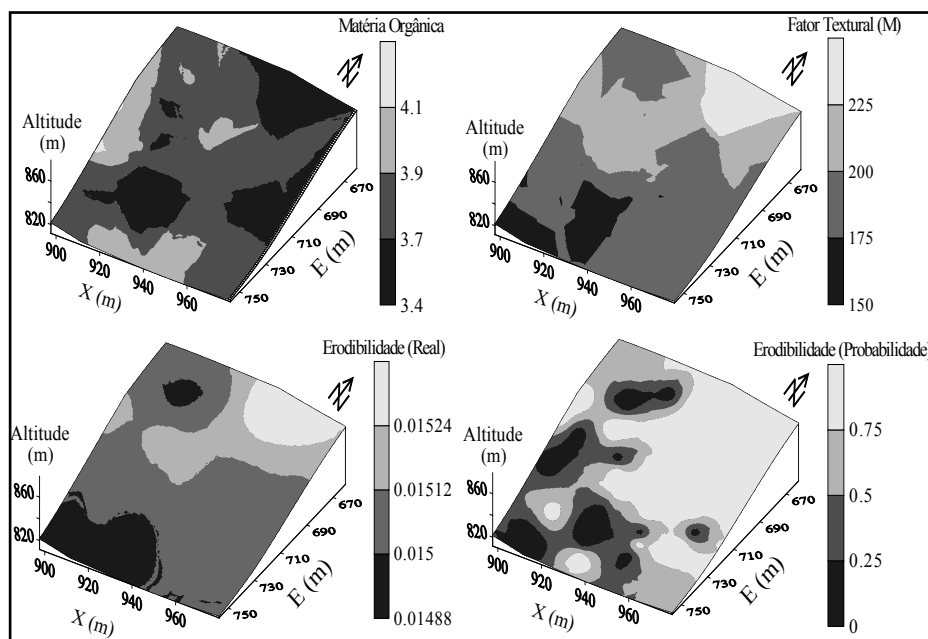


Figura 5. Mapas de *krigagem* ordinária das variáveis matéria orgânica (dag kg⁻¹), fração textural e erodibilidade (t h MJ⁻¹mm⁻¹) e de *krigagem* indicativa da variável erodibilidade (%).

O fator textural, que envolve a relação entre os teores de silte, areia fina e argila, têm seus maiores valores nas porções superiores da área. Tal distribuição para esse fator está sendo controlada, no caso em questão, pelos teores de silte e de areia fina já que os seus valores são igualmente maiores na porção mais alta da área. Os teores dessas frações são capazes de neutralizar o efeito da argila na agregação do solo, sendo decisivos no comportamento da erodibilidade, a qual é igualmente maior na porção superior da área e, conseqüentemente, menor nas porções mais inferiores. Inácio et al. (2007) também observaram aumento na suscetibilidade do solo à erosão com o aumento dos valores das classes de declividade do terreno.

A estrutura da paisagem, ou a organização espacial de diferentes unidades de paisagens, tem um impacto relevante na erosão (SPAROVEK & SCHUNG, 2001), sendo que esta aumenta das pedoformas côncavas para as convexas, passando pela linear (caso em questão) que apresenta maior estabilidade (SOUZA et al., 2003).

No mapa de *krigagem* indicativa percebe-se que na maior parte da área a probabilidade de encontrar valores de erodibilidade acima do tolerado para latossolos é maior que 50%, ou seja, a probabilidade de suscetibilidade natural dos solos à erosão hídrica na área é elevada em quase a sua totalidade, principalmente na parte superior. Entretanto, esse fato só pode ser observado com a utilização de técnicas de geoestatística, uma vez que, somente o conhecimento da distribuição dos valores de um atributo pelo mínimo, máximo, média e desvio-padrão não fornece informações sobre a variabilidade e as incertezas dos dados com relação às coordenadas da área que está sendo amostrada (FELGUEIRAS, 1999).

Os resultados da análise espacial, indicando diferenças na resistência do solo à erosão, enfatizam a necessidade de conhecimento da capacidade resistiva dos solos (GRIEBELER et al., 2005) e também de sua distribuição na paisagem, de forma a promover alterações nos sistemas de cultivo, sempre com o intuito de explorar sustentavelmente os recursos naturais.

CONCLUSÕES

- O valor médio de erodibilidade encontra-se acima do tolerado para latossolos, sugerindo necessidade de medidas de proteção do solo de forma a suavizar os efeitos dos demais agentes erosivos;
- Na maior proporção da área a probabilidade de encontrar valores de erodibilidade acima do tolerado para latossolos é maior que 50%, ou seja, a probabilidade de suscetibilidade natural dos solos à erosão hídrica na área é elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.136-141, 2002.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F.L.; COGO, N.P.; PAZ GONZÁLEZ, A. Erodibilidade de um Nitossolo háplico Alumínico determinada em Condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.541-549, 2007

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 278 p.

BONISCH, S., ASSAD, M.L. Lopes, MONTEIRO, A.M.V.; CAMARA, G. Representação e propagação de incertezas em dados de solo: II - Atributos numéricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, n.1, p.33-47, 2004.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. In.: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H.V. (Ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, MG. 1999. 359p.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5,

p.743-753, 2003.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise de redistribuição do “Fallout”, do ¹³⁷Cs**. Piracicaba, 2003. 79 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FELGUEIRAS, C.A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. 1999. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). São José dos Campos – INPE

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. Maringá. **Acta Scientiarum**. v.23, n.5, 2001.

GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; MEHL, H.U.; SILVA, D.D.; OLIVEIRA, L.F.C. Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.166-170, 2005.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, Brasília, 1988. 145p.

INÁCIO, E.S.B.; CANTALICE, J.R.B.; NACIF, P.G.S.; ARAUJO, Q.R.; BARRETO, A.C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do

Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.355-360, 2007.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.660-670, set./dez. 2005.

KUHN, N.J.; BRYAN, R.B. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two **Ontario soils**. *Catena*, v.57, n.3, p.113-133, 2004.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. *Krigagem* indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. DGA, IGCE, UNESP / Rio Claro, Lab. Geomatemática, **Texto Didático** 06, 19 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 23 mai. 2008

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum** Maringá, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, jun. 2000.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R. B.; SOUZA, G.S.; SILVA, M.A. Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.4, p.335-342, Out.-Dez., 2007.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

v.27, n.2, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, Z.M. de; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.105-114, 2005

SPAROVEK, G.; SCHUNG, E. Soil tillage and agriculture. A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. **Soil & Tillage Research**, v.61, n.1, p.47-54, 2001.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

WANG, G.; FANG, S.; SHINKAVERA, S.; GERTNER, G.; ANDERSON, A. Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the resided universal soil loss equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.1, p.109-18, 2002.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.W. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n.5, p.189-193, 1971.

ZARTL, A. S.; KLIK, A.; HUANG, C. Soil detachment and transport processes from interrill and rill areas. **Physical Chem, Earth**, v.26, n.4, p.25-26, 2001.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2001.

USDA - United States Department of Agriculture (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Government Printing Office: **Agriculture Handbook** 537, 58p.