



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.  
INFLUÊNCIA DO RELEVO E EROSÃO NA VARIABILIDADE ESPACIAL DE UM LATOSOLO EM  
JABOTICABAL (SP)

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 27, núm. 6, noviembre-diciembre, 2003, pp. 1067-1074  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214033011>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **INFLUÊNCIA DO RELEVO E EROSÃO NA VARIABILIDADE ESPACIAL DE UM LATOSOLO EM JABOTICABAL (SP)<sup>(1)</sup>**

**C. K. SOUZA<sup>(2)</sup>, J. MARQUES JÚNIOR<sup>(3)</sup>,  
M. V. MARTINS FILHO<sup>(3)</sup> & G. T. PEREIRA<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

**Com o objetivo de avaliar as relações entre formas de paisagem e erosão em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) por meio de técnicas geoestatísticas na Fazenda Santa Isabel, município de Jaboticabal (SP), identificaram-se modelos de paisagem côncavo e linear. Coletaram-se amostras de solo em ambas as formas de paisagem em uma malha regular espaçada de 50 x 50 m em sete transeções na profundidade de 0,00-0,20 m, totalizando 412 pontos em 93 ha. Determinou-se a erodibilidade dos solos pelo método indireto, granulometria, bem como o carbono orgânico para cada ponto da malha, sendo esses valores usados na estimativa do potencial natural de erosão (PNE). Os dados obtidos das propriedades de solo, erodibilidade e potencial natural de erosão foram analisados por meio de estatística descritiva e geoestatística com a modelagem de semivariogramas, sendo este utilizado para a confecção de mapas de krigagem. Segundo os resultados, as propriedades do solo e do PNE apresentaram maior variabilidade espacial na pedoforma côncava, apesar de esta forma de paisagem apresentar menores perdas de solo por erosão e menor variabilidade espacial da erodibilidade. Deste modo, conclui-se que a erosão não adicionou variabilidade espacial para as propriedades do solo na mesma magnitude do relevo.**

**Termos de indexação: forma de paisagem, relação solo-paisagem, potencial natural de erosão, erodibilidade.**

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Com bolsa da CAPES e apoio financeiro da FUNDUNESP. Recebido para publicação em dezembro de 2002 e aprovado em outubro de 2003.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: cleber@unicor.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. E-mail: marques@fcav.unesp.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. E-mail: genertp@fcav.unesp.br

**SUMMARY:** *INFLUENCE OF THE RELIEF AND EROSION IN THE SPACE VARIABILITY OF AN OXISSL IN JABOTICABAL, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL*

*The aim of this work was to evaluate the relations between landforms and soil erosion of an Oxisol with geostatistical techniques in Jaboticabal (SP), Brazil, in two landform models: concave and linear. Soil samples were collected from both landforms at a depth of 0-20 cm, in a regular 50 x 50 m mesh of seven transects, at totally 412 grid points within an area of 93 ha. Physical and chemical properties were determined at each point and used to estimate the soil erodibility by indirect methods and, consequently, the erosion potential. Descriptive statistics and geostatistics were applied to the physical and chemical values of soil erodibility and erosion potential in order to compute mean, semivariograms and kriging interpolation. Soil properties as well erosion potential demonstrated greater spatial variability in the concave landform, while erodibility presented a lower spatial variability in this form. Therefore, we conclude that erosion did not affect the spatial variability of soil attributes when the same landform is considered.*

*Index terms:* *form of landscape, soil-landscape relationship, natural potential of erosion, erodibility.*

## INTRODUÇÃO

O estudo das formas de relevo que influenciam o escoamento da água em diferentes trajetórias sobre o terreno é fundamental para o entendimento e quantificação da erosão e da variabilidade das principais propriedades dos solos. Deste modo, pode-se afirmar que a erosão é controlada pelo relevo, enquanto as diferentes trajetórias do fluxo da água, em diferentes formas de paisagem, é agente causador de variabilidade (Souza, 2001), podendo interferir na produtividade das culturas (Stone et al., 1985; Daniels et al., 1987; Sparovek & Schung, 2001).

A estrutura da paisagem, ou a organização espacial de diferentes unidades de paisagens, tem um impacto relevante na erosão. Entretanto, os modelos atuais de erosão enfatizam muito o aspecto da variabilidade temporal e destacam pouco os estudos que consideram a variabilidade espacial das propriedades do solo ligadas à erosão (Oost et al., 2000). Todavia, a variabilidade de alguns atributos das paisagens são relevantes no entendimento das formas de erosão. Assim, a influência da variabilidade da paisagem não é estudada em detalhes. Alguns trabalhos têm demonstrado que a variabilidade da erosão está diretamente relacionada com a variabilidade das propriedades do solo e que estas variam com a forma da paisagem (Cunha, 2000; Pocay, 2000).

A demanda por modelos que permitam estimar a erosão hídrica causada pelo uso do solo é crescente. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), é considerada um dos mais eficientes modelos de estimativas de perdas de solo e a mais utilizada no mundo. Nesta equação, os fatores naturais mais importantes estão ligados ao clima, solo e morfologia

do terreno, e os fatores antrópicos relacionam-se com a ocupação das terras e com as características de cada cultivo.

Dentre os fatores da EUPS, destaca-se o fator topográfico (LS), um dos principais responsáveis pelas perdas de solo (Franzmeier, 1990), que representa o efeito combinado do comprimento e grau de declive da encosta. Na determinação do fator LS, pode-se levar em consideração, ainda, a forma da encosta. Assim, o entendimento das formas da paisagem poderá auxiliar na identificação das rotas preferenciais dos fluxos de água, bem como no entendimento da variabilidade espacial das propriedades do solo (Souza, 2001).

Segundo Resende (1985), a erosão dos solos aumenta daspedoformas côncavas para as convexas, passando pela linear que apresenta maior estabilidade. Para esse mesmo autor, as formas côncavas apresentam ineficiente remoção de sedimento, principalmente na base de suas encostas, sendo forma de maior convergência de água, enquanto a forma convexa apresenta maior divergência.

A quantificação da erosão associada às formas de paisagem tem apresentado subsídios para a determinação de zonas específicas de manejo. Tais informações poderão ser transferidas para formas de paisagens semelhantes. Segundo Stone et al. (1985) o efeito da erosão na produção das culturas é, muitas vezes, confundido com aquele relativo à posição da paisagem na erosão do solo, assim o estudo da paisagem e da erosão não devem ser excludentes (Kreznor et al., 1989).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações entre formas de paisagem e erosão, expressas pela curvatura do terreno e potencial natural de erosão (PNE), por meio de técnicas geoestatísticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Fazenda Santa Isabel, no município de Jaboticabal (SP), situada na província geomórfica das Cuestas Basálticas, limite com o Planalto Ocidental Paulista, cujo relevo predominante é suave ondulado com altitude média de 600 m, situada nas coordenadas geográficas 21° 17' a 21° 18' S e 48° 08' a 48° 10' W. O clima foi classificado, segundo Köepen, como sendo do tipo Aw, definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco com temperatura variando de 19,1°, no mês mais frio, a 24,8°, no mês mais quente.

Os solos na área foram classificados como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) (EMBRAPA, 1999), desenvolvidos de rochas máficas notadamente basalto sendo a área de estudo dominada por cultivo intensivo de cana-de-açúcar por mais de 60 anos consecutivos.

A região foi percorrida para identificação dos modelos de paisagem de maior ocorrência. Deste modo, escolheu-se uma área contínua, caracterizada por apresentar duas pedoformas (côncava e linear) segundo classificação de Troeh (1965). A pedoforma côncava ocorre na posição de topo, e a linear grada para o aluvílio do rio Mogi Guaçu (Figura 1).

A erosão em ambas as pedoformas foi estimada a partir da coleta de amostras de solos em uma malha regular, a uma profundidade de 0,00-0,20 m, num total de 122 pontos na pedoforma côncava (300 x 850 m) e 290 pontos na pedoforma linear (300 x 2.250 m), totalizando, na área de 300 x 3.100 m, 412 pontos amostrais espaçados de 50 x 50 m, abrangendo 93 ha. As amostras foram secas ao ar, destoroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura.

A análise granulométrica dos solos foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, como dispersante químico, e agitação mecânica de baixa rotação por 16 h. As frações que englobam partículas maiores que 0,1 mm foram separadas por peneiramento (peneira de 0,105 mm), e as frações de tamanho menor por

sedimentação, segundo a lei de Stockes. A fração areia (2,0 a 0,053 mm) foi subdividida em cinco classes: areia muito grossa (2,0 a 1,0 mm), areia grossa (1,0 a 0,5 mm), areia média (0,5 a 0,25 mm), areia fina (0,25 a 0,105 mm) e areia muito fina (0,105 a 0,053 mm), sendo o silte determinado por diferença. Determinou-se o carbono orgânico pelo método proposto por Raij et al. (1987).

O potencial natural de erosão (PNE) foi determinado, como proposto por Wischmeier & Smith (1978), do seguinte modo:

$$PNE = R \cdot K \cdot LS \quad (1)$$

em que R é a erosividade ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), K é a erodibilidade ( $t \text{ h } MJ^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) e LS é o fator relevo.

Para estimar a erosividade da chuva em Jaboticabal (SP), fator R, foram utilizados dados de precipitação relativos a um período de 30 anos, conforme a equação proposta por Lombardi Neto et al. (2000):

$$EI = 89,823 (r^2/P)^{0.759} \quad (2)$$

em que EI = média mensal do índice de erosão ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); r = precipitação média mensal (mm) e P = precipitação média anual (mm).

Para estimar a erodibilidade, fator K, utilizou-se a equação proposta por Denardin (1990), como se segue:

$$K = 0,00000748M + 0,00448059P - 0,06311750X27 + 0,01039567X32 \quad (3)$$

em que M é o produto da % do "novo silte" pela soma da % da "nova areia" mais "novo silte"; P é a permeabilidade, X27 é o diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2 mm, expresso em mm, e X32 é o produto entre o teor de matéria orgânica e o teor da "nova areia", determinada pelo método da pipeta.

Para determinar o fator topográfico, fator LS, utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1978) do seguinte modo:

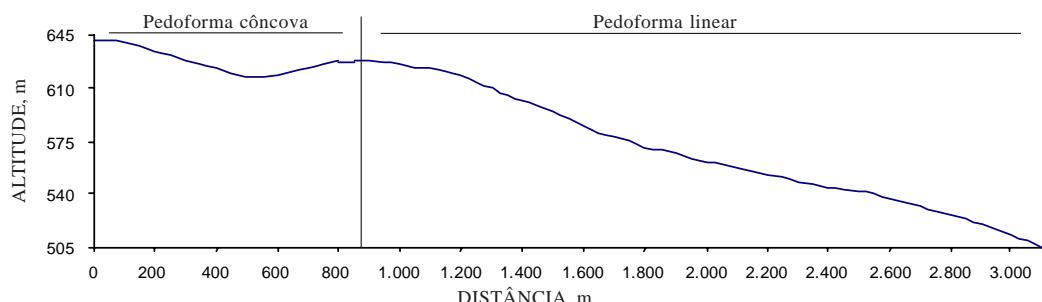


Figura 1. Perfil altimétrico, abrangendo as pedoformas, côncava e linear, da área em estudo, segundo a classificação de Troeh (1965).

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \left( 65,41 \text{sen}^2 \theta + 4,56 \text{sen} \theta + 0,065 \right) \quad (4)$$

em que  $\lambda$  é o comprimento de rampa, sendo, para o presente estudo, de 50 m,  $m$  é o expoente que é função da declividade,  $\theta$  é o ângulo do declive em graus. Determinaram-se a declividade e o comprimento da rampa para uso da Equação 4. A declividade foi avaliada diretamente em mapa planialtimétrico com escala horizontal de 1:10.000. O comprimento da rampa foi estabelecido como sendo à distância entre os pontos amostrados nas transeções (50 m) com valores de cotas de 5 em 5 m.

Foram realizadas as análises estatísticas descritivas dos dados obtidos (média, variância, erro-padrão, coeficiente de (variação, assimetria e curtose) e teste de normalidade) para as diferentes pedoformas estudadas, utilizando-se o programa estatístico SAS (1995).

Determinaram-se as classes de variabilidade, segundo o coeficiente de variação: altas, aquelas que foram maiores que 24%; médias, entre 12 e 24%, e baixas, aquelas menores que 12%, assim classificadas, segundo os critérios propostos por Warrick & Nielsen (1980).

Cada propriedade do solo foi submetido ao ajuste de modelos matemáticos para a definição dos semivariogramas pelo programa VARIOWIN 2.2 (Pannatier, 1996). Posteriormente, tais modelos, conjuntamente com técnicas de interpolação de dados, foram usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem) com o uso do programa SURFER 6.01 (1995) para melhor representação e visualização dos resultados obtidos.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados para as propriedades analisadas informam que areia muito grossa, matéria orgânica, erodibilidade (na pedoforma côncava) e silte (nas duas pedoformas) apresentaram distribuição normal (Quadro 1). Apesar de o solo e as práticas de manejo serem considerados os mesmos para toda a área, a forma do relevo e a declividade são variáveis, influenciando a distribuição das propriedades analisadas. Resultados semelhantes às distribuições de normalidade para as propriedades analisadas foram observados por Libardi et al. (1996); Souza et al. (1996) e Vieira (1997).

**Quadro 1. Estatística descritiva para as propriedades granulométricas, matéria orgânica, PNE e erodibilidade (K) em ambas as pedoformas na profundidade de 0,00-0,20 m**

Propriedade	Pedoforma	Nº	Média	Variância	Erro-padrão	Coeficiente			Teste W	Distribuição
						Variação	Assimetria	Curtose		
AMG g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	20,9	0,450	0,060	32,02	-0,207	-0,528	0,1030	N
	Linear	290	22,4	0,444	0,039	29,63	0,704	1,969	0,0045	LN
AM g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	35,9	12,354	0,318	97,85	1,836	2,826	0,0001	n
	Linear	290	18,4	0,788	0,052	48,21	3,572	26,941	0,0001	n
AF g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	76,4	14,172	0,340	49,25	2,566	9,003	0,0001	n
	Linear	290	78,8	19,939	0,262	56,62	2,337	6,211	0,0001	n
AMF g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	53,5	2,327	0,138	28,51	0,982	4,408	0,0001	*LN
	Linear	290	54,7	3,878	0,115	35,98	1,619	3,048	0,0001	*LN
Silte g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	151,0	9,978	2,285	20,91	0,188	1,920	0,5720	N
	Linear	290	185,3	15,035	0,227	20,91	-0,277	0,188	0,2331	N
Argila g kg <sup>-1</sup>	Côncava	122	661,5	48,314	0,629	10,50	-1,341	2,320	0,0001	*LN
	Linear	290	640,1	35,082	0,347	9,25	-1,831	4,824	0,0001	n
MO g dm <sup>-3</sup>	Côncava	122	27,05	21,414	0,417	17,10	-0,188	0,102	0,6146	N
	Linear	290	28,75	15,824	0,233	13,83	-0,361	1,239	0,0161	*N
PNE t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Côncava	122	22,66	306,642	1,585	77,26	2,054	7,759	0,0001	*LN
	Linear	290	57,67	1174,813	2,012	59,42	1,089	1,641	0,0001	*LN
K t h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	Côncava	122	0,010008	4,162 e-6	0,000185	22,38	0,891	2,899	0,0504	N
	Linear	290	0,010125	5,870 e-6	0,000144	23,93	1,323	4,056	0,0001	n

W = teste de normalidade; N = distribuição normal, LN = distribuição log-normal, \*LN = tendendo à distribuição log-normal e n = distribuição não definida entre as duas citadas. AMG = areia muito grossa, AM = areia média, AF = areia fina e AMF = areia muito fina.

Observa-se que a variabilidade medida pelo coeficiente de variação (Quadro 1), em ambas as pedoformas, foi enquadrada em três classes, sendo alta para areia muito grossa, areia média, areia fina, areia muito fina e PNE (28,51 a 77,26 %), seguido por um grupo intermediário: silte, matéria orgânica e erodibilidade (13,83 a 23,93 %) e apenas argila enquadrou-se no grupo de baixa variabilidade.

Alguns autores têm associado valores altos de CV a uma maior variabilidade das propriedades do solo (Libardi et al., 1996; Souza et al., 1997ab; Carvalho et al., 1998). Portanto, com a obtenção da estimativa dos valores da média, variância e coeficiente de variação, podem-se avaliar os dados com maior confiabilidade, podendo indicar, por meio do coeficiente de variação, classes de variabilidade ou maior e menor homogeneidade das propriedades do solo avaliadas.

Dentre as propriedades analisadas, observa-se que a maioria apresenta CV mais elevado na pedoforma côncava, exceto areia fina, areia muito fina e erodibilidade (Quadro 1). Isto pode ser explicado pela maior proximidade desta área ao depósito arenítico no topo da paisagem. Por outro lado, os maiores valores de CV para o PNE na pedoforma côncava indicam a ocorrência de erosão diferenciada, uma vez que as maiores perdas de solo encontram-se na pedoforma linear (57,67 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Esta erosão

diferenciada é explicada pela maior convergência de água e ineficiente remoção de sedimentos, características de formas côncavas (Resende, 1985).

Para os valores médios das propriedades areia muito grossa, areia fina, areia muito fina, silte, argila e matéria orgânica, observa-se pouca diferença, com exceção da areia média, que, na pedoforma côncava, é maior quando comparada à pedoforma linear (Quadro 1). A proximidade dos valores médios das propriedades químicas e granulométricas comprova a homogeneidade dos solos (mesma classe).

Observa-se também que os valores médios de PNE e erodibilidade são maiores na pedoforma linear, indicando ser esta forma de paisagem mais suscetível à erosão, quando comparada à da pedoforma côncava, o que está de acordo com Daniels et al. (1987); Kreznor et al. (1989); Resende et al. (1992). Deste modo, a remoção de partículas de solo e água é diferente de acordo com a forma da vertente. Na literatura, são raros os trabalhos que abordam o efeito da forma do declive na erosão (Martins Filho, 1999). Talvez, por essa razão, a sua influência na erodibilidade venha sendo desconsiderada nos modelos propostos para avaliação da erosão.

O quadro 2 apresenta as propriedades dos modelos dos semivariogramas ajustados para os valores das frações granulométricas, matéria orgânica, PNE e erodibilidade.

**Quadro 2. Avaliação geoestatísticas das propriedades granulométricas, matéria orgânica, PNE e erodibilidade (K) em ambas as pedoformas na profundidade de 0,00-0,20 m**

Propriedade	Pedoforma	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	[C <sub>0</sub> /C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> ] 100	A <sub>0</sub>	IMA
					%	m	
AMG	Côncava Linear	Esférico E. Pepita	0,17 0,38	0,31 --	35,41 --	270,57 --	2,3203 E-03 1,0761 E-02
AM	Côncava Linear	Potência Gaussiano	0,00 0,23	-- 0,45	-- 33,82	-- 514,75	8,5037 E-03 9,3909 E-04
AF	Côncava Linear	Potência Gaussiano	2,99 5,40	-- 7,60	-- 41,53	-- 409,15	1,7487 E-02 2,6361 E-03
AMF	Côncava Linear	Gaussiano Esférico	0,57 0,27	1,99 3,31	22,26 7,54	244,20 422,40	6,8108 E-03 3,4373 E-03
Silte	Côncava Linear	Gaussiano Esférico	3,66 2,70	6,63 14,55	35,56 15,65	204,60 369,60	6,9105 E-03 7,5604 E-03
Argila	Côncava Linear	Esférico Potência	6,23 7,70	55,00 --	10,17 --	561,00 --	6,0821 E-03 8,9777 E-04
MO	Côncava Linear	Gaussiano Exponencial	12,76 11,51	10,58 4,8	54,67 70,57	396,00 396,00	6,0872 E-03 1,2677 E-03
PNE	Côncava Linear	Esférico Gaussiano	74,40 372,00	288,30 1200,00	20,51 23,66	310,20 653,40	3,9506 E-02 1,3135 E-03
K	Côncava Linear	Esférico Potência	1,45 E-06 2,03 E-06	3,24 E-06 --	30,85 --	296,97 --	9,3437 E-03 1,5574 E-03

C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>1</sub> = variança estrutural; [C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>].100 = grau de dependência espacial; A<sub>0</sub> = alcance; IMA = índice de melhor ajuste; AMG = areia muito grossa, AM = areia média, AF = areia fina e AMF = areia muito fina.

Areia muito fina, PNE (nas duas pedoformas) e silte na pedoforma linear apresentaram efeito pepita menor que 25 % do patamar, indicando forte dependência espacial. As demais propriedades apresentaram efeito pepita entre 25 e 75 % do patamar, indicando moderada dependência espacial. Observa-se também que, quanto maior foi a relação do efeito pepita com a variação estrutural ( $|C_0/C_0 + C_1| \geq 100$ ), maior foi o efeito pepita ( $C_0$ ), com exceção da matéria orgânica. Neste estudo, o grau de dependência espacial foi avaliado segundo os critérios adotados por Cambardella et al. (1994).

No geral, os menores alcances ( $A_0$ ) foram encontrados na pedoforma côncava, com exceção de areia muito grossa, argila e erodibilidade (Quadro 2), registrando a maior variabilidade espacial nessa pedoforma, concordando com os maiores valores de CV na pedoforma côncava (Quadro 1). Portanto, dentro da pedoforma côncava, para uma amostragem representativa da maioria das propriedades granulométricas, é necessária uma coleta de dados com até 204 m.

No presente estudo, nota-se que a variabilidade da erodibilidade (Quadro 2) comportou-se de forma variada, uma vez que a classe de solo é considerada a mesma em toda a área. Assim, esperava-se que a erodibilidade comportasse de forma similar. Segundo Wischmeier & Mannering (1969), a erodibilidade é específica para cada classe de solo. Portanto, a maior variabilidade da erodibilidade do solo na pedoforma linear é atribuída à forma da paisagem, uma vez que a variabilidade das propriedades de solo utilizado para a determinação da erodibilidade foi maior na pedoforma côncava.

O PNE apresenta maior variabilidade espacial na pedoforma côncava (Quadro 2), vindo confirmar a influência do relevo na distribuição espacial das propriedades do solo. Sendo a erodibilidade a susceptibilidade do solo em sofrer erosão, e tendo esta apresentado maior variabilidade na pedoforma linear, esperava-se que a variabilidade da perda do solo se comportasse de maneira similar. Porém, quando se estimou a variabilidade das perdas, essa foi maior na pedoforma côncava, sendo utilizados para tal determinação a erodibilidade e o fator topográfico.

Observa-se que, na posição onde ocorrem as maiores perdas por erosão (Quadro 1), não ocorrem as maiores variabilidades. Todavia, na posição onde ocorre a maior variabilidade do PNE, ocorrem as maiores variabilidades das propriedades estudadas (Quadro 2). Com isso, as propriedades químicas e granulométricas concordam com a maior variabilidade do PNE. Portanto, não é a quantidade de sedimentos erodidos a causa adicional de variabilidade, mas, sim, a forma como estes sedimentos saem do sistema.

Estes resultados mostram, em geral, que as propriedades do solo variam no espaço segundo um arranjo definido por diferentes fatores (manejo, erosão, paisagem, etc.) e que essa variabilidade depende muito mais da posição e forma da vertente do que do acaso. Deste modo, fica evidente a influência da pedoforma na variabilidade espacial das propriedades dos solos.

Na figura 2, são apresentados os mapas de krigagem que possibilitam melhor visualização da dependência espacial das propriedades do solo e da erosão. Observa-se que os mapas das propriedades do solo, na pedoforma côncava, apresentam menores espaçamentos entre linhas de contornos, portanto maior heterogeneidade, confirmando ser esta uma pedoforma cujas propriedades do solo apresentam maior variabilidade espacial, quando comparada à pedoforma linear.

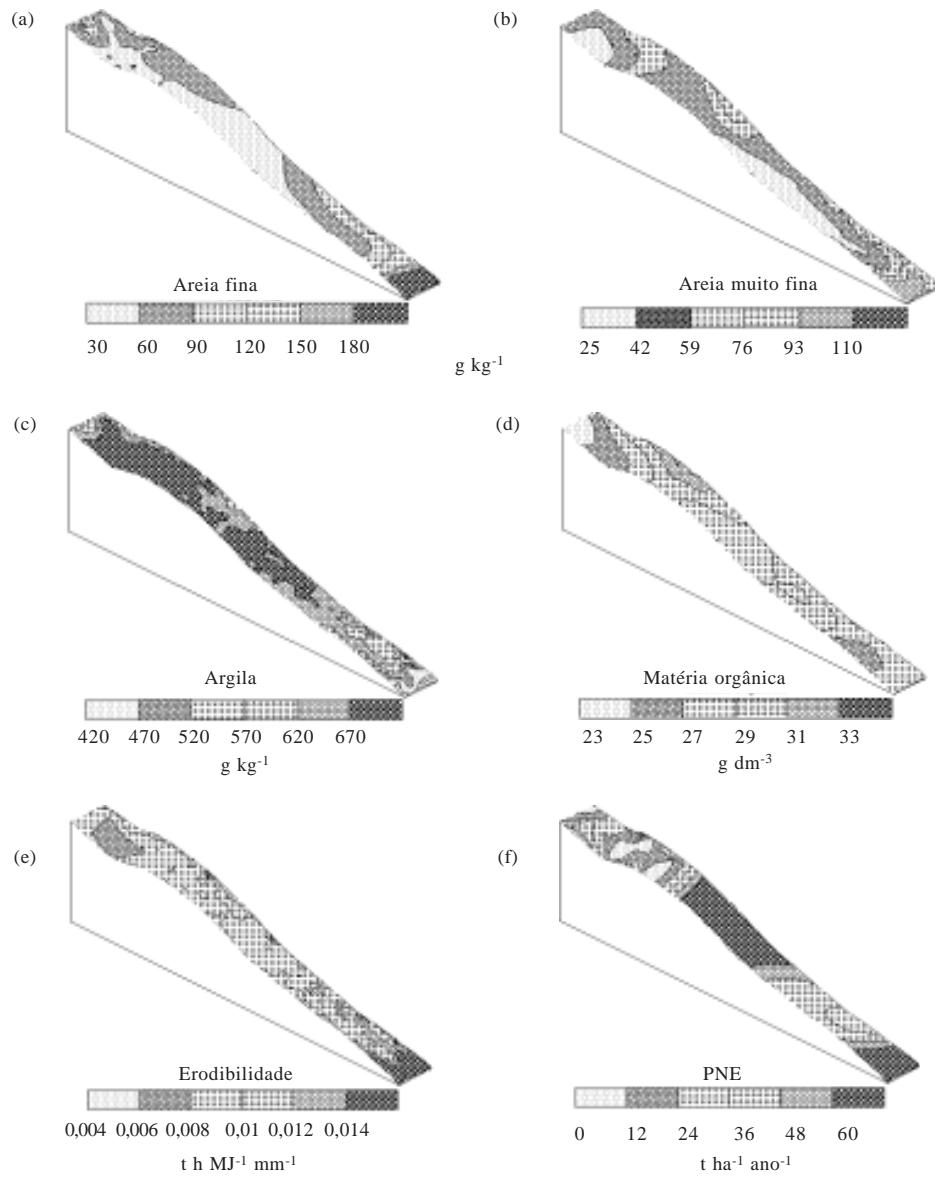
Nota-se que a erodibilidade varia segundo a forma da paisagem (Figura 2e). Deste modo, deve-se considerar a paisagem como fator relevante para o entendimento dos processos erosivos. Portanto, é importante a realização de trabalhos que visem obter maior entendimento dos fatores que influenciam a erodibilidade do solo, dentre eles a posição da paisagem (Franzmeier, 1990).

Assim, os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhantes, influenciados por formas de paisagem e declives diferenciados, apresentam padrões de variabilidade espacial das propriedades do solo também diferenciadas, onde o mapeamento dessas propriedades pela krigagem expressa essa premissa. Essas diferenças na distribuição espacial das propriedades do solo nas diferentes pedoformas estão associadas às variações no relevo, sendo este o principal responsável pelas maiores variabilidades na pedoforma côncava.

Utilizando estes mapas, obtêm-se informações que possibilitam entender melhor o padrão de distribuição espacial e definir diferentes zonas de manejo. Estes mapas podem ser de grande utilidade no planejamento experimental, sendo úteis também como ferramenta aos empresários que já fazem uso da agricultura de precisão.

## CONCLUSÕES

1. A erosão não adiciona variabilidade às propriedades do solo na mesma magnitude do relevo.
2. O potencial natural de erosão e a erodibilidade têm comportamentos diferenciais nas pedoformas lineares e côncavas.
3. A maioria das propriedades químicas e granulométricas apresenta maior variabilidade espacial na pedoforma côncava.



**Figura 2.** Mapas de Krigagem para os principais parâmetros de solos analisados nas pedoformas, côncava e linear: (a) areia fina; (b) areia muito fina; (c) argila; (d) matéria orgânica; (e) erodibilidade, e (f) pne.

4. As formas de paisagens e as perdas de solo são bons indicadores ambientais.

CARVALHO, O.S.; GASCÓ, J.M.; LOPÉZ, F.G. & REQUEJO, A.S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 22:497-503, 1998.

#### LITERATURA CITADA

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVACK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KNOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1240-1248, 1994.

CUNHA, P. Superfície geomórfica e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal, SP. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2000. 149p. (Tese de Doutorado)

DANIELS, R.B.; GILLIAN, J.W.; CASSEL, D.K. & NELSON, L.A. Quantifying the effect of past soil erosion on present soil productivity. J. Soil Water Conser., 42:183-187, 1987.

- DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1. p.545-566.
- DENARDIN, J.E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990, 122p. (Tese de Doutorado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FRANZMEIER, D.P. Soil landscape and erosion processes. In: LARSON, W.E., ed. *Proceedings of soil erosion and productivity workshop*. Bloomington, University of Minnesota, 1990. p.13-15.
- KREZNOR, W.R.; OLSON, K.R.; BANWART, W.L. & JOHNSON, D.L. Soil, landscape, and erosion relationships in Northwest Illinois Watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1763-1771, 1989.
- LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. & TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:1-12, 1996.
- LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F.F. & TEIXEIRA, A.F. Sistema para cálculo da erosividade da chuva para o estado de São Paulo. Viçosa, 2000. CD-ROM
- MARTINS FILHO, M.V. Modelagem do processo de erosão entre sulcos em Latossolos de Jaboticabal (SP). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 140p. (Tese de Doutorado)
- OOST, K. van; GOVERS, G. & DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape struture on soil erosion by water and tillage. *Land. Eco.*, 15:577-589, 2000.
- PANNATIER, Y. Variowin: software for spatial data analysis in 2D. New York, Springer-Verlag, 1996. 91p.
- POCAY, V.G. Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2000. 177p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química de solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 11:3-18, 1985.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. & LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influencia a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Campinas, Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.32-67.
- SAS INSTITUTE. *SAS/SAT user's guide: version 6*. Cary, 1995.
- SOUZA, C.K. Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2001. 186p. (Tese de Mestrado)
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:367-372, 1997a.
- SOUZA, L.S.; VIEIRA, S.R. & COGO, N.P. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:373-377, 1997b.
- SOUZA, L.S.; DINIZ, M.S. & CALDAS, R.C. Correção da interferência da variabilidade do solo na interpretação dos resultados de um experimento de cultivares/clones de mandioca. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:441-445, 1996.
- SPAROVEK, G. & SCHUNG, E. Soil tillage and agriculture. A theoretical case study for soil erosion control in brazilian sugar cane production. *Soil & Till. Res.*, 61:47-54, 2001.
- STONE, J.R.; GILLIAN, J.W.; CASSEL, D.K.; DANIELS, R.B.; NELSON, L.A. & KLEISS, H.J. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:987-991, 1985.
- SURFER for windows. Realese 6.01. Surface mapping system. Golden Software, 1995.
- TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. *Am. J. Sci.*, 263:616-627, 1965.
- VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas. *Bragantia*, 56:181-190, 1997.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of physical properties in the field. In: D. HILLEL, ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:131-137, 1969.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 57p. (USDA. Agricultural Handbook, 537).