



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

LIMA, P. M. P.; ANDRADE, H.  
ERODIBILIDADE ENTRESSULCOS E ATRIBUTOS DE SOLOS COM B TEXTURAL E B  
LATOSSÓLICO DO SUL DE MINAS GERAIS

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, núm. 2, 2001, pp. 463-474  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218429023>

- 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

# ERODIBILIDADE ENTRESSULCOS E ATRIBUTOS DE SOLOS COM B TEXTURAL E B LATOSSÓLICO DO SUL DE MINAS GERAIS<sup>(1)</sup>

P. M. P. LIMA<sup>(2)</sup> & H. ANDRADE<sup>(3)</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) de três solos de textura argilosa: Podzólico Vermelho-Escuro (PE) e Vermelho Amarelo (PV) e um Latossolo Roxo (LR), visando obter subsídios para a aplicação no modelo WEPP- Water Erosion Prediction Project - na região de Lavras (MG), bem como estudar a relação daquele parâmetro com alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos. Foi adotado um delineamento experimental do tipo blocos inteiramente casualizados com os três solos, quatro declives (15, 25, 35 e 45%), cinco intensidades de chuva simulada (60, 50, 70, 90 e 120 mm h<sup>-1</sup>), com umedecimento prévio das parcelas, e cinco repetições. Foram determinados os valores de  $K_i$ , usando as intensidades médias das chuvas, as declividades das parcelas e as taxas médias de erosão entressulcos nos diversos tempos de coleta do defluvio de cada chuva aplicada. Os resultados mostraram que o PV foi o solo que apresentou as maiores erodibilidades entressulcos ( $K_i$ ) seguido do PE e LR. As erodibilidades entressulcos determinadas foram:  $4,67 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup>, para o PE;  $6,85 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup>, para o PV, e  $3,38 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup>, para o LR. Os atributos do solo que melhor se correlacionaram com a erodibilidade entressulcos foram os teores de óxidos de ferro e caulinita, a argila dispersa em água, o volume total de poros, as densidades do solo e de partículas, os teores de matéria orgânica e de agregados < 0,105 mm de diâmetro.

**Termos de indexação:** erosão, chuva simulada, erodibilidade.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado, apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em março de 2000 e aprovado em dezembro de 2000.

<sup>(2)</sup> Engenheiro Agrícola do Ministério da Agricultura e do Abastecimento - Delegacia Federal de Agricultura em Minas Gerais. Caixa Postal 163, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: minagri@ufla.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

**SUMMARY: INTERRILL EROSION OF CLAYEY SOILS AND ITS CORRELATION WITH SOIL ATTRIBUTES IN OXIC AND TEXTURAL B HORIZONS FROM LAVRAS (MG), BRAZIL**

*The objectives of this work were to assess soil and water losses and determine interrill erodibility ( $K_i$ ) of three soils with clayey texture: Typic Rhodudult (PE), a Typic Hapludult (PV) and a Rhodic Hapludox (LR) for the application of the WEPP (Water Erosion Prediction Project) model in Lavras, Minas Gerais, Brazil and to evaluate the relationship between  $K_i$  and some physical, chemical and mineralogical soil properties and surface characteristics. The experiment was set in a completely randomized block design, consisting of three clayey soils, four slopes (15, 25, 35 and 45%), five simulated rainfall intensities (50, 60, 70, 90 and 120 mm h<sup>-1</sup>) and five replicates, and carried out under prewetted conditions. The  $K_i$  values were determined from the simulated rain intensities, plot declivities and interrill erosion rates across each simulated rain. The results showed that the PV had the highest interrill erodibility ( $K_i$ ) followed by the PE and LR. The interrill erodibility rates determined were:  $4,67 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup> for PE;  $6,85 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup> for PV and  $3,38 \times 10^5$  kg s m<sup>-4</sup> for LR. The soil parameters that showed the best correlation with interrill erodibility were iron oxide, caulinite, water dispersible clay, total volume of pores, bulk density, particle density, organic matter and aggregates < 0,105 mm.*

*Index terms: erosion, interrill erodibility, simulated rain.*

## INTRODUÇÃO

A determinação da erodibilidade, ou fator K dos solos, tem-se tornado necessária para alimentar modelos de perdas de solo, visando ao estabelecimento de um manejo conservacionista adequado para cada região.

A erodibilidade do solo tem sido avaliada, no decorrer dos últimos anos, por meio de modelos de predição de perdas cujos parâmetros são empíricos, como a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), que abrange globalmente a erosão entressulcos e em sulcos. Essa erodibilidade, entretanto, é considerada constante, quando o estado da arte a tem conceituado como uma propriedade dinâmica, alterável diante das modificações de superfície e dos atributos do solo.

Com o advento do modelo WEPP - Water Erosion Prediction Project (Elliot et al., 1989), baseado nos processos hidrológicos, tornou-se possível atender a esse novo conceito pela necessidade imposta de calibração, no campo, da erodibilidade entressulcos e em sulcos do solo em questão.

Esses parâmetros são influenciados por diversas propriedades superficiais e atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, os quais determinam a sua magnitude e cujo conhecimento revela a existência de uma diferenciação de valores entre as classes morfológicas dos solos, permitindo entender melhor o desenvolvimento de modelos de predição de perdas por erosão.

Dentre os atributos que influenciam a erodibilidade entressulcos, estão a textura, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados, teor de óxidos de Fe e Al, umidade do solo e mineralogia (Römkens et al., 1977; Meyer & Harmon, 1984; Line & Meyer, 1989; Bajracharya et al., 1992; Veiga et al., 1993; Levy et al., 1994; Heil et al., 1997; Martins Filho, 1999).

A influência da textura na erodibilidade dos solos tem-se manifestado de várias maneiras, podendo ser encontradas tanto correlações negativas (El-Swaify & Dangler, 1977; Meyer & Harmon, 1984; Levy et al., 1994), como positivas (Bajracharya et al., 1992) entre esses parâmetros. Veiga et al. (1993) e Martins Filho (1999) relataram uma relação inversa entre os teores de silte e de argila e a erodibilidade entressulcos. Os primeiros atribuíram aos efeitos da matéria orgânica e dos óxidos de ferro e alumínio a maior agregação e estabilidade do solo, o que leva à menor perda por erosão. Correlações significativas e positivas para estes parâmetros foram encontradas por Veiga et al. (1993) e Martins Filho (1999). Acredita-se que a argila dispersa em água (ADA), quando relacionada com o teor de argila do solo (ADA/Argila), seja o melhor índice para expressar a estabilidade dos agregados dos Latossolos estudados por Martins Filho (1999). Esse autor, a exemplo de Veiga et al. (1993), encontrou uma relação negativa da erodibilidade entressulcos com a ADA e positiva com a relação ADA/Argila.

Aggregação do solo, estabilidade dos agregados, teor de matéria orgânica, distribuição do tamanho

de partículas, dentre outros atributos, foram inversamente relacionados por Meyer & Harmon (1984) com a quantidade de solo erodido de áreas entressulcos, sendo verificado que, quanto mais agregados e estáveis em água, menor a susceptibilidade à erosão entressulcos. Esses autores constataram, ainda, que teores elevados de silte e baixa agregação foram atributos que favoreceram a erosão entressulcos, enquanto altos teores de argila levaram os solos a um comportamento inverso.

A erodibilidade também está associada à umidade antecedente do solo. Trabalhos de Ghidley & Alberts (1994) e Martins Filho (1999) evidenciaram uma relação linear negativa entre a erodibilidade entressulcos e o teor de umidade inicial, ocorrendo a partir da faixa de 4 a 15% de umidade, no caso dos primeiros autores.

Solos com baixa resistência mecânica estão sujeitos ao maior ângulo de salpico e ao maior efeito cisalhante do fluxo de água radial (Al-Durrah & Bradford, 1982). A resistência à penetração do solo (RP) tem sido utilizada como um índice de erodibilidade por alguns autores, como Formanek et al. (1984), e tem sido inversamente relacionada com a erodibilidade entressulcos (Al-Durrah & Bradford, 1982; Martins Filho, 1994), estando a umidade do solo intimamente relacionada com seus valores finais, de forma inversa (Al-Durrah & Bradford, 1982; Dias Júnior, 1994).

A estabilidade estrutural do solo, que determinará sua resistência ao efeito desagregador das gotas de chuva, dependerá também de seus atributos químicos e mineralógicos. O teor de matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e silício (Si) e mineralogia das argilas foram relacionados com a erodibilidade do solo por Silva (1994).

A participação efetiva dos óxidos de Fe e Al na agregação do solo foi reportada por autores como Roloff & Denardin (1994) e Pinheiro-Dick & Schwertmann (1996). A forma do Fe, se cristalina ou amorfa e mineralogia (Muggler, 1998) irá, também, diferenciar as perdas, tendo Heil et al. (1997) verificado melhor correlação do ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato ( $Fe_d$ ) com a resistência do solo. Segundo Silva et al. (1998), os óxidos de Al presentes na gibsita (Gb) da fração argila dos Latossolos favorecem sua maior agregação pela manutenção de uma estrutura microgranular, resultando em altos valores de permeabilidade (Resende et al., 1999).

Mais recentemente, Ferreira et al. (1999) relataram a maior influência do Al sobre as propriedades físicas associadas à estrutura dos Latossolos em relação ao Fe, tendo sido a gibsita e caulinita os constituintes mineralógicos de maior influência sobre aquelas propriedades na região Sudeste do Brasil, sobretudo a caulinita, que conferiu

a estes solos maior densidade, menor estabilidade dos agregados em água, macroporosidade e permeabilidade, tendo a permeabilidade aumentado com o teor de argila.

Outros parâmetros mineralógicos, tais como: a relação molecular  $ki$  ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) e  $kr$  ( $SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ), Fe-oxalato, Fe extraído pelo ataque sulfúrico, teores de caulinita e gibsita têm sido associados às perdas de solo (Römkens et al., 1977; Meyer & Harmon, 1984; Shadfan et al., 1985; Bissonais & Singer, 1993; Heil et al., 1997; Martins Filho, 1999).

O objetivo deste trabalho foi determinar a erodibilidade entressulcos de três solos da região de Lavras (MG) - Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Podzólico Vermelho-Escuro (PE) e Latossolo Roxo (LR), estudando as relações dessas erodibilidades com alguns de seus atributos físicos, químicos e mineralógicos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Lavras, estado de Minas Gerais, região do sul de Minas, nas coordenadas 21°5' de latitude sul e 45° de longitude oeste, em três áreas experimentais.

Para determinar a taxa de erosão e a erodibilidade entressulcos, tais áreas, mantidas sem vegetação, como descrito por Lafren et al. (1987), receberam, regularmente, tratos culturais e preparo (uma aração e duas gradagens leves), conforme Braida (1994).

Os solos estudados foram: Podzólico Vermelho-Amarelo, Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo, representantes das duas principais classes de solos agrícolas do Brasil, conforme Resende et al. (1988). Os atributos dos solos foram determinados por meio de análises físicas, químicas e mineralógicas nas amostras compostas, coletadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm da superfície, nas bordaduras das parcelas.

Uma seqüência aleatória de chuvas simuladas (Meyer, 1981; Martins Filho, 1999), com intensidades de aproximadamente 60, 50, 70, 90 e 120  $mmh^{-1}$  e duração de 60 min, para a primeira chuva, e 15 min, para as demais, foi aplicada nessas parcelas pré-umedecidas, utilizando um simulador de chuvas rotativo tipo Swanson (1965). A avaliação da precipitação em cada parcela, no raio de ação do simulador de chuva, foi feita, modificando-se o método proposto por Pereira & Molina (1986), pelo emprego da leitura direta de 40 pluviômetros instalados próximos a cada parcela.

A determinação da erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) e da infiltração de água no solo foi efetuada em 20 parcelas, com dimensões médias de 0,50 x 0,75 m,

com quatro declividades e cinco repetições para cada solo, tendo, na sua porção inferior, calhas coletoras de 0,75 m.

As amostragens das perdas de solo e a infiltração de água foram realizadas, combinando-se partes de diferentes métodos, descritos por Pereira et al. (1985), Laflen et al. (1987), Martins Filho (1987), Elliot et al. (1989), Martins Filho (1994) e Martins Filho (1999), coletando-se amostras do deflúvio no primeiro e no quinto minuto após o início da enxurrada, e, a partir daí, a cada cinco minutos, cronometrando-se o tempo de coleta. Posteriormente, as amostras foram levadas ao laboratório para quantificação das taxas de perdas de solo e água, conforme Vanoni (1975). A umidade gravimétrica foi determinada segundo EMBRAPA (1997), em amostras deformadas coletadas nas bordaduras das parcelas à profundidades de 0-20 e 20-40 cm, antes de cada chuva aplicada.

Na caracterização química e mineralógica, os óxidos do ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1997); o carbono orgânico, pelo método Walkey-Black (EMBRAPA, 1997), e a matéria orgânica, multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Os óxidos de ferro livres totais ( $\text{Fe}_d$ ) da fração argila foram extraídos, utilizando-se ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, segundo Mehra & Jackson (1960). Os óxidos menos cristalinos ( $\text{Fe}_o$ ) da fração argila foram extraídos segundo método de Schwertmann (1973). Caulinita e gibbsita foram quantificadas, na fração argila desferrificada, por meio de análise térmica diferencial (ATD).

Na caracterização física, a análise textural foi realizada conforme Boyoucos EMBRAPA (1997), utilizando  $\text{NaOH}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  como dispersante químico. As frações foram separadas com base na classificação proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), segundo Day (1965). A argila dispersa em água seguiu o método descrito por EMBRAPA (1997), enquanto a densidade do solo seguiu o de Blake & Hartge (1986a), utilizando amostras com estrutura natural coletadas em anéis volumétricos (amostrador de Uhland) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. A densidade de partículas foi determinada por meio do método do balão volumétrico, descrito por Blake & Hartge (1986b); o volume total de poros (VTP), segundo Danielson & Shutherland (1986), e a macro e microporosidade, por meio de amostras previamente saturadas durante 24 h, coletadas com estrutura natural nas bordaduras das parcelas, em anéis volumétricos, nos intervalos de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, utilizando-se unidade de sucção.

A percentagem de água retida nas amostras após o equilíbrio corresponde à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre o volume total de poros e a microporosidade (Grohman, 1960). Calculou-se o volume total de poros

bloqueados pela diferença entre o volume total de poros calculado e o volume total de poros determinado. Um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF (Stolf et al., 1983) foi utilizado na determinação da resistência do solo à sua penetração (RP) na camada de 0-60 cm de profundidade, usando programa computacional de Stolf (1991).

Para avaliar a umidade do solo durante os ensaios, utilizaram-se amostras deformadas, coletadas com um trado nos intervalos de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

A estabilidade do agregados foi determinada segundo Kemper & Rosenau (1986); por sua vez, o diâmetro médio ponderado (DMP) e o geométrico (DMG) foram calculados segundo Kemper & Rosenau (1984).

Para determinar a erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) dos solos estudados, foram usadas as intensidades médias das chuvas aplicadas, as declividades das parcelas e as taxas médias de erosão entressulcos nos diversos tempos de coleta durante cada chuva aplicada, após a estabilização da enxurrada. Foi usada a seguinte equação (Liebenow et al., 1990):

$$K_i = D_i / (I^2 S_p)$$

sendo:  $K_i$  = erodibilidade entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $D_i$  = taxa de erosão entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $I$  = intensidade de chuva ( $\text{m s}^{-1}$ );  $R$  = taxa de enxurrada ( $\text{m s}^{-1}$ );  $S_p = a - b e^{-a \text{sen} \theta}$ , em que  $a$  e  $b$  = constantes, e  $a$  = a base dos logaritmos naturais e  $\text{sen} \theta$  = seno do ângulo do declive em graus.

As correlações entre o  $K_i$  e os atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos foram feitas por meio do programa SAS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação das erodibilidades entressulcos ( $K_i$ )

Comparando os valores médios observados do  $K_i$ , apresentados no quadro 1, percebe-se ser o PV o solo mais suscetível à erosão entressulcos, seguido do PE e LR, respectivamente. As diferenças foram não-significativas entre os solos para os valores de  $K_i$ , pelo teste de Tukey a 5%, apenas para a chuva de 120  $\text{mm h}^{-1}$  (5<sup>a</sup> chuva), apresentando o PV sempre valores médios de  $K_i$  superiores aos dos outros dois solos. Martins Filho (1999) encontrou diferenças significativas para as chuvas de 62,4 e 98,6  $\text{mm h}^{-1}$  (1<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> chuvas) para Latossolos.

Os resultados do quadro 1 mostram, ainda, que os  $K_{is}$  das chuvas de 90 e 120  $\text{mm h}^{-1}$  (4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> chuvas) não diferiram do  $K_i$  da chuva de 60  $\text{mm h}^{-1}$  (1<sup>a</sup> chuva) para o PE e LR, portanto, para estes solos, a

erodibilidade entressulcos no fim da 5<sup>a</sup> chuva tende a se igualar aos valores da 1<sup>a</sup> chuva. Isto não ocorreu para o PV, provavelmente por causa da grande disponibilidade de areia para o pronto arraste pelo fluxo superficial, o que elevou os valores do seu  $K_i$  logo na primeira chuva.

Pode-se ainda observar que, para a chuva de 50 mm h<sup>-1</sup> (2<sup>a</sup> chuva), os solos apresentaram valores de  $K_i$  bem superiores em relação às demais. Considerando este fato e visando melhorar os coeficientes de correlação das equações de regressão para cada solo, optou-se por eliminar esta chuva do cômputo para a determinação do comportamento do  $K_i$  estimado.

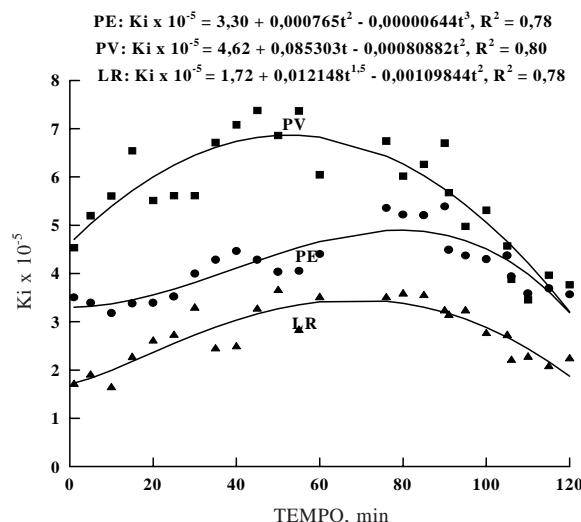
As equações de regressão [1], [2] e [3] ajustadas aos valores de  $K_i$  estimados e dos tempos de aplicação das chuvas podem ser vistas na figura 1. Os tempos em que ocorreram os valores máximos da erodibilidade entressulcos para os três solos foram equivalentes às intensidades de chuvas entre 50 e 70 mm h<sup>-1</sup>, confirmando o  $K_i$  como um atributo intrínseco ao solo, independentemente da intensidade de chuva aplicada.

A ordem de grandeza dos valores encontrados para os Podzólicos ( $K_i \times 10^5$ ) mostrou-se menor que a dos resultados obtidos por Rockenbach (1992), Braida & Cassol (1996) em Podzólicos do Rio Grande do Sul ( $K_i \times 10^6$ ). Para o Latossolo, a ordem de grandeza encontrada para o  $K_i$  foi inferior àquela estimada indiretamente por Angulo Filho et al. (1990) –  $K_i \times 10^6$  –, porém, concorda com o valor obtido por Martins Filho (1994). O clima úmido e as chuvas esparsas da região, condições que propiciam o ciclo de secagem e umedecimento do solo, favorecendo o selamento superficial (Römkens et al., 1990), assim como as diferenças geográficas e gênese dos solos, podem explicar a maior erodibilidade encontrada para o  $K_i$  em relação àqueles primeiros autores.

**Quadro 1. Valores médios observados de erodibilidades entressulcos ( $K_i$ ) para o PE, o PV e o LR**

Intensidade de chuva	Solo		
	PE	PV	LR
mm h <sup>-1</sup>	$K_i \times 10^5$ (kg s m <sup>-4</sup> )		
60,0	3,836 Bc	6,159 Ab	2,636 Bc
50,0	6,200 Ba	11,046 Aa	5,646 Ba
70,0	5,290 Aa	6,432 Ab	3,463 Bb
90,0	4,380 ABc	5,133 Abc	2,960 Bbc
120,0	3,693 Ac	3,766 Ac	2,194 Ac
Média	4,67	6,85	3,38

$K_i$  = erodibilidade entressulcos médias em kg s m<sup>-4</sup>. Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.



**Figura 1. Curvas de erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) versus o tempo (t) de aplicação das chuvas para o PE, PV e LR.**

Na figura 1, percebe-se uma tendência de inversão dos valores da erodibilidade entre os Podzólicos, a partir do final da última chuva (120 mm h<sup>-1</sup>), evidenciando que, uma vez instalado o processo erosivo no PE, com a destruição das forças que unem e cimentam os agregados, ele se torna mais vulnerável ao arrastamento das partículas pelo seu maior grau de arredondamento (Resende, 1995), passando as forças de resistência à erosão a serem governadas por outros atributos, como o teor de silte e susceptibilidade ao arraste das partículas (DMG e DMP), que propiciarão ao PV menores índices de erodibilidade.

#### Correlações entre os $K_{is}$ e os atributos do solo

Nos quadros 2,3,4 estão apresentados os resultados de alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos do PE, PV e LR, cujas correlações com os valores médios de erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) estão apresentadas no quadro 5.

Esses atributos, em sua maioria, explicam até 82% ( $r = 0,82$ ) das variações nos  $K_{is}$  e apenas cinco deles explicam menos de 50% destas variações. Tais correlações indicam, portanto, os atributos que mais influenciaram a erodibilidade entressulcos.

Os solos estudados são originários de gnaisses granodioríticos (associação de PE com PV) e rochas ultramáficas (gabro) no caso do LR (Lacerda, 1999), o que justifica os maiores teores de areia total, crescentes no sentido LR, PE, PV, principalmente de areia fina, que apresentou crescimento significativo neste sentido.

Com relação aos atributos físicos texturais para os solos estudados, a erodibilidade entressulcos

**Quadro 2. Análise granulométrica, resistência à penetração, volume total de poros, argila dispersa em água, relação ADA/A, densidade do solo, densidade de partículas, micro e macroporosidade do PV, do PE e do LR**

Solo Horizonte	Análise granulométrica (NaOH 1 mol L <sup>-1</sup> )								RP <sup>(9)</sup>	VTP <sup>(10)</sup>	ADA <sup>(11)</sup>	ADA/A <sup>(12)</sup>	Dp <sup>(13)</sup>	Ds <sup>(14)</sup>	MiP <sup>(15)</sup>	MaP <sup>(16)</sup>
	A <sub>total</sub> <sup>(1)</sup>	AMG <sup>(2)</sup>	AG <sup>(3)</sup>	AM <sup>(4)</sup>	AF <sup>(5)</sup>	AMF <sup>(6)</sup>	S <sup>(7)</sup>	A <sup>(8)</sup>								
g kg <sup>-1</sup>																
PE-A	397	35	124	113	97	28	145	460	5,74 <sup>6</sup>	0,5303	120	0,26	2,72	1,16	0,3087	0,2216
PE-B	282	8	83	92	73	26	152	570	5,74 <sup>6</sup>	0,5260	100	0,18	2,65	1,15	0,3057	0,2203
PV-A	472	49	120	126	148	29	125	400	3,86 <sup>5</sup>	0,4630	220	0,55	2,62	1,28	0,1932	0,2699
PV-B	357	24	81	103	124	25	106	540	3,86 <sup>5</sup>	0,4270	320	0,59	2,59	1,39	0,3340	0,9310
LR-A	333	10	94	112	95	22	250	420	1,81 <sup>4</sup>	0,5922	30	0,071	2,75	1,00	0,3517	0,2405
LR-B	353	9	114	118	91	21	232	420	1,81 <sup>4</sup>	0,5681	00	00	2,60	1,05	0,3658	0,2023

<sup>(1)</sup>A<sub>total</sub> = areia total. <sup>(2)</sup>AMG = areia muito grossa. <sup>(3)</sup>AG = areia grossa. <sup>(4)</sup>AM = areia média. <sup>(5)</sup>AF = areia fina. <sup>(6)</sup>AMF = areia muito fina. <sup>(7)</sup>S = silte. <sup>(8)</sup>A = argila. <sup>(9)</sup>RP = resistência à penetração : <sup>94</sup> = moderada (1-2 MPa - umidade = 0,17 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), <sup>95</sup> = alta (2-4 MPa - umidade = 0,19 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), <sup>96</sup> = muito alta (4-8 MPa - umidade = 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). <sup>(10)</sup>VTP = volume total de poros determinado. <sup>(11)</sup>ADA = argila dispersa em água. <sup>(12)</sup>ADA/A = argila dispersa em água/argila. <sup>(13)</sup>Dp = densidade de partículas. <sup>(14)</sup>Ds = densidade do solo. <sup>(15)</sup>MiP = microporos. <sup>(16)</sup>Map = macroporos.

**Quadro 3. Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), estabilidade dos agregados e umidade antecedente (UA) para o Latossolo Roxo (LR), Podzólico Vermelho-Escuro (PE) e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)**

Horizonte	DMG	DMP	Estabilidade do agregado - Tamanho (mm) - em %						UA
			7-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	< 0,105	
mm									
PE-A	0,3969	0,9718	12,12	6,52	17,04	23,68	27,44	13,20	0,28
PE-B	0,5617	1,1274	12,52	12,60	25,00	24,76	18,60	6,52	0,28
PV-A	0,4583	1,2997	19,28	7,48	13,84	21,92	19,68	17,80	0,26
PV-B	0,6395	1,1781	12,00	16,52	29,52	23,16	13,12	5,68	0,26
LR-A	3,1076	4,0442	77,48	8,76	6,48	3,56	1,64	2,08	0,39
LR-B	2,5940	3,5273	63,72	17,16	0,92	5,04	3,00	0,16	0,39

<sup>(1)</sup>Diâmetro médio geométrico. <sup>(2)</sup>Diâmetro médio ponderado. <sup>(3)</sup>Umidade antecedente do solo (média dos horizontes A e B das parcelas).

**Quadro 4. Teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraído pelo ataque sulfúrico (Fe<sub>s</sub>), pelo ditionito-citrato-bicarbonato (Fe<sub>d</sub>) e oxalato ácido de amônio (Fe<sub>o</sub>), teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, determinação das percentagens de caulinita (Ct) e gibsite (Gb) por ATD, relação Ct/(Ct + Gb), relação molecular ki e kr, relação Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e matéria orgânica (MO) para os solos estudados**

Solo Horizonte	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ct	Gb	Ct/(Ct + Gb)	ki	kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MO
	Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>											
g kg <sup>-1</sup>														
PE-A	126,0	60,97	2,68	197,3	293,8	16,52	0,5	400	173	0,70	1,14	0,90	3,66	3,1
PE-B	-	70,06	2,28	-	-	-	-	418	239	0,64	-	-	-	1,5
PV-A	56,8	36,84	2,16	190,7	295,8	9,56	0,17	437	189	0,70	1,10	0,98	8,17	2,4
PV-B	-	36,17	1,46	-	-	-	-	431	268	0,62	-	-	-	1,4
LR-A	187,9	110,52	4,48	186,2	261,6	19,55	0,42	332	196	0,63	1,21	0,83	2,19	3,1
LR-B	-	101,94	4,96	-	-	-	-	348	215	0,62	-	-	-	2,9

correlacionou-se negativa e significativamente com o teor de argila e silte. A correlação negativa com o silte pode ser explicada, para os declives acima de 35%, com base nas observações de Singer & Blackward (1982), que atribuíram aos curtos comprimentos de rampa das parcelas um predomínio dos efeitos erosivos do fino fluxo superficial d'água sobre o impacto desagregador da gota da chuva, fazendo com que os solos de textura mais fina resistam mais às forças de cisalhamento.

Veiga et al. (1993) também encontraram correlações significativas e negativas entre o  $K_i$  e aqueles parâmetros, porém atribuíram aos efeitos da matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio a maior agregação e estabilidade do solo e, consequentemente, uma menor perda por erosão. A correlação negativa com o teor de argila está de acordo com as observações de Meyer & Harmon (1984) e de Wischmeier et al. (1971), segundo os quais a erodibilidade tende a diminuir com o aumento do teor de argila do solo.

A argila dispersa em água (ADA) correlacionou-se significativa e positivamente ( $r = 0,82$ ) com a erodibilidade entressulcos, concordando com resultados de Wischmeier & Mannerling (1969) e Römkens et al. (1977). A relação ADA/Argila não demonstrou correlação direta com o  $K_i$ , apresentando-se baixa e negativa, contrariando resultados obtidos por Martins Filho (1999).

As correlações do  $K_i$  com as frações areia muito grossa até a fração areia muito fina mostraram-se significativas e diretas para os solos estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Veiga et al. (1993) e por Martins Filho (1999), trabalhando com chuvas simuladas em Latossolos. Wischmeier et al. (1971) relataram uma tendência de aumento da erodibilidade, com o aumento do teor de silte e areia muito fina, e de redução, com o aumento de areia com diâmetro maior que 0,1 mm e argila. Tal tendência pode ser confirmada, em parte, nos resultados apresentados no quadro 3, onde se observam valores decrescentes para os teores de areia muito fina, respectivamente, no sentido PV, PE e LR.

Essa tendência não foi verificada para os teores de silte, que apresentaram correlação negativa com o  $K_i$  ( $r = -0,76$ ). Todavia, a maior susceptibilidade à erosão entressulcos do PV em relação ao PE e ao LR pode estar relacionada com os níveis de outros atributos do solo (Wischmeier & Mannerling, 1969), tais como a ocorrência do horizonte B textural, teor de óxidos de ferro, além de ter sido observado pelos autores que a fração de areia muito fina tem o comportamento do silte, favorecendo o processo erosivo. A influência dessa fração na taxa de infiltração do solo, porém, foi considerada baixa por Heil et al. (1997).

Os óxidos do ataque sulfúrico correlacionaram-se significativamente com o  $K_i$ , sendo a correlação positiva para o  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  e negativa para o  $Fe_2O_3$ ,

**Quadro 5. Coeficientes de correlação entre erodibilidade entressulcos ( $K_i$ )<sup>(1)</sup> e atributos solo**

	<b>Atributo 1</b>	<b>Atributo 2</b>	<b>Correlação com <math>K_i</math><sup>(2)</sup></b>
Umidade antecedente-UA <sup>(2)</sup>	$K_i$	-0,69**	
Areia muito grossa (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,81**	
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,64**	
Areia média (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,75**	
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,74**	
Areia muito fina (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,75**	
Silte	$K_i$	-0,76**	
Argila	$K_i$	-0,29**	
Resist. à penetração (MPa)	$K_i$	0,41**	
VTP (%)	$K_i$	-0,82**	
Poros bloqueados	$K_i$	0,75**	
ADA (%)	$K_i$	0,82**	
ADA/Argila	$K_i$	-0,27**	
Dp (g cm <sup>-3</sup> )	$K_i$	-0,79**	
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	$K_i$	0,82**	
MiP (%)	$K_i$	-0,80**	
MaP (%)	$K_i$	0,51**	
DMG (mm)	$K_i$	-0,69**	
DMP (mm)	$K_i$	-0,65**	
EA <sub>1</sub> (mm)	$K_i$	-0,65**	
EA <sub>2</sub> (mm)	$K_i$	-0,45**	
EA <sub>3</sub> (mm)	$K_i$	0,54**	
EA <sub>4</sub> (mm)	$K_i$	0,66**	
EA <sub>5</sub> (mm)	$K_i$	0,54**	
EA <sub>6</sub> (mm)	$K_i$	0,79**	
Fe <sub>s</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	-0,82**	
Fe <sub>d</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	-0,80**	
Fe <sub>o</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	-0,78**	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,72**	
Ct (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,81**	
Gb (g kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	-0,22*	
Ct/(Ct + Gb)	$K_i$	-0,70**	
Ki <sup>(3)</sup>	$K_i$	-0,81**	
Kr <sup>(4)</sup>	$K_i$	0,82**	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$K_i$	0,79**	
MO (%)	$K_i$	-0,72**	
P (ppm)	$K_i$	0,39**	
K (cmolc kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,80**	
Al (cmolc kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,66**	
H + Al (cmolc kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,69**	
CTC pH 7,0 (cmolc kg <sup>-1</sup> )	$K_i$	0,64**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>1</sub>	0,91**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>2</sub>	0,72**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>3</sub>	-0,81**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>4</sub>	-0,92**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>5</sub>	-0,81**	
F <sub>ed</sub>	EA <sub>6</sub>	-0,99**	
F <sub>ed</sub>	DMG	0,94**	
F <sub>ed</sub>	DMP	0,91**	
F <sub>es</sub>	DMG	0,84**	
F <sub>es</sub>	DMP	0,79**	
Fe <sub>o</sub>	DMG	0,97**	
Fe <sub>o</sub>	DMP	0,95**	
MO	DMG	0,48**	
MO	DMP	0,41**	
Ds	VTP	-0,99**	
Ds	UA	-0,88**	
RP	UA	-0,79**	
RP	EA <sub>3</sub>	0,98**	
RP	EA <sub>4</sub>	0,91**	
RP	EA <sub>5</sub>	0,98**	
RP	EA <sub>6</sub>	0,71**	
RP	DMG	-0,89**	
RP	DMP	-0,92**	
RP	Ct/(Ct + Gb)	0,88**	
RP	SiO <sub>2</sub>	0,99**	

<sup>(1)</sup>Erodibilidade entressulcos (kg s m<sup>-1</sup>). <sup>(2)</sup>Umidade (%). <sup>(3)</sup>Ki = 1,7 x (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). <sup>(4)</sup>Kr = (SiO<sub>2</sub>/60)/[(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/102) + (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/160)]. \* e \*\*: Significativos a 5 e 1%, respectivamente.

$TiO_2$  e  $P_2O_5$ , concordando esses últimos resultados com observações de Veiga et al. (1993), Resende (1995) e Martins Filho (1999) de que os óxidos de ferro e alumínio promovem uma cimentação das partículas primárias do solo, originando agregados cuja estabilidade é regida por esses teores.

Considerando apenas os óxidos de ferro ( $Fe_d$ ) extraídos pelo ditionito citrato carbonato (DCB) para determinação da erodibilidade (Römkens et al., 1977), observa-se que a correlação foi inversa e significativa, com um coeficiente de correlação relativamente alto ( $r = -0,80$ ), demonstrando que o efeito da menor susceptibilidade à perda de solo por parte do PE e LR em relação ao PV está ligada, principalmente no caso do primeiro, à ação benéfica daqueles óxidos na agregação do solo, somado à ocorrência da camada de impedimento formada pelo horizonte Bt, que diminui a infiltração, favorecendo o deflúvio e, consequentemente, a perda de solo.

As correlações inversas ( $r = -0,80$ ) entre os óxidos de ferro extraídos pelo DCB ( $Fe_d$ ) e os agregados maiores que 1 mm ( $EA_1$ ,  $EA_2$ ) e diretas com os agregados menores que 1mm de diâmetro ( $EA_3$ ,  $EA_4$ ,  $EA_5$ ,  $EA_6$ ) confirmam essas observações. Entre os agregados menores que 0,25 mm ( $EA_5$  e  $EA_6$ ), chamados de instáveis por El-Swaify & Dangler (1977), a melhor correlação do  $K_i$  foi com aqueles menores que 0,105 mm ( $EA_6$ ), que apresentaram um  $r = 0,79$ . Segundo observações de Bissonais (1996), o efeito desta classe de agregados favorece suas perdas entressulcos. As correlações entre as classes de agregados estáveis em água menores que 1 mm apresentaram-se, de maneira geral, boas e diretas, concordando em parte com observações de Falayi & Lal (1979) de que agregados menores que 2 mm estão mais sujeitos ao transporte pelo deflúvio.

As correlações entre o  $K_i$  e o ferro oxalato ( $Fe_o$ ) e o ferro extraído pelo ataque sulfúrico ( $Fe_s$ ) também foram negativas ( $r = -0,78$  e  $-0,82$ , respectivamente); entretanto, segundo Shadfan et al. (1985) e Heil et al. (1997), o  $Fe_o$  não se correlacionou bem com a resistência do solo.

As relações moleculares  $ki$  e  $kr$  tiveram correlações significativas, porém diferenciadas com a erodibilidade, sendo inversa para o primeiro ( $r = -0,81$ ) e direta para o segundo ( $r = 0,82$ ). Aquela primeira correlação ( $ki$ ) contradiz resultados obtidos por Martins Filho (1999) para os Latossolos. Entretanto, a correlação do  $kr$  e das areias ( $0,64 > r < 0,81$ ) com a erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ) parecem expressar mais adequadamente a composição mineralógica dos solos estudados, demonstrando uma diminuição desses atributos no sentido PV, PE, LR e podendo explicar esta ordem decrescente de susceptibilidade à erosão.

As correlações entre o  $K_i$  e a  $Gb$  não apresentaram significância, concordando com resultados obtidos por Martins Filho (1999), observando-se, inclusive, a mesma tendência negativa para este parâmetro.

Entretanto, as correlações entre o  $K_i$  e a  $Ct$ ,  $Ct/Gb$  apresentaram-se significativas e positivas, confirmando observações de Resende (1995) de que a natureza mais caulinítica dos solos, em contraposição àquela gibásica, favorece sua maior susceptibilidade à erosão entressulcos, pois os teores de matéria orgânica (MO) e  $Fe_2O_3$  favorecem maior permeabilidade pela formação de uma estrutura mais granular, formando unidades estruturais menores e mais arredondadas (Lima, 1987; Silva, 1994).

Pelos quadros 4 e 5, pode-se notar um aumento do  $Fe_2O_3$  ( $Fe_s$ ) e MO no sentido PV, PE, LR com consequente diminuição do  $K_i$ . Esta tendência não foi observada para o  $Al_2O_3$ ; porém, os valores estão muito próximos, além de apresentar, como já comentado, uma tendência inversa de correlação entre o  $K_i$  e o teor de  $Gb$ . Pode-se inferir aí que a ação agregadora destes elementos pode estar influindo nas suas perdas por erosão.

Observou-se, ainda, que a erodibilidade entressulcos teve uma correlação positiva e significativa com a relação  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  ( $r = 0,79$ ). A explicação para a maior erodibilidade dos solos que têm maior teor destes óxidos, apesar do efeito benéfico destes elementos sobre a agregação, pode estar no fato de estes óxidos contribuírem, durante a secagem, para a coesão do selamento formado à superfície do solo sem inibir a desagregação pelo impacto da chuva (Heil et al., 1997).

No que diz respeito ao volume total de poros (VTP), MO, microporos (MiP), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), houve uma correlação significativa e inversa com o  $K_i$ , tendo os macroporos (MaP) os poros bloqueados (PB) e densidade do solo (Ds) apresentado correlação a correlação direta. A correlação observada para os PB ( $r = 0,75$ ) pode explicar o resultado da correlação  $K_i \times MaP$ , pela deposição das partículas menores (argila, silte, areia muito fina) que obstruíram os poros, diminuindo a taxa de infiltração.

A argila dispersa em água (ADA), que apresentou  $r = 0,82$  com o  $K_i$ , também é um indício para esta explicação. A terceira melhor correlação do  $K_i$  foi com a Ds ( $r = 0,82$ ), contrariando resultados de Martins Filho (1994) que não encontrou correlação entre esses parâmetros. A menor Ds indica o aumento do VTP do solo, o que favorece a infiltração de água, diminuindo sua erodibilidade, o que é comprovado pela alta correlação encontrada ( $r = -0,99$ ) entre esses dois atributos físicos do solo.

A ocorrência de compactação ou maior formação de crostas, observada por Williams et al. (1995) na camada arável do PE, também deve ser considerada para o menor valor de MaP em relação ao PV, o que pode ter resultado em maior deflúvio durante as chuvas aplicadas.

Para a MO, os resultados são compatíveis com os encontrados por Troeh et al. (1980), Meyer & Harmon (1984), Bajracharya et al. (1992), (Reichert et al., 1993) e Martins Filho (1999), confirmando que os maiores teores de matéria orgânica dos solos, principalmente aqueles com maior teor de agregados estáveis em água, correlacionam-se negativamente com a erodibilidade entressulcos. Heil et al. (1997) verificaram que amostras de solos com menores teores de MO apresentaram maior tendência ao selamento superficial em relação àquelas com maiores teores. Vale observar, ainda, que os teores de MO dos solos estudados estão abaixo do valor crítico estabelecido por Wischmeier & Mannerling (1969), acima dos quais o seu efeito favorece a perda de solo.

A correlação significativa e negativa entre o  $K_i$  e o DMG e o DMP está associada à capacidade de arraste do deflúvio. Tais correlações ( $r = -0,69$ , para o DMG e  $r = -0,65$ , para o DMP) foram um pouco maiores do que as encontradas por Martins Filho (1999) para os Latossolos. O maior diâmetro das partículas do PV (Quadro 3) pode também ser um dos fatores responsáveis pela, já comentada, tendência de inversão do  $K_i$  entre os Podzólicos. Os valores encontrados para o DMG e DMP para o LR foram, respectivamente, de 3,11 e 4,04 mm (Quadro 3), sendo este último bem próximo ao determinado por Martins Filho (1999). Tais valores confirmam a opinião de Bissonnais (1996), segundo o qual, considerando a estabilidade dos agregados em água e sua resistência ao impacto das gotas de chuva, solos com DMG maior que 2 mm são muito estáveis, não encrostam e são resistentes à erosão.

As correlações entre a MO e o DMG ( $r = 0,48$ ) e DMP ( $r = 0,41$ ) que Bajracharya et al. (1992) relataram refletir a relação entre a matéria orgânica e a agregação do solo, embora tenham se apresentado baixas, foram positivas, mostrando a ação desempenhada pela MO na formação de agregados maiores e mais estáveis em água, correlacionando-se negativamente com o  $K_i$ , conforme observado por Bajracharya et al. (1992) e Martins Filho (1999). Entretanto, as maiores correlações entre os óxidos de ferro:  $Fe_s$  ( $r = 0,84/0,79$ ),  $Fe_o$  ( $r = 0,97/0,95$ ) e  $Fe_d$  ( $r = 0,94/0,91$ ) com o DMG e DMP, respectivamente, apontam ser o teor de óxido de ferro o atributo responsável pela maior agregação do solo, favorecendo a infiltração de água.

Entre os Podzólicos, o solo com maior grau de intemperismo (PV) apresentou maior susceptibilidade à erosão entressulcos ( $K_i$ ), contrariando Albuquerque & Cassol (1997) e Martins Filho (1999) e mostrando que o comportamento pode ser diferenciado, dependendo da mineralogia do horizonte Bt.

Isto deverá influir na taxa de infiltração de água, levando a crer que, neste caso, a expressiva diferença do teor de óxidos de ferro verificada em favor do PE é que governará a sua taxa de perda entressulcos,

por meio do aumento da sua taxa de infiltração, pelo menos até o final da última chuva, quando a maior estabilidade em água dos agregados maiores que 1 mm ( $EA_1$  e  $EA_2$ ) do PV passou a governar aquelas perdas (Figura 1).

Assim, a correlação com esses agregados estáveis em água mostrou-se negativa e significativa, enquanto, para os agregados maiores que 1 mm ( $EA_3$ ,  $EA_4$ ,  $EA_5$ ,  $EA_6$ ), essa correlação, além de significativa, foi direta, principalmente para o  $EA_6$  ( $< 0,105$  mm) cujo coeficiente  $r$  foi igual a 0,79. Já os agregados  $< 25$  mm ( $EA_5$ ), que apresentaram, para El-Swaify & Dangler (1977), a maior correlação com a erodibilidade foram os que tiveram a terceira melhor correlação ( $r = 0,54$ ), precedidos do  $EA_4$  (0,5-0,25 mm) com o  $r = 0,66$ .

A correlação entre o  $K_i$  e a resistência à penetração (RP) foi significativa e direta (Quadro 5), ao contrário de resultados apresentados na literatura, que as correlacionam inversamente (Al-Durrah & Bradford, 1981; Watson & Laflen, 1986; Martins Filho, 1994). Entretanto, o aumento da umidade do solo diminui a resistência à penetração (Pereira, 1989; Martins Filho, 1994; Dias Júnior, 1994), podendo ser esta a razão do menor RP (3,861 MPa) para o PV ( $0,19\ m^3\ m^{-3}$  de umidade) em comparação ao maior RP (5,743 MPa) do PE ( $0,17\ m^3\ m^{-3}$  de umidade).

A correlação inversa ( $r = -0,79$ ) encontrada entre o RP e a umidade antecedente do solo (UA) confirma essa observação. O LR apresentou a menor resistência à penetração (1,812 MPa) e teve o menor  $K_i$ , favorecido por outros fatores, já comentados, que aumentaram a taxa de infiltração, além da maior umidade atual, durante o teste de resistência à penetração ( $0,32\ m^3\ m^{-3}$ ). As melhores correlações do RP, verificadas com agregados estáveis em água menores que 1 mm ( $EA_3$ ,  $EA_4$ ,  $EA_5$ ,  $EA_6$ ) com  $r = 0,98$ ;  $0,91$ ;  $0,98$  e  $0,71$ , respectivamente, com o DMG ( $r = -0,89$ ), DMP ( $r = -0,92$ ) e com  $Ct/(Ct + Gb)$  ( $r = -0,88$ ), mostram que a influência desses atributos na infiltração de água e na força de arraste das partículas do solo é decisiva na magnitude do  $K_i$ , o que foi também observado por Watson & Laflen (1986).

Chama a atenção, também, a alta correlação RP x  $SiO_2$  ( $r = 0,99$ ) apresentada no quadro 5, evidenciando que, a exemplo do relatado por Uehara & Jones (1974), a sílica pode ser um agente cimentante expressivo em solos das regiões mais quentes, contribuindo para a formação do selamento superficial.

A umidade antecedente do solo (UA) apresentou correlação negativa com o  $K_i$  ( $p < 0,01$ ), a exemplo do observado por Ghidley & Alberts (1994) e Martins Filho (1999), contrariando a maioria dos trabalhos que têm relatado uma correlação direta entre estes parâmetros, e Lang et al. (1984), que não encontraram influência da UA na erosão entressulcos.

Martins Filho (1999) justificou este resultado baseado em Ghidey & Alberts (1994) que o atribuíram à formação do selamento superficial e ao aumento da resistência do solo ao cisalhamento causados pelas chuvas aplicadas. No caso dos solos estudados, verificou-se pouca variação de MO e um decréscimo dos agregados estáveis em água menores que 1 mm (EA<sub>3</sub>, EA<sub>4</sub>, EA<sub>5</sub> e EA<sub>6</sub>) no sentido PE, PV, LR.

Entre os Podzólicos, essas condições, aliadas à diminuição dos valores de ADA/Argila, podem sobrepujar o efeito direto da umidade antecedente no K<sub>i</sub> daqueles solos, justificando a maior erodibilidade do PV e contribuindo também junto com os outros fatores como a Ds, que apresentou alta correlação ( $r = -0,88$ ) com a UA, para a menor erodibilidade do LR (maior teor de ADA e agregados estáveis em água), não obstante sua maior umidade antecedente às chuvas aplicadas.

## CONCLUSÕES

1. As erodibilidades entressulcos determinadas foram de:  $4,67 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ , no PE,  $6,85 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ , no PV, e  $3,38 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ , no LR.

2. Os atributos dos solos que mais influenciaram os valores das erodibilidades entressulcos e que podem compor um modelo regional de perdas de solo foram os óxidos de ferro (Fe<sub>s</sub>, Fe<sub>e</sub> e Fe<sub>d</sub>), teor de caulinita (Ct), argila dispersa em água (ADA), volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp) e agregados estáveis em água < 0,105 mm (EA<sub>6</sub>).

## LITERATURA CITADA

- AL DURRAH, M.; & BRADFORD, J.M. New methods of studying soil detachment due to waterdrop impact. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:949-953, 1981.
- AL DURRAH, M. & BRADFORD, J.M. The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1086-1090, 1982.
- ALBUQUERQUE, J.A. & CASSOL, E.A. Índices de estabilidade de agregados para estimar a erodibilidade entressulcos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÉNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciéncia do Solo, 1994. p.1-5.
- ANGULO FILHO, R.; ELLIOT, W.J. & DECHEN, S.C.F. Erosion prediction for Brazil with the WEPP model. St Joseph, American Society of Agriculture and Engineers, 1990. 9p. (ASAE. Paper, 908514)
- BAJRACHARYA, R.M.; ELLIOT, W.J. & LAL, R. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:267-272, 1992.
- BISSONAIS, Y.L. & SINGER, M.J. Seal formation, runoff, and interrill erosion from seventeen California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:224-229, 1993.
- BISSONAIS, Y.L. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.*, 47:425-437, 1996.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K. H. Bulk density. In : KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. part 1, p.363-376. (Agronomy, 9)
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K. H. Particle density. In : KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. Part 42.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. 337-382p.
- BRAIDA, J.A. Relações da erosão entressulcos, com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em solo Podzólico Vermelho-Escuro. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1994. 152p. (Tese de Mestrado)
- BRAIDA, J.A. & CASSOL, E.A. Erodibilidade em sulcos e entressulcos de um Podzólico Vermelho-Amarelo franco arenoso. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:127-134, 1996.
- DANIELSON, R.E. & SHUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A.. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. 1:443-461.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 1:545-566.
- DIAS JÚNIOR, M. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. Michigan, Michigan State University, 1994. 114 p. (Tese de Doutorado)
- ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLEN, J.M. & KOHL, K.D. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 & 88. Ohio: Ohio State University/USDA Agricultural Research Service, 1989. p.A2-A25/B1-B291, (NSERL. Report, 3)
- EL-SWAIFFY, S.A. & Dangler, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, 1976, West Lafayette. Proceedings. Ankeny: SWCS, 1977. p.105
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FALAYI, O. & LAL, R. Effect of aggregate size and mulching on erodibility, crusting and crop emergence. In : LAL, R. & GREENLAND, D.J., ed. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, J. Wiley & Sons, 1979. c.2.4, p.88-93.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:215-224, 1999.
- FORMANEK, G.E.; McCOOL, D.K. & PAPENDICK, R.I. Freeze-thaw and consolidation effects on strength of a wet silt loam. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 27:1749-1752, 1984.
- GHIDEY, F. & ALBERTS E.E. Interrill erodibility affected by cropping systems and initial soil water content. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 37:1809-1815, 1994.
- GROHMAN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do estado de São Paulo. *Bragantia*, 19:319-328, 1960.

- HEIL, J.W.; JUO, A.S.R. & McINNES, K. Soil properties influencing surface sealing of some sandy soils in the Sahel. *Soil Sci.*, 162:459-469, 1997.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Sci. Am. J.*, 48:1001-1008, 1984.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis. Part 1*, Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.425-478. (ASA, Agronomy, 9)
- LACERDA, M.P.C. Correlação geo-pedológica em solos B-texturais na região de Lavras-MG. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 257p. (Tese de Doutorado)
- LAFLEN, J.M.; THOMAS, A.W. & WELCH, R. Cropland experiments for the WEPP project. St. Joseph, Amer. Soc. Agric. Eng., 1987. 14p. (ASAE Paper, 87-2544)
- LANG, K.J.; PRUNTY, L.; SCHROEDER, S.A. & DISRUD L.A. Interrill erosion as an index of mined land soil erodibility. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 27:99-104, 1984.
- LEVY, G.J.; LEVIN, J. & SHAINBERG, I. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:203-209, 1994.
- LIEBENOW, A.M.; ELLIOT, W.J.; LAFLEN, J.M. & KOHL, K.D. Interrill erodibility: collection and analysis of data from croplands soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 33:1882-1888, 1990.
- LIMA, P.M.P. Perdas de solo e água em dois Latossolos sob cerrado, com diferentes preparamos e chuva simulada. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1987. 88p. (Tese de Mestrado)
- LINE, D.E. & MEYER, L.D. Evaluating interrill and rill erodibilities for soils of different textures. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 32:1995-1999, 1989.
- MARTINS FILHO, M.V. Erodibilidade inter e intra-sulcos dum Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região de Jaboticabal-SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1994. 143p. (Tese de Mestrado)
- MARTINS FILHO, M.V. Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agronômica e Veterinária, 1987. 95p. (Trabalho - Graduação em Agronomia)
- MARTINS FILHO, M.V. Modelagem do processo de erosão entressulcos em Latossolos de Jaboticabal-SP. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 140p. (Tese de Doutorado)
- MEYER, L.D. How rain intensity affects interrill erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 24:1472-1475, 1981.
- MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Susceptibility of agricultural soil to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1152-1157, 1984.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.J. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 3:317-327, 1960.
- MUGGLER, C.C. Poligenetic Oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil: soil and landscape development. Wageningen, Wageningen Agricultural University, 1998. 186p. (Tese de Doutorado)
- PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CARNIER, P.E.; BORGES, S.C.; MOLINA, D.S.; MARTINS FILHO, M.V.; CARDOSO, J.L.; SOUZA, A.O. Conservação do solo: determinação de perda de solo por erosão e do efeito do manejo no seu controle. Jaboticabal, FINEP, 1985. 230p. (FINEP-Relatório Técnico Científico)
- PEREIRA, V.P. & MOLINA, D.S. Método para a medição da intensidade de chuva produzida por um simulador de hastes rotativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO, 6. e ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 6., 1986, Campo Grande, Resumos. Campo Grande, Fundação Cargill, 1986. p.69.
- PEREIRA, V.P. Perda de solo em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, devido ao impacto de gotas de chuva simulada e a comprimento de rampa. Jaboticabal, FCAV, 1989. 106p. (Tese de Livre-Docência)
- PINHEIRO-DICK, D. & SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. *Geoderma*, 74:49-63, 1996.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:283-290, 1993.
- RESENDE, M. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, NEPUT, 1995. 304p.
- RESENDE, M.; CURI, N. & LANI, J.L. Science for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 1999. não paginado.
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília, Ministério Educação; Lavras, Escola Supeiro de Agricultura, Piracicaba, POTAPOS, 1988. 81p.
- ROCKENBACH, C.A. Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 108p. (Tese de Mestrado)
- ROLOFF, G. & DENARDIN, J.E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis, SC. Resumos. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.150-151.
- RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B. & NELSON, D.W. Erodibility of select clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:954-960, 1977.
- RÖMKENS, M.J.M.; PRASAD, S.N. & PARLANGE, J.Y. Surface seal development in relation to rainstorm intensity. In: BRYAN, B.B., ed. *Soil erosion: experiments and models*. Cremlingen-Destedt, Catena, Supplement 17, p.13-28, 1990.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Can. J. Soil Sci.*, 53:244-246, 1973.
- SHADFAN, H.; DIXON, J.B. & CLAHOUN, G. Iron oxide properties versus strength of ferruginous crust and iron-globules in soils. *Soil Sci.*, 140:317-325, 1985.

- SILVA, M.L.N. Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de Latossolos do cerrado. Lavras, Escola Superior de Agricultura, 1994. 109p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- SINGER, M.J. & BLACKWARD, J. Slope angle-interrill soil loss relationships for slopes up to 50%. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1270-1273, 1982.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto - modelo IAA/PLANALSUCAR - Stolf. *STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 1:18-23, 1983.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:229-235, 1991.
- SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 8:71-72, 1965.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A. & DANAHUE, R.L. Soil and water conservation for productivity and environment protection. New Jersey, Prenticce Hall, 1980. 718p.
- UEHARA, G. & JONES R.C. Bonding mechanisms for soil crust: Part 1. Particle surface and cementing agents. *Tech. Bull. Agric. Exp.*, 213:17-28, 1974.
- VANONI, V.A. *Sedimentation engineering*. New York, The American Society of Civil Engineers, 1975. 745p.
- VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. & REICHERT, J.M. Erodibilidade em entre-sulcos de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:129-133, 1993.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico 7)
- WATSON, D.A. & LAFLEN, J.M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 29:98-102, 1986.
- WILLIAMS, J.D.; DOBROWOLSKY, J.P. & WEST, N.E. Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 38:139-146, 1995.
- 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.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. *J. Soil Water Cons.*, 26:189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning*. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Handbook, 537)