

COMISSÃO VI – MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ERODIBILIDADE EM ENTRESSULCOS DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

M. da VEIGA⁽²⁾, M. S. V. CABEDA⁽³⁾ & J. M. REICHERT⁽⁴⁾

RESUMO

A erodibilidade em entressulcos de sete solos do Rio Grande do Sul, que apresentam grande variação em propriedades físicas e químicas, foi determinada em laboratório, em parcelas de 60 x 60 cm, com chuva simulada. As propriedades ou parâmetros do solo que apresentaram melhor correlação com a erodibilidade em entressulcos foram o textural P (que associa o efeito da percentagem de areia, de seu diâmetro médio ponderado e da razão de dispersão de argila mais silte); a umidade gravimétrica a -1.500 kPa de potencial matricial; um índice de estabilidade das partículas de solo (partículas primárias mais agregados), denominada razão estável corrigida de partículas de solo sob chuva (RECP); os teores totais de ferro e de alumínio no solo, e os teores de óxidos de ferro e de alumínio extraídos por HCl 6N. Numa regressão linear múltipla, a RECP (índice de estabilidade de partículas de solo) e o teor de óxidos de ferro extraídos por HCl 6N explicaram 97,75% da variação nos valores de erodibilidade em entressulcos.

Termos de indexação: erosão hídrica, erodibilidade e propriedades do solo, erodibilidade em entressulcos, erodibilidade e chuva simulada.

SUMMARY: *INTERRILL ERODIBILITY OF SOIL SAMPLES FROM RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL*

Interrill erodibility of seven soil samples from Rio Grande do Sul State, with large variation in their physical and chemical properties, was determined in laboratory, on 60cm x 60cm plots, with simulated rainfall. The soil properties or parameters with better correlation with the interrill erodibility were the particle-size parameter P (which expresses the combined effect of sand percentage, its mean weight diameter and the dispersion ratio of clay plus silt); the gravimetric water content at -1,500 kPa of matric potential; a stability index of soil particles (primary particles plus aggregates), named corrected stable ratio of soil particles under rainfall; the total concentration of iron and aluminum in the soil, and the iron and aluminum oxides extracted by HCl 6N. In a linear multiple regression, the corrected stable ratio of soil particles under rainfall (stability index of soil particles) and the iron oxides extracted by HCl 6N explained 97.75% of the variation in soil interrill erodibility.

Index terms: soil erosion, soil properties and erodibility, interrill erodibility, erodibility and simulated rainfall.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado em Solos apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia da UFRGS. Recebido para publicação em abril e aprovada em dezembro de 1992.

⁽²⁾ Pesquisador da EPAGRI, Caixa Postal 791, CEP 89801-970 Chapecó(SC).

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 90001 Porto Alegre (RS).

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Estudante de Doutorado na Purdue University - National Soil Erosion Research Lab., West Lafayette, IN, 47907-1196, USA.

INTRODUÇÃO

Para o manejo do solo agrícola com mínima erosão hídrica, faz-se necessário o conhecimento dos fatores que a determinam, da magnitude de cada fator e das interações entre eles. Um desses fatores é a erodibilidade do solo, que é a medida da suscetibilidade que o solo apresenta à erosão hídrica, sendo uma função de suas propriedades (Wischmeier & Mannering, 1969). A determinação da erodibilidade do solo, como conceitualmente definida, deve ser efetuada em condições de chuva natural, em parcela padrão no campo, necessitando-se de vários anos de medições para a obtenção de um valor médio desse fator para cada solo (Olson & Wischmeier, 1963). Em função disso, medições diretas de erodibilidade envolvem muito tempo e recursos, sendo muito custosa essa determinação para todos os solos.

Visando a obter mais rapidamente maior número de dados para estabelecer relações entre erodibilidade do solo e suas propriedades, passou-se a determinar a erodibilidade com chuva simulada, no campo (Wischmeier & Mannering, 1969; Römkens et al., 1977). As relações encontradas, embora não totalmente concordantes, mostraram que algumas propriedades do solo, como frações texturais e matéria orgânica, apresentaram boa correlação com a erodibilidade.

As determinações de erodibilidade do solo com chuva simulada, em macroparcelas, também apresentam dificuldades para a sua execução, por ainda envolverem bastante tempo e recursos. Em função disso, mais recentemente, passou-se a estudar a erodibilidade em microparcelas, em laboratório (Trott & Singer, 1983) ou no campo (Meyer & Harmon, 1984). Nessas pequenas parcelas, ocorre somente a erosão em entressulcos, sendo determinada, portanto, a erodibilidade em entressulcos do solo. O estudo analítico da erodibilidade se justifica porque o solo apresenta uma diferente suscetibilidade a cada componente da erosão hídrica; por isso, as propriedades ou parâmetros que melhor estimam cada componente da erodibilidade também serão diferentes. A estimativa mais precisa da erodibilidade em entressulcos deve resultar em melhor estimativa da erodibilidade global do solo.

Em face dessas considerações, executou-se este trabalho com o objetivo de determinar a erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul e estabelecer suas relações com propriedades ou parâmetros do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Física e Erosão do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), utilizando-se amostras superficiais (0-15cm) de sete solos sob pastagem no Rio Grande do Sul - Quadro 1, com grande variação em propriedades físicas e químicas - Quadros 3 e 4.

No laboratório, as amostras foram manualmente destorroadas, passadas por peneira de 10 mm de abertura de malha e secas ao ar livre. Essas amostras foram utilizadas nos testes com chuva simulada e nas determinações do diâmetro médio ponderado de agregados e de partículas de solo (estas, entendidas como a soma de partículas primárias e agregados), bem como de outros índices de estabilidade. Para as demais determinações, foi utilizada terra fina seca ao ar.

Testes com chuva simulada - As amostras de solo foram colocadas em caixas de 100 x 100 cm de lado e 10 cm de altura, com área de teste de 60 x 60 cm. A inclinação da caixa era de 9% e a coleta do deflúvio superficial foi efetuada numa calha situada na cota inferior da área de teste. A caixa apresentava um fundo de tela metálica grossa, sobre o qual foi colocado um tecido de algodão, permitindo, assim, livre drenagem da água que infiltrava. O solo foi disposto em camadas de 2,5 cm e compactado levemente, obtendo-se, com isso, densidades que variaram de 1,0 g/cm³, nos mais argilosos, a 1,3 g/cm³, nos mais arenosos.

As chuvas foram aplicadas com um pequeno simulador, semelhante àquele descrito por Meyer & Harmon (1979), equipado com um bico Veejet 80-150, colocado a 3,10 m acima da superfície e cuja pressão de saída da água era de 41N/m². Para essa altura e

Quadro 1. Classificação taxonômica, material de origem e unidade de mapeamento dos solos estudados

Classificação		Material de origem	Unidade de mapeamento
Brasileira ⁽¹⁾	USDA ⁽²⁾		
Brunizém avermelhado (BA)	Argiudoll	Basalto	Ciríaco
Latossolo bruno distrófico (LBd)	Haplhumox	Dacito	Vacaria
Latossolo roxo distrófico (LRd)	Haplortox	Basalto	Santo Ângelo
Vertissolo (V)	Paludert	Siltito	Aceguá
Podzólico vermelho-amarelo distrófico (PVd)	Paleudult	Granito	São Jerônimo
Podzólico vermelho-escuro álico (PEa)	Palehumult	Basalto	Júlio de Castilhos
Podzólico vermelho-amarelo (PV)	Paleudalf	Arenito	São Pedro

⁽¹⁾ BRASIL (1973); ⁽²⁾ USDA (1975).

pressão, é produzida uma energia cinética igual a 0,275MJ/ha mm (Meyer & Harmon, 1979). A intensidade das chuvas aplicadas variou entre 84 e 88mm/h, com duração igual ao tempo necessário para atingir a taxa constante de infiltração em cada solo. Foram aplicadas duas séries de chuvas, com duas repetições por série, sendo uma sobre o solo seco ao ar livre e outra sobre o solo pré-umedecido com chuva. O pré-umedecimento foi efetuado mediante aplicação de chuva simulada de 85mm/h, durante 30 minutos, estando o solo protegido por duas telas de 1mm de abertura de malha, situadas a 2cm da superfície. Logo, a energia cinética das gotas da chuva aplicada era dissipada nas telas, não perturbando os agregados do solo.

A energia cinética total de cada chuva foi dada pelo produto entre a precipitação total (mm) e o valor de energia cinética de 0,275 MJ/ha mm. A intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) correspondeu à intensidade de chuva aplicada, que foi constante. Assim, obteve-se a erosividade da chuva (parâmetro EI), que é o produto da energia cinética por I_{30} . A erodibilidade em entressulcos, por sua vez, corresponde à razão entre a perda de solo, estimada em toneladas por hectare, e o valor de erosividade (EI) da chuva correspondente. Não foi efetuada correção para comprimento do declive.

Determinações químicas – Carbono orgânico dos solos foi determinado pelo método Walkley-Black, modificado pelo fornecimento de calor externo; cátiões trocáveis em pH natural do solo e em pH 7,0 e ferro amorfo, extraído por oxalato de amônio 0,2M, pH 3,0 (Tedesco et al., 1985); ferro e alumínio extraídos por citrato-ditionito-bicarbonato de sódio (CDB) (Mehra & Jackson, 1960) e por HCl 6N (Dick, 1986); composição química total, a partir da digestão das amostras com carbonato de sódio (Lim & Jackson, 1982).

Determinações físicas – Distribuição de diâmetro de partículas primárias pelo método do hidrômetro (Day, 1965); argila e argila mais silte (ASDA) dispersas em água pura (EMBRAPA, 1979); razão de dispersão de argila mais silte [$RDAS = ASDA / (\text{argila} + \text{silte})$]; umidade gravimétrica em diferentes potenciais matriciais (Richards, 1965); diâmetro médio ponderado de agregados estáveis a seco (DMPAs) e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMPAa) (Kemper & Chepil, 1965).

Diâmetro médio ponderado de partículas de solo estáveis a seco (DMPPs) – Foi determinado, considerando-se as partículas de solo de forma global (partículas primárias mais agregados), secas ao ar livre, obtidas quando o solo é peneirado, sem separação das partículas primárias, diferentemente do método proposto por Kemper & Chepil (1965). O cálculo do DMPPs foi efetuado da seguinte maneira:

$$DMPPs = \sum_{i=1}^5 (dmc \times r)$$

em que:

i = classe de diâmetro (5 classes: 10,00-4,76mm; 4,76-2,00mm; 2,00-1,00mm; 1,00-0,25mm e <0,25mm);

dmc = diâmetro médio da classe;

r = razão de massa de partículas existente numa classe de diâmetro pela massa de solo da amostra.

Diâmetro médio ponderado de agregados e diâmetro médio ponderado de partículas de solo sob chuva (DMPAc e DMPPc) – Foram utilizadas partículas de solo secas ao ar livre e separadas nas mesmas classes de diâmetro como na determinação anterior. Para cada classe, foram colocados 25g de partículas de solo dentro da peneira de diâmetro inferior da classe. Sobre as peneiras, foi aplicada uma chuva simulada com intensidade constante de 85mm/h durante dez minutos, com o mesmo simulador e nas mesmas condições dos testes com chuva.

Terminada a chuva, procedeu-se a uma leve agitação de cada peneira dentro de um recipiente com água, para que somente as partículas de solo de diâmetro maior do que a abertura da malha da peneira ficassem nela retidas. Esse material foi seco em estufa, e determinada a sua massa, que corresponde à massa de partículas de solo. A massa de agregados, em cada classe, foi obtida subtraindo-se a massa de partículas primárias com diâmetro maior do que a abertura da malha da peneira inferior da classe.

A fração de agregados, ou de partículas de solo, estável sob chuva (fec), em cada classe de diâmetro, correspondeu à razão da massa de agregados, ou de partículas de solo, retida na peneira após a chuva, pela massa de agregados, ou de partículas, colocadas na peneira antes da chuva, tendo-se corrigido a umidade. A partir dessas determinações, foram calculados o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis sob chuva (DMPAc) e o das partículas de solo estáveis sob chuva (DMPPc).

A fórmula usada foi:

$$DMPAc \text{ ou } DMPPc = \sum_{i=1}^5 (dmc \times fec \times r)$$

em que:

i = classe de diâmetro (5 classes: 10,00-4,76mm; 4,76-2,00mm; 2,00-1,00mm; 1,00-0,25mm e <0,25mm);

dmc = diâmetro médio da classe;

fec = fração estável sob chuva da classe. Como a peneira de menor diâmetro de malha foi a de 0,25mm, os agregados ou partículas de solo que passaram nesta peneira foram consideradas 100% estáveis sob chuva;

r = razão de massa de agregados ou de partículas de solo existente numa classe de diâmetro pela massa de agregados ou de partículas de solo da amostra.

Razão de agregados ou de partículas de solo estáveis sob chuva – Razão estável de agregados (REA), ou de partículas (REP):

$$REA = \frac{DMPAc}{DMPAs} \text{ e } REP = \frac{DMPPc}{DMPPs}$$

Razão de agregados ou de partículas de solo estáveis sob chuva, corrigida para a participação de partículas de solo com diâmetro menor que 0,25 mm – Razão estável corrigida de agregados (RECA), ou de partículas de solo (RECP):

$$RECA \text{ ou } RECP = \frac{REA \text{ ou } REP}{1 + \text{razão de partículas de solo com diâmetro menor que } 0,25\text{mm}}$$

A razão de partículas de solo com diâmetro <0,25mm correspondeu à razão entre a massa de partículas com diâmetro <0,25mm e a massa da amostra de solo. Os fundamentos que justificam essa correção são apresentados na discussão.

Foram efetuadas comparações entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 1% e análises de correlação e de regressão linear simples e múltipla entre as propriedades ou parâmetros do solo e sua erodibilidade em entressulcos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A duração da chuva, desde o início de sua aplicação até o início da taxa constante de infiltração, apresentou grande variação entre os solos - Quadro 2. Conseqüentemente, os valores de erosividade da chuva, parâmetro EI, também apresentaram grande variação. Como as chuvas aplicadas tiveram intensidades com mínima variação, as diferenças nos valores de EI são devidas quase que exclusivamente à variação na lâmina total de água aplicada sobre cada solo.

Não houve diferenças significativas entre os valores de perda de solo. Isso ocorreu porque as chuvas foram aplicadas até o início da taxa constante de infiltração, tendo, portanto, duração diferente para cada solo.

Os solos apresentaram grande variação dos valores de erodibilidade em entressulcos, refletindo, provavelmente, as diferenças em suas propriedades.

Os resultados referentes às propriedades e parâmetros físicos dos solos e seus coeficientes de correlação com a erodibilidade em entressulcos estão no quadro 3.

Parâmetros texturais

Das três principais frações de diâmetro de partículas primárias, a areia foi a que melhor se correlacionou com a erodibilidade em entressulcos, seguida pela argila. Entre as frações de areia, a areia média e a areia fina foram as que melhor se correlacionaram. A soma de areia média e areia fina apresentou correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade. O silte apresentou correlação negativa e não significativa, contrariamente ao encontrado por outros autores (Wischmeier & Mannering, 1969; Römken et al., 1977) em solos predominantemente de textura média, em macroparcelas, onde ocorre erosão em sulcos e em entressulcos. Neste trabalho, os solos com maior teor de silte geralmente apresentaram elevados teores de argila e de matéria orgânica, ou mesmo óxidos de ferro e de alumínio, supondo-se que o efeito benéfico desses componentes em termos de agregação e de estabilidade de agregados deva ter sido maior do que o efeito negativo do silte.

Outro índice que apresentou correlação significativa e positiva com a erodibilidade em entressulcos foi a razão de dispersão da argila mais silte (RDAS). A percentagem de argila dispersa em água também apresentou correlação significativa, mas negativa, contrariamente ao que foi encontrado por Wischmeier &

Quadro 2. Duração até início da taxa constante de infiltração, intensidade, precipitação total e erosividade (EI) de chuvas simuladas, perda de solo e erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul (média de quatro repetições)

Solo ⁽¹⁾	Chuva				Perda de solo	Erodibilidade em entressulcos
	Duração	Intensidade	Total	EI ⁽²⁾		
	min	mm/h	mm	MJ mm/ha h (x100)	t/ha	t ha h/MJ ha mm (x 0,001)
BA	833a	86	1.196	283,94a	6,48a	0,23e
LBd	379b	84	534	124,15b	7,72a	0,62de
LRd	335bc	86	482	114,68b	9,59a	0,84de
V	219cd	86	313	73,93c	11,48a	1,56cd
PVd	107d	87	155	36,95d	7,92a	2,14bc
PEa	93d	85	132	30,88d	8,98a	2,88ab
PV	88d	86	126	29,96d	10,20a	3,37a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ EI = (0,275 MJ/ha mm x precipitação total, mm) x (intensidade máxima em 30 minutos, mm/h).

Manning (1969). Brayan (1968) observou que, para a predição da erosão, essa razão de dispersão apresentou resultados erráticos em comparação com a estabilidade dos agregados.

O parâmetro textural M (Wischmeier et al., 1971) não se correlacionou significativamente com a erodibilidade em entressulcos, apesar de ter sido identificado por esses autores como o melhor estimador da erodibilidade de solos de textura média, em determinações feitas em macroparcelas. Supõe-se que isso

deve estar relacionado ao fato de que em macroparcelas ocorre erosão em sulcos e em entressulcos, enquanto em microparcelas há apenas a erosão em entressulcos. A partir da observação das correlações obtidas entre a erodibilidade em entressulcos e alguns índices texturais do solo, foi desenvolvido um parâmetro textural, P [$P = (\% \text{ areia} / \text{diâmetro médio ponderado da fração areia}) \times \text{razão de dispersão de argila mais silte}$]. Tal parâmetro, que associa o efeito da areia e do grau de dispersão da fração argila mais silte, apresentou um coeficiente de correlação, posi-

Quadro 3. Propriedades e parâmetros físicos e seus coeficientes de correlação com a erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul (médias de três ou quatro repetições)

Propriedade ou parâmetro	Solo ⁽¹⁾							Coeficiente de correlação
	BA	LBd	LRd	V	PVd	PEa	PA	
Parâmetros texturais								
Argila (%)	40	58	55	50	16	29	14	-0,78*
Silte (%)	49	18	24	35	16	23	20	-0,51
Areia (%)	11	24	21	15	68	48	66	0,84*
Areia muito grossa (%)	2	1	0	2	9	1	1	0,14
Areia grossa (%)	2	2	1	2	11	3	7	0,57
Areia média (%)	3	4	6	3	22	16	25	0,87*
Areia fina (%)	2	6	10	4	18	22	20	0,89*
Areia muito fina (%)	2	12	4	4	8	6	13	0,48
Areia média + areia fina (%)	5	10	16	7	40	38	45	0,90**
Argila dispersa em água (%)	24	16	28	26	6	9	4	-0,79*
ASDA (%) ⁽²⁾	61	40	65	77	30	43	34	-0,47
RDAS ⁽³⁾	0,69	0,53	0,82	0,91	0,94	0,94	1,00	0,82*
Parâmetro textural M	3.060	1.260	1.260	2.028	2.088	2.059	1.748	-0,11
Parâmetro textural P	14	55	66	30	125	150	213	0,92**
Potencial matricial kPa e retenção de água (%)								
-6	43,9	38,5	32,2	51,1	15,8	33,4	23,4	-0,55
-10	41,9	36,2	29,8	46,1	14,1	23,8	19,0	-0,70
-30	35,7	30,4	25,8	35,8	10,2	16,5	11,4	-0,79*
-100	31,8	27,6	22,7	32,7	8,4	14,3	9,2	-0,80*
-300	31,1	27,2	21,9	31,3	8,0	13,2	8,4	-0,82*
-900	24,5	21,4	18,8	24,0	5,0	9,3	5,0	-0,85*
-1500	23,6	21,6	18,8	22,8	5,6	9,6	5,5	-0,87*
Índices de estabilidade de agregados								
DMPAs (mm)	3,34	2,65	3,44	3,75	2,07	2,00	2,18	-0,70
DMPAa (mm)	6,78	6,87	6,61	6,39	6,75	6,47	4,80	-0,72
DMPAc (mm)	2,91	2,27	2,08	2,74	0,82	0,97	0,28	-0,89**
REA	0,87	0,86	0,60	0,73	0,39	0,49	0,13	-0,89**
RECA	0,85	0,76	0,58	0,69	0,32	0,35	0,10	-0,93**
Índices de estabilidade de partículas de solo (partículas primárias + agregados)								
DMPPs (mm)	3,28	2,60	3,39	3,73	1,85	1,94	1,94	-0,71
DMPPc (mm)	2,91	2,23	2,10	2,77	0,95	0,97	0,35	-0,89**
REP	0,89	0,86	0,62	0,74	0,51	0,50	0,18	-0,91**
RECP	0,87	0,76	0,60	0,70	0,44	0,36	0,15	-0,95**

* e ** Significância estatística ao nível de 5 e 1% respectivamente.

⁽¹⁾ BA: Brunizém avermelhado; LBd: Latossolo bruno distrófico; LRd: Latossolo roxo distrófico; V: Vertissolo; PVd: Podzólico vermelho-amarelo distrófico; PEa: Podzólico vermelho-escuro álico; PV: Podzólico vermelho-amarelo. ⁽²⁾ Argila + silte dispersos em água.

⁽³⁾ Argila + silte dispersos em água/(argila + silte).

tivo e significativo, ao nível de 1%, com a erodibilidade em entressulcos: ele reflete a desagregabilidade do solo, através da razão de dispersão da argila mais silte e do teor de areia, bem como a transportabilidade da areia, pelo seu diâmetro médio ponderado, que adquire tanto mais importância quanto mais elevado for o teor de areia.

Potencial matricial e retenção de água

No maior potencial matricial, o coeficiente de correlação entre a umidade gravimétrica e a erodibilidade em entressulcos foi baixo. Com a diminuição dos valores de potencial matricial, ocorreram aumentos nos valores do coeficiente de correlação. Nos menores potenciais matriciais, a retenção de água está intimamente associada à área superficial específica do solo que, por sua vez, é uma função do teor de argila, do teor e grau de humificação da matéria orgânica, do tipo e teor de argilo-mineral presente no solo, etc. A relação entre a erodibilidade em entressulcos e a retenção de água é, dessa forma, uma relação nitidamente indireta, já que a retenção de água depende de propriedades supostamente relacionadas com a erodibilidade em entressulcos.

Índices de estabilidade de agregados e de partículas de solo

O diâmetro médio ponderado de agregados e o de partículas de solo estáveis a seco (DMPAs e DMPPs) e o diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMPAa) não apresentaram correlação significativa com a erodibilidade em entressulcos. Já o diâmetro médio ponderado de agregados e o de partículas de solo estáveis sob chuva (DMPAc e DMPPc) apresentaram correlação significativa ao nível de 1%. Esses índices de estabilidade constituem medidas da estabilidade global do solo, pois foram obtidos de todas as classes de agregados ou de partículas de solo, e da estabilidade de cada uma dessas classes sob chuva simulada. DeBoodt et al. (1974) encontraram boas correlações entre índices de estabilidade de agregados e perda de solo somente quando o teste de estabilidade de agregados incluiu todo o solo e não pequena fração de tamanho de agregados.

A razão estável sob chuva, por sua vez, dá uma idéia da redução do diâmetro médio ponderado de agregados (REA) ou de partículas de solo (REP) após a aplicação de chuva simulada. Esses índices apresentaram coeficientes de correlação com a erodibilidade em entressulcos maiores do que DMPAc e DMPPc. Observa-se que REP é maior do que REA, ou seja, é maior quando o cálculo é efetuado considerando-se toda a amostra de solo, com agregados mais partículas primárias. Isso porque uma partícula primária possui maior massa do que aquela de um agregado de igual diâmetro. Portanto, apresenta maior resistência ao transporte na água de escoamento superficial em entressulcos.

Houve incrementos nos coeficientes de correlação com a erodibilidade em entressulcos quando foram usados os índices razão estável corrigida de agregados (RECA) e o de partículas de solo (RECP) sob chuva. A

correção proposta se justifica porque os agregados ou partículas primárias de diâmetro menor que 0,25 mm podem ser facilmente transportadas pela água de escoamento superficial, sem prévia desagregação. Assim, quanto maior a razão de partículas nessa classe de diâmetro, maior a suscetibilidade do solo ao transporte. Na figura 1 está apresentada a relação entre a erodibilidade em entressulcos e a razão estável corrigida de partículas de solo (RECP).

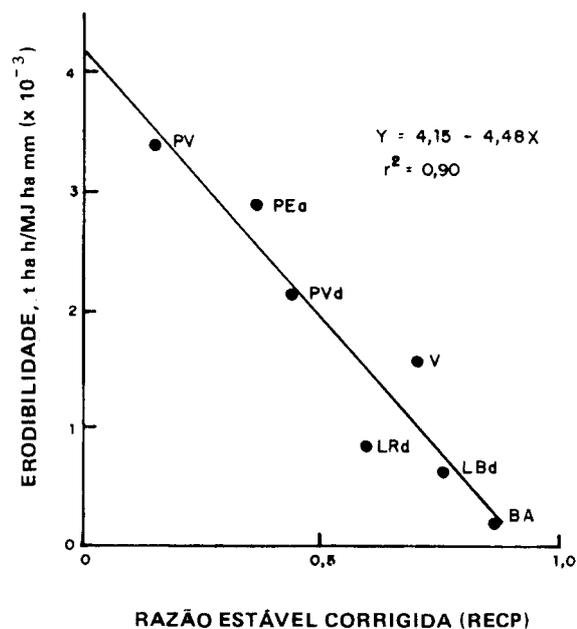


Figura 1. Relação entre a erodibilidade em entressulcos (Y) e a razão estável corrigida de partículas de solo sob chuva (RECP) (X).

Capacidade de troca de cátions e composição química total

A capacidade de troca de cátions em pH natural do solo e em pH 7,0 não apresentou correlação significativa com a erodibilidade em entressulcos, ocorrendo o mesmo com os cátions trocáveis quando tomados individualmente - Quadro 4.

O alumínio foi, entre os elementos químicos, o que apresentou melhor correlação com a erodibilidade em entressulcos, com um coeficiente de correlação significativo ao nível de 1%. A concentração total de alumínio está relacionada com o teor de argila no solo, bem como óxidos desse elemento e, dessa forma, reúne o efeito dessas duas propriedades, pois tanto a argila como os óxidos de alumínio apresentaram correlação negativa e significativa com a erodibilidade em entressulcos.

Também a concentração de ferro apresentou correlação significativa, refletindo basicamente a presença de óxidos desse elemento. A exemplo do que acontece com o alumínio e com o ferro, o silício também reflete indiretamente outras características do

solo, estando associado ao teor de argilo-minerais e, principalmente, de areia. A relação entre o silício e o teor de areia explica o fato de esse elemento ter apresentado boa correlação com a erodibilidade em entressulcos.

Óxidos de ferro e de alumínio

Os óxidos de ferro e de alumínio, juntamente com a argila, promovem a união e a cimentação das partículas primárias, formando agregados, cuja estabilidade também é determinada por esses compostos. Isso explica o fato de solos com maior teor de óxidos de ferro e de alumínio apresentarem boa agregação (alto DMPAs e DMPPs) e alta estabilidade dos agregados (REA e REP) e, conseqüentemente, baixa erodibilidade em entressulcos.

Estudos de regressão linear simples e múltipla

Os parâmetros que individualmente apresentaram maiores coeficientes de determinação com a ero-

dibilidade em entressulcos foram o parâmetro textural P, que reflete o comportamento no solo das frações areia, silte e argila, a razão estável corrigida de partículas de solo sob chuva (RECP), um índice da estabilidade global do solo diante da aplicação de chuva simulada e o teor de alumínio no solo. Numa regressão múltipla entre duas variáveis independentes e a erodibilidade em entressulcos, o teor de óxidos de ferro extraídos por HCl 6N foi a variável que proporcionou o maior incremento no coeficiente de determinação, sendo a primeira variável tanto o parâmetro textural P quanto a RECP - Quadro 5. A inclusão de uma terceira variável não melhorou o coeficiente de correlação ou, quando isso ocorreu, não houve lógica física que justificasse a participação dessa variável na regressão múltipla.

O maior coeficiente de determinação ($r^2=0,9775$) foi obtido utilizando-se a RECP e o teor de óxidos de ferro extraídos por HCl 6N como variáveis independentes. A equação de regressão é escrita como:

Quadro 4. Propriedades e parâmetros químicos e seus coeficientes de correlação com a erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul (médias de três ou quatro repetições)

Propriedade ou parâmetro	Solo ⁽¹⁾							Coeficiente de correlação
	BA	LBd	LRd	V	PVd	PEa	PV	
Capacidade de troca de cátions (meq/100g)								
Ca ²⁺	11,61	1,77	5,75	18,07	1,01	2,43	2,16	-0,39
Mg ²⁺	4,81	0,74	1,96	9,16	0,29	0,16	0,42	-0,38
K ⁺	1,49	0,70	0,24	1,55	0,34	0,17	0,41	-0,52
Mn ²⁺	0,39	0,08	0,06	0,04	0,03	0,05	0,05	-0,58
Al ³⁺	0,00	3,81	0,16	1,65	0,88	1,33	0,20	-0,20
Soma de bases trocáveis	17,97	3,30	7,98	28,92	1,66	2,78	3,01	-0,40
CTC	18,36	7,19	8,20	30,61	2,57	4,16	3,26	-0,43
Al ³⁺ + H ⁺	2,63	10,40	3,82	6,99	2,92	4,97	4,99	-0,13
T	20,99	13,78	11,86	35,95	4,61	7,80	8,05	-0,42
Composição química total (%)								
Si	17,82	17,60	13,72	26,68	32,62	38,80	28,08	0,83*
Al	8,33	8,74	9,14	5,94	2,61	3,98	1,47	-0,93**
Fe	11,05	13,19	16,51	3,02	1,32	3,09	0,87	-0,83*
Ca	0,31	0,06	0,14	0,44	0,04	0,08	0,06	-0,42
Mg	0,42	0,23	0,23	0,84	0,06	0,16	0,11	-0,37
K	2,08	0,60	0,64	5,18	2,04	1,12	1,68	0,05
Mn	0,26	0,07	0,15	0,03	0,01	0,03	0,01	-0,77*
C orgânico	3,39	3,36	1,91	4,34	1,40	1,64	1,46	-0,62
Óxidos de ferro (%) extraídos por:								
Oxalato de amônio	0,81	0,51	0,56	0,69	0,11	0,24	0,32	-0,75
HCl 6N	13,39	12,29	14,74	1,35	0,41	1,98	0,27	-0,86*
CDB	12,26	14,64	16,81	2,15	2,17	4,15	1,16	-0,81*
Óxidos de alumínio (%) extraídos por:								
HCl 6N	3,32	3,83	2,36	1,49	0,41	1,14	0,46	-0,88**
CDB	2,10	4,24	1,64	0,53	0,54	1,00	0,36	-0,69

* Significância estatística ao nível de 5%. ** Significância estatística ao nível de 1%.

⁽¹⁾ BA: Brunizém avermelhado; LBd: Latossolo bruno distrófico; LRd: Latossolo roxo distrófico; V: Vertissolo; PVd: Podzólico vermelho-amarelo distrófico; PEa: Podzólico vermelho-escuro álico; PV: Podzólico vermelho-amarelo.

$$Y = 0,00387 - 0,00321 X_1 - 0,000068 X_2$$

em que:

Y = erodibilidade em entressulcos (t ha h/MJ ha mm);

X₁ = razão estável corrigida de partículas de solo sob chuva (adimensional);

X₂ = % Fe₂O₃ extraído por HCl 6N.

A relação entre a erodibilidade em entressulcos estimada por essa equação e a determinada nos testes com chuva simulada encontra-se na figura 2.

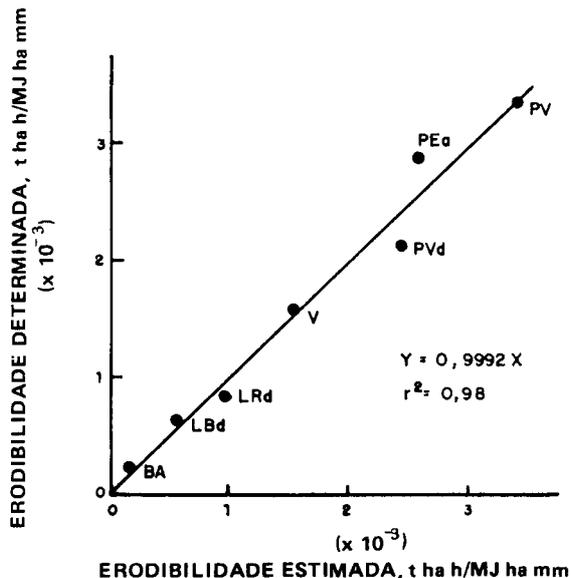


Figura 2. Relação entre a erodibilidade em entressulcos determinada (Y) e a erodibilidade em entressulcos estimada (X) para solos do Rio Grande do Sul.

Quadro 5. Coeficientes de determinação (r^2) obtidos de regressões lineares simples e múltiplas entre parâmetros do solo e a erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul

Parâmetro	Coefficiente de determinação (r^2)
Fe ₂ O ₃ (HCl)	0,7401
Parâmetro textural P	0,8453
Razão estável corrigida (RECP)	0,9016
Parâmetro textural P e razão estável corrigida (RECP)	0,9048
Parâmetro textural P e Fe ₂ O ₃ (HCl)	0,9696
Razão estável corrigida (RECP) e Fe ₂ O ₃ (HCl)	0,9775

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, Ministério da Agricultura, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30)
- BRAYAN, R.B. The development, use and efficiency of soil erodibility. *Geoderma*, Amsterdam, 2:5-26, 1968.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 1.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.545-567. (Agronomy Series, 9.)

DeBOODT, M.; VANDEVELDE, R. & GABRIELS, D. A quick laboratory method to study the dynamics of soil erosion. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 11., Moscow, 1974, Transactions. 1974. v.11. p.96-104.

DICK, D.P. Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1986. 196f. (Dissertação de Mestrado)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1979. n.p.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 1.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Series, 9)

LIM, C.H. & JACKSON, M.L. Dissolution for total elemental analysis. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 2.* Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.1-12. (Agronomy Series, 9)

MEHRA, D.P. & JACKSON, W.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.*, Clarkson, 7:317-327, 1960.

MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslope. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 22(1):100-103, 1979.

MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48(5):1152-1157, 1984.

OLSON, T.C. & WISCHMEIER, W.H. Soil-erodibility evaluations for soils on the runoff in erosion stations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 27(5):590-592, 1963.

RICHARDS, L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 1.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.128-152. (Agronomy Series, 9.)

RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B. & NELSON, D.W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 28(4):570-574, 1977.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 188p. (Boletim técnico de Solos, 5)

TROTT, K.E. & SINGER, M.J. Relative erodibility of 20 California range and forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 47(4):753-759, 1983.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Survey Staff. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for mapping and interpreting of soil survey.* Washington, USDA, 1975. 754p. (Agriculture Handbook, 436)

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Wat. Conserv.*, Ankeny, 26(5):189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 33(1):131-157, 1969.