

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

RELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE EM ENTRESSULCOS E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS⁽¹⁾

J. A. ALBUQUERQUE⁽²⁾, E. A. CASSOL⁽³⁾ & D. J. REINERT⁽⁴⁾

RESUMO

A erodibilidade do solo é uma característica utilizada nos planejamentos conservacionistas, especialmente, quando áreas agrícolas são utilizadas intensivamente. As práticas de conservação devem ser mais intensas em solos com erodibilidade alta do que em áreas com erodibilidade baixa. Como a determinação da erodibilidade do solo é difícil de ser realizada no campo, avaliou-se a relação entre os índices de expressão de estabilidade dos agregados e a erodibilidade do solo em entressulcos, utilizando amostras de solos do Rio Grande do Sul com propriedades químicas, físicas e mineralógicas diferentes. Foram medidas em laboratório a estabilidade dos agregados e a erodibilidade do solo em entressulcos, servindo-se de chuva simulada. Os coeficientes de determinação (R^2) entre diferentes índices de estabilidade dos agregados e a erodibilidade do solo em entressulcos foram significativos ($p < 0,01$), indicando que esses índices foram adequados para prever a erodibilidade do solo em entressulcos. Alguns índices que usam o diâmetro médio ponderado para expressar a estabilidade dos agregados também foram significativos ($p < 0,05$). A estabilidade dos agregados mostrou-se adequada para estimar a suscetibilidade dos solos à erosão hídrica em entressulcos.

Termos de indexação: suscetibilidade à erosão, erosão hídrica, propriedades do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, Porto Alegre (RS). Recebido para publicação em janeiro de 1999 e aprovado em dezembro de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Caixa Postal 281. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2ja@cav.udesc.br.

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da FA - UFRGS. Caixa Postal 776. CEP 90001-970 Porto Alegre (RS) e Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Rua Gonçalves Dias, 570. CEP 90130-060 Porto Alegre (RS). Pesquisador do CNPq. E-mail: cassolea@orion.ufrgs.br.

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Solos da UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Pesquisador do CNPq.

SUMMARY: *RELATIONSHIP BETWEEN SOIL INTERRILL ERODIBILITY AND AGGREGATE STABILITY*

Erodibility is a soil attribute used for conservation planning especially in intensively cultivated land. Soils with high erodibility need more intensive conservation practices than soils with low erodibility. As direct soil erodibility measurement is difficult on the field, the objective of this research was to determine the relationship between soil interrill erodibility and aggregate stability in soils with different physical, chemical and mineralogical properties in Rio Grande do Sul state, Brazil. Aggregate stability and soil interrill erodibility were measured in the laboratory. The coefficients of determination (R^2) between different soil aggregation indexes and soil erodibility were statistically significant ($p < 0.01$), suggesting it is feasible to use these relationships to predict soil interrill erodibility. Some indexes, using the mean weight diameter to express aggregate stability were also statistically significant ($p < 0.05$). Aggregate stability can be an adequate approach to predict interrill soil erodibility and soil erosion susceptibility.

Index terms: erosion susceptibility, water erosion, soil properties.

INTRODUÇÃO

O conhecimento de propriedades do solo auxilia na seleção das áreas a serem utilizadas na exploração agrícola, bem como na determinação do tipo e do grau com que as práticas de preservação devem ser empregadas para reduzir a degradação pela erosão hídrica do solo.

A erosão do solo tem sido definida como “a desagregação e o transporte de solo por agentes erosivos” (Ellison, 1947). A erosão geológica ou normal é a erosão do solo em seu ambiente natural, não alterado pela atividade humana, incluindo os processos de intemperização e a remoção dos materiais pela gravidade, vento, água e gelo, ativos através do tempo geológico. “A erosão acelerada é a erosão com uma taxa excedente a taxa natural ou de gênese do solo” (Gottschalk, 1965). O termo erodibilidade refere-se à vulnerabilidade ou à suscetibilidade de um solo à erosão, que é a recíproca de sua resistência (Hudson, 1981). A erodibilidade de um solo pela água dependerá: (a) das propriedades que atuam na resistência do solo à desagregação pela água e (b) das propriedades que afetam seu transporte pela água (Ellison, 1946). Ambos são processos que dependem da estabilidade dos agregados.

Segundo Meyer et al. (1975), os processos de erosão foram subdivididos em entressulcos e em sulcos, conforme as características do fluxo e a origem do sedimento. O *modelo Water Erosion Prediction Project* (WEPP) utiliza esse conceito, por isso entre seus parâmetros têm-se a erodibilidade em entressulcos e a erodibilidade em sulcos. A erodibilidade básica do solo em entressulcos, determinada nas condições de solo descoberto, recém-preparado e com declividade padrão, é obtida pela determinação da taxa de desagregação e da intensidade da chuva (Alberts et al., 1995).

A medição direta da taxa de desagregação em entressulcos é cara e demanda tempo. Além disso, existe grande variabilidade nas propriedades dentro da mesma classe de solo. Logo, a medição direta da erodibilidade obtida em campo em determinado solo não pode ser extrapolada para solos da mesma classe em outros locais.

Uma alternativa para obter o fator erodibilidade é através de relações com propriedades do solo. Existem vários métodos para estimar o fator erodibilidade. Para utilização na “equação universal de perda de solo” (USLE), Wischmeier & Mannering (1969) desenvolveram uma equação para estimar o fator erodibilidade e, a partir desse estudo, Wischmeier et al. (1971) construíram um nomograma para tal determinação. Esses métodos, denominados indiretos, foram desenvolvidos em regiões de clima temperado, não sendo seu uso recomendado para regiões de clima tropical. Esse nomograma, amplamente utilizado, foi desenvolvido para solos predominantemente com granulometria média. No Brasil, Henklain & Freire (1983), Martins Filho & Silva (1985) e Marques (1996) afirmaram que o nomograma de Wischmeier et al. (1971) não estimou com precisão a erodibilidade do solo em regiões de clima tropical.

Outros modelos foram também propostos para estimar a erodibilidade global do solo (Young & Mutchler, 1977; Römken et al., 1977; Lindsay & Gumbs, 1982). No Brasil, Silva et al. (1998) observaram que parâmetros relacionados com a estrutura e com a granulometria do solo podem alterar a erodibilidade global do solo. Para a erodibilidade do solo em entressulcos, foram propostos modelos por Trott & Singer (1983), Meyer & Harmon (1984) e Burroughs et al. (1992). Para o modelo WEPP, Alberts et al. (1995) apresentaram uma equação para estimar o fator básico de

erodibilidade em entressulcos em solos não consolidados (K_{ib}), condição típica daquela verificada após o preparo convencional do solo. Segundo esses autores, para solos com mais de 300 g kg⁻¹ de areia na superfície, a erodibilidade em entressulcos depende do teor de areia muito fina, enquanto, para solos com menos de 300 g kg⁻¹ de areia na superfície, depende do teor de argila.

De Vleeschauwer et al. (1978) testaram onze índices de agregação e os compararam com a erodibilidade do solo em entressulcos, usando chuva simulada, em oito solos com características físicas e químicas distintas, coletados em região tropical, na Nigéria. Dois índices que envolvem a determinação da estabilidade dos agregados em água foram os que apresentaram a melhor estimativa da erodibilidade do solo em entressulcos. Elwell (1986) também observou que a estabilidade dos agregados determinada pelo método de Kemper & Chepil (1965) explicou 95 % da variação das perdas de solo em entressulcos, em um solo com horizonte B_t no Zimbábue.

A hipótese de existência de uma relação entre a erodibilidade do solo em entressulcos e a estabilidade dos agregados foi testada neste estudo, considerando que sob uma mesma chuva, em solos com agregados mais estáveis, haverá menor desagregação e, portanto, menos material estará disponível para ser transportado pelo fluxo superficial, menor será a formação do selo superficial, maior a taxa de infiltração de água no solo e, como conseqüência, menor será a erosão hídrica em entressulcos, em comparação com solos com agregados menos estáveis.

O objetivo deste estudo foi, portanto, identificar quais os métodos de determinação de índices de estabilidade dos agregados relacionam-se com a erodibilidade do solo em entressulcos em amostras de solos com propriedades químicas, físicas e mineralógicas diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nos laboratórios de erosão, física e química do solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de julho de 1995 a março de 1997. Foram utilizados sete solos do estado do Rio Grande do Sul, com propriedades físicas, químicas e mineralógicas distintas, classificados no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do estado do Rio Grande do Sul (Brasil, 1973). Os solos foram escolhidos de acordo com o tipo de argila, teor de óxidos de ferro e importância agrícola para o estado (Quadro 1). As amostras de solo foram coletadas em áreas de pastagem nativa, com exceção da Terra Roxa Estruturada, coletada em área de mata nativa e em

locais onde a vegetação estava estabelecida por um período superior a cinco anos, para evitar o efeito residual do uso do solo. A amostragem foi realizada na camada de 0-15 cm em local representativo de cada classe de solo escolhida. Para o Planossolo, a amostragem foi efetuada na camada de 20-40 cm, no horizonte A, com vistas em obter uma amostra com minerais menos intemperizados do que na superfície.

Após a remoção da vegetação, foram coletados os torrões e todo o solo mobilizado com pá de corte, os quais foram, então, acondicionados em sacos e transportados para o laboratório. As amostras foram destorroadas manualmente e passadas em peneira com malha de 10 mm de diâmetro. Nesta etapa, evitou-se exercer pressão sobre os agregados, para minimizar sua compactação. Após serem tamisadas, as amostras de solo foram secas ao ar e armazenadas até à realização dos testes com chuva simulada, para a determinação da erodibilidade em entressulcos. Amostras de solo nas mesmas condições foram usadas para determinação da estabilidade dos agregados.

Distribuição de tamanho e estabilidade de agregados

Para estas determinações, as amostras foram novamente tamisadas em peneira com malha de 9,51 mm de diâmetro para padronizar o tamanho dos agregados usados nas determinações de distribuição e estabilidade de agregados.

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado, considerando os agregados mais partículas individuais (DMPP) e somente dos agregados, após descontadas as partículas individuais (DMPA).

O diâmetro médio ponderado a seco (DMPP_S; DMPA_S) foi determinado, segundo Kemper & Chepil (1965), usando-se 50 g de solo que havia passado em peneira de 9,51 mm considerando o teor de umidade da amostra. Nesta determinação, os agregados foram tamisados a seco, durante um minuto por amostra, em agitador "Produtest", equipado com um conjunto de cinco peneiras com malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm de diâmetro. Após o tamisamento, os agregados de cada classe foram secos a 105°C e pesados para obter a massa de agregados retidos em cada peneira. A quantidade de partículas individuais retidas em cada classe (material não considerado como agregado) foi obtida dispersando os agregados retidos em cada classe com NaOH 1 mol L⁻¹ e passando-os na respectiva peneira. O material retido foi seco a 105°C, pesado e descontado da massa de agregados mais partículas, obtendo-se, assim, a massa de agregados.

O diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMPA) e de agregados mais partículas (DMPP) foi obtido segundo o método de Kemper & Chepil (1965) (DMPA_K; DMPP_K) e de Tisdall et al. (1978) modificado por Carpenedo & Mielniczuk (1990) (DMPA_T; DMPP_T). A modificação

Quadro 1. Classificação taxonômica, material de origem, vegetação, local de coleta, mineralogia da argila, teor de argila e de óxidos de ferro (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) dos solos estudados

Classificação		Material de origem	Vegetação	Local da coleta	Mineralogia da argila	Argila Fe ₂ O ₃	
Brasileira ⁽¹⁾	USDA ⁽²⁾					— g kg ⁻¹ —	
Latossolo Bruno Câmbico (LB)	Oxisol	Basalto	Pastagem nativa	São Francisco de Paula	Caulinita; 2:1 HE	580	131
Latossolo Vermelho-Escuro (LE _M)	Oxisol	Basalto e arenito	Pastagem nativa	Marau	Caulinita; 2:1 HE	456	139
Terra Roxa Estruturada (TR)	Ultisol	Basalto	Mata nativa	Santa Cruz do Sul	Caulinita; 2:1 HE	486	66
Latossolo Vermelho-Escuro (LE _{PF})	Oxisol	Basalto e arenito	Pastagem nativa	Passo Fundo	Caulinita; 2:1 HE	520	95
Vertissolo (V)	Vertisol	Basalto	Pastagem nativa	Santana do Livramento	Esmectita	415	26
Brunizém Vértico (Bv)	Mollisol ⁽³⁾	Siltitos	Pastagem nativa	Rio Pardo	Esmectita; Caulinita	261	13
Planossolo (PL)	Ultisol	Folhelhos	Pastagem nativa	São Gabriel	Esmectita	233	7

⁽¹⁾Brasil (1973). ⁽²⁾USDA (1975). ⁽³⁾Vertic argiudoll. Klamt (1973).

introduzida aumenta a energia imposta aos agregados com o objetivo de fracionar agregados de solos estáveis, que, comumente, ocorrem no Brasil.

No método modificado, amostras com 50 gramas do solo que passou na peneira de 9,51 mm foram umedecidas por capilaridade, sobre papel filtro, durante doze horas. Após, foram transferidas para tubos plásticos de 1.000 mL, com diâmetro de 7,2 cm e altura de 23,5 cm, que continham 500 mL de água deionizada. Agitou-se durante dois minutos a 16 rpm em agitador rotativo e, após, transferiu-se a amostra para uma proveta de um litro onde se determinaram os teores de silte mais argila dispersa por meio de um densímetro. Após isto, a amostra foi transferida para a peneira de 4,76 mm do jogo de peneiras e o procedimento seguiu o método descrito por Kemper & Chepil (1965). Obteve-se a massa de agregados retida no conjunto de peneiras com malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm e a determinada pelo densímetro (argila mais silte).

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA_V) e o diâmetro médio ponderado de agregados mais partículas (DMPP_V) sob ação da chuva foram obtidos segundo procedimento descrito em Veiga et al. (1993), no qual se utilizou a energia da chuva simulada, com intensidade constante de 90 mm h⁻¹, durante 10 min, para desagregar as amostras.

Com estas determinações, foram calculados os índices que refletem a estabilidade dos agregados IE_T e IE_V por meio das equações abaixo, utilizadas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Veiga et al. (1993):

$$IE_T = \frac{DMPA_T}{DMPA_S} \quad (1)$$

$$IE_V = \frac{DMPA_V}{DMPA_S} \quad (2)$$

O método descrito por Kemper & Rosenau (1986) IE_{KR} foi utilizado, com amostra contendo quatro gramas de agregados da classe entre 1 e 2 mm colocados sobre peneira com malha de 0,25 mm de diâmetro. Os agregados foram agitados durante cinco minutos, com 42 oscilações de 1,3 cm de amplitude durante cinco minutos. A fração estável, após a agitação, expressa a estabilidade dos agregados.

Determinação da erodibilidade do solo em entressulcos com chuva simulada

A parcela experimental, em laboratório, consistiu de uma bandeja plástica com dimensões de 64 cm de comprimento, 40 cm de largura (área de 0,256 m²) e 20 cm de altura.

A bandeja foi colocada sobre uma mesa quadrada com um metro de lado e inclinação de $0,09 \text{ m m}^{-1}$. Para facilitar a drenagem interna da água de percolação, foi adicionada uma camada de 2 cm de areia média e grossa (0,25-1,00 mm) no fundo da bandeja. Sobre essa camada de areia, foi colocada a amostra de solo seco ao ar, previamente tamisado em peneira com malha de 10 mm de diâmetro, procurando acondicioná-la na bandeja com vistas em obter uma densidade de empacotamento do solo ao redor de $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$, com rugosidade superficial uniforme entre as diferentes amostras e mínima segregação dos agregados.

Pré-umedecimento do solo na parcela experimental

No fundo da bandeja plástica que constituiu a parcela experimental, foram abertos quatro orifícios, com diâmetro de 6 mm, conectados a uma mangueira plástica transparente. O solo foi saturado 20 horas antes da realização de cada chuva. Para isso, a extremidade livre da mangueira plástica foi conectada a um reservatório com o nível de água a uma altura de 10 cm acima do nível superior do solo na bandeja, de modo que a água passasse do reservatório para o interior da bandeja, até formar-se uma lâmina de água de 2 mm sobre o solo. O nível da água no reservatório e a superfície do solo foram mantidos iguais. Transcorridas 18 horas do início da saturação, aplicou-se na amostra uma sucção equivalente a uma coluna de água de 60 cm de altura, durante 2 horas, com o objetivo de remover a água dos macroporos. Após essa drenagem, iniciou-se a chuva.

Aplicação das chuvas simuladas

As chuvas foram aplicadas por meio de um simulador de chuva semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), construído no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS e descrito por Souza (1985). O bico utilizado no simulador (Veejet 80-150, da Spraying Systems Company de Chicago, USA) ficou a 3,1 m da superfície do solo, operando com pressão constante de saída de água no bico de 41 kN m^{-2} . Nessa condição, a energia cinética de impacto das gotas é de, aproximadamente, $275 \text{ kJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, equivalente a 100% da energia de impacto de uma chuva natural com intensidade igual à do presente estudo (80 mm h^{-1}), mas com distribuição de tamanho de gotas de uma chuva natural de 26 a 51 mm h^{-1} (Meyer & Harmon, 1979). Para cada teste, foi aplicada chuva com duas horas de duração e com intensidade de 80 mm h^{-1} , totalizando 4.400 J m^{-2} de energia cinética. A intensidade da chuva foi calibrada no início de cada teste e determinada imediatamente antes e depois da chuva simulada.

Após a aplicação de uma chuva simulada em cada solo, a areia do fundo da bandeja e o solo foram

removidos e um novo material foi utilizado para o teste seguinte. Aplicaram-se quatro chuvas simuladas para cada solo que, segundo Silveira & Chevallier (1991), seriam suficientes para a análise estatística. A mangueira plástica conectada ao fundo da bandeja foi mantida, durante a realização das chuvas, com um desnível de 10 cm em relação ao fundo da bandeja, para favorecer a percolação de água.

Determinação das perdas de solo e água

O deflúvio superficial foi coletado em potes plásticos de 400 mL, colocados na saída de uma calha instalada na extremidade inferior da bandeja. O escoamento foi coletado em períodos de um minuto intercalados por dois minutos sem coleta.

Os potes com a suspensão solo-água do deflúvio foram pesados, sendo após adicionados 5 mL de solução concentrada de sulfato duplo de alumínio e potássio, permanecendo em repouso por 24 h com o objetivo de sedimentar o material sólido. A água limpa sobrenadante foi retirada dos potes com auxílio de uma mangueira por sifonamento, tendo sido os potes levados à estufa a 70°C , até peso constante. Para cada pote com a amostra coletada no período de 1 min, foi calculada a massa de água e de solo seco em estufa.

O solo salpicado para fora da bandeja foi recolhido pela toalha plástica disposta sobre a mesa, sendo coletado através da calha disposta na cota inferior da mesa. A massa total de solo salpicado para fora da bandeja foi determinada por secagem e pesagem do material sólido salpicado. O solo erodido que ficou retido na calha coletora situada na extremidade inferior da bandeja foi coletado após o término de cada chuva, tendo também sido seco em estufa e determinada sua massa.

A massa total de solo salpicado e a massa total de solo retido na calha foram somadas e esse valor foi dividido pelo número de coletas de enxurrada de cada teste de chuva. O resultado dessa divisão representou a perda de solo do salpico e do retido na calha, para cada intervalo de 1 min de coleta. Assim, a massa de solo erodido em cada intervalo de coleta é a massa do solo coletado na enxurrada em cada minuto, mais uma fração da massa de solo retida na calha e mais uma fração do solo salpicado para fora da bandeja.

Cálculo da taxa de desagregação e da erodibilidade em entressulcos

A taxa de desagregação de solo em entressulcos, para cada intervalo de coleta, é a divisão da massa do solo erodido (na enxurrada, por salpico e o retido na calha) em cada intervalo de coleta pela área da bandeja e pelo intervalo de cada coleta (60s).

A taxa de desagregação do solo em entressulcos foi obtida, plotando-se os valores das taxas de

desagregação (D) para cada intervalo de coleta conforme o tempo de chuva transcorrido. Para estes dados, em cada solo e repetição, foi ajustada uma equação, determinando-se o “ponto de máxima” da taxa de desagregação (D_i) utilizado no cálculo de K_i . Para os solos onde não houve um “ponto de máxima”, calculou-se a taxa de desagregação média. Nos solos onde a taxa de desagregação continuou a aumentar durante os 120 min de duração da chuva, utilizou-se a média dos últimos cinco valores de taxas de desagregação, conforme método proposto para o modelo WEPP (Elliot et al., 1989).

O fator erodibilidade do solo em entressulcos foi calculado pela seguinte expressão:

$$K_i = \frac{D_i}{I^2 S_f} \quad (3)$$

em que: K_i é o fator erodibilidade do solo em entressulcos em kg s m^{-4} ; D_i é a taxa máxima de desagregação de solo em entressulcos, em $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e I é a intensidade da chuva, em m s^{-1} . O termo S_f é o fator declividade em entressulcos, adimensional, dado pela equação (Liebenow et al., 1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 \exp^{-4 \sin \theta} \quad (4)$$

em que: θ é o ângulo do declive do solo. Na declividade de $0,09 \text{ m m}^{-1}$, o ângulo é de $5,14$ e o valor de S_f é de $0,456$ (adimensional). A intensidade de chuva utilizada nos cálculos foi a intensidade média das determinações efetuadas uma no início e outra no final de cada chuva.

Análise dos dados

O fator erodibilidade do solo em entressulcos (K_i) foi relacionado com a estabilidade dos agregados por meio de análises de regressão simples. Aos pares de valores (estabilidade; K_i) foi ajustada uma equação, obtendo-se os coeficientes da equação de regressão.

Para comparar as médias dos valores de K_i medidos no laboratório, foram utilizados o teste “DMS” e o delineamento experimental inteiramente casualizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de erodibilidade em entressulcos tiveram grande variação entre os solos estudados (Figura 1). Isso indica que a erodibilidade em entressulcos varia conforme as características do solo. Segundo Bradford & Foster (1996), a erodibilidade em entressulcos não é uma propriedade fundamental do solo, porque varia com a equação utilizada para seu cálculo e com o tempo de aplicação da chuva.

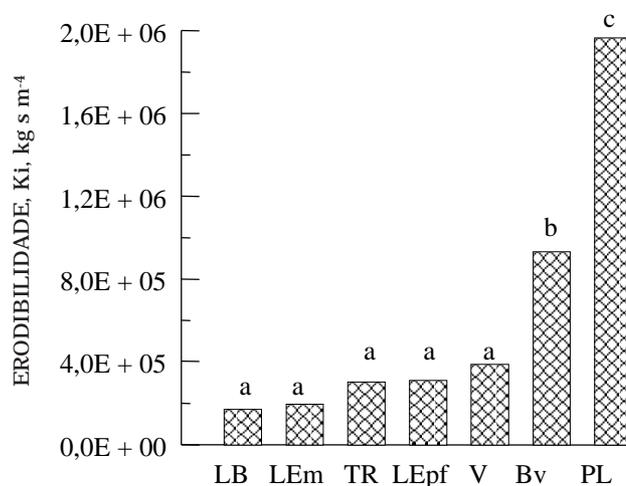


Figura 1. Erodibilidade do solo em entressulcos dos solos avaliados neste estudo. LB = Latossolo Bruno Câmbico; LE_M = Latossolo Vermelho-Escuro de Marau; TR = Terra Roxa Estruturada; LE_{PF} = Latossolo Vermelho-Escuro de Passo Fundo; V = Vertissolo; Bv = Brunizém Vértico; PL = Planossolo.

Neste estudo, a erodibilidade em entressulcos variou de $1,7 \times 10^5$ a $19,6 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$. Ben-Hur et al. (1992), em seis solos da África do Sul e condições experimentais semelhantes à da presente pesquisa, porém com intensidade da chuva de 42 mm h^{-1} , encontraram valores de erodibilidade em entressulcos de $1,5 \times 10^5$ a $10,5 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$. Os menores valores obtidos por aqueles autores deveriam-se, possivelmente, à menor intensidade da chuva utilizada naquele trabalho e a variações no tipo de solo. Neste estudo, a intensidade da chuva variou de 79 a 81 mm h^{-1} (Quadro 2), sendo os solos, praticamente, expostos a chuvas de mesma intensidade.

Bradford & Foster (1996), com simulador de chuva, declividade e condições de umidade inicial semelhantes aos do presente estudo, porém com intensidade de chuva de 72 mm h^{-1} , encontraram valores de erodibilidade em entressulcos entre $9,6 \times 10^5$ e $24,7 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$. Apesar da ampla variação nas características dos solos utilizados em outros estudos, para condições experimentais semelhantes às deste trabalho, verificou-se que os valores de erodibilidade em entressulcos mostraram-se similares.

No modelo WEPP, a erodibilidade básica do solo em entressulcos, isto é, em solos recentemente preparados, sem resíduos, coberturas, ou raízes, e na condição padrão de declividade de 1 m m^{-1} , apresenta uma amplitude de variação entre 5×10^5 e $120 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ (Alberts et al., 1995), quando o método para a coleta e obtenção de dados segue o

descrito por Elliot et al. (1989). Seguindo esse método, em parcelas planas, sem o sulco central, Liebenow et al. (1990) encontraram valores de erodibilidade em entressulcos, variando de $8,8 \times 10^5$ a $52,6 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ em 18 solos no oeste dos EUA.

Quadro 2. Valores de intensidade média das chuvas (I), descarga líquida total (Q_L), taxa de desagregação do solo em entressulcos (Di) e erodibilidade em entressulcos (K_i) dos solos avaliados

Solo ⁽¹⁾	I	Q _L	Di x 10 ⁵	K _i x 10 ⁻⁵ ⁽²⁾
	mm h ⁻¹	mm	kg m ⁻² s ⁻¹	kg s m ⁻⁴
LB	80	71	3,8	1,7 a
LE _M	81	43	4,5	1,9 a
TR	81	91	7,0	3,0 a
LE _{PF}	81	92	7,2	3,1 a
V	80	118	8,7	3,9 a
Bv	80	123	21,1	9,3 b
PL	79	137	43,5	19,6 c

⁽¹⁾ LB = Latossolo Bruno Câmbico; LE_M = Latossolo Vermelho-Escuro de Marau; TR = Terra Roxa Estruturada; LE_{PF} = Latossolo Vermelho-Escuro de Passo Fundo; V = Vertissolo; Bv = Brunizém Vértico; PL = Planossolo. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente P < 0,01 (DMS).

Esses valores são superiores aos encontrados no presente estudo e nos estudos anteriormente citados. No sul do Brasil, em condições de campo e com chuva simulada, Rockenbach (1992), em um Podzólico Vermelho-Amarelo, obteve o valor da erodibilidade em entressulcos igual a $33,5 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$, enquanto Braida & Cassol (1996), em um Podzólico Vermelho-Escuro, obtiveram o valor de $51 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$, situando-se dentro da faixa encontrada por Liebenow et al. (1990) nos EUA, mas superiores aos obtidos no presente trabalho.

O diâmetro médio ponderado dos agregados obtido pelo peneiramento em água, DMPA_T e através da chuva simulada, DMPA_V, que consideram a distribuição de tamanho dos agregados de todo o solo, apresentaram correlação negativa com a erodibilidade em entressulcos (Quadro 3). O DMPA_S não se correlacionou com a erodibilidade em entressulcos, pois um solo com agregados grandes não é necessariamente estável, exemplificado pelo Brunizém Vértico, com agregados grandes quando peneirado a seco, porém com baixa estabilidade em água.

Os índices que refletem a estabilidade dos agregados, IE_T e IE_V, foram negativa e significativamente correlacionados com a erodibilidade em entressulcos (Figuras 2 e 3). O índice de estabilidade dos agregados IE_T teve coeficiente de determinação ligeiramente superior ao do IE_V. Esperava-se que o IE_V tivesse relação superior à do IE_T, já que a energia utilizada no método IE_V foi a mesma utilizada nos testes com chuva simulada, ou seja, a energia da chuva.

Quadro 3. Valores de erodibilidade, diâmetro médio ponderado dos agregados determinado pelo método de Tisdall et al. (1978) DMPA_T, Veiga et al. (1993) DMPA_V e Kemper & Chepil (1965) DMPA_K, diâmetro médio ponderado dos agregados a seco DMPA_S e índices de estabilidade IE_T, IE_V e de Kemper & Rosenau (1986) (IE_{KR}) e coeficientes das equações de regressão linear entre a erodibilidade com os parâmetros avaliados

Solo ⁽¹⁾	Diâmetro médio ponderado				Índice de estabilidade			Erodibilidade
	DMPA _T	DMPA _V	DMPA _S	DMPA _K	IE _T	IE _V	IE _{KR}	K _i 10 ⁻⁵
	mm							kg s m ⁻⁴
LBc	3,07	3,38	3,56	7,04	0,86	0,95	1,00	1,7
LE _M	3,61	4,13	4,38	6,91	0,82	0,94	0,98	1,9
TR	2,47	2,43	3,72	5,94	0,66	0,65	0,94	3,0
LE _{PF}	2,11	1,99	2,88	6,49	0,73	0,69	0,96	3,1
V	3,37	2,99	4,08	6,49	0,83	0,73	0,98	3,9
Bv	1,88	1,43	3,37	5,87	0,56	0,42	0,83	9,3
PL	0,96	0,50	3,08	2,82	0,31	0,16	0,72	19,6
a (10 ⁻⁶)	2,1	1,7	2,7	3,2	2,8	2,0	6,3	
b (10 ⁻⁶)	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4	-3,1	-2,1	-6,2	
R ²	0,710	0,717	0,236	0,928	0,898	0,863	0,958	
F ⁽²⁾	12,3*	12,6*	1,5	64,2**	44,2**	31,6**	113,0**	

⁽¹⁾ LB = Latossolo Bruno Câmbico; LE_M = Latossolo Vermelho-Escuro de Marau; TR = Terra Roxa Estruturada; LE_{PF} = Latossolo Vermelho-Escuro de Passo Fundo; V = Vertissolo; Bv = Brunizém Vértico; PL = Planossolo. ⁽²⁾O valor F calculado indica o grau de significância da correlação. * significativo para P < 0,05 e ** significativo para P < 0,01. ns = não-significativo P < 0,05.

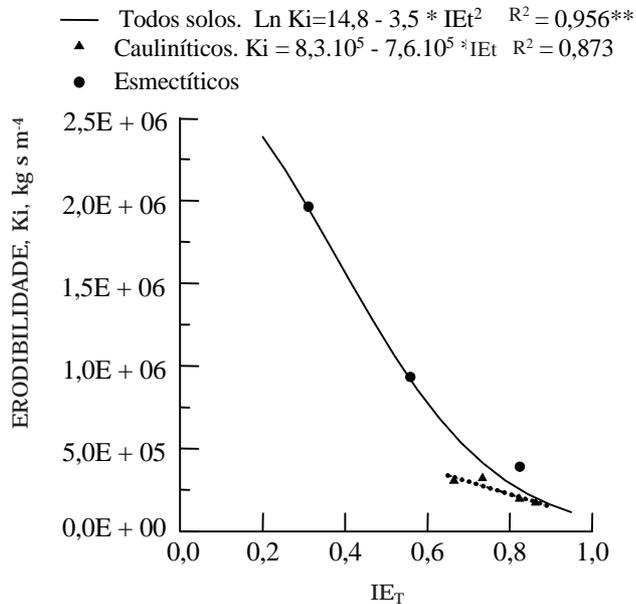


Figura 2. Relação entre a erodibilidade do solo em entressulcos e índice de estabilidade de Tisdall et al. (1978) em amostras de solos do Rio Grande do Sul. A reta (pontilhada) indica o ajuste para os solos caulíníticos.

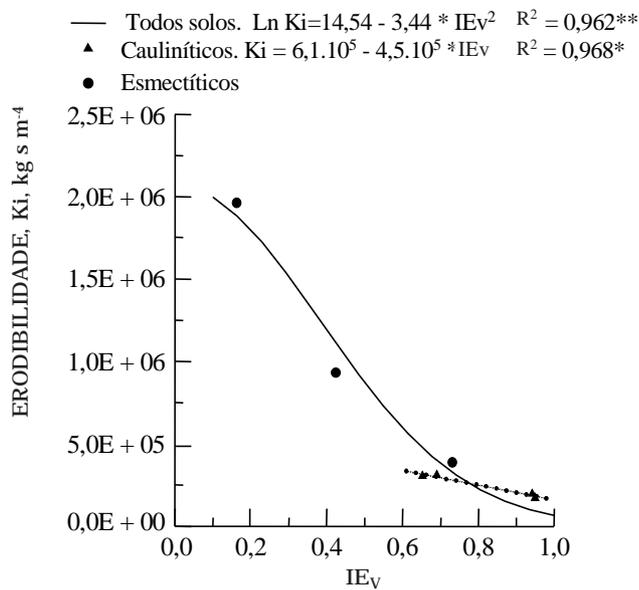


Figura 3. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e índice de estabilidade de Veiga et al. (1993) (IE_V), em amostras de solos do Rio Grande do Sul. A reta (pontilhada) indica o ajuste para os solos caulíníticos.

Para os solos LE_M , LB , TR e LE_{PF} , a equação que descreve a relação entre a erodibilidade em entressulcos e os índices IE_T e IE_V tem uma inclinação menor do que a equação ajustada para todos os solos, indicando que, para os solos

caulíníticos (LE_M , LB , TR e LE_{PF}), a erodibilidade em entressulcos é menos afetada por variações na estabilidade dos agregados do que quando se consideram os solos esmectíticos (V , Bv e PL). Isso pode estar relacionado com a maior descarga líquida total nos solos esmectíticos (Quadro 2). Nesses solos, o escoamento superficial de água e a capacidade de transporte são superiores aos dos solos com descarga líquida total menor. Somado a isso a presença de partículas primárias e os agregados pequenos desagregados da massa de solo resultaram em aumento nas perdas de solo.

Diferentemente dos métodos citados, que usam agregados de todos os tamanhos, no método de Kemper & Chepil (1965), obteve-se o grau de estabilidade de agregados da classe de tamanho entre 4,76 e 9,51 mm e no método descrito por Kemper & Rosenau (1986) foi determinada a estabilidade de agregados da classe entre 1 e 2 mm. Nesses métodos, a energia fornecida para a desagregação foi menor do que nos métodos discutidos anteriormente.

Para os índices de estabilidade, $DMPA_K$ e IE_{KR} , o coeficiente de determinação foi alto e significativo (Figuras 4 e 5), superior aos índices discutidos anteriormente. Para o IE_{KR} , a amplitude dos índices foi pequena (0,72 a 1,0), assim, para estudos futuros, devem-se testar tempos de agitação maiores. Esses métodos foram desenvolvidos com amostras de solos de baixa estabilidade, diferentes dos solos que ocorrem no Brasil, em geral, mais estáveis.

Observou-se por meio dos resultados obtidos pelo método de Kemper & Chepil (1965) que o grau de estabilidade dos agregados de classes maiores (4,76-9,51 mm) foi, aparentemente, mais importante do que o grau de estabilidade dos agregados de todas as classes de agregados (0-9,51 mm) para estimar a erodibilidade em entressulcos. Neste método, seis solos apresentaram alta estabilidade de agregados ($DMPA_K$ entre 5,87 e 7,04 mm), apenas o Planossolo apresentou baixa estabilidade ($DMPA_K$ de 2,82) (Quadro 3).

Assim como observado para o IE_T e o IE_V , o ajuste da equação da erodibilidade em entressulcos com o $DMPA_K$ e o IE_{KR} , para os solos caulíníticos, diferiu do ajuste quando foram considerados todos os sete solos (Figuras 4 e 5).

Os índices IE_T , IE_V , $DMPA_K$ e IE_{KR} foram aptos para prever ou estimar a erodibilidade em entressulcos. O $DMPA_T$ e o $DMPA_V$ tiveram coeficiente de determinação menor que os índices IE_T , IE_V , $DMPA_K$ e IE_{KR} . Em amostras de solos do RS, Veiga et al. (1993) verificaram que o IE_V estimou significativamente a erodibilidade em entressulcos, com coeficiente de determinação superior ao $DMPA_V$.

Os solos com maior grau de intemperismo (LE_M , LB , TR e LE_{PF}) tiveram erodibilidade em entressulcos inferior à dos solos com menor grau de intemperismo (Bv , PL e V). Isso pode ser devido à

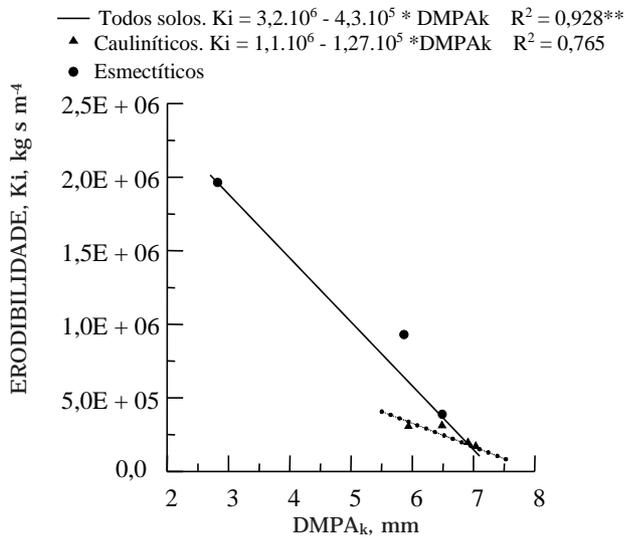


Figura 4. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e o diâmetro médio ponderado dos agregados de Kemper & Chepil (1965) ($DMPA_k$) em amostras de solos do Rio Grande do Sul. A reta (pontilhada) indica o ajuste para os solos cauliniticos.

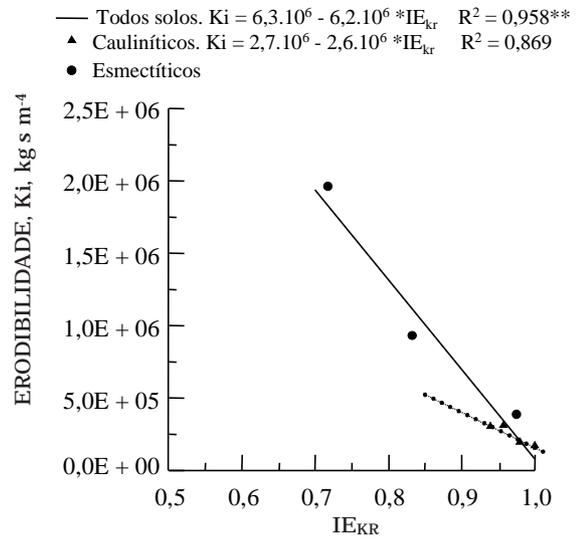


Figura 5. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e índice de estabilidade de Kemper & Rosenau (1986) (IE_{KR}) em amostras de solos do Rio Grande do Sul. A reta (pontilhada) indica o ajuste para os solos cauliniticos.

maior taxa de infiltração de água nestes solos, relacionada com a característica de não-expansividade, e, principalmente, à maior estabilidade dos agregados. McIntyre (1958) observou que um agregado estável na superfície de um solo aumenta significativamente a infiltração de água ao seu redor. Portanto, nos solos com agregados estáveis, a formação do selo superficial foi menor e a taxa de infiltração de água maior com descarga líquida (Quadro 2), capacidade de transporte do fluxo e erosão hídrica menores, situação também constatada por Le Bissonnais & Arrouays (1997). Assim, os solos com maior estabilidade dos agregados são menos susceptíveis à erosão hídrica (Wischmeier & Mannering, 1969; Bajracharya et al., 1992).

No modelo proposto por Young & Mutchler (1977), a estabilidade dos agregados foi o parâmetro que melhor explicou a erodibilidade global do solo. De Vleeschauwer et al. (1978), analisando vários índices de dispersão e estabilidade dos agregados, em solos com características variadas, coletados na Nigéria, desde oxisol até vertisol, constataram que a estabilidade dos agregados em água apresentou as maiores relações com a erodibilidade em entressulcos.

A correlação entre a estabilidade dos agregados e a erosão hídrica do solo pode ser atribuída, principalmente, a dois fatores: (a) em solos mais estáveis, a energia necessária para iniciar a formação do selo superficial é maior que para solos menos estáveis, pois os agregados resistem mais ao impacto das gotas da chuva, a infiltração de água é maior e a

descarga líquida é menor; (b) mesmo na presença de fluxo superficial, as partículas do solo, quando agrupadas em agregados, são mais pesadas e, quanto maior a massa dos agregados, maior é a resistência ao transporte pelo fluxo.

Vários estudos relataram a importância da matéria orgânica (Roth et al., 1991; Bajracharya et al., 1992; Le Bissonnais & Arrouays, 1997), teor de argila (Krishna Murti et al., 1977; Kemper et al., 1987; Skidmore & Layton, 1992) e óxidos de ferro e alumínio (Krishna Murti et al., 1977; Bartoli et al., 1992) na promoção da estabilidade dos agregados. Em estudos relacionados com a estrutura do solo e erosão, o efeito do sistema radicular das plantas deve ser considerado, pois modifica a estabilidade dos agregados não só por meio de seus exsudatos e da força exercida pelas raízes, mas também por meio da ação dos microrganismos quando da decomposição dos resíduos orgânicos. Segundo Silva & Mielniczuk (1998), a densidade radicular apresentou o maior coeficiente de determinação com a estabilidade dos agregados, dentre os parâmetros analisados. Em recente revisão, Degens (1997) observou que as ligações químicas entre partículas do solo e a união de partículas por raízes e hifas de fungos são os principais mecanismos pelo qual o solo pode ser estabilizado em macroagregados.

Apesar de ser uma determinação indireta, dependente de vários parâmetros do solo, a estabilidade dos agregados pode ser utilizada para estimar a erodibilidade, pois os parâmetros do solo

que determinam a estabilidade dos agregados são, em geral, os mesmos que determinam a susceptibilidade do solo à erosão hídrica. A estabilidade dos agregados é um parâmetro de fácil determinação e baixo custo que pode ser realizado em vários locais e épocas do ano, obtendo, assim, a variação estacional, sendo, portanto, adequado para estimar a erodibilidade em entressulcos.

CONCLUSÕES

1. Em solos com alta estabilidade de agregados, a resistência à desagregação pelo impacto das gotas de chuva foi maior.

2. O $DMPA_K$ e o índice de estabilidade IE_{KR} podem ser utilizados para prever a resistência do solo à erosão, pois apresentaram alta correlação com a erodibilidade em entressulcos.

3. Os solos com distinta mineralogia apresentaram suscetibilidade diferente à erosão em entressulcos. Dos solos avaliados, os mais intemperizados foram os mais estáveis e resultaram em menor erodibilidade do solo em entressulcos.

AGRADECIMENTOS

À UFRGS, à Capes e ao CNPq, pela oportunidade de realização do curso.

LITERATURA CITADA

- ALBERTS, E.E.; NEARING, M.A.; WELTZ, M.A.; RISSE, L.M.; PIERSON, F.B.; ZHANG, X.C.; LAFLEN, J.M. & SIMANTON, J.R. Soil component. In: Water Erosion Prediction Project- WEPP. West Lafayette, USDA, 1995. p.1-47. (Report, 10)
- 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.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R. & BURTIN, G. Poorly ordered hydrous Fe oxides, colloidal dispersion and soil aggregation. II. Modification of silty soil aggregation with Fe(III) polycations and model humic macromolecules. *J. Soil Sci.*, 43:59-75, 1992.
- BEN-HUR, M.; STERN, R.; van der MERWE, A.J. & SHAINBERG, I. Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1571-1576, 1992.
- BRADFORD, J.M. & FOSTER, G.R. Interrill soil and slope steepness. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:909-915, 1996.
- BRAIDA, J.A. & CASSOL, E. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um Podzólico Vermelho-Escuro franco-arenoso. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:127-134, 1996.
- 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, 1973. 431p. (Boletim técnico 30).
- BURROUGHS, E.R.; LUCE, C.H. & PHILLIPS, F. Estimating interrill erodibility of forest soils. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 35:1489-1495, 1992.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and factors affecting these: a review. *Aust. J. Soil Res.*, 35:431-459, 1997.
- DE VLEESCHAUWER, D.; LAL, R. & DE BOODT, M. Comparison of detachability indices in relation to soil erodibility for some important Nigerian soils. *Pedologie*, 28:5-20, 1978.
- 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; 1988. West Lafayette, USDA - ARS, 1989. (Report, 3)
- ELLISON, W.D. Soil detachment and transportation. *Soil Conserv.*, 11:171-190, 1946.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies. *P.I- Agric. Eng.* 12:145-146, 1947.
- ELWELL, H.A. Determination of erodibility of a subtropical clay soil: a laboratory rainfall simulator experiment. *J. Soil Sci.*, 37:345-350, 1986.
- GOTTSCHALK, L.C. Reservoir sedimentation. In: CHOW, V.T., ed. Handbook of applied hydrology. New York, Mc-Graw-Hill, 1965. p.17.1-17, 34.
- HENKLAIN, J.C. & FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de Latossolos do estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:191-195, 1983.
- HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca, Cornell University Press, 1981. 324p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy, Monogr., 9)
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.425-442. (Agronomy, Monogr., 9)
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. & DEXTER, A.R. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:860-867, 1987.
- KLAMT, E. Soil-landscape relationship in the depressão central of southern Brazil. Wisconsin, University of Wisconsin, 1973. 147p. (Tese de Doutorado)
- KRISHNA MURTI, G.S.R.; SINGH, G. & RENGASAMY, P. The nature of soil clays and stability of microaggregates. *Aust. J. Soil Res.*, 15:115-119, 1977.
- LE BISSONNAIS, Y. & ARROUAYS, D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Soil Sci.*, 48:39-48, 1997.

- LIEBENOW, A.M.; ELLIOT, W.J.; LAFLÉN, J.M. & KOHL, K.D. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 33:1882-1888, 1990.
- LINDSAY, J.I. & GUMBS, F.A. Erodibility indices compared to measured values of selected Trinidad soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:393-396, 1982.
- MARTINS FILHO, E.C.M. & SILVA, J.R.C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:175-177, 1985.
- MARQUES, J.J.G.S.M. Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 119p. (Tese de Mestrado)
- McINTYRE, D.S. Permeability measurement of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Sci.*, 85:185-189, 1958.
- MEYER, L.D.; FOSTER, D.R. & RÖMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: *SEDIMENT-YIELD WORKSHOP*, 1975, Oxford. *Proceedings*. Washington, USDA, 1975. p.177-189.
- MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Trans., Am. Sci. Agric. Eng.*, 22:100-103, 1979.
- MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1152-1157, 1984.
- 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)
- 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.*, 41:954-960, 1977.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C. & MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:241-248, 1991.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. & LIMA, J.M. Proposição de modelos para a estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. In: *REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 12, Fortaleza, 1998. *Anais*. Fortaleza, SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1998. p.302-303.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SILVEIRA, A.L.L. & CHEVALLIER, P. Primeiros resultados sobre a infiltração em solo cultivado usando simulação de chuvas (Bacia do rio Potiribu - RS). In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 9, Rio de Janeiro, 1991. *Anais*. Rio de Janeiro, ABRH-APRH, 1991. v.1. p.213-221.
- SKIDMORE, E.L. & LAYTON, J.B. Dry-soil stability as influenced by selected properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:557-561, 1992.
- SOUZA, M.D. Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes manejos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 131p. (Tese de Mestrado)
- TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. *Aust. J. Soil Res.*, 16:9-17, 1978.
- TROTT, K.E. & SINGER, M.J. Relative erodibility of 20 California range and forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:753-759, 1983.
- USDA- Soil Survey Staff. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington, 1975. (Agriculture Handbook, 436)
- VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. & REICHERT, J.M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:121-128, 1993.
- 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 nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Conserv.*, 26:189-193, 1971.
- YOUNG, R.A. & MUTCHLER, C.K. Erodibility of some Minnesota soils. *J. Soil Water Conserv.*, 32:180-182, 1977.