

Revista
Ciência, Tecnologia & Ambiente

Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP

Laura Fernanda Simões da Silva¹, Mara de Andrade Marinho^{2*}, Eduardo de Oliveira Rocco³, Michele Karina Cotta Walter⁴, Raquel Stucchi Boschi⁵

^{1,5}Centro Universidade de São Paulo/ESALQ – Departamento de Ciência do Solo, C.P. 09 - 13418- 900 – Piracicaba, SP – Brasil.

^{2, 3, 4}Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP. Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/nº. Caixa Postal 6011. CEP 13083-875. Campinas-SP.

*Autor para correspondência: mara.feagri@gmail.com

RESUMO

A equação universal de perda de solo (EUPS) é amplamente utilizada para estimativa da perda de solo por erosão hídrica. Dentre os fatores da EUPS, a erodibilidade (fator K) expressa a maior ou menor susceptibilidade do solo ao processo erosivo. Devido às dificuldades experimentais para determinação do fator K, foram desenvolvidos modelos empíricos, também referidos por funções de pedotransferência, para estimativa da erodibilidade com base em atributos edáficos físicos, químicos e/ ou mineralógicos de mais fácil determinação. O objetivo do trabalho foi verificar a adequação de dois métodos indiretos na estimativa do fator K de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas-SP. Os métodos empregados foram os do Nomograma, proposto por Wischmeier et al. (1971) e adaptado por Lima et al. (1990) para duas classes de LATOSSOLOS brasileiros, e o desenvolvido por Denardin (1990) para solos do Brasil e dos Estados Unidos. Os dois métodos tiveram desempenho similar, com coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,9982$. Observou-se que a variabilidade da erodibilidade no método nomograma esteve mais associada à variável $Ma \{[(\text{silte} + \text{areia muito fina}) * 1000] - (\text{argila})\}$, ($r = 0,9157$), enquanto que para o método de Denardin esteve associada com a variável $X1 [(\text{novo silte} + \text{nova areia}) * \text{novo silte}]$ ($r = 0,9253$). Enquanto que os resultados obtidos permitem confirmar a estreita e positiva relação da fração silte com o aumento da erodibilidade do solo, não houve evidências de que K tenha sido afetada pelo sistema de manejo agrícola. Conclui-se que os dois métodos avaliados apresentaram desempenho similar na estimativa da erodibilidade do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas-SP. Em ambos os modelos, a variável que mais se relacionou com a erodibilidade estimada foi a que contabilizou o teor de silte no solo.

Palavras-chave: fator K, equação universal de perda de solo, sistema plantio direto, sistema convencional.

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (USLE) has been used for estimating soil losses by rainfall erosion. Among USLE factors, the erodibility or K factor expresses a greater or lesser susceptibility to erosion process. Due to the experimental difficulties to obtain K factor, empirical models, referred as pedotransfer functions, were developed to estimate the K factor, based on physical, chemical and / or mineralogical characteristics of the soil. The objective of this study was to assess the suitability of two indirect methods to estimate soil erodibility of a Rhodic Hapludox, in Campinas, SP, Brazil. The methods used were the Nomogram Method (Wischmeier et al.1971), adapted by Lima et al. (1990) for two classes of Brazilian Oxisols, and the Denardin Method, developed for soils of Brazil and of the United States. Both methods had similar performance, showing a high and positive coefficient of correlation among

estimates ($r = 0.9982$). It was observed that the variability of K in the Nomogram Method was more associated with the Ma variable $\{[(\text{silt} + \text{very fine sand}) \cdot 1000] - (\text{clay})\}$ ($r = 0.9157$), while for the Denardin Method the variability was associated with the variable X1 $[(\text{new silt} + \text{new sand}) \cdot \text{new silt}]$ ($r = 0.9253$). Although results confirm the close and positive relationship between silt and the increment of K, there weren't evidences that it had been affected by the agricultural management system. In conclusion, the performance of the two methods was similar for estimating the soil erodibility of the *Rhodic Hapludox* occurring in Campinas-SP region. In both models, the variable more related to the estimated erodibility was that computing the silt content in the soil.

Keywords: universal soil loss equation, k factor, erodibility.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural disponível em uma extensão finita. As taxas estimadas de formação dos solos representam valores extremamente baixos ou desprezíveis (Friend, 1992), a exemplo da taxa média estimada de renovação do solo de $0,2 \text{ mm ano}^{-1}$ (Skidmore, 1982). A erosão acelerada do solo, por sua vez, é um problema global e, apesar da dificuldade de se calcular com precisão as perdas de solo, sabe-se que a magnitude dessas perdas excede em muito a renovação ou formação do solo.

Estimativas globais apresentadas por Dowdeswell (1998) revelam uma perda anual por erosão hídrica de cerca de 20 bilhões de toneladas de solo superficial, equivalente a 5 a 7 milhões ha de terras aráveis por ano. No Brasil, dados estimados por Marques (1949), apresentados por Bertoni and Lombardi Neto (1999), indicam uma perda anual de solo por erosão acelerada de cerca de 500 milhões de toneladas, volume correspondente a uma camada de 15 cm de espessura de solo em uma área de cerca de 280 mil hectares. O processo erosivo causa degradação do solo e do ambiente, com sérias consequências econômicas. Em curto prazo observa-se assoreamento, eutrofização e poluição das águas superficiais. Em prazo mais longo, a profundidade do solo se reduz, limitando a capacidade de armazenamento de água, nutrientes e consequentemente a produção agrícola (Li et al., 2009, Hancock et al., 2015). A predição das taxas de perda de solo, o diagnóstico do potencial natural de erosão e dos riscos de degradação são subsídios importantes para o planejamento agrícola e ambiental de uma região.

No modelo de erosão referido por Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), conforme adaptado por Bertoni and Lombardi Neto (1999) a partir da USLE (*Universal Soil Loss Equation*) de Wischmeier and Smith (1978), o fator K ou erodibilidade do solo representa no modelo a suscetibilidade do solo ao processo erosivo. Na proposição da USLE, é um valor quantitativo determinado experimentalmente, definido em Wischmeier and Smith (1978), para um solo em particular, “*como sendo a taxa de perda de solo por unidade do índice de erosão conforme medido em parcela unitária padrão (22 m de comprimento; 0,09 m m⁻¹ de declividade; sem cobertura, arado morro abaixo)*”.

A erodibilidade é um atributo complexo e intrínseco a cada solo (Albuquerque et al., 2005; Silva et al., 2009, Singh e Khera, 2009, Martins et al., 2011, Schick et al., 2014), que segundo Lal (1988) representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas.

A erodibilidade do solo pode ser medida direta ou indiretamente. O método direto original, considerado como padrão, é caro, oneroso e envolve medidas no campo, sob chuva natural, por longos períodos (Wischmeier and Smith, 1976). Uma adequação desse método se dá com uso de simuladores de chuva, permitindo abreviar os experimentos. Conforme apontado por Shick et al. (2014), o uso de simuladores tem sido empregado em diversos estudos no Brasil. Por método indireto se entende a aplicação de equações ou modelos que utilizam atributos simples do solo (morfológicos,

físicos, químicos e mineralógicos) como variáveis independentes, para predição do fator K (Denardin, 1990, Silva et al., 1999).

O mais conhecido método indireto para estimativa do fator K é o nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971). Na sua elaboração, foram incluídos, predominantemente, solos de textura média do meio-oeste dos EUA. Adaptações do método nomográfico e outros métodos indiretos para determinação da erodibilidade têm sido desenvolvidas e testadas para solos brasileiros por diferentes autores (Silva et al., 1986, Lima et al., 1990, Denardin, 1990, Silva et al., 1994), as quais ainda necessitam de validação dos resultados.

O presente trabalho trata da comparação de dois métodos indiretos de avaliação da erodibilidade de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas, SP, para estimativa do valor K para uso na Equação Universal de Perda de Solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Foram analisadas amostras do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, unidade Barão Geraldo do levantamento pedológico semidetalhado da quadrícula de Campinas, SP (Oliveira et al., 1979). Foram abertas cinco mini trincheiras por parcela experimental cultivada com milho, sendo duas sob sistema plantio direto (SPD) e três sob sistema convencional de preparo com grade aradora (SC). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2, sendo 2 sistemas de manejo (SPD e SC), dois métodos (Nomograma modificado e Denardin) e duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm), totalizando 8 tratamentos, com 2 repetições para o SPD e 3 repetições para SC. A razão para diferenciar entre amostras provenientes de dois sistemas de manejo agrícola se deve ao fato de que muito embora a erodibilidade do solo seja um atributo complexo e intrínseco ao mesmo, nos métodos indiretos de determinação entram atributos edáficos que são afetados pelo manejo agrícola, como no caso do teor

de matéria orgânica, da permeabilidade do solo e da estrutura.

Em cada mini trincheira procedeu-se à descrição da estrutura do solo (tipo, tamanho e grau de desenvolvimento), conforme Santos et al. (2013), e à extração de amostras deformadas nas duas profundidades para determinação da granulometria em laboratório, conforme descrito a seguir.

Análises

As análises granulométricas das amostras de solo foram realizadas empregando o método da pipeta para recuperação da argila e dispersão mecânica com uso de mesa agitadora recíproca, conforme descrito no trabalho de Dourado et al. (2012). A fração areia foi separada por tamisação em cinco classes de tamanho: areia muito grossa (2,0 – 1,0 mm), areia grossa (1,0 – 0,5 mm), areia média (0,5 – 0,25 mm), areia fina (0,25 – 0,125 mm), areia muito fina (0,125 – 0,053 mm). A fração silte foi obtida por diferença entre o total da amostra menos a soma dos teores de areias e argila. Foram realizadas três repetições da análise granulométrica para cada profundidade avaliada em cada parcela (SPS, SC), calculando-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada fração granulométrica de cada amostra. A partir dos resultados das análises granulométricas, definiram-se as classes texturais do solo: arenosa (< 15% de argila), média arenosa (15 – 24% de argila), média argilosa (25 – 34% de argila), argilosa (35 – 59% de argila) e muito argilosa ($\geq 60\%$ de argila). Os teores de carbono e da matéria orgânica do solo foram determinados (MO, em $g\ kg^{-1}$) empregando o método Walkley-Black em triplicata, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Na determinação do fator K foram empregados dois métodos indiretos ou funções de pedotransferência (FPT), referidos por Método 1 e Método 2.

O Método 1 corresponde a uma adaptação realizada por Lima et al. (1990) do Método do Nomograma, originalmente proposto por Wischmeier et al. (1971), para duas classes de Latossolos brasileiros. Na adaptação metodológica efetuada por

Lima et al. (1990), a porcentagem de partículas e/ou agregados menores do que 0,1mm dispersos em água substitui a porcentagem de silte mais areia muito fina do método do nomograma original, e a porcentagem de partículas e/ou agregados maiores que 0,1mm, também dispersos em água, substitui a porcentagem de areia correspondente (>0,1mm), sendo os demais parâmetros os mesmos do nomograma original. A Equação 1, já expressa em unidades do Sistema Internacional, de acordo com Foster et al. (1981), ilustra a respectiva função de pedotransferência.

$$K = 1,451 \cdot 10^{-10} Ma^{1,14} (120 - MO) + 0,0043(S - 2) + 0,0033(P - 2) \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo: K= Erodibilidade do solo ou fator-K, expressa em Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; MO= teor de matéria orgânica, expresso em g kg⁻¹; Ma= soma dos teores de silte e de areia muito fina, expressos em g kg⁻¹, multiplicados por 1.000 menos o teor de argila, também expresso em g kg⁻¹; S= código referente à estrutura, adimensional, definido com base na descrição morfológica realizada em campo; P= código referente à permeabilidade do solo, adimensional. No caso do solo analisado (LVdf), a estrutura forte muito pequena granular define S=3 e a drenagem acentuada do perfil, decorrente da estrutura, define P=1 (rápida). No caso da variável Ma, foram considerados os valores médios de areia muito fina, silte e argila.

O Método 2 se refere ao modelo desenvolvido por Denardin (1990) para solos do Brasil e dos EUA, conforme a Equação 2:

$$K = 7,48 \cdot 10^{-6} X_1 + 0,00448059 X_2 - 0,0631175 X_3 + 0,01039567 X_4 \quad (\text{Eq.2})$$

Sendo: K= Erodibilidade do solo expressa em Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; X1= [(“Novo” silte + “Nova” areia) * “Novo” silte], onde “Novo” silte= silte + areia muito fina e “Nova” areia= areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina, com valores expressos em porcentagem; X2= Classe de permeabilidade do solo, de acordo com a classificação: (1) Rápida; (2) Moderada a Rápida;

(3) Moderada; (4) Lenta a Moderada; (5) Lenta; (6) Muito lenta; X3= variável Diâmetro Médio da Partícula (DMP), expresso em mm, e calculado segundo a Equação 3:

$$DMP = \sum (C_i P_i) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: Ci= Centro da classe textural i, expresso em mm; Pi= Proporção de ocorrência da classe textural i, expressa em %; X4= variável (MO% * “nova areia”)/100, sendo MO%, o teor de matéria orgânica expresso em porcentagem.

Os dados foram submetidos à análise exploratória, à análise de variância, empregando o teste F, e à comparação de médias, empregando teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Para realização das análises foi utilizado o programa SAS (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos valores estimados de erodibilidade (K) pelos dois métodos indiretos e para duas condições de manejo do solo, e a tabela 2 mostra a análise de variância desses resultados.

Considerados os primeiros 10 cm do solo, no SPD o valor médio de K foi de 0,014 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Tabela 3) e no SC o valor médio de K foi de 0,012 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ (SC), com coeficientes de variação indicativos de baixa variabilidade (CV >12 %) nas parcelas sob SPD e média variabilidade (12 % < CV < 60 %) nas parcelas sob SC, de acordo com os critérios de Warrick and Nielsen (1980).

Embora próximos, os resultados dos testes de médias evidenciam diferenças significativas dos valores de erodibilidade entre os manejos (SPD e SC) (Tabela 2), sendo ligeiramente superiores para o SPD. As interações, no entanto, não foram significativas (Tabela 2). Análises de correlação entre a erodibilidade estimada (K) e variáveis dos dois métodos evidenciaram que K se correlacionou forte e positivamente com a variável Ma ({[(silte + areia muito fina)*1000]-(argila)}) do Método 1 e com a variável X1 ([[(“Novo” silte + “Nova” areia) *

“Novo” silte]) do Método 2, com coeficientes de correlação de Pearson respectivamente de $r=0,9157$ e $r=0,9253$. A correlação com a variável X4 [(MO% * “nova areia”)/100] do Método 2 foi também positiva, mas mediana, com coeficiente de correlação $r =$

0,6507. Não foi observada correlação entre a variação de K e a variação do teor de matéria orgânica (MO do Método 1), nem com a variação da variável X3 (diâmetro médio ponderado das partículas) do Método 2.

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de erodibilidade (K, em $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) nos diferentes tratamentos pelos Método 1 (M1; Método do Nomograma adaptado) e pelo Método 2 (M2; Denardin, 1990).

Tratamento	Média	S	Máximo	Mínimo	C.V. (%)
SPD M1 P1	0,0133	0,001	0,014	0,012	11,12
SPD M1 P2	0,0145	0,001	0,015	0,014	7,29
SPD M2 P1	0,0135	0,001	0,014	0,013	9,91
SPD M2 P2	0,0146	0,001	0,015	0,014	6,78
SC M1 P1	0,0116	0,003	0,015	0,010	27,73
SC M1 P2	0,0118	0,002	0,014	0,010	16,37
SC M2 P1	0,0117	0,003	0,015	0,010	27,54
SC M2 P2	0,0117	0,002	0,014	0,010	16,37

SPD, Sistema Plantio Direto; SC, Sistema Convencional; P1, profundidade de 0-5 cm; P2, profundidade de 5-10 cm; S, Desvio Padrão; C.V., Coeficiente de Variação.

Tabela 2. Valores do Teste F resultantes da análise de variância da erodibilidade estimada por dois métodos indiretos a partir de amostras de solo de duas profundidades sob dois sistemas de manejo (SC e SPD).

Causa de variação	Teste F
Manejo	0,0496*
Método	0,9638ns
Profundidade	0,5787 ns
Manejo x Método	0,9532ns
Manejo x Profundidade	0,6214ns
Método x Profundidade	0,9470ns
Manejo x Método x Profundidade	0,9969ns
CV (%)	18,08

* significativo a 5%; ns= não significativo.

Tabela 3. Teste de médias dos valores de erodibilidade (K) nos diferentes sistemas de manejos.

Manejo	Média
SPD	0,014 A
SC	0,012 B

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto ao tratamento, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os testes de médias relacionados na tabela 4 evidenciam que não ocorrem diferenças significativas na granulometria e nos teores de matéria orgânica nos solos (MOS) dos dois sistemas de manejo, excetuando-se areia fina que é ligeiramente mais elevada no solo sob SC. Embora os teores de silte não apresentem diferenças significativas entre sistemas de manejo, o que é coerente uma vez se tratar do

mesmo tipo de solo, do ponto-de-vista da estimativa de K, no entanto, teores absolutos de silte mais baixos no solo das parcelas sob SC, com médias de 191 g kg^{-1} (0-5cm) e 189 g kg^{-1} (5-10cm) contra respectivamente 231 g kg^{-1} e 216 g kg^{-1} , podem ter condicionado erodibilidade mais baixa no solo sob SC. As altas correlações positivas com as variáveis Ma (Metodo 1) e X1 (Método 2) evidenciam essa influencia dos teores de silte nas estimativas de K.

Não por acaso, nos métodos indiretos de estimativa da erodibilidade as frações silte e areia muito fina compõem variáveis de destaque. Conteúdo mais alto de AF no solo sob SC se relaciona com conteúdos mais baixos de silte no mesmo solo, com efeito positivo sobre a erodibilidade, estimada como sendo mais baixa nesse sistema. Os resultados

evidenciam que, no caso do estudo presente, o manejo do solo não interferiu na estimativa da erodibilidade, evidenciando-se um efeito local da

parcela em si e não propriamente do sistema de manejo.

Tabela 4. Valores médios de matéria orgânica (MO), areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), Silte e Argila em dois sistemas de manejo, nas duas profundidades amostradas (0-5; 5-10).

Manejo	MO (g kg ⁻¹)		AMG (g kg ⁻¹)		AG (g kg ⁻¹)		AM (g kg ⁻¹)	
	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm
SPD	34,5 Aa	25 Aa	8 Aa	11 Aa	37 Aa	33 Aa	59 Aa	62Aa
SC	31,3 Aa	26,3 Aa	8 Aa	7,6 Aa	28 Aa	28 Aa	60 Aa	66 Aa

Manejo	AF (g kg ⁻¹)		AMF (g kg ⁻¹)		Silte (g kg ⁻¹)		Argila (g kg ⁻¹)	
	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm
SPD	67 Aa	72 Aa	61 Aa	63 Aa	231Aa	216 Aa	537 Aa	541 Aa
SC	79 Ba	75 Aa	65 Aa	63 Aa	191 Aa	189 Aa	569 Aa	572 Aa

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à profundidade no mesmo sistema de manejo, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto ao tratamento na mesma profundidade.

Os valores de K estimados pelos dois métodos para o SPD estão dentro da faixa de variação da erodibilidade de Latossolos, entre 0,013 e 0,020 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, conforme Bertoni and Lombardi Neto (1999). Os valores estimados pelos dois métodos no caso do solo sob SC estão ligeiramente abaixo daquela faixa. Silva (1997) estimou um valor de K superior ao obtido neste estudo (0,016 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) para um Latossolo em Chapecó-SC. No entanto, conforme discutido por Schick et al. (2014), outras classes de solos apresentam valores similares aos observados para Latossolos, o que reforça a importância de se não adotar valores de K com base na classe do solo (El-Swaify and Dangler, 1982).

Silva et al. (2009) compararam valores de K de um Cambissolo e de um Latossolo e atribuíram as diferenças à mineralogia, e outros diferenciais de atributos químicos, físicos e morfológicos entre dos dois solos. Singh and Khera (2009) avaliaram o fator K para solos situados em quatro regiões na Índia, sob quatro tipos de usos e observaram que as diferenças foram devido a alterações provocadas pelo uso do solo. Solos descobertos apresentaram os maiores valores de K, seguidos pelos solos cultivados, sob pastagem e por últimos os solos de floresta. As diferenças foram atribuídas, principalmente, a alterações no teor de carbono orgânico. Kukul et al. (2007) apontam a erodibilidade dos solos como

resultado de como o seu uso afeta a estabilidade de agregados.

Na figura 1 apresenta-se o gráfico de dispersão 1:1 das estimativas de erodibilidade do solo pelos métodos 1 (nomograma modificado de Lima) e 2 (Denardin). O alto valor do coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,9982$) evidencia a convergência de resultados dos dois métodos testados, que tiveram desempenho similar para estimativa da erodibilidade do LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico da região de Campinas. O método do nomograma adaptado, no entanto, possui a vantagem de exigir variáveis de entrada de fácil obtenção, rotineiramente determinadas e publicadas nos relatórios de levantamentos de solos.

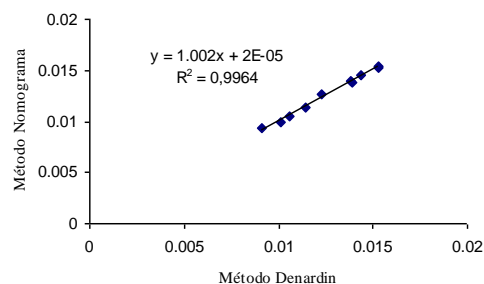


Figura 1. Gráfico 1:1 entre os valores de erodibilidade estimados pelo método 1 (Nonograma) e pelo método 2 (Denardin).

CONCLUSÃO

Os dois modelos avaliados não apresentaram diferenças significativas quanto aos valores estimados de erodibilidade do solo ou fator K para um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas. A erodibilidade do solo sob SPD foi ligeiramente superior à do mesmo solo sob SC, atribuindo-se aos teores mais elevados de silte (em termos absolutos) no solo sob SPD.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.W., FILHO, G.M., SANTOS, J.R., COSTA, J.P.V., SOUZA, J.L., 2005. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 9, pp. 153-160. doi.org/10.1590/S1415-43662005000200001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F., 1999. *Conservação do Solo*. 4. ed. São Paulo: Ícone, 355 p.

DENARDIN, J. E., 1990. *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz - ESALQ. 114p. Tese de Doutorado.

DOURADO, T. A., SILVA, L. F. S., MARINHO, M. A., 2012. Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 36, no. 4, pp. 1131-1148. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400008.

DOWDESWELL, E., 1998. *Extent and impacts of soil degradation on a world-wide scale*. In: H.P. BLUME, H. EGER, E. FLEISCHHAUER, A. HEBEL, C. REIJ and K.G. STEINER, editors. *Towards sustainable land use. Furthering cooperation between people and institutions*. (Volume I) Reiskirchen: Catena Verlag. 818 p. (Advances in Geoecology 31).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS., 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p. (Documento 1).

EL-SWAIFY, S.A., DANGLER, E.W., 1982. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. In: D.M. KREBS, ed. *Determinants of soil loss tolerance*. Madison: American Society of Agronomy.

FRIEND, J.A., 1992. Achieving soil sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 47, no. 2, pp. 156-157.

FOSTER, G.R., McCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C., 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 36, pp. 355-359.

KUKAL, S.S., MANMEET KAUR, S.S., BAWA, N.G., 2007. Water-drop stability of PVA-treated natural soil aggregates from different land uses. *Catena*, vol. 70, no. 3, pp. 475-479. doi.org/10.1016/j.catena.2006.11.013.

HANCOCK, G.R., WELLS, T., MARTINEZ, C., DEVER, C., 2015. Soil erosion and tolerable soil loss: Insights into erosion rates for a well-managed grassland catchment. *Geoderma*, vol. 237-238, pp. 256-265. doi:10.1016/j.geoderma.2014.08.017.

LAL, R., 1988. Erodibility and erosivity. In: R. LAL, ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny: Soil Water Conservation Society, pp. 141-160.

LI, L., SHUHAN, D., WU, L., LIU, G., 2009. An overview of soil loss tolerance. *Catena*, vol.78, pp. 93-99.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M. and SANTANA, D.P., 1990. Dispersão do material do solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 14, pp. 85-90.

MARTINS, S.G., AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N., CURI, N., FONSECA, S., 2011. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 41, pp. 322-327.

OLIVEIRA, J.B.; ROTTA, C.L., 1979. *Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro: Quadrícula de Campinas/IBGE, 169 p.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT. User's Guide. Verison 8. Cary, NC, 1999, p. 25-50.

SANTOS, R.D., LEMOS, R.C., SANTOS, H.G., KER, J.C., ANJOS, L.H.C., SHIMIZU, S.H., 2013.

- Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6. ed. Viçosa: SBCS, 100 p.
- SKIDMORE, E.L., 1982. Soil-loss tolerance. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. *Determinants of soil-loss tolerance*. pp. 87-93.
- SILVA, A.M., SILVA, M.L.N., CURI, N., AVANZI, J.C., FERREIRA, M.M., 2009. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, pp. 1811-1820. doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029.
- SILVA, I.F., ANDRADE, A.P., CAMPOS FILHO, O.R., 1986. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 10, pp. 230-287.
- SILVA, M.L.N., CURI, N., OLIVEIRA, M.S., FERREIRA, M.M, LOMBARDI NETO, F., 1994. Comparação de métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 29, pp. 1751-1761.
- SILVA, M.L.N., 1997. *Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros*. Universidade Federal de Lavras. 154 p. Tese de Doutorado.
- SILVA, M.L.N., CURI, N., FERREIRA, M.M., LIMA, J.M., FERREIRA, D.F., 1999. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 34, pp. 2287-2298.
- SINGH, M.J., KHERA, K.L., 2009. Nomographic estimation and evaluation of soil erodibility under simulated and natural rainfall conditions. *Land Degradation & Development*, vol. 20, pp. 471-480. doi: 10.1002/ldr.923.
- SCHICK, J., BERTOL, I., COGO, N.P., PAZ GONZÁLEZ, A., BARBOSA, F.T., 2014. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, pp. 1906-1917.
- WARRICK, A.W., NIELSEN, D.R., 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: D. HILLEL, ed. *Applications of soil physics*. New York: Academia Press.
- WISCHMEIER, W. H., JONHSON, C.B., CROSS, B.V., 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 26, pp. 189-193.
- WISCHMEIER, W.H., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 31, pp. 5-9.