

ANÁLISE DE QUATRO MÉTODOS INDIRETOS DE DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE (FATOR DA USLE) DOS GRANDES GRUPOS DE SOLOS DO DISTRITO FEDERAL¹

Prof. Dr. Gustavo M. M. Baptista

Universidade Católica de Brasília

Prof. Dr. Nabil J. Eid

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília

RESUMO: *A erodibilidade do solo é considerada uma das mais importantes variáveis na predição da erosão e no planejamento conservacionista do uso e ocupação do solo. Neste trabalho buscou-se a comparação de quatro métodos indiretos para sua determinação, a partir de 94 perfis dos dez grandes grupos de solo encontrados no Distrito Federal, descritos no Boletim Técnico n.º 53, da EMBRAPA (1978) e dois perfis representativos descritos por Vieira & Vieira (1983) para os solos brunizem avermelhados. Adotou-se, para a comparação, o nomograma de Wischmeier et al. (1971), a equação de Denardin (1990), a de Chaves (1994) e a de Roloff & Denardin (1994). Os resultados obtidos foram comparados com alguns trabalhos da literatura, tendo o nomograma de Wischmeier et al. (1971) apresentado os melhores resultados.*

Palavras chaves: Erodibilidade, USLE, solos tropicais.

ABSTRACT: *The inherent soil erodibility is one of the most important variables for the erosion prediction and for the definition of the soil use and occupation looking toward conservation policies. Four indirect methods for its determination were compared, based on 94 profiles of the ten groups of soils founded in the Distrito Federal, described on the Technical Bulletin 53 from EMBRAPA (1978), with two more profiles described by Vieira & Vieira (1993) representing soils brunizem avermelhado. It was adopted, for comparison, the values obtained by the nomogram of Wischmeier et al. (1971), and the equations developed by Denardin (1990), Chaves (1994) and Roloff and Denardin (1994). The results were compared with published data and the nomogram of Wischmeier et al. (1971) provided the best results.*

Key words: Erodibility, USLE, tropical soils

INTRODUÇÃO

A erodibilidade do solo é uma complexa propriedade composta pela sua capacidade de infiltração e pela sua capacidade de resistir à

fragmentação e ao transporte de partículas pela precipitação e pelo escoamento superficial, considerada a mais importante variável na predição da erosão e no planejamento do uso do solo (Wischmeier & Mannering 1969).

¹Parte da Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (MTARH) da Universidade de Brasília, do primeiro autor, intitulada "Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento".

É determinada experimentalmente, em condições específicas de declividade (9%) e comprimento de rampa (25 m), e requer, para sua determinação, a instalação de tanques coletores de enxurrada (Baptista *et al.* 1996). No entanto, existem métodos indiretos que permitem a estimativa do valor de K, dentro os quais destacamos: nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) e as equações de Denardin (1990), de Chaves (1994) e de Roloff & Denardin (1994).

Para a determinação experimental da erodibilidade dos dez grandes grupos de solo do Distrito Federal, seria necessário um grande espaço amostral relativo à sua área de 5.814 km². Essa etapa pode inviabilizar o trabalho, pois, além de encarecê-lo, o tempo necessário para a instalação dos experimentos e coleta, processamento e organização dos dados, pode tornar-se um entrave, pois é fundamental acompanhar a dinâmica dos processos de ocupação do espaço que influem na erosão, que possuem um tempo muito mais ágil do que o gasto para determinar K experimentalmente.

Além disso, para o Distrito Federal existe o Boletim Técnico n.º 53 (EMBRAPA, 1978), com dados de perfis dos dez grandes grupos de solo e é de suma importância a compilação, o aproveitamento e a valorização de dados disponíveis em levantamentos de solos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na comparação dos métodos foram utilizados os dados de 94 perfis de solo descritos no Boletim Técnico n.º 53 (EMBRAPA, 1978) e dois perfis representativos, descritos por Vieira & Vieira (1993), para os solos brunizem avermelhados. Adotou-se apenas o horizonte superficial, pois

a USLE (Wischmeier & Smith, 1978) trabalha basicamente com erosão laminar que atinge inicialmente o horizonte superficial.

O nomograma desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971) (Figura 1) pôde ser utilizado para estimar de forma indireta, a erodibilidade. Os valores de K obtidos foram multiplicados pelo fator de conversão (*fc*) igual a 0,1317 (Baptista, 1997), de modo a expressá-los em unidades do sistema internacional, visto que, quando de sua elaboração, a permeabilidade foi expressa em unidades do sistema inglês.

O nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) considera como parâmetros: a porcentagem de silte; a porcentagem de areia muito fina (0,002 a 0,10 mm); a porcentagem de areia; a porcentagem de matéria orgânica; a estrutura; e a permeabilidade. Os valores de silte, areia e areia muito fina foram obtidos diretamente da descrição das variáveis físico-químicas dos perfis.

Para a determinação da porcentagem de matéria orgânica utilizou-se o valor percentual de carbono orgânico total multiplicando-o pelo fator 1,724. Esse fator é adotado, pois, segundo Costa (1991), a matéria orgânica do solo possui cerca de 58% de carbono.

Como o nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) utiliza códigos, tanto para a estrutura, como para a permeabilidade, foram adotadas as relações descritas nos quadros 1 e 2. Efetuou-se o agrupamento das estruturas média e grande como sendo granular média ou grande; e das permeabilidades excessiva a forte como rápida, e ainda da moderada a imperfeita como lenta a moderada. Tais agrupamentos foram realizados de acordo com as orientações do próprio nomograma.

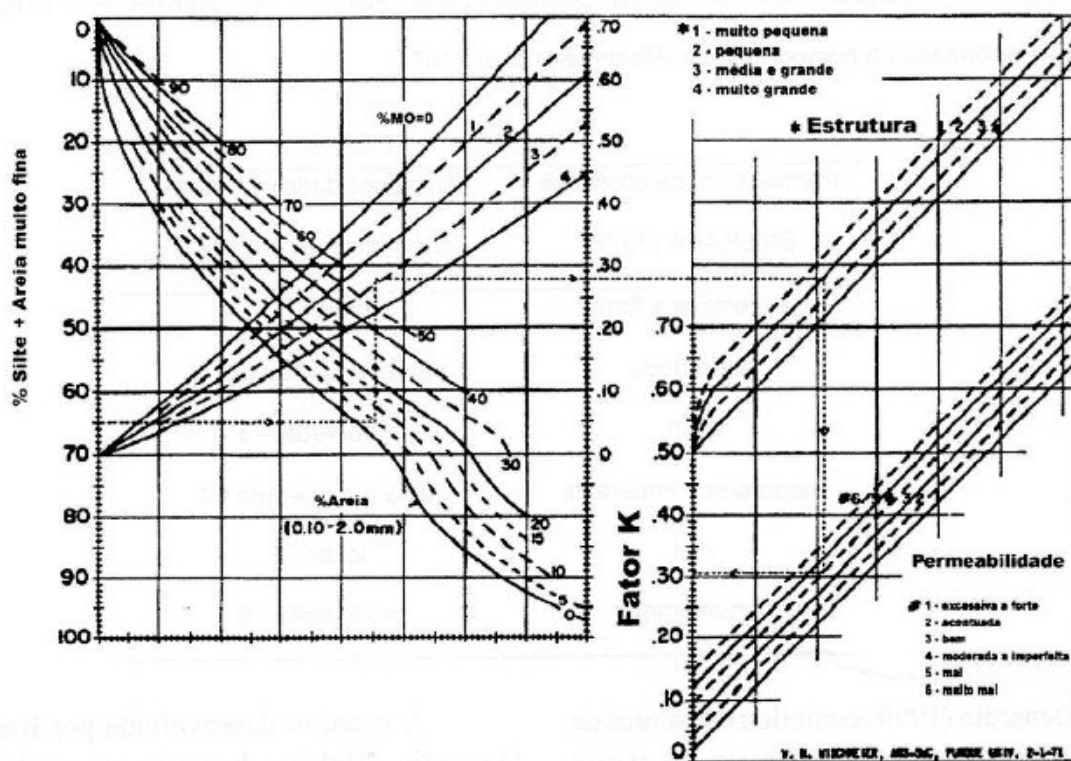


Figura 1 - Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971).

Quadro 1 - Relação entre os tipos de estrutura definidas em EMBRAPA (1978) e classes convencionadas no nomograma de Wischmeier *et al.* (1971)

Estrutura conforme EMBRAPA (1978)	Estrutura conforme Wischmeier <i>et al.</i> (1971)
muito pequena	granular muito fina - 1
pequena	granular fina - 2
média e grande	granular média ou grande - 3
muito grande	bloco ou maciça - 4

Quadro 2 - Relação entre classes de permeabilidade definidas em EMBRAPA (1978) e convencionadas no nomograma de Wischmeier *et al.* (1971)

Permeabilidade conforme EMBRAPA (1978)	Permeabilidade conforme Wischmeier <i>et al.</i> (1971)
excessiva a forte	rápida - 1
acentuada	moderada a rápida - 2
bem	moderada - 3
moderada a imperfeita	lenta à moderada - 4
mal	lenta - 5
muito mal	muito lenta - 6

Denardin (1990) compilou os valores de erodibilidade medidos em mais de trinta diferentes localidades em vários estados brasileiros e utilizou o método de regressão *stepwise* múltipla em 31 tipos de solo, determinando a seguinte equação:

$$K=6,08 \times 10^{-3}(PERM)+8,34 \times 10^{-3}(OM)-1,16 \times 10^{-3}(OAL)-3,78 \times 10^{-4}(AR) \quad (1)$$

onde:

PERM = permeabilidade codificada por Wischmeier *et al.* (1971);

OM = porcentagem de matéria orgânica;

OAL = porcentagem de óxido de alumínio;

AR = porcentagem de areia (2 e 0,5 mm de diâmetro).

Para a equação de Denardin (1990) utilizou-se a permeabilidade do perfil, conforme definida pelo quadro 2, a matéria orgânica, além do teor de óxido de alumínio e da porcentagem de areia com diâmetro entre 2 e 0,5 mm.

A equação desenvolvida por Roloff & Denardin (1994) é baseada em parâmetros físicos, tais como as porcentagem de silte e areia fina, e a permeabilidade codificada por Wischmeier *et al.* (1971) e é definida por:

$$K=0,004X_1+(Mm^{0,5}) \quad (2)$$

onde:

Mm = % silte x (% silte + % areia muito fina);

X₁ = permeabilidade codificada por Wischmeier *et al.* (1971).

Na equação de Roloff & Denardin (1994) foram utilizados os parâmetros texturais dados pela multiplicação da porcentagem de silte pela de silte mais areia muito fina, e o parâmetro de permeabilidade, utilizando-se os critérios definidos por Wischmeier *et al.* (1971).

Os resultados obtidos pelo método de Denardin (1990) assim como pelo método de Roloff & Denardin (1994) foram convertidos para o sistema internacional.

A erodibilidade de diferentes unidades de solos da bacia hidrográfica do São Francisco foi determinada por Chaves (1994) a partir de uma equação de regressão múltipla, entre propriedades básicas dos solos e a erodibilidade medida, de vários solos brasileiros, expressa por:

$$K = 2,47 \times 10^{-3} \text{ SIL} - 5,23 \times 10^{-3} \text{ OAL} + 8,89 \times 10^{-3} (\text{CO})^2 + 1,15 \times 10^{-2} (\text{OFE})^{-1} + 1,42 \times 10^{-4} (\text{OSI} + \text{OSI}^2) - 1,89 \times 10^{-2} [\text{OSI} / (\text{OFE} + \text{OAL})]^2 \quad (3)$$

onde:

SIL = porcentagem de silte no solo;

CO = porcentagem de carbono orgânico;

OAL = porcentagem de óxido de alumínio;

OFE = porcentagem de óxido de ferro; e

OSI = porcentagem de óxido de silício.

Na equação de Chaves (1994) foram utilizados os valores das porcentagens de Al_2O_3 (óxido de alumínio), Fe_2O_3 (óxido de ferro) e SiO_2 (óxido de silício), extraíveis por H_2SO_4 (ácido sulfúrico), além das porcentagens de silte e carbono orgânico, estes também necessários para a determinação da erodibilidade, por meio do nomograma.

Agrupando-se os 94 perfis de solos descritos no Boletim Técnico n.º 53 (EMBRAPA, 1978), conforme proposição cartografada no mapa de reconhecimento dos solos (EMBRAPA, op. cit.): latossolo vermelho-escuro, latossolo vermelho-amarelo, podzólico vermelho-amarelo, podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico, terra roxa estruturada similar, cambissolo, solos aluviais, solos hidromórficos indiscriminados, areia quartzosa e brunizem avermelhado. Os dados disponíveis

para os perfis de solos representativos de cada um desses grandes grupos foram utilizados para a determinação dos parâmetros físicos requeridos pelos métodos adotados para quantificação da erodibilidade.

Além do cálculo de K por meio desses quatro métodos indiretos, foram utilizados, como comparação, valores de K para solos similares, determinados experimentalmente e por métodos indiretos, disponíveis na literatura (Bertoni & Lombardi Neto, 1993; Chaves, 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 3 indica o valor médio de K de cada grande grupo, determinado pelos quatro métodos indiretos, e de outros autores, utilizados neste trabalho.

Os valores de Denardin (1990) apresentaram-se muito baixos e os de Roloff & Denardin (1994) em geral muito elevados, quando confrontados com os valores obtidos pelos outros métodos e pelos autores utilizados para análise comparativa. O método de Roloff & Denardin (1994) é um método simplificado e baseia-se em aspectos texturais e de permeabilidade, enquanto que o método de Denardin (1990), baseia-se em fatores físicos e químicos, e o método de Chaves (1994), em fatores químicos e texturais.

Além disso, o valor de Denardin (1990) para a areia quartzosa e os valores médios de Chaves (1994) para o latossolo vermelho-amarelo, apresentaram-se negativos, o que representa uma incoerência para um valor de erodibilidade. Isso pode ser explicado pelos altos teores de óxido de alumínio (teores elevados de gibbsita) dos dois grupos de solo supracitados, os quais comparecem como fatores subtrativos nas duas equações. Pode-se concluir,

portanto, que esses modelos não podem ser adotados para representar a erodibilidade de quaisquer perfis de solos brasileiros, pois, ao estabelecerem essa relação baseada em regressão com os parâmetros físicos, químicos e texturais dos solos, os autores citados dispõem

apenas de uma relação estatística entre a erodibilidade e os parâmetros dos perfis por eles estudados; quando tais modelos são utilizados para outros perfis pode-se obter valor negativo de erodibilidade, o que representa, quando se invoca a USLE, em ganho, e não perda de solo.

Quadro 3 - Erodibilidade dos solos para os quatro métodos indiretos de determinação de K e os valores citados na literatura (Bertoni e Lombardi Neto, 1993; Chaves, 1994).

Grandes grupos de solos	Erodibilidade em t.h/(MJ.mm)					
	nomograma	Denardin	Roloff & Denardin	Chaves	Bertoni & Lombardi	Chaves (para o vale do
	Wischmeier et al. (1971)	(1990)	(1994)	(1994)	Neto (1993)	São Francisco) (1994)
LE	0,013	0,002	0,099	0,045	0,016	0,013
LV	0,020	0,002	0,084	-0,016	0,015	0,020
PV	0,042	0,005	0,175	0,097	0,032	0,029
PE	0,030	0,006	0,222	0,163	0,055	—
TRe	0,013	0,006	0,170	0,113	0,018	—
Cd	0,024	0,008	0,189	0,099	—	0,060
A	0,029	0,004	0,205	0,108	—	0,047
Hi	0,031	0,006	0,125	0,312	—	0,008
AQ	0,027	-0,0002	0,060	0,028	—	0,078
BV	0,038	0,004	0,208	0,070	—	—

Observa-se que os valores do nomograma de Wischmeier et al. (1971) são os que mais se aproximam dos valores obtidos por Bertoni e Lombardi Neto (1993), determinados em laboratório, e aos que Chaves (1994) compilou para o vale do rio São Francisco. No caso dos latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, os valores obtidos por meio do nomograma e os obtidos por Chaves (1994), são os mesmos.

Assim sendo, para os solos do DF adotou-se a erodibilidade estimada pelo nomograma de Wischmeier et al. (1971), por ser,

dentre os métodos indiretos estudados, o mais completo, uma vez que contempla os aspectos texturais, estruturais e orgânicos, além da permeabilidade (Baptista, 1997).

CONCLUSÕES

A partir da comparação de quatro métodos indiretos para a determinação da erodibilidade dos solos, constatou-se que o método do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) foi o que gerou resultados mais próximos dos valores obtidos experimentalmente.

Utilizando-se o método do nomograma verificou-se que a erodibilidade dos solos do Distrito Federal varia de 0,013 t.h/(MJ.mm) para os latossolos vermelho-escuros e a terra roxa estruturada similar a 0,042 t.h/(MJ.mm) para o podzólico vermelho-amarelo.

O trabalho mostrou que sempre se deve buscar mais de um método para balizar os resultados obtidos, além da necessidade da adoção dos parâmetros relativos aos perfis encontrados na área de estudos.

É de extrema importância o desenvolvimento de métodos indiretos para a determinação da erodibilidade dos solos, pois sua determinação experimental para uma grande área, irá requerer um espaço amostral relativamente grande, o que pode inviabilizar o trabalho.

Salienta-se, porém, que toda e qualquer modelagem é uma tentativa de representar os fenômenos físicos da natureza, porém os modelos são limitados, pois a própria visão de mundo dos modeladores é limitada. A modelagem tem suas vantagens, pois normalmente indica o rumo, mas cabe ao pesquisador buscar a compreensão, a interpretação e a validação de seus dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G.M.M. *Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997. 112p.
- BAPTISTA, G.M.M., EID, N.J. & OLIVEIRA, A.L. Mapa de Erodibilidade (Fator K da USLE) da Unidade Hidrográfica Lago
- Descoberto - DF. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia, 1, Uberlândia, 1996, Anais....* Uberlândia: AGB, 1996. p. 169-173.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 3 ed., São Paulo, Ícone, 1993. 355p.
- CHAVES, H.M.L. *Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco - Relatório final de consultoria*. Brasília, CODEVASF / FAO, 1994. 67p.
- COSTA, J.B. *Caracterização e Constituição do Solo*. 4. ed., Lisboa, Fundação Calouste Gulbekian, 1991. 527p.
- DENARDIN, J.E. *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de Doutorado, ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990. 81p.
- EMBRAPA *Boletim técnico n.º 53. Anexo: Mapa do Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal*. Brasília, SNLCS, 1978. 455p.
- ROLOFF, G. & DENARDIN, J.E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10, Florianópolis, 1994, Resumos....* Florianópolis, 1994. p.146-147.
- VIEIRA, L.S. & VIEIRA, M.N. *Manual de Morfologia e Classificação de Solos*. 2. ed., São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda. 1983, 313p.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, v.33, p.131-137, 1969.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. *Agr. Handbook*, n.537, 58p, 1978.

WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Jour. Soil Wat. Conserv.*, v.26, p. 189-193, 1971.