

FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO E SUA CONVERSÃO PARA O SISTEMA MÉTRICO INTERNACIONAL. *

JOSÉ RONALDO COELHO SILVA **

RESUMO

A ausência de uma expressão formal da conversão dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) do Sistema Métrico Decimal para o Sistema Internacional de Unidades (SI) é uma limitação para análises comparativas de dados. A apresentação conjunta de três sistemas de unidades, seus fatores de conversão e sua escala de valores dos fatores dimensionais da EUPS aqui descritos, esclarecem significados e ajudam a remover a limitação para uma melhor compreensão de suas interrelações.

SUMMARY

Lack of a formal expression of conversion factors of the Universal Soil Loss Equation (USLE) from the Metric Decimal System to the International System of Units (SI) is a limitation to comparative analysis of data. The conjoint presentation of three systems of units, their conversion factors and their rating of values of the USLE dimensional factors described here, clarify their meanings and help to remove the limitation to a better understanding of their interrelations.

PALAVRAS-CHAVE: Equação Universal de Perdas de Solo, Conversão Sistema Métrico Internacional.

INTRODUÇÃO

A equação universal de perdas de solo, EUPS, foi desenvolvida originalmente nos Estados Unidos e, portanto, seus fatores apresentam-se em unidades do Sistema Inglês (WISCHMEIER & SMITH⁸). Atualmente essa equação vem obtendo grande aceitação entre os pesquisadores brasileiros como um valioso recurso para o planejamento de controle da erosão do solo e sua aplicação já ultrapassou as fronteiras do continente americano, sendo adotada em vários países da África (BERTONI et alii¹; LAL³; ROOSE⁷; MORGAN⁵). Essa utilização em vários países que não empregam unidades inglesas e a adoção do Sistema Métrico Internacional de Unidades, que vem sendo gradualmente realizada nos Estados Unidos, levou os criadores da EUPS a realizarem a conversão das unidades do Sistema Inglês para o Sistema Métrico (WISCHMEIER & SMITH⁹). De acordo com FOSTER et alii², entretanto, essa conversão não utilizou unidades adequadas ao dimensionamento dos fatores da

* Trabalho realizado com recursos do Convênio POLONORDESTE-CCA-UFC/SUDEC/FCPC.

** Professor Assistente do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará e Bolsista do CNPq.

equação no moderno Sistema Métrico Internacional de Unidades (SI). Referidos autores elaboraram então novas tabelas para converter unidades inglesas para o Sistema Métrico Internacional de Unidades. A transformação das unidades métricas indicadas por WISCHMEIER & SMITH⁸, e que são aquelas adotadas pelos pesquisadores brasileiros para as novas unidades do SI propostas por FOSTER et alii², porém, ficou apenas implícita, não sendo expressa formalmente no aludido trabalho como realizada.

Com base nos dados indicados por WISCHMEIER & SMITH⁹ e FOSTER et alii², o presente trabalho tem por objetivos: a) reunir os três sistemas de unidades apresentando seu interrelacionamento; b) estabelecer fatores de conversão nos dois Sistemas de Unidades Métricas, preenchendo uma lacuna ainda existente nos trabalhos relacionados com esse tema, e c) contribuir para uma maior divulgação e compreensão sobre a conversão de unidades dos fatores da EUPS no Sistema Métrico Internacional, em face da crescente tendência de sua adoção pelas pesquisas em conservação do solo.

MÉTODO

A equação universal de perdas de solo, conforme desenvolvida originalmente em unidades do Sistema Inglês por WISCHMEIER & SMITH⁸, pode ser expressa como:

$$A = R.K.LS.C.P$$

onde:

A = perdas médias anuais de solo em ton/acre;

R = fator erosividade da chuva em pés.tonf. polegada/acre. hora 10⁻²;

K = fator erodibilidade do solo em ton/acre. R⁻¹;

LS, C e P = fatores adimensionais que expressam, respectivamente, a relação entre as perdas de solo que ocorrem em dada área cultivada com determinado comprimento e declividade, revestida por uma cultura qualquer e protegida por uma prática conservacionista específica,

e as perdas deste mesmo solo que ocorreriam em uma parcela padrão. A parcela padrão apresenta comprimento de 72, 6 pés, 9% declividade, sendo arada e gradeada no sentido do declive, e, portanto, sem nenhuma prática conservacionista ou cobertura vegetal.

O Fator R

O fator é calculado pelo produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. A Tabela 1 mostra as equações para o cálculo da energia cinética dos segmentos de chuva de mesma intensidade nos três sistemas de unidade.

Ao efetivar-se o produto de E pela intensidade máxima em 30 minutos deve-se, ainda, multiplicar o resultado por 10⁻², quando empregam-se as equações (1) e (2), e por 10⁻³ quando se empregam as equações (3) e (4), sendo dispensável estas operações quando se adota a equação (5). As equações (2), (3) e (4) apresentam resultados equivalentes ao resultado final do cálculo do fator R.

De acordo com WISCHMEIER & SMITH⁹ é possível a conversão de valores finais da energia cinética e do fator R do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Decimal pela seguinte expressão:

$$EMD = E_I \times 0,683 \quad (6)$$

e

$$RMD = R_I \times 1,735 \quad (7),$$

onde EMD e RMD são, respectivamente, a energia cinética e fator R no Sistema Métrico Decimal e E_I e R_I esses mesmos parâmetros no Sistema Inglês. Essas equações, portanto, podem ser escritas como:

$$E_I = \frac{EMD}{0,683} \quad (8) \quad \text{e} \quad R_I = \frac{RMD}{1,735} \quad (9)$$

A conversão de valores desses parâmetros de Sistema Inglês para o Sistema Métrico Internacional, conforme indicação de FOSTER et alii² é realizada por:

$$EM_I = E_I \times 0,006701 \quad (10)$$

$$\text{e} \quad R_{M_I} = R_I \times 17,02 \quad (11),$$

onde EM_I e R_{M_I} são, respectivamente, energia cinética e fator R no Sistema Métrico Internacional.

TABELA 1

Equações Para Cálculo da Energia Cinética (E) em Função da Intensidade das Chuvas (I) em Três Sistemas de Unidades.

Sistemas de Unidades	Equação	Unidades ⁽¹⁾		Referências
		E	I	
Inglês	916 + 331 log ₁₀ I (1)	pés-ton	pol	Smith e
		ac. pol	hora	
Métrico Decimal	210 + 89 log ₁₀ I (2)	tm	cm	Wischmeier e Smith ⁸
		ha.cm	hora	
	ou			
	12,142 + 8,877 log ₁₀ I (3)	tm	mm	Lombardi Neto ⁴
	ha.mm	hora		
ou				
	12,132 + 8,904 log ₁₀ I (4)	tm	mm	Pereira ⁶
		ha.mm	hora	
Métrico Internacional	0,119 + 0,0873 log ₁₀ I (5)	MJ	mm	Foster et alii ²
		ha.mm	hora	

(1) ton: tonelada (US); ac: acre; pol: polegada de chuva; tm: tonelâmetro; ha: hectare; MJ: megajoule (J x 10⁶); cm: centímetro de chuva; mm: milímetro de chuva.

Com base nessas referências, encontraram-se os fatores de conversão dos valores finais da energia cinética e do fator R do Sistema Decimal para o Sistema Métrico Internacional, não expressos formalmente nesses dois trabalhos, através do seguinte artifício de cálculo: substituindo-se nas equações (10) e (11) E_I e R_I pelos seus valores expressos nas equações (8) e (9) obtém-se:

$$EMI = \frac{EMD}{0,683} \times 0,006701 \quad (12)$$

e

$$RMI = \frac{RMD}{1,735} \times 17,02 \quad (13)$$

e para encontrar os fatores de conversão desses parâmetros nos dois Sistemas de Unidades Métricas, essas equações podem assim ser expressas:

$$EMI = EMD \times 0,00981 \quad (14)$$

e

$$RMI = RMD \times 9,81 \quad (15)$$

O Fator K

A conversão do fator erodibilidade do solo, K, do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Decimal pode ser feita de acordo com WISCHMEIER e SMITH⁸, da seguinte maneira:

$$KMD = K_I \times 1,292 \quad (16),$$

$$\text{donde } K_I = \frac{KMD}{1,292} \quad (17),$$

onde K_{MD} é o fator erodibilidade no Sistema Métrico Decimal e K_I é esse fator no Sistema Inglês.

FOSTER et alii² indicaram a conversão desse parâmetro do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Internacional, utilizando-se a seguinte equação:

$$KMI = K_I \times 0,1317 \quad (18),$$

onde K_{MI} é o fator erosividade no Sistema Métrico Internacional.

De idêntica forma como se procedeu para encontrar o fator de conversão da erosividade, o fator erodibilidade pode

TABELA 2

Equações para Cálculo do Fator Topográfico, (LS), da Equação Universal de Perdas de Solo em Três Sistemas de Unidades

Sistemas de Unidades	Equação	Unidades L S	Referências
Inglês Métrico Decimal e Métrico Internacional	$\sqrt{L} (0,0076 + 0,0053S + 0,00076S^2)$ (21)	pés %	Wischmeier e Smith 8
	$\sqrt{L} / 100 (1,36 + 0,97S + 0,1285S^2)$ (22)	m %	Bertoni et alii 1

ser convertido nos dois Sistemas de Unidades Métricas, substituindo-se o K_I na equação (18) pelo seu valor na equação (17):

$$K_{MI} = \frac{K_{MD}}{1,292} \times 0,1317 \quad (19),$$

$$\text{donde } K_{MI} = K_{MD} \times 0,1019 \quad (20)$$

O Fator LS

O fator topográfico, LS, apresenta unidades comuns aos dois Sistemas Métricos, ou seja, o comprimento do declive, (L), é dado em metros e a declividade, (S), é dada em percentagem, prescindindo de transformações nesses sistemas. A Tabela 2 mostra as equações para cálculo desse fator nos três sistemas de unidade.

Os Fatores C e P

Os valores dos fatores manejo da vegetação e práticas conservacionistas são razões entre as perdas de solo que ocorrem com um dado tipo de cobertura vegetal e seu manejo, (C), e uma prática conservacionista, (P), determinada e as perdas que ocorreriam em um mesmo solo em condições de aração e gradagem a favor do declive e sem nenhuma vegetação, sendo iguais os outros fatores de chuva e topografia. Sendo adimensionais, estas razões não requerem conversões, de acordo com FOSTER et alii².

RESULTADOS

O interrelacionamento entre os três sistemas de unidades passíveis de adoção no emprego da EUPS e os respectivos fatores de conversão são mostrados na Ta-

bela 3. Considerou-se dispensável, na Tabela 3, a repetição da citação dos fatores de conversão do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Internacional, pois os mesmos já foram explícitos no item Método, e, também porque, as pesquisas brasileiras, em sua quase totalidade, somente adotam unidades métricas.

Com a finalidade de análises comparativas de resultados obtidos nos três sistemas de unidades, bem como uma melhor visualização dos fatores da EUPS no Sistema Métrico Internacional, cuja utilização é ainda muito recente nas pesquisas locais, são mostradas, na Tabela 4, valores típicos de A, R, e K e uma classificação de suas magnitudes.

Com o emprego constante dessas unidades, os pesquisadores e usuários das pesquisas com fatores da EUPS, facilmente encontrarão resultados adequados ao Sistema Internacional de Unidades e distintos das antigas unidades em progressivo desuso.

CONCLUSÃO

A apresentação conjunta dos três sistemas de unidades passíveis de emprego na equação universal de perdas de solo e de valores típicos de seus fatores dimensionais permite uma melhor compreensão do interrelacionamento existente entre eles.

A definição de fatores de conversão de unidades, não expressos em trabalhos anteriores, do Sistema Métrico Decimal para o Sistema Métrico Internacional, poderá facilitar a divulgação e comparação dos resultados obtidos, tendo em vista que a maioria das pesquisas brasileiras

TABELA 3

Fatores de Conversão de Membros Dimensionais da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em Três Sistemas de Unidades

Fatores da EUPS	Sistema Inglês		Conversão do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Decimal		Conversão do Sistema Métrico Decimal para o Sistema Métrico Internacional	
	Fator	Unidade	Fator	Unidade	Fator	Unidade
Perda de Solo, A	ton	x 2,242	t		x 1,0	t
	acre		ha			ha
Intensidade da Chuva, I	pol	x 25,4	mm		x 1,0	mm
	hora		hora			hora
Energia da Chuva, E	Pés-tonf	x 0,683	tm		x 0,00981	MJ
	acre		ha			ha
Erosividade, R	pés-tonf.pol	x 1,735	tm.mm		x 9,81	MJ.mm
	acre.hora.ano		ha.hora.ano			ha.hora.ano
Erodibilidade, K	ton	$\cdot R_1^{-1}$ x 1,292	t	$\cdot R_{MD}^{-1}$	x 0,1019	$t \cdot R_{MI}^{-1}$
	acre		ha			ha

TABELA 4

Valores Típicos de A, R e K da Equação Universal de Perdas de Solo e sua Classificação (adaptado de Foster et alii²).

Fator	Unidades			Classificação
	Sistema Inglês	Sistema Métrico Decimal	Sistema Métrico Internacional	
A	ton/acre.ano	ton/ha.ano	ton/ha.ano	
	0,5	1,12	1,12	baixa
	5,0	11,21	11,21	média
	20,0	44,84	44,84	alta
R	pés.tonf.pol/acre.hora.ano	tm.mm/ha.hora.ano	MJ.mm/ha.hora.ano	
	20,0	34,70	340,41	baixa
	125,0	216,88	2.127,50	média
	475,0	824,13	8.084,67	alta
K	ton/acre. R_1^{-1}	t/ha. R_{MD}^{-1}	t/ha. R_{MI}^{-1}	
	0,05	0,06	0,007	baixa
	0,25	0,32	0,033	média
	0,45	0,58	0,059	alta

utilizam unidades métricas da equação de perdas de solo. Para obtenção de valores de energia cinética das chuvas, de sua erodibilidade no Sistema Métrico Internacional, os valores desses fatores no Sistema Métrico Decimal devem ser multiplicados, respectivamente, pelos fatores 0,00981, 9,81 e 0,1019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI Jr., R. Equação de perdas de solo. Instituto Agrônomo de Campinas; Campinas, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21).

- 2 – FOSTER, G. R.; McCOOL; RENARD, K. G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units J. Soil Wat. Conserv. 36(6): 355-359, 1981.
- 3 – LAL, R. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. In: Greenland, D.J. & LAL, R. ed. SOIL CONSERVATION AND MANAGEMENT IN THE HUMID TROPICS. London, John Wiley & Sons, 1977, p. 49-56.
- 4 – LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Purdue University, 1977. 53 p. (Tese de Mestrado).
- 5 – MORGAN, R.P.C. Soil erosion. Longman Group Limited, London, 1979. 113p.
- 6 – PEREIRA, W. Avaliação da erosividade das chuvas em diferentes locais do Estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1977. 73 p. (Tese de Mestrado)
- 7 – ROOSE, E. J. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, 1977. p. 60-74.
- 8 – WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, U. S. D. A. 1965. 47 p. (Agricultural Handbook, 282).
- 9 – WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S.D.A. 1978, 58 p. (Agricultural Handbook, 537).