

CÁLCULO AUTOMÁTICO DO FATOR TOPOGRÁFICO (LS) DA EUPS, NA BACIA DO RIO PARACATU¹

Valtercides Cavalcante da Silva²

ABSTRACT

AUTOMATIC CALCULATION OF THE TOPOGRAPHIC FACTOR (LS) OF THE USLE, IN THE PARACATU RIVER BASIN

Although the Universal Soil Loss Equation (USLE) is widely used all over the world in the prediction of soil loss, a few factors of the equation are difficult to obtain, such as the slope length factor (L factor), particularly in watersheds. For this reason, the purpose of the present research was to apply the methodology for automatic calculation of the topographic factor (LS factor) using the algorithm developed by Desmet and Govers (1996) which defines the slope length factor (L factor) through the Geographic Information System (GIS). It was verified that the slope length factor (L), as developed by Desmet and Govers (1996), which accounts for accumulated flow, showed feasible results.

KEY WORDS: USLE, L factor, topographic factor, GIS.

INTRODUÇÃO

A equação universal de perda de solo (EUPS), desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), consiste num importante método de prever perda de solo, na medida em que contempla variações regionais, seja de origem climatológica, pedológica ou topográfica, seja decorrente de uso/manejo do solo e práticas conservacionistas. Contudo, apesar de seu amplo potencial de utilização, apresenta uma certa dificuldade na obtenção do fator de comprimento de vertente (L).

A EUPS foi utilizada primariamente para predição de erosão em trechos de declives não muito acentuados e uniformes. Foster & Wischmeier (1974) foram os primeiros a desenvolver um procedimento para o cálculo da perda de solo em declives carac-

RESUMO

Embora a equação universal de perda de solo (EUPS) seja amplamente utilizada na predição de perda de solo, é difícil obter certos fatores dessa equação em bacias hidrográficas, como é o caso do fator de comprimento de vertente (fator L). Diante disso, este trabalho objetivou determinar de maneira informatizada (automática), o fator topográfico (LS) da EUPS, utilizando para o cálculo do fator L o algoritmo de Desmet & Govers (1996), com o suporte de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Verificou-se a viabilidade do cálculo do fator de comprimento de vertente, na escala de 1:100.000, por meio da metodologia desses autores, que considera o fluxo acumulado.

PALAVRAS-CHAVE: EUPS, fator L, fator topográfico, SIG.

terizados como mais complexos. Eles dividiram declives irregulares em um número limitado de segmentos uniformes. Dessa forma, foram capazes de levar em consideração o formato do declive. Wischmeier & Smith (1978) continuaram esses estudos para declives irregulares, atribuindo peso para os trechos do declive conforme este fosse convexo ou côncavo.

Em todos esses estudos, o fator topográfico (LS) foi calculado por meio de métodos manuais. Esses métodos basicamente utilizam amostras de pontos na área estudada, sendo os resultados extrapolados para a extensão total da área. O número de dados é limitado e é grande a quantidade de tempo exigida para obtê-los. Além disso, um problema fundamental pode surgir: embora a declividade possa ser mensurada através de cartas topográficas, de

1. Parte da tese de doutorado do autor, apresentada à Universidade de Brasília (UnB)/Programa de Pós-Graduação em Geologia. Trabalho recebido em maio/2002 e aceito para publicação em dez./2002 (registro nº 496).

2. Universidade Federal de Goiás, Caixa Postal. 131, CEP 74001-970, Goiânia, GO. E-mail: vcsilva@agro.ufg.br

forma relativamente fácil, medir o comprimento de vertente em determinado ponto pode ser um entrave, considerando a possibilidade de diferentes operadores obterem resultados divergentes.

Diante dessas dificuldades, objetivou-se, neste trabalho, determinar, de maneira informatizada (automática), o fator topográfico (LS), utilizando para o cálculo do fator de comprimento de vertente (L) o algoritmo de Desmet & Govers (1996). Este emprega o conceito de contribuição de área, contendo em sua formulação o fluxo acumulado. Segundo seus propositores, o método automático difere consideravelmente do método manual porque é pontual (depende da resolução), sendo menos trabalhoso e de rápida geração de resultados (Desmet & Govers 1996).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu, localizada entre os paralelos 15°30' e 19°30' de latitude sul e os meridianos 45°10' e 47°30' de longitude oeste. Mais de 93% da superfície da bacia situa-se na região noroeste do Estado de Minas Gerais, com pequenas partes incluídas no sudeste de Goiás e leste do Distrito Federal. É uma das principais sub-bacias do Vale do São Francisco, possuindo uma superfície de 44.922 km².

Na determinação do fator topográfico (LS), 28 cartas topográficas, na escala de 1:100.000, foram utilizadas. Estas haviam sido previamente vetorizadas pela CODEVASF. As cartas tinham como fonte a Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tendo sido elaboradas no período de 1971 a 1976. Através do *software* ArcInfo (ESRI 1995) fizeram-se a junção e a edição das cartas (curvas em nível, hidrografia e pontos cotados), para geração do “modelo numérico do terreno” (MNT), com resolução de 100 m, utilizando o módulo Topogrid.

O algoritmo de Desmet & Govers (1996), que emprega o conceito de contribuição de área, requer a geração de um mapa de fluxo acumulado. Para cada pixel, calculam-se a declividade, a direção de fluxo e a quantidade de fluxo que se acumulou a montante daquele pixel. Dessa maneira, o fator topográfico para vertentes complexas foi facilmente calculado. Assim, com base no MNT e utilizando-se o *software* ArcView (ESRI 1996), determinaram-se: o mapa de declividade (s); o mapa de coeficiente da declividade (m); a direção de fluxo, gerando o

mapa de $x_{i,j}$; e o fluxo acumulado. A área de contribuição ($A_{i,j-in}$) foi gerada pelo produto do fluxo acumulado e pela área de cada célula (10.000 m²).

O fluxo acumulado é obtido em função da direção do fluxo, que, por sua vez, é obtido do MNT. A direção do fluxo de uma célula central é assim escolhida de oito direções distintas (Figura 1). Por exemplo, se a direção do fluxo é para oeste, ela será codificada como 16, para norte, 64, para sudeste, 2, e assim por diante. A direção se dá para a célula de menor altitude, em relação à célula central. Se vários vizinhos têm os mesmos menores valores, o *software* define a melhor direção. Uma vez determinada a direção do fluxo, calculou-se o fluxo acumulado nas vertentes. Este define o número de células a montante que contribuem para uma determinada célula a jusante, como mostra a Figura 2 (a e b).

Na Figura 2b, a célula hachurada do fluxo acumulado tem valor 7, ou seja, sete células a montante contribuíram para esta célula. Como a direção do fluxo da célula central de uma matriz 3 x 3 do programa ArcView ocorre em oito, e somente oito, direções (Figura 1), com variação de 45°, empregou-se o mapa de direção de fluxo para determinar $x_{i,j}$. As direções codificadas por 1, 4, 16 e 64 (paralelas

32	64	128
16	X	1
8	4	2

Figura 1. Direção do fluxo em que a célula central (X) é codificada com um dos valores das oito células circunvizinhas (a direção se dá para a célula de menor altitude em relação à célula central)

2	2	2	4	4	8	0	0	0	0	0	0
2	2	2	4	4	8	0	1	1	2	2	0
1	1	2	4	8	4	0	3	7	5	4	0
128	128	1	2	4	8	0	0	0	20	0	1
2	2	1	4	4	4	0	0	0	1	24	0
1	1	1	1	4	16	0	2	4	7	35	2

(a)

(b)

Figura 2. Quadro hipotético do número de células a montante, de acordo com a direção do fluxo (a), as quais contribuem para uma célula a jusante, determinando o fluxo acumulado (b)

ao lado do quadrado) obtiveram valores de $x_{i,j}$ iguais a 1, e as direções 2, 8, 32 e 128 (na diagonal do quadrado), valores iguais a 1 e 41.

Com a definição dos parâmetros $A_{i,j-in}$, D , $x_{i,j}$ e m , foi possível determinar, utilizando-se o software ArcView, o fator de comprimento de vertente (L), de acordo com a equação 1 de Desmet & Govers (1996):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]} \quad (1)$$

onde:

$L_{i,j}$: fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j-in}$: área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2);

D : tamanho da grade de células (m);

$x_{i,j}$: valor da direção do fluxo; e

m : coeficiente que assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$ (s é o grau de declividade); 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; 0,3, se $1\% \leq s < 3\%$; e 0,2, se $s < 1\%$.

O fator de declividade (S) foi obtido segundo a metodologia de Wischmeier & Smith (1978) – Equação 2 – em que a declividade (s) foi determinada por meio do software ArcView. Assim, determinou-se o fator topográfico (LS) pelo produto dos fatores L e S, através do comando Map Calculate do ArcView.

$$S = 0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065 \quad (2)$$

onde:

S: fator de declividade (adimensional); e

s: declividade média da vertente (%).

Segundo Desmet & Govers (1996), em uma bacia com variadas utilizações do solo, áreas teoricamente drenadas são freqüentemente irrelevantes quanto à perda de solo. A experiência do usuário certamente é necessária para decidir se as parcelas devem ser consideradas hidrológicamente isoladas ou contínuas. Os autores citados utilizaram o mapa de solos para definir áreas teoricamente drenadas e situadas nos declives mais baixos, próximos aos talwegues. Na Bacia do Rio Paracatu, como o mapa de solos é pouco detalhado (escala de 1:500.000), determinaram-se áreas tomando-se distâncias de 150 m ao longo da rede de drenagem. A essas áreas, consideradas de deposição, foram atribuídos valores iguais a zero, pois a EUPS estima apenas a erosão na vertente, mas não a deposição (Wischmeier 1976, Desmet & Govers 1996).

Visando comparar o método automático de Desmet & Govers (1996) com o método manual de Wischmeier & Smith (1978), calculou-se manualmente, em algumas vertentes selecionadas, o valor de LS, tanto em áreas de baixa declividade como em vertentes complexas.

Utilizando-se o mapa de declividade e as outras variáveis da Equação 1 obtiveram-se: o mapa do fator de comprimento de vertente (L), pela metodologia de Desmet & Govers (1996); o mapa do fator de declividade (S), pela equação de Wischmeier & Smith (1978); e o mapa do fator topográfico (LS), que é o resultado do produto dos fatores L e S.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a Tabela 1, verifica-se a predominância da classe de relevo suave a suave-ondulado (0% a 3%), que ocupa 50,3% da área total da bacia, enquanto as maiores declividades (acima de 10%) cobrem 19,5% dessa área. As classes de declividade estão associadas à geomorfologia da região. Na Figura 3 (mapa do fator topográfico – LS) e na Tabela 2, verifica-se a predominância das classes com pequenos valores do fator topográfico (inferiores à unidade), que ocupam 63,5% da área total da bacia.

O método de Desmet & Govers (1996) tem a vantagem de fornecer, pixel a pixel, o valor de LS ao longo das vertentes. Como se pode observar no detalhe da Figura 3, onde há distâncias significativas do divisor de água e onde há convergência de fluxo

Tabela 1. Freqüência das classes de declividade da Bacia do Rio Paracatu

Classe decliv. (%)	Área (km^2)	Freq. relativa (%)	Freq. acum. (%)
0-1	12452	27,7	27,7
1-2	6004	13,3	41,0
2-3	4196	9,3	50,3
3-4	3298	7,3	57,6
4-6	4797	10,7	68,3
6-8	3251	7,2	75,5
8-10	2266	5,0	80,5
10-15	3508	7,8	88,3
15-20	2066	4,6	92,9
>20	3163	7,1	100,0

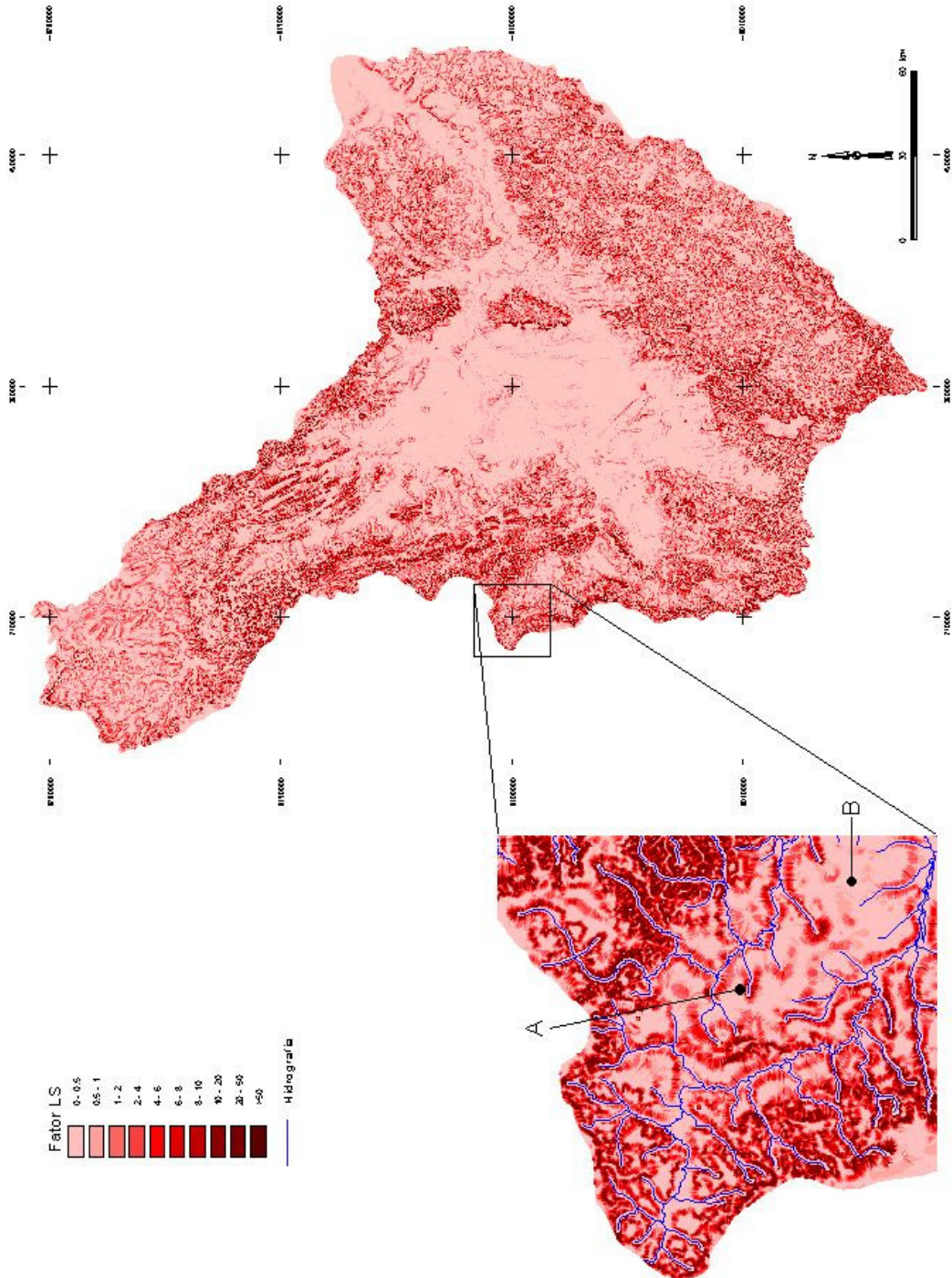


Figura 3. Mapa do fator topográfico (LS) da Bacia do Rio Paracatu (A - fator L elevado; B - fator L reduzido)

Tabela 2. Frequência das classes do fator topográfico (LS) da Bacia do Rio Paracatu

Classe de LS	Área (km ²)	Freq. relativa(%)	Freq. acum.(%)
0-1	28519	63,5	63,5
1-2	4298	9,6	73,1
2-3	2297	5,1	78,2
3-4	1678	3,7	81,9
4-6	2269	5,1	87,0
6-8	1380	3,1	90,1
8-10	909	2,0	92,1
10-15	1305	2,9	95,0
15-20	700	1,5	96,5
>20	1573	3,5	100,0

(vertentes côncavas), bem como altas declividades, o valor de LS tende a ser elevado (ponto A). Em contrapartida, esse valor é baixo nos interflúvios (topos de morros e chapadas), uma vez que o comprimento de vertente e a declividade são reduzidos (ponto B).

Comparando-se os resultados obtidos com os métodos automático (Desmet & Govers 1996) e manual (Wischmeier & Smith 1978), verifica-se que, em áreas de baixas declividades, estes apresentam valores semelhantes de LS (Tabela 3). Já no caso de vertentes complexas, em áreas mais declivosas, os valores de LS gerados pelo método de Desmet & Govers (1996) são significativamente superiores (Tabela 4). Isso pode ser explicado provavelmente pela assimilação da convergência e pelo respectivo acúmulo de fluxo no método de Desmet & Govers (1996), o que não ocorre com o método de Wischmeier & Smith (1978). Os primeiros autores já haviam reconhecido esse fato, que parece confirmado por este trabalho, e, por essa razão, propuseram o método alternativo.

CONCLUSÕES

1. A determinação informatizada (automática) do fator topográfico (LS), a partir da adaptação do fator de comprimento de vertente (L) da EUPS, segundo a metodologia que considera o fluxo acumulado na vertente (Desmet & Govers 1996), mostra-se viável na escala estudada; observa-se, entretanto, a necessidade da obtenção de um modelo numérico do terreno (MNT) preciso.

Tabela 3. Comparação entre o LS calculado pela equação de Wischmeier & Smith (1978) e o obtido pelo algoritmo de Desmet & Govers (1996) no cálculo de L, em áreas de baixa declividade

Perfil	Dec. (%)	Compr. (m)	m	LS (EUPS)	LS obtido	Erro relat. (%) ¹	ncfa ²
1	0,25	100	0,20	0,10	0,10	3,7	0
	0,58	200	0,20	0,15	0,16	10,0	1
	0,49	300	0,20	0,15	0,17	13,5	2
	0,51	400	0,20	0,16	0,18	12,1	3
	0,55	500	0,20	0,17	0,20	16,4	4
	0,59	600	0,20	0,18	0,21	15,2	5
	0,60	700	0,20	0,19	0,22	16,4	6
	0,57	800	0,20	0,19	0,22	15,2	7
	0,45	900	0,20	0,18	0,21	15,2	8
	0,20	1000	0,20	0,16	0,19	19,2	9
2	1,38	100	0,30	0,22	0,22	0,3	0
	1,81	200	0,30	0,33	0,38	16,1	1
	2,02	300	0,30	0,40	0,49	21,9	2
	2,05	400	0,30	0,44	0,55	24,1	3
	1,93	500	0,30	0,45	0,57	26,1	4
	1,74	600	0,30	0,44	0,56	26,7	5
	1,55	700	0,30	0,43	0,54	26,5	6
	1,36	800	0,30	0,41	0,52	27,4	7
	1,14	900	0,30	0,38	0,49	28,4	8
	0,90	1000	0,20	0,24	0,28	17,3	9
	0,64	1100	0,20	0,21	0,25	18,1	10
	0,39	1200	0,20	0,19	0,22	18,1	11
	0,21	1300	0,20	0,17	0,20	18,2	12
0,08	1400	0,20	0,16	0,18	14,3	13	
3	0,11	100	0,20	0,09	0,09	5,0	0
	0,18	200	0,20	0,11	0,13	14,0	1
	0,24	300	0,20	0,13	0,15	16,6	2
	0,30	400	0,20	0,14	0,16	13,1	3
	0,34	500	0,20	0,15	0,18	18,7	4
	0,38	600	0,20	0,16	0,19	17,9	5
	0,40	741	0,20	0,17	0,19	11,6	6
	0,49	882	0,20	0,19	0,20	7,6	7
	0,57	1023	0,20	0,20	0,22	9,7	8
	0,62	1164	0,20	0,21	0,23	8,7	9
0,64	1305	0,20	0,22	0,23	5,0	10	
0,61	1446	0,20	0,22	0,23	4,6	11	

¹- [LS (EUPS) – LS obtido] / LS (EUPS);

²- ncfa: número de células do fluxo acumulado.

- Quando comparado ao método tradicional de Wischmeier & Smith (1978), o fator LS obtido pelo algoritmo de Desmet & Govers (1996) demonstra ter incorporado de forma mais fidedigna os processos de variação de declividade e convergência/divergência de fluxo nas vertentes; isso permite que a EUPS seja adequadamente aplicada na predição de perda de solo em bacias complexas.
- No uso do método original de Wischmeier & Smith (1978) em vertentes complexas, espera-se uma subestimativa de LS e, portanto, da erosão (A)

Tabela 4. Comparação entre o LS calculado pela equação de Wischmeier & Smith (1978) e o obtido pelo algoritmo de Desmet & Govers (1996) no cálculo de L, em vertentes complexas

Perfil	Dec. (%)	Compr. (m)	<i>m</i>	LS (EUPS)	LS obtido	Erro relat. (%) ¹	ncfa ²
4	3,34	100	0,40	0,53	0,53	0,1	0
	3,52	200	0,40	0,74	0,92	24,4	1
	3,43	300	0,40	0,85	1,10	29,9	2
	3,14	400	0,40	0,87	1,00	15,2	3
	3,24	541	0,40	1,01	1,14	12,8	4
	3,15	682	0,40	1,08	1,20	11,3	5
	3,03	823	0,40	1,12	1,23	10,0	6
	2,72	964	0,30	0,74	0,80	8,6	7
5	1,58	141	0,30	0,27	0,22	17,7	0
	2,44	282	0,30	0,46	0,44	4,7	1
	1,38	423	0,30	0,34	0,38	11,7	2
	0,73	523	0,20	0,19	0,22	14,8	4
	1,13	623	0,30	0,34	0,40	17,6	6
	3,79	764	0,40	1,37	2,33	70,3	12
	6,15	864	0,50	3,70	6,25	68,7	15
	9,22	1005	0,50	7,02	14,66	108,9	19
6	1,07	100	0,30	0,19	0,19	0,3	0
	7,52	200	0,50	2,34	3,02	29,1	1
	12,51	300	0,50	6,11	8,35	36,7	2
	14,50	400	0,50	8,93	12,52	40,1	3
	27,67	500	0,50	30,11	42,81	42,1	4
	29,45	600	0,50	36,87	52,93	43,5	5
	20,05	700	0,50	20,29	29,33	44,5	6
	25,96	800	0,50	34,01	49,38	45,2	7
19,65	900	0,50	22,23	32,41	45,7	8	

¹- [LS (EUPS) – LS obtido] / LS (EUPS);

²- ncfa: número de células do fluxo acumulado.

nessas vertentes, embora isso deva ser confirmado por trabalhos posteriores, especialmente com a utilização de escalas maiores.

REFERÊNCIAS

- Desmet, P. J. J. & G. Govers. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5): 427-433.
- ESRI. 1995. *Understanding GIS. The ARC/INFO method. Self study workbook. Version 7 for UNIX 95.*
- ESRI. 1996. *Using ArcView GIS. Environmental Systems Research Institute, INC. California, USA.*
- Foster, G. R. & W. H. Wischmeier. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Trans. ASAE*, 17: 305-309.
- Wischmeier, W. H. 1976. Use and misure of the universal soil loss equation. *J. of Soil and Water Cons*, Ankeny, 31 (1): 5-9.

Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses;- a guide to consevation planning.* Washington: U.S. Department of Agriculture. 58 p. (Agriculture Handbook No 537).