

# **AVALIAÇÃO DO ERRO NA UTILIZAÇÃO DE UM VALOR DE ERODIBILIDADE POR CLASSE DE SOLO NA APLICAÇÃO DA EUPS: o caso da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, DF**

*Jorge Enoch Furquim Werneck Lima<sup>1,2</sup>; Euzebio Medrado da Silva<sup>1</sup>; Eder de Souza Martins<sup>1</sup>; Adriana Reatto<sup>1</sup>; Nabil Joseph Eid<sup>3</sup> & Sergio Koide<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- Na aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), é comum considerar que cada classe de solo seja representada por apenas um valor de erodibilidade (fator K). Essa simplificação se deve, principalmente, à carência de informação sobre essa característica dos solos, que é de difícil obtenção e dependente de outras variáveis. Pesquisadores têm buscado desenvolver métodos para estimar a erodibilidade a partir de outras características dos solos de mais fácil obtenção. Entretanto, ainda não há um método indireto considerado o melhor para a realização dessa tarefa. O objetivo deste trabalho foi avaliar o erro que pode ser cometido ao considerar apenas um valor de K por classe de solo na estimativa da taxa de erosão anual da bacia experimental do alto rio Jardim, DF, utilizando a EUPS. Os resultados indicam que, ao considerar apenas um valor de K por classe de solo, pode-se incorrer em erros superiores a 100% na estimativa da taxa de erosão de solo anual em uma determinada área no Cerrado, o que pode representar um risco na aplicação direta dos resultados obtidos com a EUPS sem uma análise crítica dos dados utilizados e dos objetivos almejados com o estudo.

**ABSTRACT** --- In the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE), it is common to consider that each soil class can be represented by only one erodibility value (K-factor). This simplification is mainly, because of the lack of information about this soil characteristic, which is difficult to obtain and dependent from other soil variables. Researchers have been trying to develop methods to estimate soil erodibility from other soil characteristics easier to determine. However, so far, there has not been developed a universal indirect method considered to be the best for estimating dependable K values. The objective of this work was to evaluate the error in considering just a value of K for each soil class for estimating the annual erosion rate in the Experimental Upper Jardim River Basin, located in Federal District, Brazil, utilizing the USLE. The results indicate that, when considering only one value of K for each soil class, it is possible to have errors higher than 100% in estimating the value of the annual soil erosion rate of a certain area in the Cerrado, what can represent a risk in the direct application of the USLE results without a critical analysis of their objectives and the used data.

**Palavras-chave:** USLE, erosão, bacia experimental.

---

1) Pesquisador da Embrapa Cerrados; BR 020, km 18, Planaltina, DF, CEP 73301-970; [jorge@cpac.embrapa.br](mailto:jorge@cpac.embrapa.br); [euzebio@cpac.embrapa.br](mailto:euzebio@cpac.embrapa.br); [eder@cpac.embrapa.br](mailto:eder@cpac.embrapa.br); [reatto@cpac.embrapa.br](mailto:reatto@cpac.embrapa.br).

2) Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH, Departamento de Eng. Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB.

3) Professor do Departamento de Eng. Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB; [njeid@unb.br](mailto:njeid@unb.br); [skoide@unb.br](mailto:skoide@unb.br).

## INTRODUÇÃO

A erodibilidade (fator K) representa a facilidade com que partículas de solo são destacadas e transportadas. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1995), as propriedades do solo que influenciam a sua erodibilidade são as mesmas que afetam: a velocidade de infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água; e aquelas que modificam a resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da enxurrada.

Bastos (1999) salienta que a erodibilidade é uma das características mais complexas de avaliação do solo em virtude do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes. De acordo com Denardin (1990), a obtenção da erodibilidade de solos no Brasil é uma tarefa que demandaria muito esforço, tempo e recursos financeiros em razão de sua extensão territorial e de sua diversidade de solos, sendo um problema para estudos de erosão. Segundo Bastos (1999), durante muitos anos, pesquisadores de todo o mundo têm tentado relacionar a erodibilidade medida diretamente no campo com várias características dos solos, entretanto, os dados levantados ainda não são suficientes para estabelecer uma relação acurada entre o potencial de erosão dos solos e suas propriedades determinadas em laboratório. Bastos (1999) também destaca que não existe uma metodologia indireta considerada universal para a determinação da erodibilidade do solo, o que persiste até o presente.

A medição direta do fator K de erodibilidade dos solos para a utilização da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é feita por meio da instalação e operação de parcelas experimentais padrão, com elevado custo financeiro e grande demanda de tempo. Por causa da variabilidade do fenômeno estudado, esses experimentos devem ter duração mínima de cinco anos para a obtenção de valores representativos da média de K (Laflen, 1982). A forma empírica de obtenção de K faz com que seja necessária a calibração desses valores para diferentes solos e regiões. Em decorrência disso, há grande interesse no desenvolvimento de métodos indiretos de estimativa dessa propriedade dos solos a partir de dados que sejam de mais fácil obtenção.

Nesse sentido, existem vários métodos propostos para a determinação indireta da erodibilidade do solo (Dumas, 1965; Wischmeier & Mannering, 1969; Wischmeier *et al.*, 1971; Roth *et al.*, 1974; El-Swaify & Dangler, 1977; Römken *et al.*, 1977; Denardin, 1990; Lima *et al.*, 1990; Roloff & Denardin, 1994; e Marques *et al.*, 1997), cada qual com suas peculiaridades e desenvolvidos para uma dada região e/ou tipo de solo. No entanto, a carência de dados básicos e a indefinição do melhor método para a determinação da erodibilidade de maneira indireta constituem problemas a serem resolvidos (Silva & Alvares, 2005). Silva *et al.* (2000) avaliaram a correlação entre os valores da erodibilidade de Latossolos brasileiros, obtidos por métodos diretos e indiretos.

No caso, nenhum dos métodos testados mostrou-se adequado para a estimativa da erodibilidade para os Latossolos, sendo recomendado o desenvolvimento de modelos específicos para esses solos.

Esses resultados reforçam a posição cautelosa de Cohen *et al.* (2005) sobre a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos - EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) para a análise espacial do risco de erosão em áreas tropicais sem estudos prévios de validação com dados de campo. Esse é um fato relevante, uma vez que a EUPS é uma equação empírica, desenvolvida para condições específicas e, portanto, precisa ser calibrada antes da aplicação de seus resultados em diferentes regiões. Isso faz com que os resultados de aplicações da EUPS, muitas vezes, tenham um caráter mais qualitativo do que quantitativo, o que não impede necessariamente que eles sejam empregados como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Esses problemas relatados acabam levando ao uso de simplificações no momento da aplicação da EUPS, como a consideração de apenas um valor de K por classe de solo. Sabendo-se que em cada classe de solo as características que influenciam a erodibilidade são variáveis, este trabalho teve por objetivo avaliar o erro, ao considerar apenas um valor de K por classe de solo, na estimativa da taxa de erosão anual da bacia experimental do alto rio Jardim, DF, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A bacia experimental do alto rio Jardim está localizada na parte mais alta deste rio, que é afluente do rio Preto, que deságua no rio Paracatu, importante contribuinte da bacia do rio São Francisco. A área de drenagem total da bacia experimental do alto rio Jardim é de 105 km<sup>2</sup>. Localizada na parte leste do Distrito Federal (Figura 1), essa bacia experimental está inserida na principal região agrícola dessa unidade da federação, onde se destaca o uso do solo para a produção de grãos. Além da importância em termos agrícolas e econômicos para o Distrito Federal, sua localização, central em relação ao bioma Cerrado; sua facilidade acesso; e suas características geoambientais fizeram com que essa área fosse adotada pela Embrapa Cerrados como bacia experimental e representativa do bioma Cerrado.

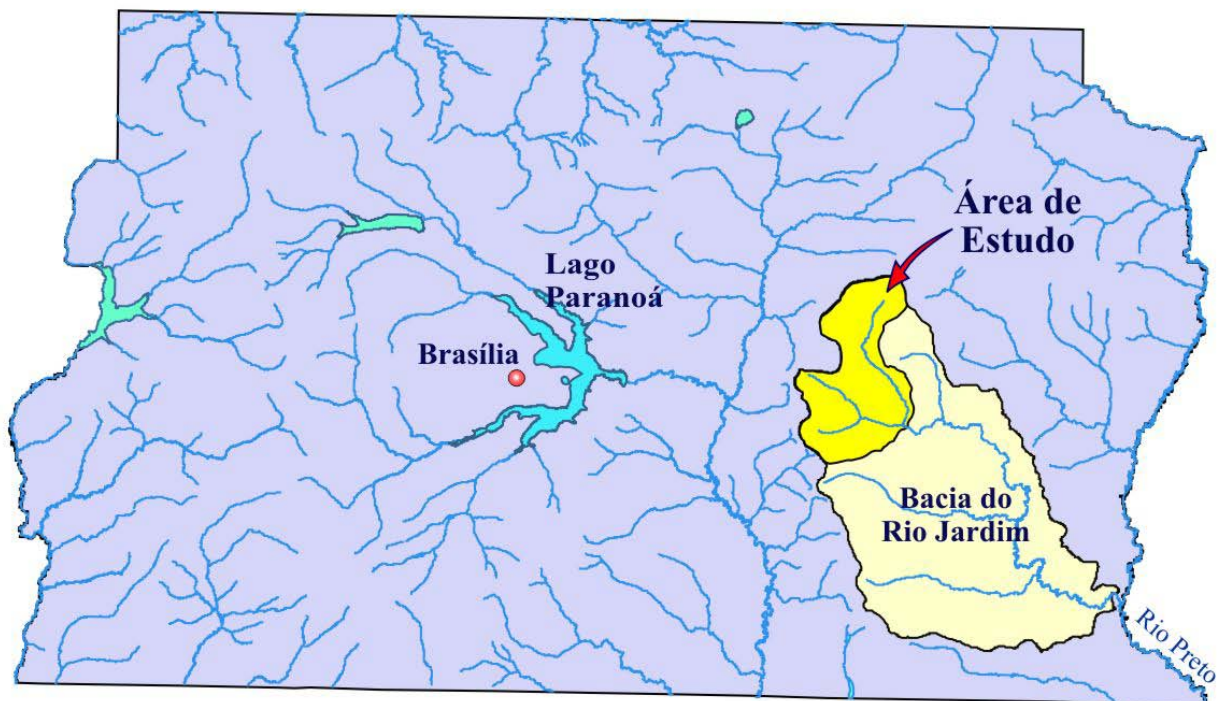


Figura 1. Mapa do Distrito Federal com a localização da área de estudo, a bacia experimental do alto rio Jardim.

As características climáticas da bacia são típicas do bioma Cerrado, apresentando duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia entre setembro-outubro e se estende até os meses de março-abril, e outra seca, compreendendo os demais meses do ano.

Na Figura 2 é apresentado o resultado do levantamento semidetalhado dos solos da bacia experimental do alto rio Jardim (escala 1:50.000), extraído de Reatto *et al.* (2000), bem como os locais de coleta de amostras para a realização deste trabalho.

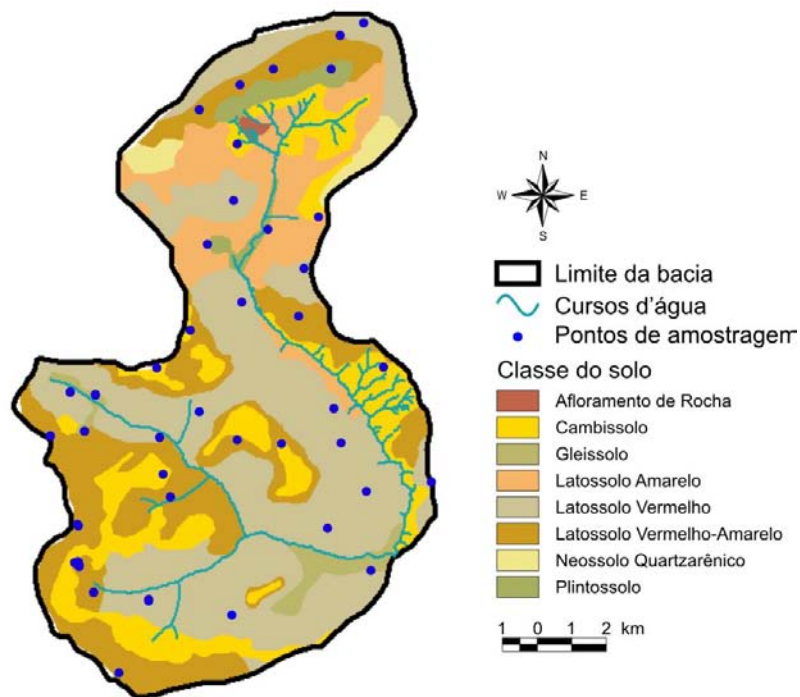


Figura 2. Mapa genérico de solos da bacia experimental do alto rio Jardim (Reatto *et al.*, 2000) com a localização dos pontos de amostragem utilizados no presente trabalho.

Com base na Figura 2, observa-se que grande parte da bacia experimental do alto rio Jardim (76,38%) é composta por Latossolos, 16,68% é de Cambissolos e o restante é repartido entre as classes Plintossolo (2,54%), Gleissolo (2,41%), Neossolo Quartzarênico (2,09%) e, ainda, uma pequena parcela de Afloramentos de Rocha (0,24%).

### Estimativa dos Valores de K

Os valores de K para os solos da área de estudo foram estimados utilizando os seguintes métodos:

- a) nomograma de Wischmeier *et al.* (1971);
- b) Denardin (1990);
- c) van der Knijff *et al.* (1999); e
- d) Stone & Hillborn (2002).

#### *Nomograma de Wischmeier et al. (1971)*

Dentre os métodos existentes, o do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) é o mais utilizado (van der Knijff *et al.*, 1999). Ele permite a estimativa do valor de K de forma gráfica, a partir de propriedades do solo (textura, percentual de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade).

Para a conversão dos valores de K do nomograma do Sistema Inglês para o Sistema Internacional de Unidade (SI), deve-se multiplicar o resultado obtido por 0,1317 (Foster *et al.*, 1981).

*Denardin (1990)*

Silva *et al.* (1994) efetuaram a comparação da erodibilidade estimada por seis métodos indiretos com o valor medido no campo em um Latossolo Vermelho e um Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos sob Cerrado, e concluíram que os métodos indiretos não são adequados para estimar o fator K medido. Apesar disso, eles afirmam que o método desenvolvido por Denardin (1990) é o que apresenta os resultados menos imprecisos para Latossolos do Cerrado. O modelo de Denardin (1990) é descrito como:

$$K = 0,00000748.M + 0,00448059.P - 0,0631175.DMP + 0,01039567.REL \quad (1)$$

sendo:

$$M = (\% \text{silte} + \% \text{areia\_muito\_fina}) * (100 - \% \text{argila});$$

P = código da permeabilidade do solo segundo a classificação de Wischmeier *et al.* (1971), adimensional;

$$DMP = \exp\left(\sum f_i \cdot \ln\left(\frac{d_i + d_{i-1}}{2}\right)\right), \text{ mm};$$

$$R = \frac{\%M}{\%} \frac{O}{\% \geq 0,1m}, \text{ adimensional};$$

sendo:

$f_i$  = percentual correspondente ao intervalo de diâmetros, %;

$d_i$  = diâmetro superior do intervalo, mm;

$d_{i-1}$  = diâmetro inferior do intervalo, mm;

%MO = percentual de matéria orgânica, %.

*Van der Knijff et al. (1999)*

Van der Knijff *et al.* (1999) desenvolveram um método baseado apenas em dados texturais dos solos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de K para solos europeus segundo o método de van der Knijff *et al.* (1999).

Textura	Faixa granulométrica	K
Grossa	Argila < 18% e Areia > 65%	0,0115
Média	18% < Argila < 35% e Areia > 15% ou Argila < 18% e 15% < Areia < 65%	0,0311
Média a Fina	Argila < 35% e Areia < 15%	0,0438
Fina	35% < Argila < 60%	0,0339
Muito Fina	Argila > 60%	0,0170

*Stone & Hillborn (2002)*

Esses autores desenvolveram um método de estimativa de valores de K em função da classe textural e do teor de matéria orgânica do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de K em função da classe textural e do teor de matéria orgânica dos solos (adaptado de Stone & Hillborn, 2002).

Classe textural	Média	% MO	
		< 2%	> 2%
Muito Argilosa	0,022	0,025	0,020
Argilosa	0,029	0,032	0,028
Franco Argilosa	0,040	0,043	0,037
Franca	0,040	0,045	0,034
Areia Franca	0,005	0,007	0,005
Arenosa	0,003	0,004	0,001
Franco Argilo Arenosa	0,026	-	0,026
Franco Arenosa	0,017	0,018	0,016
Franco Siltosa	0,050	0,054	0,049
Argilo Siltosa	0,034	0,036	0,034
Franco Argilo Siltosa	0,042	0,046	0,040

### Dados para a Aplicação dos Métodos

As amostras foram tomadas na camada superficial do solo e os locais de coleta são distribuídos na área de estudo conforme apresentado na Figura 2.

Os dados de textura foram obtidos por meio dos métodos de peneiramento e pipetagem (Embrapa, 1997). A condutividade hidráulica saturada (K<sub>sat</sub>) foi determinada com permeâmetro de carga constante (Klute, 1965), em três profundidades (0, 15 e 60 cm), sendo efetuadas quatro repetições em cada ponto. O K<sub>sat</sub> considerado neste trabalho foi o menor valor médio obtido nas três profundidades, ou seja, à camada mais restritiva do fluxo da água no solo.

No caso dos dados de textura, para o uso do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), utilizou-se o modelo proposto por Lima & Silva (2002) para o traçado das curvas granulométricas das amostras, das quais foram extraídos os percentuais de material nas faixas granulométricas requeridas: %silte + areia muito fina (0,002 – 0,100 mm); e %areia (0,100 – 2,000 mm). Isso foi

necessário, pois o método de obtenção dos dados no laboratório (Embrapa, 1997) adota uma divisão diferente das faixas granulométricas, sendo elas: argila (< 0,002 mm); silte (0,002 – 0,050 mm); areia fina (0,050 – 0,200 mm); e areia grossa (0,200 – 2,000 mm).

As características das amostras, bem como a classificação dos solos na área de coleta, extraída do mapa de solos, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características das amostras de solos da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Textura	MO (%)	Ksat (mm/h)	Classe de solo
1	61,47	9,67	24,35	4,51	Muito argiloso	2,3	763	Plintossolo
2	80,17	11,55	7,08	1,21	Muito argiloso	2,9	171	Cambissolo
3	71,34	18,12	8,78	1,76	Muito argiloso	2,5	451	Latossolo Vermelho-Amarelo
4	39,58	36,41	11,06	12,95	Franco argiloso	1,4	574	Latossolo Vermelho-Amarelo
5	56,26	13,95	22,78	7,01	Argiloso	2,5	287	Latossolo Amarelo
6	67,2	18,01	8,09	6,70	Muito argiloso	2,4	471	Latossolo Vermelho-Amarelo
7	15,28	10,49	70,39	3,85	Franco arenoso	1,8	342	Latossolo Vermelho-Amarelo
8	74,34	14,18	10,03	1,46	Muito argiloso	2,9	618	Latossolo Vermelho-Amarelo
9	64,14	14,48	18,74	2,64	Muito argiloso	2,4	179	Latossolo Vermelho-Amarelo
10	64,3	10,12	20,32	5,26	Muito argiloso	2,9	83	Latossolo Vermelho-Amarelo
11	65,36	13,26	19,12	2,25	Muito argiloso	2,5	370	Latossolo Vermelho
12	62,79	8,28	22,89	6,04	Muito argiloso	3,2	87	Latossolo Vermelho
13	69,65	10,28	15,17	4,91	Muito argiloso	3,0	237	Latossolo Vermelho
14	58,32	18,83	20,9	1,95	Argiloso	3,3	387	Latossolo Vermelho
15	66,36	11,1	20,25	2,29	Muito argiloso	3,6	632	Latossolo Vermelho
16	72,05	12,51	11,18	4,26	Muito argiloso	2,6	139	Latossolo Vermelho
17	66,85	18,85	10,73	3,57	Muito argiloso	3,2	215	Latossolo Vermelho
18	63,83	17,26	17,15	1,76	Muito argiloso	3,7	328	Latossolo Vermelho
19	72,2	10,71	13,65	3,45	Muito argiloso	2,3	338	Latossolo Vermelho
20	64,81	18,22	14,75	2,23	Muito argiloso	2,8	317	Latossolo Vermelho
21	73,32	13,77	12,22	0,69	Muito argiloso	2,7	410	Latossolo Vermelho
22	56	15,18	10,83	18,00	Argiloso	3,2	137	Cambissolo
23	31,05	39,41	24,33	5,20	Franco argiloso	3,6	431	Cambissolo
24	58,2	18,05	20,76	2,99	Argiloso	2,4	361	Cambissolo
25	63,85	13,42	15,58	7,14	Muito argiloso	3,9	494	Gleissolo
26	33,05	17,81	41,26	7,88	Franco argilo arenoso	1,8	123	Cambissolo
27	69,3	5,39	22,37	2,94	Muito argiloso	2,4	355	Latossolo Vermelho-Amarelo
28	55,24	21,4	19,96	3,40	Argiloso	3,3	275	Latossolo Vermelho-Amarelo
29	72,46	15,03	10,96	1,55	Muito argiloso	3,3	588	Latossolo Vermelho-Amarelo
30	46,06	4,26	44,41	5,26	Argilo arenoso	3,4	30	Latossolo Vermelho-Amarelo
31	73,26	10,4	13,49	2,85	Muito argiloso	2,3	49	Latossolo Vermelho-Amarelo
32	55,88	4,81	31,25	8,06	Argiloso	2,6	273	Latossolo Vermelho-Amarelo
33	79,19	12,42	7,35	1,04	Muito argiloso	2,4	107	Latossolo Vermelho-Amarelo
34	66,99	17,42	12,75	2,84	Muito argiloso	2,5	126	Latossolo Vermelho
35	65,77	14,79	16,66	2,78	Muito argiloso	3,5	506	Latossolo Amarelo
36	45,41	11,73	35,94	6,92	Argiloso	3,3	8	Plintossolo
37	39,21	49,82	7,27	3,71	Franco argilo siltoso	2,9	417	Latossolo Vermelho

Como se pode observar na Tabela 3, das 37 amostras analisadas, 37,84% é de Latossolo Vermelho-Amarelo, 35,14% de Latossolo Vermelho, 5,41% de Latossolo Amarelo, 13,51% de Cambissolo, 5,41% de Plintossolo e 2,70% de Gleissolo. Das classes pedológicas identificadas na bacia, não foram tomadas amostras de Neossolo Quartzarênico e de áreas com Afloramentos de Rocha. Com relação à textura, 64,86% dos solos amostrados são da classe “Muito Argilosa”,



18,92% da “Argilosa”, 5,41% da “Franco Argilosa” e 2,70% de cada uma das classes “Franco Argilo Arenosa”, “Argilo Arenosa”, “Franco Argilo Siltosa” e “Franco Arenosa”.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados obtidos das amostras de solo coletadas na bacia experimental do alto rio Jardim (Tabela 3), os valores de K foram estimados por meio da aplicação dos quatro métodos propostos e os resultados são apresentados a seguir, por classe de solo.

Tabela 4. Estimativa do valor de K para amostras de Latossolos Vermelhos da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
11	65,36	2,5	370	Latossolo Vermelho	0,004	0,014	0,017	0,020
12	62,79	3,2	87	Latossolo Vermelho	0,006	0,016	0,017	0,020
13	69,65	3	237	Latossolo Vermelho	0,003	0,011	0,017	0,020
14	58,32	3,3	387	Latossolo Vermelho	0,007	0,019	0,034	0,028
15	66,36	3,6	632	Latossolo Vermelho	0,003	0,014	0,017	0,020
16	72,05	2,6	139	Latossolo Vermelho	0,007	0,016	0,017	0,020
17	66,85	3,2	215	Latossolo Vermelho	0,003	0,015	0,017	0,020
18	63,83	3,7	328	Latossolo Vermelho	0,003	0,018	0,017	0,020
19	72,20	2,3	338	Latossolo Vermelho	0,003	0,011	0,017	0,020
20	64,81	2,8	317	Latossolo Vermelho	0,003	0,016	0,017	0,020
21	73,32	2,7	410	Latossolo Vermelho	0,003	0,017	0,017	0,020
34	66,99	2,5	126	Latossolo Vermelho	0,006	0,019	0,017	0,020
37	39,21	2,9	417	Latossolo Vermelho	0,024	0,034	0,034	0,040

Como se observa na Tabela 4, os métodos apresentam resultados distintos para os Latossolos Vermelhos analisados, em que se destacam os baixos valores obtidos com o Nomograma de Wischmeier em relação aos demais métodos. Segundo Loch & Pocknee (1995), a estimativa da erodibilidade utilizando o nomograma é pouco confiável para solos mais agregados e argilosos, assertiva corroborada por Römken *et al.* (1977), El-Swaify & Dangler (1977), van der Knijff *et al.* (1999) e Lima *et al.* (2006). Outro ponto de destaque são os altos valores de K da última amostra apresentada na Tabela 4, a amostra 37. Um fator que certamente tem influência nesses resultados é o fato de a amostra possuir teor de argila bem inferior ao das demais. Destaca-se que os Latossolos podem ter até 15% de teor de argila. Os erros nos dados obtidos com o Nomograma são de cerca de 700% (0,003 a 0,024); com o método de Denardin (1990) são de pouco mais de 200% (0,011 a 0,034); com o de van der Knijff *et al.* (1999), são de 100% (0,017 a 0,034); e o de Stone & Hillborn (2002), de 100% (0,020 a 0,040). Mesmo excluindo o último dado da análise (amostra 37), os resultados das variações ainda seriam significativos, como apresentado a seguir: Nomograma (133%); Denardin (73%); van der Knijff *et al.* (100%); e Stone & Hillborn (40%).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos como amostras de Latossolos Vermelho-Amarelo.

Tabela 5. Estimativa do valor de K para amostras de Latossolos Vermelho-Amarelo da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
3	71,34	2,5	451	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,015	0,017	0,020
4	39,58	1,4	574	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,022	0,024	0,034	0,043
6	67,20	2,4	471	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,013	0,017	0,020
7	15,28	1,8	342	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,031	0,026	0,034	0,018
8	74,34	2,9	618	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,003	0,015	0,017	0,020
9	64,14	2,4	179	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,014	0,017	0,020
10	64,30	2,9	83	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,006	0,016	0,017	0,020
27	69,30	2,4	355	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,011	0,017	0,020
28	55,24	3,3	275	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,006	0,019	0,034	0,028
29	72,46	3,3	588	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,016	0,017	0,020
30	46,06	3,4	30	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,012	0,023	0,034	0,032
31	73,26	2,3	49	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,009	0,020	0,017	0,020
32	55,88	2,6	273	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,004	0,011	0,034	0,028
33	79,19	2,4	107	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,006	0,019	0,017	0,020

Em relação aos resultados obtidos com 14 amostras de Latossolos Vermelho-Amarelo, os métodos também apresentam diferença evidente, principalmente o Nomograma em solos mais argilosos, conforme já comentado. A variação dos valores de K obtidos com cada método são os seguintes: Nomograma (930%, de 0,003 a 0,031); Denardin (136%, de 0,011 a 0,026); van der Knijff *et al* (100%, de 0,017 a 0,034); e Stone & Hillborn (139%, de 0,020 a 0,043). Nos casos das amostras 4 e 7, também fica evidente a influência do teor de argila no valor de erodibilidade dos solos.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos como amostras de Cambissolo.

Tabela 6. Estimativa do valor de K para amostras de Cambissolos da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
2	80,17	2,9	171	Cambissolo	0,003	0,016	0,017	0,020
22	56,00	3,2	137	Cambissolo	0,008	0,015	0,034	0,028
23	31,05	3,6	431	Cambissolo	0,022	0,035	0,044	0,037
24	58,20	2,4	361	Cambissolo	0,006	0,017	0,034	0,028
26	33,05	1,8	123	Cambissolo	0,026	0,030	0,044	0,026

Em relação aos Cambissolos amostrados na bacia do alto rio Jardim (Tabela 6), a variação dos valores de K obtidos com cada método são os seguintes: Nomograma (767%, de 0,003 a 0,026); Denardin (133%, de 0,015 a 0,035); van der Knijff *et al* (159%, de 0,017 a 0,044); e Stone & Hillborn (85%, de 0,020 a 0,037). Nas amostras com menor teor de argila (amostras 23 e 26), mais uma vez, é observada a tendência de obtenção de maiores valores de erodibilidade dos solos na maioria dos métodos.

Tabela 7. Estimativa do valor de K para amostras de Latossolos Amarelos da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
5	56,26	2,5	287	Latossolo Amarelo	0,006	0,015	0,034	0,0280
35	65,77	3,5	506	Latossolo Amarelo	0,004	0,015	0,017	0,0200

No caso dos Latossolos Amarelos, apenas duas amostras foram analisadas (Tabela 7). No método de Wischmeier a diferença entre os valores de K foi de 50%, no de Denardin não houve diferença entre as duas amostras, no de van der Knijff ocorreu uma variação de 100% e no de Stone & Hillborn os valores diferiram em 40%.

Tabela 8. Estimativa do valor de K para amostras de Plintossolos da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
1	61,47	2,3	763	Plintossolo	0,003	0,012	0,017	0,020
36	45,41	3,3	8	Plintossolo	0,016	0,031	0,034	0,028

Em relação aos Plintossolos (Tabela 8), da análise de apenas duas amostras, observaram-se as seguintes variações nos resultados de cada método: Nomograma de Wischmeier (433%, de 0,003 a 0,016); Denardin (158%, de 0,012 a 0,031); van der Knijff *et al* (100%, de 0,017 a 0,034); e Stone & Hillborn (40%, de 0,020 a 0,028).

Tabela 9. Estimativa do valor de K para amostra de Gleissolo da bacia experimental do alto rio Jardim.

Nº	Argila (%)	MO (%)	Ksat. (mm/h)	Classe de solo	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )			
					Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Denardin (1990)	van der Knijff <i>et al.</i> , (1999)	Stone & Hillborn (2002)
25	63,85	3,9	494	Gleissolo	0,003	0,013	0,017	0,020

Em relação aos Gleissolos, como apenas uma amostra foi coletada nessa classe de solo, não foi possível a verificação da variabilidade dos resultados obtidos com cada método, contudo, é evidente a diferença entre os resultados dos métodos, como nos demais casos.

Da análise geral dos resultados obtidos, pode-se concluir que a consideração de apenas um valor de K para determinada classe de solo, na aplicação da EUPS, pode representar um grande erro na taxas anuais de erosão obtidas.

Outro ponto observado nas análises é que, nas amostras com teores de argila mais altos (cerca de 60% ou mais), o Nomograma de Wischmeier resulta em valores de K muito inferiores aos obtidos com os demais métodos. Em relação aos métodos, Silva *et al.* (2000) testaram 23 diferentes métodos indiretos e concluíram que nenhum deles é recomendado para a estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros, indicando a necessidade do desenvolvimento de modelos específicos para esses solos. Porém, os autores afirmaram que aquele que mais se aproxima de dados medidos é o de Denardin (1990).

Da análise dos resultados apresentados é possível notar que, geralmente, nos diferentes métodos, solos com maiores teores de argila possuem menores valores de K. Com base nisso, Lima *et al.* (2007) propuseram uma simplificação do modelo de Denardin (1990) tendo como referência dados da bacia do alto rio Jardim, os mesmos utilizados neste trabalho.

Na Figura 3 é apresentada a comparação dos valores de K obtidos com base no mapa de solos (um valor de K por classe de solo) e aqueles obtidos com o modelo proposto por Lima *et al.* (2007) gerado com dados de textura dos solos da bacia do alto rio Jardim.

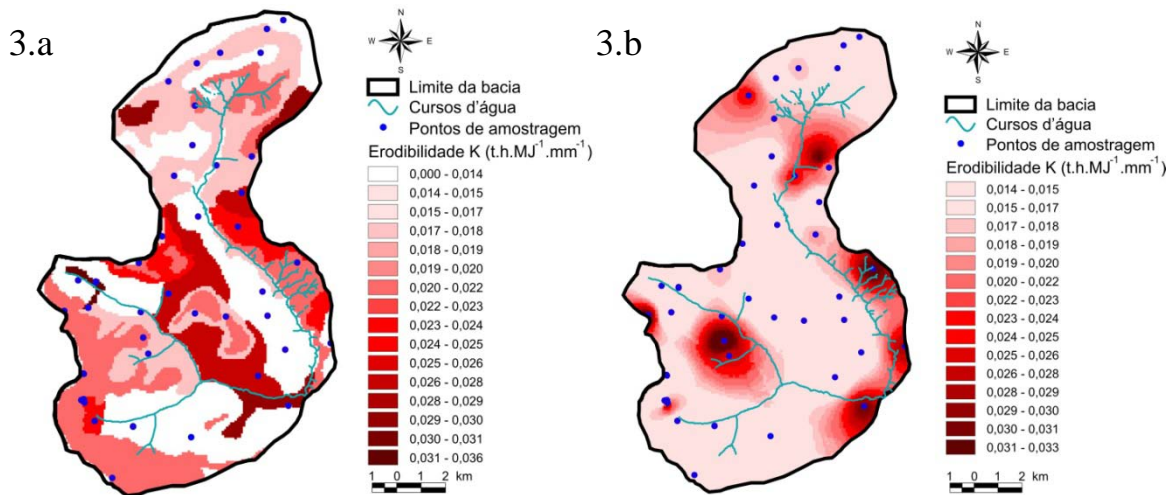


Figura 6. Mapas de erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio Jardim gerados com duas diferentes técnicas: 3.a) um valor de K por unidade de mapeamento de solo; 6.b) valor de K em função da variação espacial do teor de argila dos solos (Lima *et al.*, 2007).

Como se pode observar na Figura 3, os resultados da aplicação das duas técnicas de espacialização dos valores de K na bacia, apresentadas em escalas similares, são visualmente diferentes. No primeiro caso, Figura 3.a, onde foi aplicado um valor médio de K por classe de solo, a discretização dos dados é similar àquela do mapa de solos da bacia (Figura 2). Já na Figura 3.b, os valores de K seguem a distribuição espacial do teor de argila na bacia, obtida por meio da interpolação de dados medidos.

Na Figura 4 é apresentada a diferença entre os dois métodos, em termos absoluto e relativo.

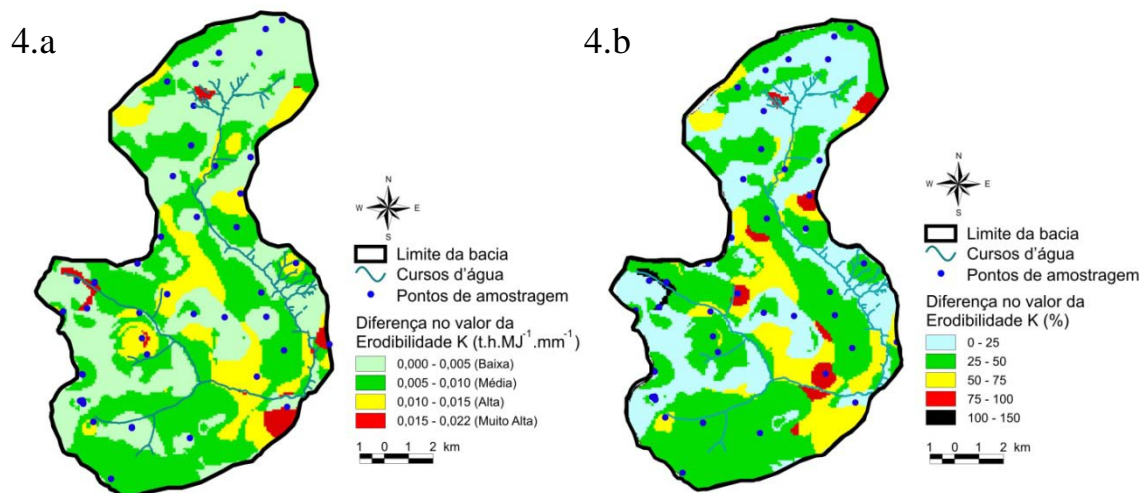


Figura 4. Distribuição espacial da diferença absoluta (4.a) e relativa (4.b) entre os métodos de obtenção de K na bacia experimental do alto rio Jardim (Lima *et al.*, 2007).

Na Figura 4.a, observa-se que a diferença absoluta entre os valores de K determinados pelos dois métodos foi considerada “Baixa” em 39,5% da área, “Média” em 44,7%, “Alta” em 13,5%, e “Muito Alta” em 2,3% da bacia. A diferença absoluta máxima encontrada entre os métodos foi igual a  $0,022 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ . No entanto, essa classificação para as diferenças absolutas é subjetiva e, por isso, na Figura 4.b, essas diferenças são apresentadas em termos percentuais, em relação aos valores obtidos com a aplicação do modelo proposto neste trabalho.

Com base nos resultados apresentados na Figura 4.b, gerou-se a curva de distribuição das diferenças percentuais entre os métodos (Figura 5).

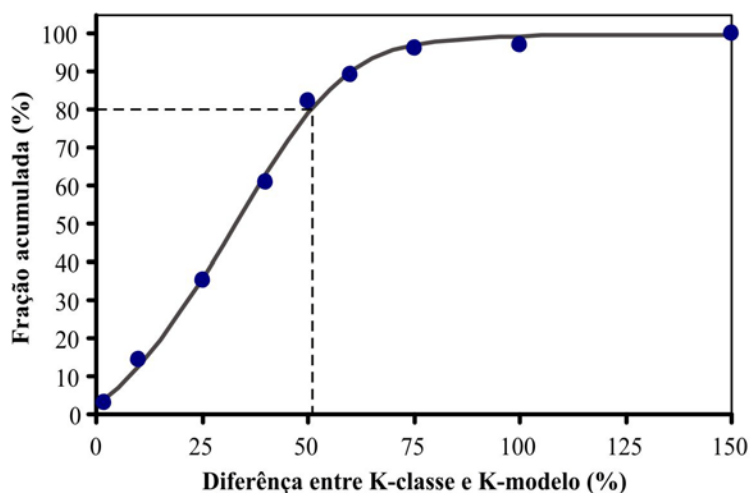


Figura 5. Curva de distribuição acumulada da diferença entre os métodos utilizados na determinação dos valores de K na bacia experimental do alto rio Jardim (Lima *et al.*, 2007).

Da análise do gráfico apresentado na Figura 5, determina-se, por exemplo, que em cerca de 80% da área da bacia a diferença entre os métodos foi inferior a 50%, ou seja, em 20% da área ela foi maior que 50%. Isso confirma que os resultados dos métodos têm uma diferença significativa.

Destaca-se que, em razão da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS se tratar de um produtivo de diferentes fatores, em que o K é um deles, uma diferença em seu valor, por exemplo, de 10%, representa, de forma direta, uma diferença de 10% na estimativa da taxa de erosão da área analisada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Os resultados indicam que, ao considerar apenas um valor de K por classe de solo, pode-se incorrer em erros superiores a 100% na estimativa da taxa de erosão anual de uma determinada área, o que pode representar um risco na aplicação direta dos resultados obtidos com a EUPS sem uma análise crítica de seus objetivos e dos dados utilizados;

2. Os resultados obtidos evidenciam que os valores de K, na maioria dos casos, são altamente dependentes do teor de argila dos solos, sendo essa relação inversamente proporcional;
3. Os quatro métodos indiretos utilizados geraram valores de K discrepantes entre si, destacando-se os baixos valores de K obtidos com o Nomograma de Wischmeier em solos com alto teor de argila;
4. No caso da bacia experimental do alto rio Jardim, da comparação entre os resultados obtidos com o uso de um valor de K por classe de solo e com o uso do modelo desenvolvido por Lima *et al.* (2007), com base no modelo de Denardin (1990) e em dados de textura de solos da bacia de estudo, observou-se que apenas cerca de 30% da área apresentou diferença nos valores de K inferiores a 25%;
5. É fundamental que novos estudos de campo sejam efetuados para a determinação de valores de K que possam servir de referência para o desenvolvimento e/ou a validação de métodos de estimativa de K em área de Cerrado;
6. É importante destacar que os erros nos valores de K são diretamente proporcionais aos erros na estimativa da taxa anual de erosão do solo estimada pela EUPS.

## BIBLIOGRAFIA

- BASTOS, C.A.B. (1999) Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não-saturados. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 256p. *Tese de Doutorado*.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1995) *Conservação do solo*. São Paulo: Ed. Ícone, 356p.
- COHEN, M.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. (2005) Empirical reformulation of the soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma*, Oxford, v.124, p.235-252.
- DENARDIN, J.E. (1990) Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba : USP-Esalq. 81p. *Tese de Doutorado*.
- DUMAS, J. (1965) Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. *Cahiers Orstom - Série Pédologie*, Bondy, v.3, n.4, p.307-333.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. (1977) Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: *Proceedings of the National Conference on Soil Erosion*, West Lafayette. Ankeny: Soil and Water Conservation Society. p.105-110.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997) *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Produção de Informação. 212p.

- 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*. Ankeny, v.36, p.355-359.
- KLUTE, A. (1965) Laboratory measurements of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy: Madison. p.210-221.
- LAFLEN, J.M. (1982) Special problems of the USLE: Soil erodibility (K). In: *Proceedings of the Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands*, Tucson, Arizona. USDA, p.63-72.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. da. (2002) Utilização do modelo modificado de Genuchten para o traçado da curva granulométrica. In: *Anais do V Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p.121-125.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. da; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S. (2006) Avaliação do uso do nomograma de Wischmeier para a estimativa da erodibilidade de Latossolos do Cerrado. In: *Anais do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cd-Rom.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. da; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. (2007) Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio jardim DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, p.21-34.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. (1990) Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.1, p.85-90.
- LOCH, R.J.; POCKNEE, C. (1995) Effects of aggregation on soil erodibility: Australian experience. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.50, p.504-506.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; SÁ, M.A.C. de. (1997) Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.447-456.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S.; ASSAD, M.L.C.L. (2000) Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do rio Jardim - DF, escala 1:50.000. Planaltina: Embrapa Cerrados. 63p. CD ROM (*Boletim de pesquisa* nº 18).



- ROLOFF, G.; DENARDIN, J.E. (1994) Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In. *Anais da X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Florianópolis: SBCS. p.150-151.
- RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B.; NELSON, D.W. (1977) Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.41, n.5, p.954-960.
- ROTH, C.B.; NELSON, D.W.; RÖMKENS, M.J.M. (1974) Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters. Washington: United States Environmental Protection Agency. 111p. *Report*.
- SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. (2005) Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. *Geociências*, Rio Claro SP, v.24, n.1, p. 33-42.
- 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*, Brasília, v.29, n.11, p.1751-1761.
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUAX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M. (1997) Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.1, p.131-137.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M. (2000) Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220.
- STONE, R.P.; HILLBORN, D. (2002) Universal Soil Loss Equation (USLE). Canadá: Ontário, Ministry of Agriculture and Food (OMAFRA). In. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm>.
- VAN DER KNIJFF, J.M.; JONES, R.J.A.; MONTANARELLA, L. (1999) Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau. Joint Research Center of the European Commission, 52p. *Report*.
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. (1971) A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.26, n.5, p.189-193.
- WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. (1969) Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, v.33, n.1, p.131-137.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses – a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook 537*.