

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DIRETO E INDIRETOS PARA DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE EM LATOSSOLOS SOB CERRADO<sup>1</sup>

MARX LEANDRO NAVES SILVA<sup>2</sup>, NILTON CURI<sup>3</sup>, MARCELO SILVA DE OLIVEIRA<sup>4</sup>,  
MOZART MARTINS FERREIRA<sup>5</sup> e FRANCISCO LOMBARDI NETO<sup>5</sup>

**RESUMO** - Este trabalho teve como objetivo a comparação da erodibilidade obtida por seis métodos indiretos, com o método direto determinado no campo com simulador de chuva em Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e em Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) sob cerrado. Além das análises necessárias para o cálculo dos índices, também foram determinados os teores de óxido de ferro livres totais (DCB) e do ataque sulfúrico, e quantificou-se caulinita e gibbsita na fração argila desferificada e a relação entre minerais leves e pesados na fração areia. Concluiu-se que os métodos indiretos não são estatisticamente exatos em relação ao método direto para estimar um valor absoluto quanto ao fator erodibilidade. Apesar dessa inexatidão, o método VI é o que mais se aproxima do padrão, em termos da proporção de erodibilidade dos latossolos estudados. Os índices de erodibilidade obtidos enquadram o LE na classe muito baixa (<0,013) e o LV, na classe baixa (0,033 - 0,013) de suscetibilidade à erosão hídrica. O LV apresentou perdas bem acima do seu limite máximo tolerável, no período do verão, o que indica a necessidade de práticas adequadas de conservação para a redução destas perdas.

Termos para indexação: erosividade, perdas de solo, tolerância de perdas.

## COMPARISON BETWEEN DIRECT AND INDIRECT METHODS FOR THE DETERMINING THE ERODIBILITY IN LATOSOLS UNDER CERRADO VEGETATION

**ABSTRACT** - This study had the objective of comparing the soil erodibility obtained through six indirect methods with the direct one, determined under field conditions with rain simulator, in Dark-Red Latosol (LE) and Red-Yellow Latosol (LV) under cerrado vegetation. Beyond the necessary analyses for the index calculus, the amounts of total free (DCB) and sulphuric attack iron, and kaolinite and gibbsite in the free-iron clay fraction and the light/heavy minerals ratio in the sand fraction were also determined. It was concluded that the indirect methods are not statistically exact in relation to the direct one for estimating an absolute value for the erodibility factor. In spite of this inexactness, the VI method is the one which is nearest to the standard in terms of erodibility proportion for the studied latosols. The obtained erodibility indices fit the LE in the very low (<0.013) and the LV in the low class (0.013-0.033) of susceptibility to hydric erosion. The LV presented losses well above its tolerance maximum limit, in the summer period, indicating the need of adequate conservation practices for reducing such losses.

Index terms: erosivity, soil losses, losses tolerance.

## INTRODUÇÃO

A erodibilidade do solo refere-se a sua capacidade potencial em resistir à erosão, governada pela características intrínsecas do solo. O primeiro autor a reconhecer formalmente a variabilidade das propriedades do solo que influem sobre sua resistência à erosão foi Bennett (1926).

Basicamente existem três maneiras diferentes

<sup>1</sup> Aceito para publicação em...

Extraído da Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas apresentado pelo primeiro autor à Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL).

<sup>2</sup> Eng.-Agr., M.Sc. ESAL. Lavras, MG.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., Prof. Dep. de Ciência do Solo. ESAL. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG.

<sup>4</sup> Eng.-Agr., Prof. Dep. de Ciências Exatas da ESAL.

<sup>5</sup> Eng.-Agr., Seção de Conservação de Solo do IAC.

de se determinar a erodibilidade do solo. A primeira envolve a determinação do fator K em condições de campo sob chuva natural (Mutchler et al., 1988), mas este método é oneroso e muito demorado. O segundo método é semelhante ao primeiro, porém baseia-se na quantificação do fator K em função das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada (Meyer & McCune, 1958; Wischmeier & Smith, 1978). O terceiro método baseia-se em equações de regressão que contenham como variáveis independentes propriedades mineralógicas, químicas e físicas ou relações destas, altamente correlacionadas com o fator K; como exemplo deste, podem ser mencionados os trabalhos de Middleton (1930), Bouyoucos (1935), Gerdel (1937), Wischmeier & Mannering (1969) e Wischmeier et al. (1971).

No Brasil, vários pesquisadores têm proposto métodos e adaptações de métodos usados em outros países para determinação indireta de erodibilidade (Lombardi Neto & Bertoni, 1975a; Lima et al., 1990; Denardin, 1990; entre outros).

A determinação da erodibilidade usando o nomograma de Wischmeier et al. (1971), mostra que sua validade é limitada, como foi constatado, em solos do Hawai por El-Swaify & Dangler (1977), e, no Brasil, por Freire & Pessotti (1976), Pombo et al. (1981), Henklain & Freire (1983), Angulo et al. (1985), Martins Filho & Silva (1985) e Távora et al. (1985).

Os resultados da aplicação do nomograma de Wischmeier et al. (1971) geraram dúvidas quanto à sua aplicabilidade em latossolos, quando se utilizam dados de granulometria com dispersão total do solo (utilizando NaOH). Numa tentativa de adequar este nomograma aos latossolos da região de Lavras (MG), Lima et al. (1990) propuseram algumas modificações, tendo em mente que quando a dispersão do solo é realizada somente em água, os agregados, de elevada estabilidade nesses solos, podem permanecer no tamanho das frações silte e areia muito fina.

Denardin (1990) desenvolveu modelos matemáticos estimativos do fator erodibilidade para solos de Brasil e Brasil/EUA. Segundo o mesmo autor, a erodibilidade dos solos do Brasil pode ser estimada tanto pelo modelo ajustado para o conjunto de solos do Brasil e dos EUA, como pelo

modelo ajustado a partir de variáveis exclusivas dos solos do Brasil.

A carência de dados básicos e a indefinição do melhor método para a determinação da erodibilidade de maneira indireta, que possibilite enquadrar os solos em classes similares de resistência à erosão, refletindo a perda real constatada no campo para as condições locais, constituem problemas na utilização da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para servir de apoio na elaboração de planejamento para controle da erosão hídrica do solo.

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo a determinação indireta de índices de erodibilidade, por seis métodos diferentes para Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo sob cerrado, e a comparação destes índices com o índice padrão, ou seja, obtido de maneira direta no campo com simulador de chuva.

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas situam-se nas coordenadas 21°5' de latitude sul e 45° de longitude oeste no município de Lavras, MG. Os solos utilizados foram Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV). A vegetação natural é constituída de remanescentes de cerrado nas áreas correspondentes aos dois solos.

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se NaOH 0,1N como dispersante químico, e agitação rápida (12.000 rpm) durante 10 minutos.

O fracionamento da terra fina em água também foi realizado pelo método da pipeta, sendo as frações que englobam partículas e/ou agregados maiores que 0,1 mm separados por peneiramento (peneira de 0,105 mm), e as frações de tamanho menor, por sedimentação, segundo a lei de Stockes.

A permeabilidade foi avaliada em laboratório, partindo-se de amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland, e utilizando-se permeâmetro adaptado (Lima et al., 1990), para eliminação da água percolada junto às paredes do cilindro. As classes de permeabilidade foram estabelecidas de acordo com o Soil Survey Staff (1951), com modificação para obtenção das seis classes empregadas no método nomográfico de Wischmeier et al. (1971), no nomograma modificado por Lima et al. (1990) e no modelo proposto por Denardin (1990). A umidade equivalente foi determinada conforme método da Embrapa (1979).

Realizaram-se análises de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  do ataque

sulfúrico e carbono orgânico, segundo Vettori (1969) e Embrapa (1979). Determinaram-se também os óxidos de ferro livres totais após extração com ditionito-citratobicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960).

Os teores de gibbsita e caulinita foram obtidos na fração argila desferrificada através de análise térmica diferencial, e a relação entre minerais leves e pesados foi determinada na fração areia segundo Krumbein & Pettijohn (1938).

Foram adotados seis índices de erodibilidade com base nas determinações morfológicas, físicas e químicas, a saber:

I) Lombardi Neto & Bertoni (1975a), com base em Middleton (1930), que considera:

$$\frac{\% \text{ argila dispersa em água} / \% \text{ argila total}}{\% \text{ argila total} / \% \text{ umidade equivalente}}$$

II) Lombardi Neto & Bertoni (1975a) modificado, incluindo-se os teores de silte disperso em água (fracionamento da terra fina em água) e total (disperso com NaOH 0,1N):

$$\frac{(\% \text{ silte} + \text{argila dispersos em água}) / (\% \text{ silte} + \text{argila totais})}{(\% \text{ argila total} / \% \text{ umidade equivalente})}$$

III) Equação de Wischmeier et al. (1971):

$$K = [2,1 \times 10^{-4} (12 - MO) M^{1.14} + 3,25(S-2) + 2,5(P-3)] / 100$$

onde:

K é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm (após correção para SI); M é o produto das porcentagens de silte mais areia muito fina (Novo Silte), pela soma da porcentagem de areia >0,1 mm (Nova Areia) e as porcentagens de silte mais areia muito fina (Novo Silte), MO é o teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem; S e P são a estrutura e permeabilidade do solo, respectivamente, codificados conforme Wischmeier et al. (1971).

IV) Equação de Wischmeier et al. (1971) modificada por Lima et al. (1990), onde a porcentagem de partículas e/ou agregados <0,1 mm (dispersos em água) substitui a porcentagem de silte + areia muito fina (Novo Silte) da equação III, e a porcentagem de partículas e/ou agregados >0,1 mm (também dispersos em água) substitui a porcentagem de areia (>0,1 mm) correspondente (Nova Areia), sendo os demais parâmetros os mesmos de III.

V) Modelo para estimar a erodibilidade para os solos do Brasil (Denardin, 1990):

$$K = 0,00608397(P) + 0,00834286(MO) - 0,00116162(AI) - 0,00037756(PART)$$

onde:

K é o valor da erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm; P é permeabilidade do solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971); MO é o teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem; AI é o teor de óxido de alumínio extraível pelo ataque sulfúrico, expresso em porcentagem; PART é o teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm, expresso em porcentagem.

VI) Modelo para estimar a erodibilidade para os solos do Brasil e EUA (Denardin, 1990):

$$K = 0,00000748 (M) + 0,00448059 (P) - 0,06311750 (DMP) + 0,01039567 (REL)$$

onde:

K é o valor da erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm; M é o parâmetro calculado a partir de dados granulométricos, conforme a equação III; P é a permeabilidade do solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971); DMP é o diâmetro médio ponderado das partículas <2,0 mm, expresso em mm; REL é a relação entre o teor de matéria orgânica (MO) e o teor de partículas >0,1 mm (Nova Areia).

Os índices de erodibilidade obtidos através dos métodos III e IV encontram-se em unidades inglesas. A conversão para o sistema internacional foi realizada através da multiplicação pelo fator 0,1317, de acordo com Foster et al. (1981). Para efeito de comparação, foram necessárias as correções dos índices obtidos pelos métodos I e II, sendo que os demais métodos já estão corrigidos.

Os cálculos dos valores de erodibilidade pelo método direto foram feitos a partir de dados básicos obtidos por Lima (1987 e 1991) em estudos com simulador de chuva. Utilizou-se um simulador de chuva rotativo, do tipo idealizado por Swanson (1965). Sobre cada um dos solos foram montadas duas parcelas paralelas entre si com dimensões de 2,0 x 10,0 m; na parte inferior instalaram-se coletores de água e solo. Sobre o par de parcelas recentemente trabalhadas (uma aração + duas gradagens leves), no sentido do declive, foram aplicadas três chuvas (intensidade média de 63,5 mm/h).

A perda de solo foi calculada utilizando-se método desenvolvido por Nowlin e adaptado por Silveira & Malves, citados por Lima (1987). Utilizou-se a equação universal de perdas de solo ( $A = RKLSCP$ ) segundo Wischmeier & Smith (1978), para cálculo da erodibili-

dade, sendo expressa na seguinte forma: A é perda de solo por unidade de área, expressa em t/ha; R é o fator erosividade da chuva, expresso em MJ.mm/ha.h; K é o fator erodibilidade do solo, para um solo específico, quando mantido permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido do declive, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm; LS é o fator comprimento de declive e o grau do declive; C e P são os fatores uso do solo e manejo da cultura, e prática de controle da erosão, respectivamente.

Na equação, por considerar o solo permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido do declive, os fatores C e P tornam-se unitários, e a equação se reduz a  $A = RKLS$ , logo  $K = A/RLS$ .

O fator erosividade foi calculado segundo método proposto por Wischmeier & Smith (1958) e convertido para o sistema internacional segundo método de Foster et al. (1981). O fator LS foi calculado segundo método desenvolvido por Wischmeier & Smith (1965) e transformado para o sistema internacional conforme Bertoni et al. (1975).

As perdas de solo foram estimadas com base na equação universal de perdas de solo, mantendo-se os fatores C e P iguais a 1, simulando solo descoberto e sem prática de conservação do solo, considerando-se o mesmo comprimento de rampa (22 m) para os dois solos estudados; o declive da área de ocorrência para o LE foi de 6% e para o LV foi de 7%. Utilizaram-se as erosividades médias estacionais, que, segundo Val et al. (1986), são as seguintes: 3973, 1137, 236 e 1491 MJ.mm/ha.h. estação, correspondendo ao verão, outono, inverno e primavera, respectivamente, e à erodibilidade obtida de maneira direta.

As tolerâncias de perdas de solo por erosão admissíveis para os solos estudados foram estimadas segundo método proposto por Lombardi Neto & Bertoni (1975b), modificado por Galindo & Margolis (1989), baseado na profundidade efetiva do solo, na relação textural entre os horizontes subsuperficial e superficial, no teor de matéria orgânica e na permeabilidade.

O valor de erodibilidade (Fator K), obtido com chuva simulada (direto), foi comparado estatisticamente com os seis métodos indiretos testados. A análise estatística foi feita visando testar a exatidão dos métodos, através do teste t de Student para média, e a precisão dos mesmos através de um teste de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett), segundo Sokal & Rohlf (1969).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores de gibbsita (Tabela 1) e de

óxidos de ferro do ataque sulfúrico e DCB (Tabela 2), conforme Resende (1982 e 1985), e Lima et al. (1990), são os principais responsáveis pela estrutura granular (Tabela 3), induzindo maior permeabilidade (Tabela 3) no Latossolo Vermelho-Escuro.

**TABELA 1. Rocha de origem, teores de caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) na fração argila desferrificada e taxa de minerais leves/pesados na fração areia.**

Solo	Rocha de origem	F. argila		Ct	F. areia	
		Ct	Gb	Gb	leves/pesados	
----- % -----						
LE	Gnaiss granítico mesocrático	27	73	0,37	22	
LV	Gnaiss granítico leucocrático	30	37	0,81	318	

**TABELA 2. Teores de óxidos do ataque sulfúrico, de ferro extraído pelo ditonito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e matéria orgânica (MO).**

Solo	Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		DCB	MO
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
----- % -----				
LE	12,5	27,0	6,5	3,3
LV	5,1	28,1	4,0	4,8

**TABELA 3. Estrutura, equivalente de umidade (EU), permeabilidade e classes para os modelos de predição da erodibilidade.**

Solo	Estrutura <sup>1</sup>	EU	Permeabilidade	Classes <sup>2</sup>	
				Estrut.	Permeab.
----- % -----					
LE	f, mpp, gr e alguns bsa	23,2	248	1	1
LV	m, me, bsa e alguns grânulos	27,7	71	3	3

<sup>1</sup> f: fraça; mpp: muito pequena e pequena; gr: granular; bsa: blocos sub-angulares; m: moderada; me: média.

<sup>2</sup> Codificadas segundo nomograma de Wischmeier et al. (1971).

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta menores teores de óxidos de ferro (Tabela 2) e maior relação caulinita/gibbsita (Tabela 1), favorecendo uma estrutura com tendência para blocos subangulares (Tabela 3), conforme Ferreira (1988). Essa tendência é devida, possivelmente, a um melhor ajuste face-a-face das placas de caulinita (Resende, 1985). Estes aspectos em conjunto ocasionam menor permeabilidade (Tabela 3) e maior coerência entre os agregados e/ou partículas, acarretando maior deflúvio superficial, conforme constatou Lima (1987).

A caracterização quantitativa da fração areia, realizada em função da relação entre minerais leves e pesados (Tabela 1), confirmou a presença de minerais mais pesados no Latossolo Vermelho-Escuro, pressupondo menor arraste deste pela água da chuva em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo.

As maiores diferenças químicas entre os dois solos são os teores de  $Fe_2O_3$ , determinados pelo

ataque sulfúrico e DCB (Tabela 2). O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou valores bem superiores ao do Latossolo Vermelho-Amarelo. Essa diferença é um reflexo do teor deste elemento na rocha de origem, gnaiss granítico mesocrático e gnaiss granítico leucocrático, respectivamente, confirmando dados de Lima (1987) e de Marques Junior et al. (1992).

A dispersão com NaOH foi semelhante para as frações silte, argila e areia total (Tabela 4), e ambos os latossolos apresentaram textura muito argilosa. Os resultados de dispersão pela água (Tabela 4) mostrou que o material da fração argila permanece, em grande parte, nas frações silte e areia muito fina, o que pode ser melhor visualizado na Tabela 5, através do parâmetro Novo Silte. Este parâmetro dobrou quando se utilizou dispersão com água, o que evidencia o comportamento funcional da argila como tais frações (Resende, 1985; Lima et al., 1990; Ferreira, 1992).

Os parâmetros Novo Silte e Nova Areia são

**TABELA 4. Valores da distribuição percentual por tamanho de partículas e/ou agregados dispersos com NaOH e água.**

Solo	Dispersante	Argila <0,002 mm	Silte 0,002-0,05 mm	AMF 0,05-0,1 mm	AF 0,1-0,25 mm	AM 0,25-0,5 mm	AG 0,5-0,1 mm	AMG 1,0-2,0 mm	Areia total 0,05-2,0 mm
-----%-----									
LE	NaOH	72,0	10,0	10,0	0,0	4,0	3,0	1,0	18,0
	Água	25,0	21,0	23,0	6,0	13,0	10,0	2,0	54,0
LV	NaOH	72,0	11,0	4,0	6,0	3,0	3,0	1,0	17,0
	Água	19,0	26,0	8,0	18,0	17,0	10,0	2,0	55,0

AMF: areia muito fina; AF: areia fina; AM: areia média; AG: areia grossa; AMG: areia muito grossa.

**TABELA 5. Parâmetros granulométricos e relações para determinação da erodibilidade pelos métodos indiretos.<sup>1</sup>**

Solo	Novo Silte (0,002-0,1 mm)	Nova Areia (0,10-2,0 mm)	Σ PART. (0,5-2,0 mm)	Parâmetro M	DMP (<2,0 mm)	MO
						Nova Areia
-----%-----						
LE	20(44)	8(31)	4	554(3307)	0,084	0,41
LV	15(35)	13(47)	3	387(2810)	0,082	0,38

<sup>1</sup> Os valores entre parênteses correspondem aos resultados obtidos na dispersão com água.

utilizados para calcular o parâmetro M, que expressa a ação das frações granulométricas no processo erosivo. Esta variável é integrante de três modelos (III, IV e VI) utilizados para a predição da erodibilidade. Denardin (1990) correlaciona o parâmetro M com o fator erodibilidade determinado no campo, sendo que para valores de M inferiores a 3.000 não há boa correlação entre estas variáveis.

Os parâmetros utilizados para a determinação da erodibilidade pelos métodos indiretos são apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Analisando os índices de erodibilidade obtidos pelos vários métodos (Tabela 6), observa-se que o menor valor de erodibilidade obtido foi para o método III, notadamente para o Latossolo Vermelho-Escuro, cujo valor foi negativo; comportamento semelhante foi observado por Oliveira & Bahia (1984). Os baixos valores observados por este método foram creditados por Freire & Pessotti (1976), Henklain & Freire (1983) e Angulo (1983), às diferenças granulométricas existentes entre estes solos e os utilizados para a geração do modelo. Os baixos teores de silte mais areia fina e areia total (dispersão com NaOH 0,1N) no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo resultam em valores do parâmetro M bem inferiores aos valores utilizados para a geração do modelo (> 3000), como pode ser observado na Tabela 5.

Por outro lado, o maior valor de erodibilidade obtido foi para o método II, tanto para o Latossolo Vermelho-Escuro como para o Latossolo Vermelho-Amarelo, seguido dos métodos I para o Latossolo Vermelho-Escuro e do método V para o Latossolo Vermelho-Amarelo. A determinação da erodibilidade pelos métodos II e IV apresentou um aumento substancial em relação aos métodos originais, ou seja I e III; uma explicação para este

comportamento é que aqueles métodos consideram a dispersão do solo em água, ocasionando um aumento dos teores de silte mais areia muito fina (0,1-0,002 mm), conforme Tabela 4 (Lima et al., 1990; Ferreira, 1992). Os microagregados de argila têm o comportamento funcional semelhante ao do silte mais areia muito fina, fazendo com que o valor M seja próximo de 3000, o que confirma observações de Lima (1987).

Com relação aos métodos V e VI, desenvolvidos por Denardin (1990), nos quais foram utilizados solos do Brasil e solos do Brasil e EUA, respectivamente, considerando solos cujo parâmetro M é inferior a 3.000, o modelo mais apropriado para predição da erodibilidade seria o expresso pelo método V, em que tal parâmetro não é relevante. Como nos solos utilizados no presente estudo o parâmetro M (dispersão com NaOH) é bem inferior a 3000 (Tabela 5), seria esperado um valor mais coerente do fator erodibilidade estimado por este método. O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou os menores valores de erodibilidade para o método direto e os métodos indiretos (Tabela 6), exceto para o método I, apesar de os valores estarem bem próximos; uma possível explicação para esse fato poderia ser o pequeno número de parâmetros envolvidos nesse método em relação aos demais. Os maiores valores constatados para o Latossolo Vermelho-Amarelo caracterizam um solo com menor resistência à erosão.

Freire & Pessotti (1974) propuseram cinco classes de erodibilidade; comparando os valores médios dos índices indiretos (Tabela 6) com as classes propostas, o Latossolo Vermelho-Escuro se enquadra na classe muito baixa (< 0,013), e o Latossolo Vermelho-Amarelo, na classe baixa (0,013-0,033).

Considerando o método direto para predição da erodibilidade como padrão, observou-se, pelo teste t de Student, com 5% de significância, que nenhum dos métodos indiretos propostos apresentou o valor do método tido como padrão dentro de seus intervalos de confiança (Fig. 1 e 2), confirmando a inexactidão estatística dos métodos indiretos para estimar um valor absoluto para o fator erodibilidade.

Entretanto, apesar dessa inexactidão, o método VI (0,008 e 0,015 para LE e LV, respectivamente)

**TABELA 6. Índices de erodibilidade obtidos por diferentes métodos.**

Solo	Métodos indiretos						Método direto
	I	II	III	IV	V	VI	
	t . ha . h/ha . MJ . mm						
LE	0,015	0,024	-0,008	0,014	0,001	0,008	0,004
LV	0,013	0,028	0,006	0,021	0,025	0,015	0,010

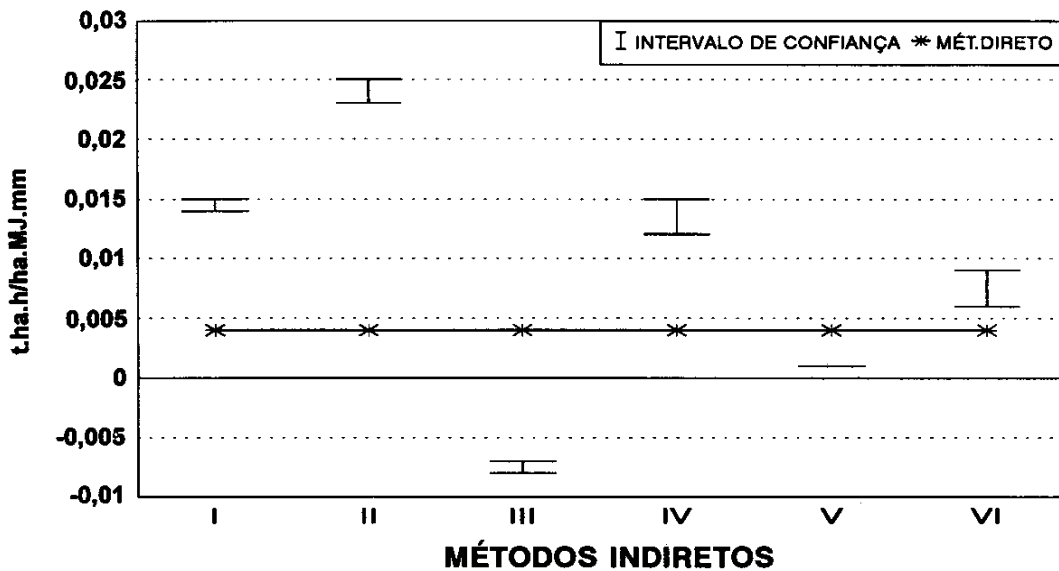


FIG. 1. Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

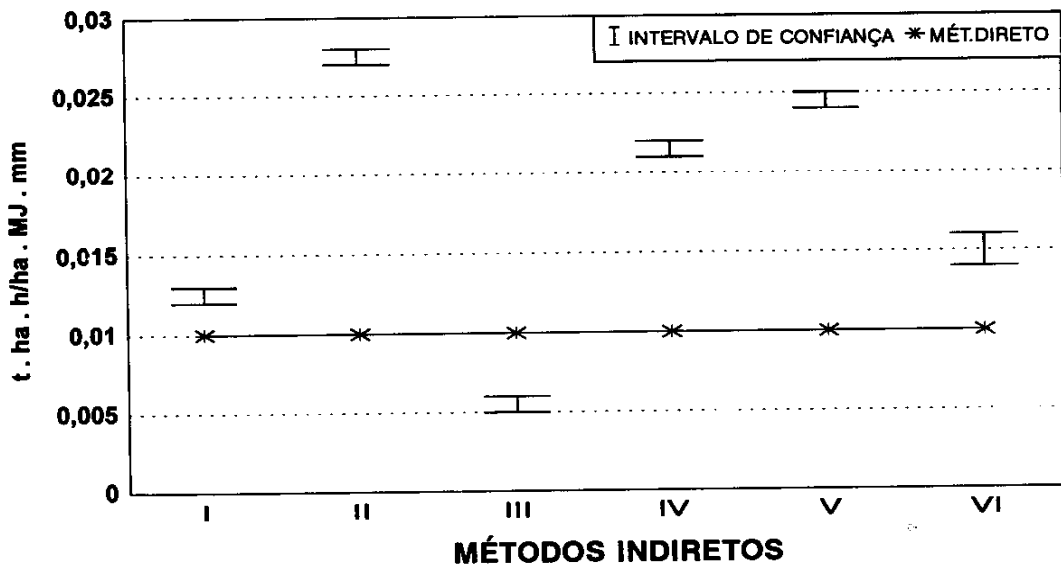


FIG. 2. Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

é o que mais se aproxima do padrão (0,004 e 0,010 para LE e LV, respectivamente) em termos da proporção de erodibilidade no tocante aos latossolos estudados.

Todos os métodos indiretos utilizados se mostraram igualmente precisos para avaliação da erodibilidade dos dois solos pelo teste de Bartlett, sendo as variâncias consideradas iguais ao nível de 1% (Silva, 1994).

Na Fig. 3 podem ser observadas as perdas médias de solo relativas às várias estações do ano, considerando o solo descoberto e preparado no sentido do declive. As perdas de solo variaram de 9,8 a 0,58 t/ha. estação e 29,4 a 1,7 t/ha. estação para Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente. As menores perdas de solo ocorreram no inverno, e as maiores, no verão. O preparo de solo e plantio na região se concentram na primavera e verão. Nestes períodos, os riscos de erosão são críticos, porque o solo geralmente se encontra completamente descoberto e revolvido. Segundo Cogo (1988), a perda média anual de solo das terras cultivadas nas condições brasileiras pode ser referida como sendo em torno de 25,0 a 30,0 t/ha.ano ou, aproximadamente, 1,8 a 2,3 mm de solo superficial por ano.

Visando à obtenção de um referencial, foi estimada a tolerância de perdas por erosão admissíveis nos solos estudados. No Latossolo Vermelho-Escuro, as perdas de solo não atingiram o limite máximo tolerável (19,2 t/ha.ano). O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou perdas (29,4 t/ha/ estação) bem acima do limite máximo tolerável (14,2 t/ha.ano) no período do verão, o que indica a necessidade de práticas adequadas de conservação do solo para redução destas perdas.

## CONCLUSÕES

1. Os métodos indiretos testados não são estatisticamente exatos em relação ao método direto para estimar um valor absoluto relativamente ao fator erodibilidade.
2. Apesar dessa inexatidão, o método VI, baseado em solos do Brasil e EUA, é o que mais se aproxima da proporção de erodibilidade, quando comparado ao método direto em relação aos latossolos estudados.
3. Os índices de erodibilidade obtidos enquadram o Latossolo Vermelho-Escuro na classe muito baixa (<0,013), e o Latossolo Vermelho-Amarelo, na classe baixa (0,033-0,013).

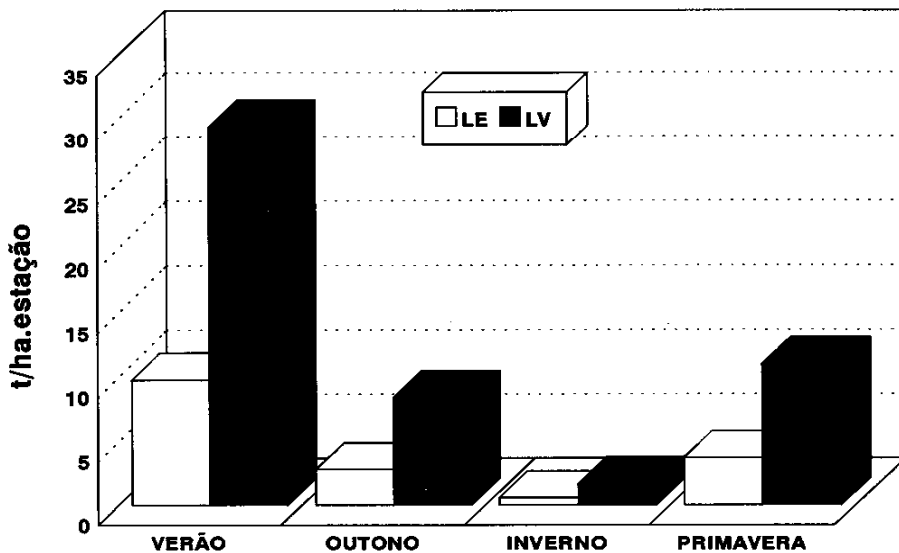


FIG. 3. Estimativa de perdas de solo nas várias estações.



4. O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou perdas bem acima do limite máximo tolerável, no período de verão, o que indica a necessidade de práticas de conservação para a redução destas perdas.

## REFERÊNCIAS

- ANGULO, J.R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. Curitiba: UFPR, 1983. 154p. Dissertação de Mestrado.
- ANGULO, J.R.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. de P. Aplicabilidade do nomograma de Wischmeier et al. (1971) para a determinação da erodibilidade de solos brasileiros. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, v.7, p.145-153, 1985.
- BENNETT, H. H. Some comparisons of the properties of humid tropical and humid temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. *Soil Science*, v.21, p.349-375, 1926.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: Instituto Agrônomico, 1975. 25p. (Boletim Técnico, 21).
- BOUYOUCOS, G.J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Journal of American Society of Agronomy*, v.27 p.738-741, 1935.
- COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; FREITAS, S.S. **A responsabilidade social da Ciência do Solo**. Campinas: SBCS, 1988. p.251-262.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DENARDIN, J.R. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 106p. Tese de Doutorado.
- EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, 1976, West Lafayette, Indiana. **Proceedings...** Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1977. p.105-114. (SCSA Special publication, 21).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia**. Lavras: ESAL, 1992. 82p. Dissertação de Mestrado.
- FERREIRA, M.M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros**. Viçosa: UFV, 1988. 79p. Tese de Doutorado.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.36, n.6, p.355-359, Nov./Dec. 1981.
- FREIRE, O.; PESSOTTI, J.E.S. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. *Anais da ESALQ*, v.31, p.333-350, 1974.
- FREIRE, O.; PESSOTTI, J.E.S. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. *Revista da Agricultura*, v.51, p.195-202, 1976.
- GALINDO, I.C. de L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, n.1, p.95-100, jan./abr. 1989.
- GERDEL, R.W. Reciprocal relationships of texture, structure, and erosion on some residual soils. *Soil Science Society of America, Proceedings*, v.2, p.537-545, 1937.
- HENKLAIN, J.C.; FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, n.2, p.191-195, maio/ago. 1983.
- KRUMBEIN, W.C.; PETTIJOHN, F.J. **Manual of sedimentary petrography**. New York: Appleton Century-Crofts, 1938. 549p.
- LIMA, J.M. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)**. Lavras: ESAL, 1987. 86p. Dissertação de Mestrado.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.
- LIMA, P.M. de P. **Perdas de solo e água em dois Latos solos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada**. Lavras: ESAL, 1987. 88p. Dissertação de Mestrado.
- LIMA, P.M. de P. Índices de erodibilidade diretos e indiretos para dois latossolos do município de Lavras-Minas Gerais. **Ciência e Prática**, v.15, n.2, p.186-193, abr./jun. 1991.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975a. 12p. (Boletim Técnico, 27).
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975b. 12p. (Boletim Técnico, 28).
- MARQUES JÚNIOR, J.; CURTI, N.; LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.235-240, 1992.
- MARTINS FILHO, E.C.; SILVA, J.R.C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.175-177, 1985.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clays Minerals**, v.7, p.317-327, 1960.
- MEYER, L.D.; McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineering**, v.39, p.644-648, 1958.
- MIDDLETON, H.E. **Properties of soils which influence soil erosion**. Washington: USDA, 1930. 16p. (Technical Bulletin, 178).
- MUTCHLER, C.K.; MURPHREE, C.E.; MCGREGOR, K.C. Laboratory and field plots for soil erosion studies In: LAL, R.(Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p.9-36.
- OLIVEIRA, V.H.; BAHIA, V.G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras-MG, usando o nomograma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1157-1162, set. 1984.
- POMBO, L.C.A.; GIANLUPPI, D.; KLAMT, E. Determinação do fator K de solos do Rio Grande do Sul através de características físicas, químicas e mineralógicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3, 1980, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981, p.220-235.
- RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa: UFV, 1982. 100p.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, v.11, n.128, p.27-37, ago. 1985.
- SILVA, M.L.N. **Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos sob cerrado**. Lavras: ESAL, 1994. 108p. Dissertação de Mestrado.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, 1951. 503p. (Agricultural Handbook, 18).
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry-the principles and practice of statistics in biological research**. San Francisco, EUA: W.H. Freeman and G., 1969. p.370-371.
- SWANSON, N.P. Rotating - boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, v.8, n.1, p.71-72, 1965.
- TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.R.C.; MOREIRA, E.G.S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.59-62, 1985.
- VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C.; DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras - MG. **Ciência e Prática**, v.10, n.2, p.199-209, maio/ago. 1986.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n.5, p.189-193, Sept./Oct. 1971.
- WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v.33, n.1, p.131-137, Jan./Feb. 1969.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transations of the American Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains- A guide for selection of prac-**

**tices for soil and water conservation.** Washington, USDA, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).