

# RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA CHUVA E PERDAS DE SOLO E DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO EM GOIÂNIA (GO)<sup>(1)</sup>

M. L. N. SILVA<sup>(2)</sup>, P. L. FREITAS<sup>(2)</sup>, P. BLANCANEUX<sup>(3)</sup>,  
N. CURI<sup>(4)</sup> & J. M. LIMA<sup>(4)</sup>

## RESUMO

A erodibilidade do solo, que representa sua suscetibilidade à erosão, é expressa pelo fator K da equação universal de perda de solo. No Brasil, ainda são relativamente poucos os trabalhos envolvendo estudos de erodibilidade do solo, dada a morosidade na obtenção de resultados em experimentos com chuva natural. O conhecimento da erodibilidade é importante para o planejamento conservacionista, contribuindo para a sustentabilidade dos solos. O presente estudo foi desenvolvido em 1989-93, na Estação Experimental da EMGOPA/EMBRAPA - CNPS, em Senador Canedo, no município de Goiânia (GO), com os objetivos de buscar correlações entre diferentes parâmetros da chuva e as perdas de solo, e determinar a erodibilidade de um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, fase cerrado, da região de Goiânia (GO), sob chuva natural. Embora não tenha sido encontrada diferença significativa entre os coeficientes de correlação para os diferentes parâmetros de chuva, o  $EI_{60ws}$  foi aquele que apresentou correlação mais elevada com as perdas de solo. A erodibilidade (fator K) estimada foi de  $0,009 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Valores de erosividade (expressos pelo parâmetro  $EI_{30}$ ) acima de  $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  foram suficientes para causar perdas de solo acima da tolerância para o solo estudado ( $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ), indicando a necessidade de práticas conservacionistas para a manutenção da sua sustentabilidade.

Termos de indexação: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, cerrado, erosão.

**SUMMARY: RELATIONSHIP BETWEEN RAINFALL PARAMETERS AND SOIL LOSSES AND DETERMINATION OF THE ERODIBILITY FACTOR FOR A DARK RED LATOSOL (ANIONIC ACUSTOX) FROM GOIÂNIA, GOIÁS STATE, BRAZIL**

*Soil erodibility - its susceptibility to erosion - is usually expressed by the K factor of the universal soil loss equation. There have been relatively few papers in Brazil involving soil erodibility studies, due to the tardiness in obtaining results from natural rainfall experiments. The knowledge of erodibility is important for conservation planning, which contributes to soil sustainability. The present study was developed in the 1989 to 1993 period at the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos*

(1) Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, 4 a 8 de agosto de 1996. Realizado com recursos do PROMOAGRO/BID-EMBRAPA/CNPS. Recebido em março e aprovado em dezembro de 1996.

(2) Pesquisador, EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ).

(3) Pesquisador, ORSTOM/EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro (RJ).

(4) Professor, Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).



(EMGOPA/EMBRAPA-CNPS) Experimental Station, in Senador Canedo, Goiânia county, State of Goiás, Brazil. The objectives were to identify correlations between different rainfall parameters and soil losses, and to determine the erodibility for a clayey, cerrado phase, Dark Red Latosol (Anionic Acrustox), from the Goiânia region, under natural rainfall. No significant difference was found between the correlation coefficients for the different rainfall parameters. The estimated erodibility (K factor) was  $0.009 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . It was observed that the erosivity (expressed by the  $EI_{30}$  parameter) values above  $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ month}^{-1}$  were enough to cause soil losses beyond the tolerance for the studied soil ( $1.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ), indicating the need for conservation practices to maintain sustainability.

*Index terms: rainfall erosivity, soil erodibility, cerrado vegetation, erosion.*

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é, fundamentalmente, a ação erosiva da chuva sobre o solo. A desagregação das partículas de solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos e o solo, o agente passivo no processo de erosão hídrica (Hudson, 1981). Sua erodibilidade representa sua suscetibilidade à erosão, expressa em termos de quantidade de perdas de solo por unidade de erosividade da chuva. A erodibilidade do solo é representada pelo fator K da equação universal de perda de solo e consiste nos parâmetros do solo responsáveis pela resistência à erosão. Já a erosividade, representada normalmente pelo parâmetro  $EI_{30}$ , consiste no produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em trinta minutos (Wischmeier & Smith, 1978).

A erosão hídrica pode ser estudada a partir da correlação entre as características da chuva e suas respectivas perdas de solo (Wischmeier, 1959; Wischmeier & Smith, 1978; Hudson, 1981). A correlação obtida é expressa pelo modelo linear ( $y = a + b x$ ), onde y representa as perdas de solo e x, a erosividade da chuva, sendo o fator K representado pelo coeficiente de regressão b, quando os dados são obtidos sob condições da parcela padrão, conforme propuseram Wischmeier & Smith (1958).

Resultados de perdas de solo obtidos nos EUA, a partir de parcelas experimentais, apresentaram um coeficiente de correlação com o parâmetro  $EI_{30}$  entre 0,84 e 0,98 (Wischmeier, 1959). Em regiões tropicais e subtropicais, cujas chuvas apresentam alto poder erosivo, outros parâmetros têm demonstrado melhores correlações com as perdas de solo (Lal et al., 1980). Hudson (1981), na África do Sul, propôs o parâmetro  $KE > 25$ , que representa a energia cinética total da chuva com intensidade superior a  $25 \text{ mm h}^{-1}$ . O autor encontrou coeficientes de correlação desse fator com perdas de solo variando de 0,92 a 0,96.

No Brasil, os coeficientes de correlação entre os parâmetros da chuva e as perdas de solo têm apresentado valores mais baixos, entre 0,57 e 0,77. Contudo, para os diferentes parâmetros da chuva testados, o  $EI_{30}$  sempre se tem apresentado como bom preditor da capacidade potencial das chuvas de causar erosão (Lombardi Neto, 1977; Biscaia et al., 1981; Morais et al., 1988).

Denardin (1990), na tentativa de desenvolver um modelo para determinação indireta da erodibilidade

dos solos brasileiros, analisou dados experimentais de 31 solos submetidos à chuva natural e simulada. Desses, nove eram latossolos com valores de erodibilidade entre 0,002 e  $0,034 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Foster et al. (1981) classificam os dados observados para o fator K em  $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  em 0,010; 0,030 e 0,060, respectivamente, como: baixo, moderado e alto.

Denardin & Wunsche (1981), determinando a erodibilidade para latossolo vermelho-escuro textura argilosa de Passo Fundo (RS), sob chuva natural, encontraram  $0,021 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Em Planaltina (DF), Dedecek et al. (1986) obtiveram  $0,013 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para latossolo vermelho-escuro textura argilosa, sob chuva natural, enquanto, em Jaboticabal (SP), a erodibilidade sob chuva simulada de latossolo vermelho-escuro com textura semelhante foi de  $0,009 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Martins Filho & Pereira, 1993). No Paraná, Jacobs et al. (1994) determinaram a erodibilidade de dois solos, utilizando para cálculo da erosividade as equações de energia cinética propostas por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988). Pelos resultados, os autores observaram que não houve uma diferença significativa entre as erodibilidades obtidas,  $0,0084$  e  $0,0086 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para latossolo vermelho-escuro textura média de Paranaíba (PR), e  $0,00858$  e  $0,0086 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para latossolo vermelho-escuro textura muito argilosa de Ponta Grossa (PR) respectivamente, para a equação de Wagner & Massambani (1988) e Wischmeier & Smith (1958), ambos sob chuva natural. A erodibilidade determinada sob chuva simulada de latossolo vermelho-escuro textura muito argilosa, em Lavras (MG), foi  $0,004 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Lima, 1987, 1991, modificado por Silva et al., 1994). Segundo Silva et al. (1994), o baixo valor de erodibilidade encontrado para tal latossolo está relacionado com o seu alto grau de intemperismo, que possibilita uma mineralogia predominantemente gibbsítica, conferindo estrutura mais granular, induzindo maior permeabilidade e, conseqüentemente, reduzindo, por esse aspecto, o deflúvio superficial.

A resistência dos solos à erosão hídrica apresenta grande amplitude, devido à variabilidade climática que influi na erosividade das chuvas, e à variedade de solos com características diferenciadas que, conseqüentemente, refletem na erodibilidade, tornando arriscado estimar um valor com base unicamente, na classificação do solo (El-Swaify & Dangler, 1982). No Brasil, considerando sua grande extensão territorial, ainda são poucos os resultados sobre erodibilidade de solos e erosividade de chuva, bem como da correlação

entre ambos. A obtenção de dados de perdas de solo em experimentos com chuva natural é uma pesquisa cara e morosa, razão do pequeno número de trabalhos que vêm sendo realizados no País. O conhecimento do fator erodibilidade de solos é ferramenta importante para o planejamento conservacionista, contribuindo para o uso sustentável dos solos.

Objetivou-se, com este trabalho, estudar as correlações entre 28 parâmetros de erosividade e as perdas de solo, bem como estimar a erodibilidade (fator K) para latossolo vermelho-escuro textura argilosa fase cerrado, da região de Goiânia (GO).

**MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado com dados pluviográficos e de perdas de solo, ocorridos no período 1989-93, na Estação Experimental Filostro M. Carneiro, da EMGOPA, e desenvolvido pela EMBRAPA/CNPS/CRSO, em Senador Canedo, no município de Goiânia (GO). A unidade de pesquisa está situada a 16°41' latitude sul e 49°23' longitude oeste. A altitude média é de 750 metros em relação ao nível do mar, com temperatura média máxima anual de 23°C e mínima anual de 16°C; a precipitação média anual é de 1.522 mm e a umidade relativa média anual, de 55%. Segundo Köppen, o clima da região é do tipo Aw, tropical estacional de savana. O solo onde se localizam as parcelas providas de tanques coletores de solo e água, é um latossolo vermelho-escuro distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado.

Para caracterização do solo no laboratório, realizaram-se análises de óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) do ataque sulfúrico, carbono (C) orgânico e pH, segundo Vettori (1969) e Embrapa (1979). Determinaram-se também os óxidos de ferro livres totais após extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), conforme Mehra & Jackson (1960). O ponto de efeito salino nulo (PESN) foi determinado de acordo com Raij & Peech (1972). Os teores de gibbsita (Gb) e caulinita (Ct) foram obtidos na fração argila desferriificada mediante análise térmica diferencial. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se NaOH 0,1N como dispersante químico, e agitação rápida (12.000 rpm) durante dez minutos. A densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) foram determinadas segundo Blake & Hartge (1986a, b). O volume total de poros (VTP) foi determinado segundo Danielson & Sutherland (1986) e a permeabilidade (PER) foi avaliada no campo conforme Blancaneaux et al. (1995). Os resultados referentes às caracterizações mineralógicas, químicas e físicas, encontram-se no quadro 1.

Para o cálculo da erosividade, utilizaram-se os dados de 415 chuvas individuais registradas em pluviogramas diários, sendo 213 consideradas erosivas e 202, não erosivas. A amplitude de registro foi de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,1 mm, o tempo de registro, de 24 horas, com unidade de dez

minutos. Após terem sido cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme de chuva, determinou-se, com auxílio de computador, a energia cinética total das chuvas para cada segmento. As menores que 10 mm, ou com intensidade máxima em quinze minutos abaixo de 24 mm h<sup>-1</sup> ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram tidas como não erosivas (Maria, 1994). Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas com precipitação menor que 1 mm.

**Quadro 1. Características mineralógicas, químicas e físicas da camada superficial (0-20 cm) de um latossolo vermelho-escuro textura argilosa de Goiânia (GO)**

Características mineralógicas e químicas										
Ct	Gb	Ataque sulfúrico			DCB Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MO	pH	PESN		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					g kg <sup>-1</sup>	
10	240	95	241	108	59	28	4,7	4,0		
Características físicas										
A	Textura				Ds	Dp	VTP	PER		
	S	AF	AG						g kg <sup>-1</sup>	
540	100	310	50		0,99	2,60	0,619	107,6		

Ct: caulinita; Gb: gibbsita; DCB: óxidos extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato; PESN: ponto de efeito salino nulo; A: argila; S: silte; AF: areia fina; AG: areia grossa; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; VTP: volume total de poros; PER: permeabilidade.

Utilizou-se programa desenvolvido por Cataneo et al. (1982), que calcula a energia cinética segundo Wischmeier & Smith (1958), com adaptações de Maria (1994), que acrescentou o cálculo da energia cinética desenvolvido por Wagner & Massambani (1988). A equação de energia cinética de Wischmeier & Smith (1958) foi convertida para o Sistema Internacional de Unidades, de acordo com Foster et al. (1981):

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I \quad [1]$$

A equação proposta por Wagner & Massambani (1988) é a seguinte:

$$E = 0,153 + 0,0645 \log I \quad [2]$$

onde: E é a energia da chuva em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; e I, a intensidade da chuva em mm h<sup>-1</sup>.

O programa fornece, para cada chuva, a precipitação total em mm e a energia cinética total em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, determinada pelas equações 1 e 2. Os parâmetros de erosividade KE > 25 e KE > 10, expressos em MJ ha<sup>-1</sup>, são a soma da energia cinética dos segmentos de chuva com intensidade superior a 25 e 10 mm h<sup>-1</sup> respectivamente. O programa forneceu também as intensidades máximas de cinco em cinco minutos, variando de 5 até 60, expressas em mm h<sup>-1</sup>. Com a multiplicação da energia cinética total da chuva (obtida pelas equações 1 e 2) pelas intensidades máximas, determinaram-se os parâmetros de erosividade (EI<sub>n</sub>) de cinco em cinco minutos, variando de 5 até 60 (EI<sub>5</sub>, EI<sub>10</sub>, EI<sub>15</sub>, EI<sub>20</sub>, EI<sub>25</sub>, EI<sub>30</sub>, EI<sub>35</sub>, EI<sub>40</sub>, EI<sub>45</sub>, EI<sub>50</sub>, EI<sub>55</sub>, EI<sub>60</sub>), expressos em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Os parâmetros da chuva calculados mediante a equação de energia cinética de Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988) receberam, respectivamente, os índices "ws" e "wm" para facilitar na apresentação dos resultados.

As perdas de solo foram obtidas em parcelas de campo, estabelecidas segundo especificações de Wischmeier & Smith (1978), mantidas preparadas, mas sem cobertura vegetal. A parcela possui área de 77,35 m<sup>2</sup>, com 22,1 m de comprimento no sentido do declive, por 3,5 m de largura, e declive de 4%. O sistema coletor de solo e enxurrada foi, a jusante da soleira da parcela, constituído por dois tanques interligados com calhas divisoras do tipo Geib, para fração 1/7. Após cada chuva que possibilitou perda de solo e/ou enxurrada, o material de solo foi coletado dos tanques e amostrado. O fator erodibilidade do solo foi corrigido para o declive referente à parcela padrão (9%), conforme preconizado por Wischmeier & Smith (1978) e transformado para o Sistema Internacional de Unidades segundo Bertoni et al. (1975):

$$LS = L^{0,5} 100^{-1} (1,36 + 0,975 S + 0,1385 S^2) \quad [3]$$

onde: LS é o fator topográfico, adimensional, da equação universal de perda de solo, corrigido para as condições da parcela padrão; L, o comprimento do declive, em m; S, a declividade do terreno, em porcentagem.

Em seguida, foram estabelecidas correlações entre os parâmetros de erosividade da chuva (y) e as respectivas perdas de solo (x), por meio de regressões lineares simples ( $y = a + bx$ ), utilizando-se valores mensais para fazer as correlações. O primeiro ano após a instalação do experimento - 1989 - não foi incluído no estudo devido à movimentação do solo no momento de montagem das parcelas e, também, para permitir que houvesse tempo para decomposição dos resíduos vegetais anteriores (McGregor et al., 1969). Assim, são considerados os coeficientes de regressão linear a e b, e de correlação R para os anos seguintes ao primeiro. O coeficiente b, após correções do declive segundo a equação [3], representa a erodibilidade do solo, em t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Para observar a significância estatística dos resultados, aplicou-se o teste t de Student e para verificar a homogeneidade entre os coefi-

cientes da correlação R, um teste estatístico indicado por Graybill (1976).

Determinou-se, também, a tolerância de perdas de solo, com base na profundidade efetiva do solo, na relação textural entre os horizontes, nos teores da matéria orgânica e na permeabilidade, conforme o método proposto por Smith & Stamey (1964), modificado por Galindo & Margolis (1989).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, observa-se que os valores de erosividade anuais apresentaram um coeficiente de variação de 32,0 e 25,7%, respectivamente, para EI<sub>30</sub> e KE > 25. No entanto, as perdas de solo apresentaram um coeficiente de variação de 83,6%, desconsiderando 1989, no qual o coeficiente de variação se reduz a 37,3%. Isso é explicado, provavelmente, pelas grandes perdas de solo ocorridas nesse ano, de implantação do experimento, possibilitando perdas além do esperado, devido à movimentação inerente do solo.

**Quadro 2. Valores anuais dos parâmetros de erosividade (EI<sub>30</sub> e KE > 25) e de perdas de solo do latossolo vermelho-escuro textura argilosa de Goiânia (GO) para o período de 1989-93**

Ano	EI <sub>30ws</sub> MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	KE > 25ws MJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Perdas de solo t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
1989	12315,0	183,8	112,58
1990	5323,0	97,8	25,06
1991	8137,0	139,1	32,88
1992	9431,0	138,8	42,47
1993	6567,0	89,4	16,86
Média	8355,0 (7364,5) <sup>(1)</sup>	129,8 (116,3)	46,0 (29,3)
D.P.	2705,0 (1795,4)	32,5 (26,4)	38,4 (10,9)
C.V. %	32,0 (24,4)	25,7 (22,7)	83,6 (37,3)

ws: erosividade da chuva calculada segundo equação de energia cinética proposta por Wischmeier & Smith (1958); D.P.: Desvio-padrão; C.V.: coeficiente de variação (%).

<sup>(1)</sup> Valores entre parênteses correspondem aos parâmetros estatísticos sem considerar o ano de 1989.

Os coeficientes linear (a), de regressão (b) e de correlação (R) das equações de regressão linear simples entre a erosividade e as perdas de solo referentes ao período 1990-93 encontram-se no quadro 3. Os coeficientes de correlação apresentaram uma variação de 0,555 a 0,719, respectivamente, para os índices EI<sub>20wm</sub> e EI<sub>60ws</sub>, sendo todos significativos ao nível de 1% pelo teste t de Student. Houve uma tendência de os parâmetros de chuva (EI<sub>n</sub>), determinados pela equação de energia cinética proposta por Wischmeier & Smith (1958), apresentarem coeficientes de correlação ligeiramente maiores que os determinados pela

equação de Wagner & Massambani (1988), exceto o EI<sub>30</sub>, que, neste caso, foi maior quando na de Wagner & Massambani (1988). Para os parâmetros de chuva KE > 10 e KE > 25, essa diferença não foi observada. Em termos absolutos, o melhor parâmetro de chuva para estimar as perdas de solo foi o EI<sub>60ws</sub>, pelo seu maior coeficiente de correlação. Esse resultado indica que, possivelmente, as perdas de solo estão mais relacionadas com as chuvas de longa duração, quando o deflúvio é aumentado, em vista da redução da capacidade de infiltração de água no solo.

Através do teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (Graybill,

**Quadro 3. Parâmetros das equações de regressão da forma y = a + bx, entre os índices de erosividades mensais da chuva (x) e perdas de solo (y) e coeficientes de correlação (R), em condições de solo descoberto da região de Goiânia (GO)**

Índices de erosividade	Parâmetros da equação		Coeficiente de correlação
	a	b	
EI <sub>5ws</sub>	1,0619	0,0013	0,665** a <sup>(1)</sup>
EI <sub>10ws</sub>	1,0268	0,0014	0,685** a
EI <sub>15ws</sub>	1,0229	0,0017	0,686** a
EI <sub>20ws</sub>	1,0015	0,0019	0,691** a
EI <sub>25ws</sub>	0,9771	0,0022	0,699** a
EI <sub>30ws</sub>	0,9673	0,0024	0,699** a
EI <sub>35ws</sub>	0,9463	0,0027	0,704** a
EI <sub>40ws</sub>	0,9307	0,0029	0,708** a
EI <sub>45ws</sub>	0,9216	0,0032	0,711** a
EI <sub>50ws</sub>	0,9134	0,0034	0,714** a
EI <sub>55ws</sub>	0,9072	0,0037	0,716** a
EI <sub>60ws</sub>	0,8990	0,0039	0,719** a
EI <sub>5wm</sub>	1,2683	0,0009	0,610** a
EI <sub>10wm</sub>	1,2244	0,0011	0,623** a
EI <sub>15wm</sub>	1,2209	0,0012	0,624** a
EI <sub>20wm</sub>	1,4502	0,0010	0,555** a
EI <sub>25wm</sub>	1,4413	0,0011	0,558** a
EI <sub>30wm</sub>	0,9559	0,0024	0,702** a
EI <sub>35wm</sub>	1,4077	0,0014	0,568** a
EI <sub>40wm</sub>	1,3781	0,0016	0,577** a
EI <sub>45wm</sub>	1,3671	0,0017	0,581** a
EI <sub>50wm</sub>	1,3553	0,0019	0,585** a
EI <sub>55wm</sub>	1,3475	0,0020	0,587** a
EI <sub>60wm</sub>	1,3401	0,0022	0,590** a
KE > 10ws	0,9730	0,1078	0,691** a
KE > 25ws	1,1459	0,1339	0,645** a
KE > 10wm	0,9665	0,1087	0,693** a
KE > 25wm	1,1459	0,1339	0,645** a

ws: erosividade da chuva calculada segundo equação de energia cinética proposta por Wischmeier & Smith (1958); wm: erosividade da chuva calculada segundo equação de energia cinética proposta por Wagner & Massambani (1988).

\*\* Significativo ao nível de 1%.

(1) Coeficientes de correlação, na mesma coluna, seguidos pela mesma letra, não diferem, estatisticamente, ao nível de 5%.

1976) entre a erosividade e as perdas de solo, observou-se não existir diferença estatística significativa (ao nível de 5%) para as combinações possíveis entre os coeficientes de correlação tomados dois a dois. Resultados semelhantes foram constatados por Carvalho et al. (1989), em Mococa (SP), para os parâmetros de chuva EI<sub>n</sub> variando de 5 até 60, KE > 10 e KE > 25. Pode-se constatar também que não houve diferença significativa entre a erosividade determinada pelas duas equações de energia cinética propostas por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988). Em virtude da similaridade entre os resultados fornecidos por ambas, somente serão discutidos os dos parâmetros KE > 10, KE > 25 e EI<sub>n</sub>, obtidos mediante a equação preconizada por Wischmeier & Smith (1958), cujo parâmetro EI<sub>30</sub> é tido como padrão para determinação dos fatores da equação universal de perda de solo (USLE), conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978).

O coeficiente de correlação de 0,699 encontrado para o EI<sub>30</sub> e as perdas de solo foi menor que o obtido por Wischmeier (1959), para as condições dos EUA (0,84 e 0,98). Biscaia et al. (1981) obtiveram, para Londrina (PR) e Ponta Grossa (PR), coeficientes de correlação, respectivamente, de 0,720 e 0,770. Aquele coeficiente foi semelhante ao obtido por Lombardi Neto (1977) para Campinas (SP) (0,672), e superior ao encontrado por Moraes et al. (1988) em Ijuí (RS), (0,576). Para o KE > 25, o coeficiente de correlação foi de 0,645, inferior ao obtido por Hudson (1981), na África do Sul, o qual variou de 0,92 a 0,96. Entretanto, foi superior ao encontrado por Moraes et al. (1988) em Ijuí (0,607). Para o KE > 10, o coeficiente de correlação foi de 0,691, superior ao encontrado por Moraes et al. (1988) em Ijuí (0,559).

O modelo linear (P = 0,0024 EI<sub>30ws</sub> + 0,9673), adotado para determinação da erodibilidade, apresenta como variáveis a erosividade EI<sub>30ws</sub> em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e as perdas de solo (P) em t ha<sup>-1</sup>, cujos coeficientes de correlação se encontram no quadro 3. Esse modelo foi corrigido para que as coordenadas iniciais partissem da origem; assim o modelo é apresentado da forma P = 0,0033 EI<sub>30</sub> (R = 0,608\*\*). O coeficiente linear b, após corrigido pelo fator LS (0,3514), permitiu obter a erodibilidade do solo, que foi estimada em 0,009t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, valor esse classificado como baixo (Foster et al., 1981). A erodibilidade está dentro da faixa dos valores determinados para latossolos brasileiros (Denardin, 1990), embora o valor tenha sido inferior àquele encontrado por Denardin & Wunsche (1981) para latossolo vermelho-escuro textura argilosa de Passo Fundo (RS) (0,021 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), e ao encontrado por Dedecek et al. (1986) para latossolo vermelho-escuro textura argilosa de Planaltina (DF) (0,013 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Tal índice apresenta o mesmo valor encontrado para latossolo vermelho-escuro textura argilosa por Martins Filho & Pereira (1993) em Jaboticabal (SP), e é superior ao observado para um latossolo vermelho-escuro textura argilosa, em Lavras (MG), cuja erodibilidade foi de 0,004 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Lima, 1987, 1991, modificado por Silva et al., 1994).

No quadro 3, observa-se que os valores de erodibilidade (coeficiente de regressão  $b$ ) obtidos com base nas equações de energia cinética preconizadas por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988) foram semelhantes. O valor encontrado corrobora com os resultados obtidos por Jacobs et al. (1994), os quais determinaram a erodibilidade de dois solos utilizando para cálculo as mesmas equações de energia cinética do presente trabalho. Os resultados por eles obtidos evidenciaram que não houve diferença significativa entre a erodibilidade calculada com base nas equações de Wagner & Massambani (1988) e Wischmeier & Smith (1958), respectivamente, 0,0084 e 0,0086 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para latossolo vermelho-escuro textura média de Paranaíba (PR) e 0,00858 e 0,0086 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para latossolo vermelho-escuro textura muito argilosa de Ponta Grossa (PR).

No quadro 1, observa-se que o solo estudado apresenta mineralogia predominantemente gibbsítica e proximidade do pH natural com o PESN. Esses fatores, em conjunto, são responsáveis pela estrutura granular deste solo, induzindo maior permeabilidade e, conseqüentemente, reduzindo o deflúvio superficial, contribuindo para um baixo valor de erodibilidade (Silva et al., 1994).

A figura 1 apresenta o gráfico da regressão linear entre a erosividade EI<sub>30</sub> e as perdas de solo. Observa-se que é necessário um valor de erosividade (EI<sub>30</sub>) relativamente baixo (500 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) para que as perdas de solo superem a tolerância para o solo estudado (1,5 t ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>), sob condições de solo descoberto. Para valores de EI<sub>30</sub> mensais superiores ao limite citado, torna-se necessária a adoção de práticas conservacionistas para manutenção da sustentabilidade desse solo.

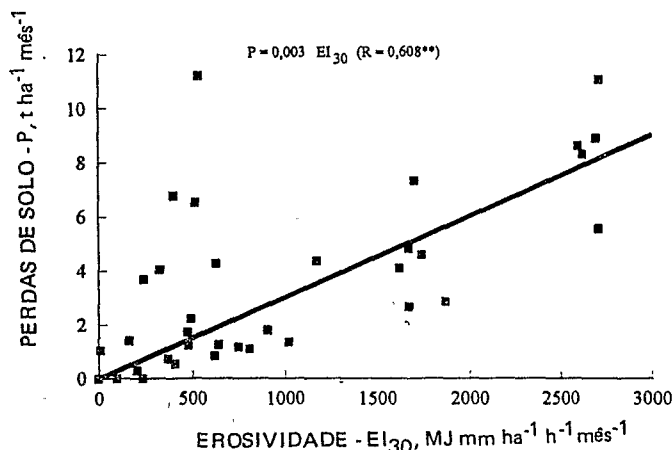


Figura 1. Regressão linear entre erosividade (EI<sub>30</sub>) e perdas de solo de chuvas mensais erosivas em latossolo vermelho-escuro textura argilosa para o período 1990-93.

## CONCLUSÕES

1. A maior correlação encontrada entre os parâmetros de chuva e as perdas de solo foi para o parâmetro EI<sub>60ws</sub>; entretanto, não foi verificada diferença

significativa entre os coeficientes de correlação para os demais parâmetros estudados. Assim o EI<sub>30</sub>, mais amplamente utilizado, pode ser adotado para estimar a erosividade da chuva para a região de Goiânia (GO).

2. A erodibilidade (fator K) estimada para o latossolo vermelho-escuro textura argilosa estudado foi de 0,009 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Seu baixo valor está associado às boas condições físicas, notadamente a permeabilidade.

## AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores e técnicos da extinta CRCO-CNPS-EMBRAPA, que participaram na condução do experimento, e à EMGOPA, pela cessão da área experimental.

## LITERATURA CITADA

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1975. 25p. (Boletim técnico, 21)
- BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L. & HENKLAIN, J.C. Cálculo da erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 5(3):183-186, 1981.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.
- BLANCANEUX, P.; FREITAS, P.L. & ROOSE, E. Avaliação da capacidade de infiltração sob diferentes condições de manejo do solo na região dos cerrados do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos Expandidos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1830-1832.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de solo de um podzólico vermelho-amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13(2):237-242, 1989.
- CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. & HENKLAIN, J.C. Cálculo da erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6(3):236-239, 1982.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S. & FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10:265-272, 1986.
- DENARDIN, J.R. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, ESALQ, 1990. 106p. (Tese de Doutorado)

- DENARDIN, J.E. & WUNSCH, W.A. Erodibilidade de um latossolo vermelho-escuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, 1980. Anais. Recife, UFRPE, 1981. p.219.
- EL-SWAIFY, S.A. & DANGLER, E.W. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. In: KREBS, D.M., ed. Determinants of soil loss tolerance. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.1-25.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1979.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Cons., Ankeny, 36(6):355-359, 1981.
- GALINDO, I.C. de L. & MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. R. bras.Ci.Solo, Campinas, 13(1):95-100, 1989.
- GRAYBILL, F.A. Theory and application of the linear model. North Scituate, Massachusetts, Duxbury Press, 1976. 704p.
- HUDSON, N. Soil conservation. 2.ed. New York, Cornell University Press, 1981. 324p.
- JACOBS, G.A.; ROLOFF, G.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G. Erosividade da chuva correlacionada com perdas de solo de dois latossolos vermelho-escuros (textura argilosa e média): uma aproximação do fator erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Resumos. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.170-171.
- LAL, R.; LAWSON, T.L. & ANASTASE, A.H. Erosivity of tropical rains. In: BOODT, M. de & GRABRIELS, D., eds. Assessment of erosion. Chichester, J. Wiley, 1980. p.143-151.
- LIMA, P.M. de P. Perdas de solo e água em dois latossolos 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. Ci. Prát., Lavras, 15(2):186-193, 1991.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)
- McGREGOR, K.C.; GREER, J.D.; GURLEY, G.E. & BOLTON, G.C. Erodibility factors for Loring and Lexington soils. J. Soil Water Cons., Ankeny, 24(6):231-232, 1969.
- MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I.C. de. Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994. n.p.
- MARTINS FILHO, M.V. & PEREIRA, V.P. Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade. Ci. Agron., Jaboticabal, 8(1):39-45, 1993.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Min., Clarkson, 7:317-327, 1960.
- MORAIS, L.F.B. de; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. R. bras.Ci. Solo, Campinas, 12(3):281-284, 1988.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 36:587-593, 1972.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M. & LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 29(11):1751-1761, 1994.
- SMITH, R.M. & STAMEY, W.L. How to establish erosion tolerances. J. Soil Water Cons., Ankeny, 19(3):110-111, 1964.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7)
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 12(3):197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 23:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geoph. Union, Washington, 39(2):285-291, 1958.
- 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)