

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

EROSIVIDADE DA CHUVA E ERODIBILIDADE DE CAMBISSOLO E LATOSSOLO NA REGIÃO DE LAVRAS, SUL DE MINAS GERAIS⁽¹⁾

Antonio Marcos da Silva⁽²⁾, Marx Leandro Naves Silva⁽³⁾, Nilton Curi⁽³⁾, Junior Cesar Avanzi⁽⁴⁾ & Mozart Martins Ferreira⁽³⁾

RESUMO

No Brasil, ainda são relativamente poucos os estudos envolvendo erodibilidade do solo, principalmente Cambissolos, dada a morosidade na obtenção dos resultados de experimentos com chuva natural. O conhecimento dos índices de erosividade e de erodibilidade é importante para o planejamento conservacionista, contribuindo para a sustentabilidade dos solos. Este estudo teve como objetivos determinar a erosividade da chuva e a erodibilidade de Cambissolo Háptico Tb distrófico típico e Latossolo Vermelho distroférico típico, sob chuva natural, em Lavras (MG), no período de 1998 a 2002. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos na Estação Climatológica Principal de Lavras, localizada no *campus* da Universidade Federal de Lavras, próxima das unidades experimentais de perdas de solo. A erosividade (EI_{30}) foi determinada a partir do produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min. Estes dados, correlacionados com as perdas de solo, permitiram obter o índice de erodibilidade dos solos. A precipitação total média anual foi 1.287 mm e a erosividade média foi de 4.865 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A erodibilidade foi 0,0355 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para o Cambissolo e 0,0032 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para o Latossolo, em consonância com seus atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos diferenciais.

Termos de indexação: erosão hídrica, fator K, energia cinética, horizonte B incipiente; horizonte B latossólico.

⁽¹⁾ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada a Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em julho de 2009 e aprovado em setembro de 2009.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Usina Moema. Fazenda Moema. Zona Rural, CEP 15480-000 Orindiúva (SP). E-mail: asmarcos2@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mails: marx@dcs.ufla.br; niltecuri@dcs.ufla.br; mozartmf@dcs.ufla.br

⁽⁴⁾ Pós-Doutorando em Ciência do Solo, DCS/UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: javanzi@jmail.com

SUMMARY: RAINFALL EROSIVITY AND ERODIBILITY OF CAMBISOL (INCEPTISOL) AND LATOSOL (OXISOL) IN THE REGION OF LAVRAS, SOUTHERN MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

Relatively few studies in Brazil have investigated soil erodibility, mainly for Cambisols (Inceptisols), due to the tediousness of data collection in natural rainfall experiments. Knowledge about erodibility and erosivity is important for conservation planning, which contributes to soil sustainability. This study aimed at evaluating the rainfall erosivity and erodibility of a typic dystrophic Tb Haplic Cambisol (Inceptisol) and a typic dystroferric Red Latosol (Oxisol) under natural rainfall, in Lavras, state of Minas Gerais, Brazil, between 1998 and 2002. Pluvial precipitation data were obtained from the main weather station of Lavras, of the Universidade Federal de Lavras, close to the soil loss experimental plots. Erosivity (EI_{30}) was calculated as the product of the rain kinetic energy by the maximum intensity in 30 min. Based on these data, correlated with the soil losses, the soil erodibility could be computed. The mean annual total precipitation was 1,287 mm and the mean calculated erosivity $4,865 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The erodibility of the Cambisol was $0.026 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ and of the Latosol $0.004 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, in agreement with their differential mineralogical, chemical, physical and morphological properties.

Index terms: water erosion, K factor, kinetic energy, Inceptisol, Oxisol.

INTRODUÇÃO

A erosividade da chuva, representada pelo fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), consiste no potencial da chuva em causar erosão e é representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min (EI_{30}) (Wischmeier & Smith, 1978). Este fator é empregado nos cálculos dos fatores erodibilidade, cobertura vegetal e práticas conservacionistas da EUPS. A determinação dos valores de erosividade permite identificar os meses nos quais o risco de erosão é mais elevado, o que é importante no planejamento de uso da terra (Wischmeier & Smith, 1978; Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Hudson, 1995).

Estudos de erosividade desenvolvidos no Brasil destacam alguns índices de erosividade da chuva (EI_{30}) em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$: para Lavras (MG), na ordem de 6.843 (Val et al., 1986); para Mococa (SP), 7.747 (Carvalho et al., 1989); no Estado do Paraná para 32 localidades, uma amplitude de 5.275 a 12.559 (Rufino et al., 1993); para Goiânia (GO), 8.355 (Silva et al., 1997a); para Sete Lagoas (MG), 5.835 (Marques et al., 1998); para Lajes (SC), 5.790 (Bertol et al., 2002); e para Manaus (AM), um valor elevado, na ordem de 14.129 (Oliveira Junior & Medina, 1990). Segundo estudo desenvolvido por Silva (2004), a faixa de variação para a erosividade no Brasil é de 3.116 a 20.035 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A erodibilidade do solo, representada pelo fator K da EUPS, consiste na suscetibilidade do solo à erosão hídrica. É um atributo intrínseco de cada solo e constitui um fator fundamental para a previsão de

perdas de solo e planejamento de uso da terra. Entre os atributos do solo que, de forma integrada, afetam a erodibilidade, destacam-se a permeabilidade do solo à água, a capacidade de armazenamento de água, a textura (principalmente os teores de silte), a coesão, o grau e o tipo de estrutura, C orgânico, os teores de óxidos de Fe e de Al, e a tipo de mineral de argila (Denardin, 1990; Lima et al., 1990; Silva et al., 1994, 1997b, 1999, 2000; Ferreira et al., 1999).

De acordo com os bancos de dados elaborados por Denardin (1990) e Silva et al. (2000), no Brasil existem 19 valores de erodibilidade determinados para Latossolos, sendo a amplitude desses valores de 0,002 a $0,034 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Entre os estudos mais recentes, cabe destacar o de Hernani et al. (1997), desenvolvido para Latossolo Vermelho distroférico, no município de Dourados (MS), estando o valor na ordem $0,0045 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Em Cambissolo, destaca-se o estudo de Bertol et al. (2002), em Lages (SC), que encontraram um valor de $0,0115 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Os solos apresentam um limite tolerável de perdas, acima do qual não manterão seu potencial produtivo sustentável ao longo dos anos. Assim, considera-se que a intensidade de erosão está dentro dos limites toleráveis quando esta não ultrapassa a intensidade de formação e a renovação dos solos, tendo em vista que o solo representa um balanço entre remoção e enriquecimento através, respectivamente, das forças de erosão e pedogênese (Wischmeier & Smith, 1978).

Os métodos de estimativa da tolerância de perdas de solo por erosão utilizam atributos que influenciam a erosão e têm uma base de sustentação lógica e racional. Assim, torna-se importante definir a

tolerância para diferentes classes de solo para monitorar a eficácia dos sistemas de uso e de manejo do solo na redução da erosão (Bertol & Almeida, 2000).

Assim, objetivou-se com este estudo determinar a erosividade, a erodibilidade e o limite de tolerância de perdas de solo em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico e Latossolo Vermelho distroférico típico, sob chuva natural, na região de Lavras (MG).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (MG). O município de Lavras está localizado na região sul do Estado, nas coordenadas 21° 14' de latitude sul e 45° 00' de longitude oeste. A altitude média da área é de 919 m. O clima é enquadrado, de acordo com a classificação de Köppen, como Cwa, com precipitação pluvial média anual histórica de 1.530 mm. A temperatura média anual é de 19,4 °C (Brasil, 1992).

Para caracterização química e mineralógica dos solos estudados, determinaram-se os teores de C orgânico total, óxidos (SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃) extraídos pelo ataque sulfúrico (Embrapa, 1997) e caulinita e gibbsita por análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferrificada, após tratamento com ditionito – citrato – bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960) (Quadro 1).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965) após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 min. A densidade do solo foi determinada segundo Blake & Hartge (1986a), e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico segundo Blake & Hartge (1986b). Determinou-se o volume total de poros segundo Danielson & Sutherland (1986). A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura não deformada previamente saturadas utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Grohmann, 1960) (Quadro 1). A permeabilidade do solo à água foi determinada utilizando-se permeâmetro de carga constante com modificações de McNeal & Roland (1964) e Lima et al. (1990).

Os solos estudados são classificados segundo Embrapa (2006) como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, textura argilosa (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa (LVdf) (Quadro 1). O CXbd apresenta espessura do solum (horizontes A + B) de 26 cm, considerado raso, ao passo que o LVdf é tido como muito profundo (310 cm), conforme observações e medições de campo (Quadro 1).

Antes da montagem do experimento, o uso do solo era com pastagem nativa. Por ocasião da implantação do experimento, foram realizadas uma aração com arado de discos e duas gradagens leves, todas no sentido do declive; as parcelas foram mantidas

Quadro 1. Atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos de Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf)

Atributo ⁽¹⁾	CXbd		LVdf	
	Horizonte A	Horizonte Bi	Horizonte A	Horizonte Bw
Prof. (cm)	0–14	14–26	0–56	56–310
Ct (g kg ⁻¹)	330	320	160	230
Gb (g kg ⁻¹)	190	180	310	400
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	223	233	126	137
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	239	259	274	304
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	33	43	292	296
COT (g kg ⁻¹)	22	11	60	9
Areia Total (g kg ⁻¹)	478	430	259	110
Silte (g kg ⁻¹)	158	170	124	60
Argila (g kg ⁻¹)	364	400	617	830
IF (%)	46	49	66	58
Ds (Mg m ⁻³)	1,40	1,38	1,20	0,95
Dp (Mg m ⁻³)	2,47	2,54	2,69	2,78
PT (m ³ m ⁻³)	0,46	0,46	0,51	0,66
Micro (m ³ m ⁻³)	0,40	0,36	0,41	0,38
Macro (m ³ m ⁻³)	0,06	0,10	0,10	0,28
PERM (mm h ⁻¹)	14	9	74	201
Estrutura	f pq bl sub	f med bl sub	f pq e med bl sub – fo mpq gra	fo mpq gra

⁽¹⁾ Prof.: profundidade dos horizontes; Ct: caulinita; Gb: gibbsita; COT: carbono orgânico total; IF: índice de floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; PT: porosidade total; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; PERM: permeabilidade do solo à água; f: fraça; pq: pequena; bl: blocos; sub: subangulares; med: média; fo: forte; mpq: muito pequena; gra: granular.

descobertas (por cinco anos consecutivos) e, quando necessário, a vegetação estabelecida espontaneamente era retirada com capina manual. Durante o período do experimento, anualmente foram realizadas duas escarificações leves nas parcelas a fim de simular o preparo do solo e também impedir a formação do selamento superficial. O experimento foi conduzido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2002.

As perdas de solo foram determinadas em parcelas instaladas no campo em solo sem cobertura, segundo o preconizado por Wischmeier & Smith (1978). Entretanto, as parcelas apresentaram algumas modificações (3,0 x 9,0 m) em relação ao tamanho recomendado para parcela-padrão. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,40 m de largura, que foram enterradas 0,20 m. O comprimento maior obedeceu ao sentido do declive, sendo 15 % para o CXbd e 12 % para o LVdf. Na parte inferior das parcelas, foram colocadas calhas coletoras, com cano de chapa galvanizado, para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema foi constituído de dois tanques coletores de água e sedimento, com capacidade individual de 225 L, munido de um sistema divisor do tipo Geib, de nove janelas. A partir do sistema divisor, por meio de uma canaleta, a água e sedimentos são conduzidos para o segundo tanque coletor. Assim, após o enchimento do primeiro tanque de água e sedimento, 1/9 de água da enxurrada foi conduzido para o segundo. As coletas foram realizadas a cada evento de chuva considerada erosiva, segundo metodologia de Cogo (1978a,b).

Para o cálculo da erosividade, foram utilizados registros contínuos de dados pluviográficos de Lavras (MG), do período compreendido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2002, na Estação Climatológica de Lavras, do quinto Distrito de Meteorologia, localizada no *Campus* da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A estação localiza-se a 40 m da parcela sobre o LVdf e a 500 m da parcela sobre o CXbd. A amplitude de registro desses dados foi de 10 mm de precipitação, com acurácia de 0,2 mm, tempo de registro de 24 h, com unidade de 20 min. Após terem sido cotadas manualmente, em segmentos de intensidades mais uniformes de chuva, determinaram-se as energias cinéticas totais das chuvas para cada evento, com o auxílio de um programa computacional EROSIVO.EXE, adaptado do programa desenvolvido por Cataneo et al. (1982), que calcula a energia cinética, segundo Wischmeier & Smith (1958), adaptado por De Maria (1994), que acrescentou o cálculo da energia cinética desenvolvido por Wagner & Massambani (1988).

Segundo o programa, são consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de 6 h com precipitação pluvial menor que 1 mm. As chuvas menores que 10 mm, ou com intensidade máxima em 15 min menor que 24 mm h⁻¹, ou com energia cinética menor que 3,6 MJ, são consideradas não erosivas (De Maria, 1994). A equação de energia cinética utilizada foi a seguinte (Wagner & Massambani, 1988):

$$E = 0,153 + 0,0645 \log I$$

em que E: energia da chuva (MJ ha⁻¹ mm⁻¹); I: intensidade da chuva (mm h⁻¹).

O índice EI₃₀ foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (somatório dos segmentos erosivos da chuva) pela intensidade máxima ocorrida em um período de 30 min consecutivos (I₃₀), segundo Wischmeier & Smith (1958). Pelo somatório de cada chuva, obteve-se o valor mensal, e pelo somatório dos valores mensais, obtiveram-se os valores anuais.

A partir dos dados de erosividade (x) e de perdas de solo (y), determinou-se o fator erodibilidade, através de regressão linear simples (y = a + bx), utilizando-se valores mensais para cada ano estudado, sendo o coeficiente de regressão linear "a" o resultado da influência de outros fatores como umidade antecedente ao início do evento, infiltração anterior ao começo da enxurrada e retenção devido à rugosidade superficial (Biscaia et al., 1981; Marques et al., 1997; Silva et al., 1997b), e "b" corresponde à erodibilidade (SAS, 1985). A regressão linear foi corrigida para que as coordenadas iniciais partissem da origem (Ferreira, 2005), assim o modelo é apresentado na forma y = bx, tendo seus parâmetros o mesmo significado do modelo anterior (McGregor et al., 1969). Todas as equações foram submetidas ao teste F. O valor de erodibilidade foi corrigido pelo grau de declive (9 %) e pelo comprimento de rampa (22 m), referente à parcela padrão, representados pelo fator LS, conforme preconizado por Bertoni et al. (1975) e Wischmeier & Smith (1978), através da seguinte equação:

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

em que LS: fator topográfico da EUPS, corrigido para as condições da parcela padrão (adimensional); L: comprimento do declive (m); S: declividade do terreno (%).

Para o cálculo do valor de tolerância de perdas de solo, foi utilizada a análise de perfis de solos representativos da região, a qual foi complementada com observações e determinações de campo. As tolerâncias de perdas de solo admissíveis foram estimadas segundo método proposto por Galindo & Margolis (1989), que considera a profundidade efetiva do solo, a permeabilidade do solo à água, os teores de C orgânico e a relação textural entre horizontes superficial e subsuperficial (Quadro 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cálculos da erosividade, envolvendo 468 chuvas individuais registradas em pluviogramas diários, enquadraram 158 como erosivas e 310 como não erosivas (Quadro 2). Os valores de precipitação pluvial

e erosividade determinados para o período de 1998 a 2002, correlacionaram-se com os resultados encontrados por Val et al. (1986), trabalhando com uma séria histórica de 22 anos. Os valores de precipitação pluvial apresentaram boa correlação com os valores de erosividade ($r = 0,90$) para o período estudado. O erro-padrão da erosividade foi elevado, indicando alta variação da erosividade entre os anos estudados.

A precipitação pluvial ocorrida entre os meses de novembro e março correspondeu a 82,75 % do total anual, e a erosividade para o mesmo período correspondeu a 90,36 % do total (Quadro 2), mostrando ser esse o período de maior risco em relação à erosão hídrica. Vários pesquisadores, em diversas regiões do país, têm encontrado maior potencial erosivo da chuva no período de novembro a março (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Moraes et al., 1991; Lopes & Brito, 1993; Dias & Silva, 2003). Os resultados observados para a erosividade (Quadro 2) podem ser confirmados por meio das perdas médias mensais de solo (Quadro 3). Assim sendo, maiores cuidados em relação ao manejo, visando reduzir impactos causados pelo transporte de sedimentos do solo, devem ser tomados neste período.

As perdas de solo corresponderam a 175,0 e 13,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em média para o CXbd e o LVdf, respectivamente (Quadros 3 e 4). Os resultados do CXbd estão acima daqueles obtidos por Schick et al. (2000), para Cambissolo Húmico de Lages, SC (111,8 Mg ha⁻¹), em consonância com seus valores bem mais elevados de matéria orgânica (subordem Húmico) e menor declividade (12 %). Em Cambissolos da zona fisiográfica Campos das Vertentes, MG, Santos et al. (1998) encontraram valores de 151 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e o encrostamento (impermeabilização superficial),

semelhante ao observado neste trabalho, ajuda a explicar tais valores mais elevados.

Para Latossolo Vermelho distroférrico na região de Dourados, MS, Hernani et al. (1999) encontraram valores de 6,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, em solo descoberto, valores estes relativamente mais próximos ao LVdf deste trabalho. A homogeneidade relativa de atributos dos Latossolos derivados do mesmo material de origem (rocha máfica), em função do seu maior tempo de exposição aos agentes bioclimáticos (solos mais intemperizados), ajuda a explicar os valores mais próximos de perdas desses solos em comparação aos Cambissolos (solos menos evoluídos, com valores mais discrepantes).

A partir dos modelos lineares entre a erosividade (EI₃₀) e as perdas de solo, estabelecidos para o CXbd e para o LVdf, foram ajustados os modelos para que as coordenadas partissem da origem (Ferreira, 2005) (Figura 1). Os valores do coeficiente de determinação (R²) apresentaram uma amplitude de 0,375 a 0,974 para o CXbd e de 0,380 a 0,994 para o LVdf, e esses valores foram superiores aos observados por Bertol et al. (2002) para Cambissolo.

Nos primeiros anos, foram observadas maiores dispersões dos pontos relativamente aos valores médios mensais de erosividade e perdas de solo, o que pode ser comprovado pelos menores valores de R². Esta maior dispersão dos pontos, ocasionando menores valores de R², no primeiro ano, está relacionada à movimentação do solo no momento de montagem das parcelas (uma aração e duas gradagens) e à variabilidade da umidade antecedente do solo, resultando em maiores registros de perdas de solo para valores baixos de erosividade e vice-versa. Devido a esses aspectos, alguns autores sugerem eliminar os dados do primeiro ano em estudos desta natureza (McGregor et al., 1969; Silva et al., 1997b). A partir

Quadro 2. Valores médios mensais e valor total anual da precipitação pluvial e da erosividade para Lavras (MG), entre 1998 e 2002

Mês	Precipitação ⁽¹⁾		Erosividade ⁽¹⁾	
	mm	%	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹	%
Janeiro	230 ± 65	17,9	1.255 ± 604	25,8
Fevereiro	205 ± 56	15,9	259 ± 91	5,3
Março	175 ± 27	13,6	634 ± 133	13,0
Abril	20 ± 7	1,6	10 ± 5	0,2
Mai	30 ± 14	2,3	99 ± 61	2,0
Junho	5 ± 5	0,4	1 ± 1	0,0
Julho	6 ± 3	0,5	6 ± 4	0,1
Agosto	27 ± 12	2,1	27 ± 20	0,6
Setembro	47 ± 18	3,6	93 ± 52	1,9
Outubro	87 ± 32	6,7	233 ± 118	4,8
Novembro	184 ± 23	14,3	1.008 ± 431	20,7
Dezembro	271 ± 40	21,0	1.240 ± 347	25,5
Total	1.287 ± 63	100,0	4.865 ± 887	100,0

⁽¹⁾ Média de 5 anos e erro-padrão.

Quadro 3. Perdas de solo médias mensais para Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), no período de 1998 a 2002, sob chuva natural, em Lavras, MG

Mês	Perda de solo ⁽¹⁾			
	CXbd		LVdf	
	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%
Janeiro	41,7 ± 17	20,3	2,5 ± 2	17,1
Fevereiro	29,5 ± 23	14,4	0,2 ± 0	1,3
Março	25,0 ± 14	12,6	0,3 ± 0	2,2
Abril	3,5 ± 3	1,7	0,0 ± 0	0,1
Mai	1,3 ± 1	0,6	0,1 ± 0	0,3
Junho	0,0 ± 0	0,0	0,0 ± 0	0,0
Julho	0,0 ± 0	0,0	0,0 ± 0	0,0
Agosto	0,7 ± 1	0,3	0,0 ± 0	0,1
Setembro	1,7 ± 2	0,8	0,1 ± 0	0,8
Outubro	19,4 ± 15	9,4	0,2 ± 0	1,1
Novembro	35,2 ± 15	17,1	5,0 ± 6	43,4
Dezembro	46,9 ± 18	22,8	5,0 ± 3	33,6
Total	175,0 ± 53	100,0	13,4 ± 2	100,0

⁽¹⁾ Média de 5 anos e erro-padrão.

Quadro 4. Perdas de solo, erosividade e erodibilidade totais anuais para Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), no período de 1998 a 2002, sob chuva natural, em Lavras, MG

Ano	Perda de solo	Erosividade	Erodibilidade
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹
		CXbd	
1998	225,4	3.467	0,0768
1999	280,2	5.566	0,0279
2000	136,5	6.949	0,0159
2001	140,5	6.172	0,0205
2002	94,3	2.173	0,0365
Média	175,4	4.865	0,0355
CV (%)	51	41	69
		LVdf	
1998	1,4	3.467	0,0006
1999	4,4	5.566	0,0013
2000	9,3	6.949	0,0009
2001	46,6	6.172	0,0107
2002	5,4	2.173	0,0026
Média	13,4	4.865	0,0032
CV (%)	137	41	132

dos anos 2000 e 1999, para o CXbd e LVdf, respectivamente, os valores de R² foram elevados, indicando mais alto grau de confiabilidade dos coeficientes angulares obtidos por esse método.

Foi mais comum as chuvas de baixa erosividade produzirem maiores perdas de solo do que as de alta erosividade produzirem baixas perdas (Figura 1), indicando que, possivelmente, a umidade antecedente do solo estava alta em alguma época, favorecendo a chuva não erosiva, notadamente no CXbd, devido à sua pequena profundidade, causando rápida saturação, favorecendo maior escoamento superficial e maior arraste de partículas, quando comparado ao LVdf.

O coeficiente angular “b”, corrigido pelo fator LS (1,41 para o CXbd e 0,99 para o LVdf), permitiu determinar a erodibilidade dos solos para cada ano (Quadro 4). O fator erodibilidade variou amplamente entre os anos, apresentando um coeficiente de variação de 69 e 132 % para o CXbd e LVdf, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Bertol et al. (2002) em Cambissolo. A distribuição irregular de chuvas nos anos de estudo pode explicar os mais altos valores dos coeficientes de variação encontrados.

Para o CXbd, o menor valor de erodibilidade ocorreu em 2000 e o maior em 2002, com uma diferença de aproximadamente duas vezes, embora os valores de erosividade e consequentemente as perdas de solo tenham sido inversos, ou seja, no ano de 2000 houve maior erosividade e perda de solo em relação a 2002, diferindo das observações de Bertol et al. (2002). Tal comportamento é explicado pela elevadíssima suscetibilidade deste solo à erosão hídrica e ao coeficiente estabelecido entre aqueles fatores. Por exemplo, pode ocorrer alta perda de solo *versus* baixa erosividade no caso de solo saturado, solos rasos (como neste trabalho), favorecendo o deflúvio, solo revolvido pela implantação do experimento etc., ou, ao contrário, baixa perda de solo *versus* alta erosividade devido ao encrostamento (comum neste solo).

Em relação ao LVdf, o menor valor ocorreu em 1998 e o maior em 2001, com uma diferença de aproximadamente 18 vezes; a erosividade foi apenas duas vezes maior, entretanto provocou uma perda 33 vezes maior. Nesse caso, as explicações provavelmente estão relacionadas a menor influência da umidade antecedente do solo em 1998 para a maioria das chuvas, uma vez que este solo apresenta alta permeabilidade à água (Quadro 1).

Os valores de erodibilidade média anual para o período estudado foram 0,0355 e 0,0032 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Quadro 4) para o CXbd e LVdf, respectivamente. O valor observado para o CXbd foi superior ao do LVdf em 11 vezes. Esses valores de erodibilidade são classificados como moderado para o CXbd e como baixo para o LVdf (Foster et al., 1981).

O valor de erodibilidade encontrado para o CXbd neste estudo foi o dobro do valor encontrado por Bertol et al. (2002), que foi da ordem de 0,0151 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para um Cambissolo Húmico de Lages (SC), em consonância com os atributos diferenciais desses solos, anteriormente discutidos.

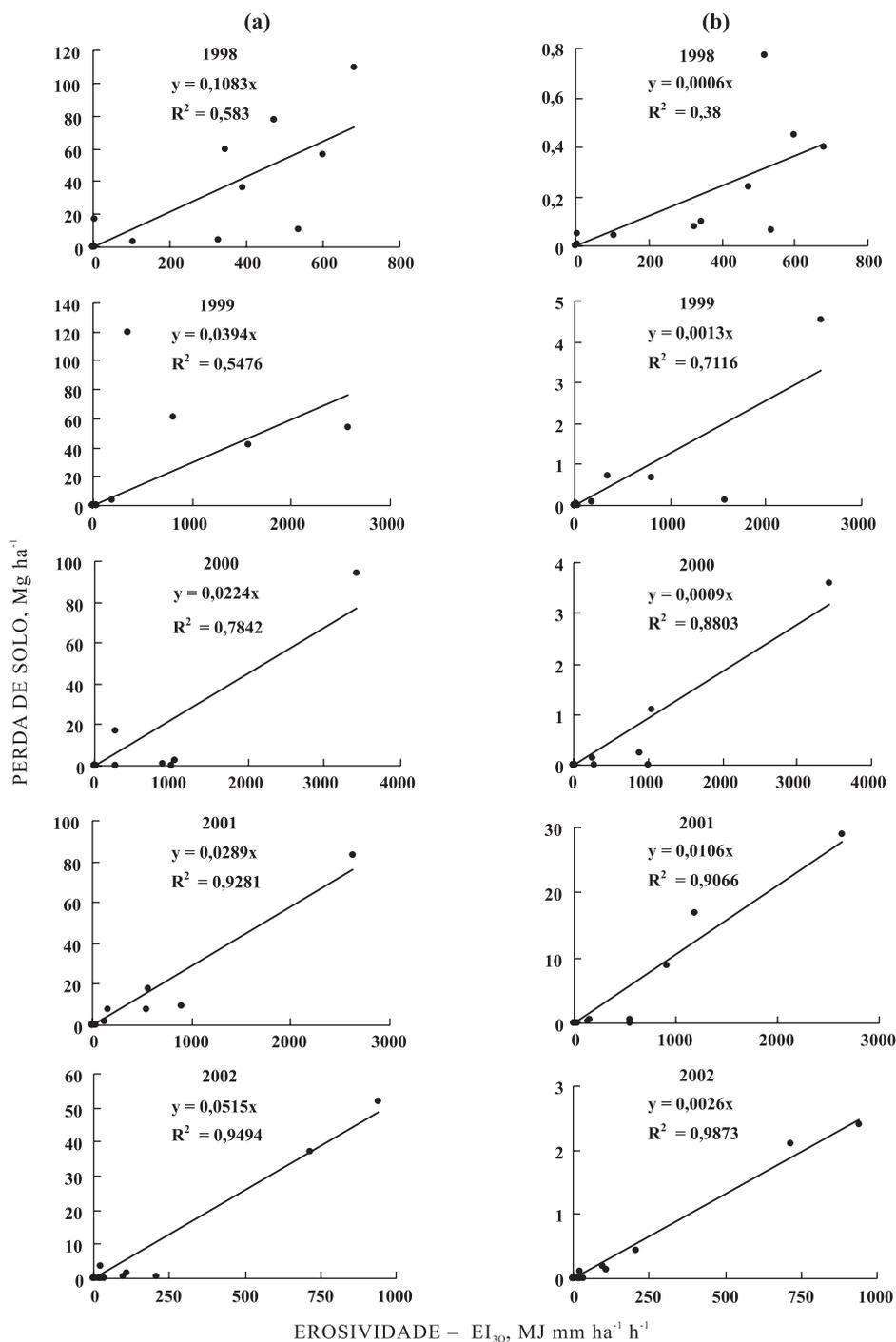


Figura 1. Regressão linear entre erosividade – EI₃₀ (Fator R) das chuvas e perdas de solo em A) Cambissolo Háplico Tb distrófico típico e em B) Latossolo Vermelho distroférico típico, sob chuva natural, em Lavras (MG), durante um período de cinco anos.

Para o LVdf, o valor de 0,0032 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Quadro 4) é muito próximo daquele registrado por Hernani et al. (1997), de 0,0045 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, para um Latossolo Vermelho distroférico de Dourados (MS). Denardin (1990), estudando 31 solos brasileiros e, posteriormente, Silva et al. (2000), estudando 19 Latossolos, submetidos a experimentos com chuva

simulada e natural, verificaram que os Latossolos apresentaram valores de erodibilidade entre 0,002 e 0,034 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹. O baixo valor de erodibilidade encontrado para o LVdf confirma sua mineralogia predominantemente gibbsítica, que, aliada aos maiores teores de óxidos de Fe e C orgânico, contribui para uma estrutura granular, maior flocculação, maior

macroporosidade e maior permeabilidade (Quadro 1), concordando com Silva et al. (1994,1997a) e Ferreira et al. (1999). Por outro lado, o CXbd, mais caulinitico, com baixos teores de óxidos de Fe e menores de C orgânico, apresentou uma estrutura em blocos e baixa permeabilidade (Quadro 1). O LVdf, embora tenha maior permeabilidade, apresenta pequena coesão entre os agregados. Com valores altos de erosividade, podem ocorrer maiores perdas de solo.

Os valores de tolerância de perdas de solo obtidos para o CXbd e o LVdf foram 5,60 e 12,70 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Observa-se que o limite de tolerância para o LVdf é 127 % maior em relação ao CXbd, em razão da sua grande profundidade, estrutura granular, elevada permeabilidade do solo à água e maior teor superficial de C orgânico (Quadro 1). Os resultados de tolerância de perdas aqui obtidos para o Cambissolo do Estado de Santa Catarina (8,6 a 9,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) (Bertol & Almeida, 2000). A tolerância média para solos com horizonte B latossólico do Estado de São Paulo variou entre 9,6 e 15,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, conforme Lombardi Neto & Bertoni (1975).

CONCLUSÕES

1. Os maiores riscos em relação à erosão hídrica encontram-se entre novembro e março, devido ao maior potencial erosivo das chuvas e à maior umidade antecedente do solo neste período.

2. Os valores de erodibilidade determinados para o CXbd e LVdf foram 0,0355 e 0,0032 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, respectivamente, sendo enquadrados como moderado e baixo, estando em consonância com seus atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos diferenciais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D Café, pelo auxílio financeiro ao projeto.

LITERATURA CITADA

- BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 24:657-668, 2000.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. & AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). R. Bras. Ci. Solo, 26:465-471, 2002.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, Ícone, 1990. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 25p. (Boletim Técnico, 21)
- BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L. & HENKLAIN, J.C. Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 5:183-186, 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. Partycle density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. v.1. p.377-382.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Normais climatológicas (1961-1990). Brasília, Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI₃₀. R. Bras. Ci. Solo, 13:243-249, 1989.
- CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. & ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índice de erosividade de chuvas. R. Bras. Ci. Solo, 6:236-239, 1982.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I – Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 1978a. p.75-97.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: II – Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 1978b. p.99-107.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KRUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 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.
- DE MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994. Não Paginado
- DENARDIN, J. R. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990. 106p. (Tese de Doutorado)

- DIAS, A.S. & SILVA, J.C.R. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – 1ª Aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 27:335-345, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FERREIRA, D.F. Estatística básica. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 664p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:515-524, 1999.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal loss equation to SI metric units. J. Soil Water Conserv., 36:355-359, 1981.
- GALINDO, I.C.L. & MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 13:95-100, 1989.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia, 19:319-328, 1960.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. R. Bras. Ci. Solo, 23:145-154, 1999.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R. & ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). R. Bras. Ci. Solo, 21:667-676, 1997.
- HUDSON, N. Soil conservation. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 1995. 391p.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28)
- LOPES, P.R.C. & BRITO, L.T.I. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. R. Bras. Ci. Solo, 17:129-133, 1993.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 14:85-90, 1990.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C. & CURI, N. Erosividade das chuvas na Região de Sete Lagoas, MG. Pesq. Agropec. Bras. 33:761-768, 1998.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – Primeira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 21:427-434, 1997.
- McNEAL, L. & ROLAND, C. Estimations of boundary flow errors in laboratory hydraulic conductivity measurements. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:713-714, 1964.
- McGREGOR, K.C.; GREER, J.D.; GURLEY, G.E. & BOLTON, G.C. Erodibility factors for Loring and Lexington soils. J. Soil Water Conserv., 24:231-232, 1969.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: SWINEFORD, A.D.A., ed. CLAYS CLAY MINERALS CONFERENCE, 7., Washington, 1958. Proceedings. Elmsdorf, Pergamon Press, 1960. p.317-327.
- MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVEN, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI₃₀ e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. R. Bras. Ci. Solo, 17:339-344, 1991.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. & MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). R. Bras. Ci. Solo, 14:235-239, 1990.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: Terceira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 17:439-444, 1993.
- SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CRUZ FILHO, A.B. & TEIXEIRA, W.G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas e melhoradas sob diferentes práticas de manejo. Pesq. Agropec. Bras., 33:183-189, 1998.
- SAS Institute. SAS User's guide: statistics. 5.ed. Cary, 1985. 956p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. & BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 24:437-447, 2000.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M. & FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. Pesq. Agropec. Bras., 34:2287-2298, 1999.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M. & FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. Pesq. Agropec. Bras., 35:1207-1220, 2000.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M. & LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 29:1751-1761, 1994.
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEAUX, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia (GO). Pesq. Agropec. Bras., 32:977-985, 1997a.

- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. & LIMA, J.M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). R. Bras. Ci. Solo, 21:131-137, 1997b.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. Catena, 57:251-259, 2004.
- VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C. & DIAS JUNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras – MG. Ci. Prática., 10:199-209, 1986.
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 12:197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, DC, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. Trans. Am. Geoph. Union, 39:285-291, 1958.