

POTENCIAL EROSIVO DA CHUVA NO VALE DO RIO DOCE, REGIÃO CENTRO-LESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS – PRIMEIRA APROXIMAÇÃO¹

Erosive potential of rainfall at Rio Doce Valley, central-east region of Minas Gerais state – first approach

Flávio Pereira de Oliveira², Marx Leandro Naves Silva³, Nilton Curi³, Mayesse Aparecida da Silva⁴, Carlos Rogério de Mello⁵

RESUMO

Entre os fatores climáticos que interferem na erosão hídrica, a precipitação pluvial, expressa pela erosividade da chuva, é o de maior importância. Portanto, seu conhecimento torna-se fundamental na recomendação de práticas de manejo e conservação do solo que visem à redução da erosão hídrica. Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram: a) determinar a erosividade da chuva e sua distribuição, na região do Vale do Rio Doce, MG, para nove sub-regiões; b) estimar o índice EI_{30} mensal, no período de 1969 a 2005, para os municípios de Ferros e Guanhães e c) determinar o tempo de retorno dos índices mensais e anuais de erosividade. O valor médio de erosividade obtido foi de 12.913 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo classificado como muito alto. Entre as sub-regiões, os valores de erosividade variaram de 8.243 a 26.676 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O período crítico em relação à erosão hídrica, em razão da ocorrência de chuvas erosivas, é de janeiro-março e novembro-dezembro, contribuindo com 88,6% da erosividade anual. De abril a outubro, praticamente inexistente a ocorrência de erosividade crítica. Os valores máximos individuais estimados para os tempos de retorno de 1, 10, 50 e 150 anos foram de 5.508, 15.534, 18.110, 19.632 e 5.542, 17.653, 20.954, 22.931 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para Ferros e Guanhães, respectivamente. A determinação dos valores de erosividade ao longo do ano permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo e água são mais elevados, o que exerce relevante papel no planejamento das práticas conservacionistas.

Termos para indexação: Erosividade, planejamento conservacionista, coeficiente da chuva, período de retorno da chuva.

ABSTRACT

Among the climatic factors that interfere in water erosion, precipitation, expressed by the rainfall erosivity, is of great importance. Therefore, its knowledge becomes fundamental for the recommendation for soil management and conservation practices that seek the reduction of water erosion. In that context, the objectives of this work were: a) to determine the rainfall erosivity and its distribution at Rio Doce Valley, Minas Gerais State, for nine sub-regions, b) to estimate the monthly EI_{30} index in the period from 1969 to 2005 for Ferros and Guanhães counties, and c) to determine the return periods of the monthly and yearly erosivity indexes. The average erosivity value obtained was 12.913 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, being classified as very high. Among the sub-regions, the erosivity values varied from 8.243 to 26.676 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹. The critical periods in relation to water erosion due to the occurrence of erosive rains are January-March and November-December, contributing with 88.6% of the annual erosivity. From April to October, the occurrence of critical erosivity practically does not exist. The estimated individual maximum values for the return periods of 1, 10, 50, and 150 years were of 5.508, 15.534, 18.110, 19.632, and 5.542, 17.653, 20.954, 22.931 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ for Ferros and Guanhães, respectively. The determination of the erosivity values throughout the year allows to identify the months in which the risks of soil and water losses are higher, which is important for planning the conservation practices.

Index terms: Erosivity, conservation planning, rainfall coefficient, rainfall return period.

(Recebido em 5 de junho de 2006 e aprovado em 12 de janeiro de 2009)

INTRODUÇÃO

Fundamentalmente, a erosividade, definida como o potencial da chuva em causar a desagregação e o transporte das partículas do solo, depende de suas características físicas básicas, a saber: tamanho, forma e velocidade terminal de queda das gotas. Combinadamente, essas características determinam a energia cinética total da chuva (Moreti et al., 2003). A resistência dos solos a erosão hídrica apresenta grande amplitude devido à

variabilidade climática que influi na erosividade das chuvas (Carvalho et al., 2007).

De acordo com Wischmeier & Smith (1958), para regiões de clima temperado, a melhor variável para avaliar a erosividade é o produto da energia cinética (E) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), expressa como índice EI_{30} . Para regiões de clima tropical e subtropical, o modelo desenvolvido por Wischmeier & Smith (1958) subestima a energia cinética das chuvas, pois não leva em conta a velocidade dos ventos, a distribuição de gotas de

¹Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor – Departamento de Ciência do Solo – Universidade Federal de Lavras/UFLA.

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – DS/UFRGS – Av. Bento Gonçalves 7712 – Cx. P. 15100 – 91501-970 Porto Alegre, RS – Bolsista do CNPq – flavio_solos@yahoo.com.br

³Professor do Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – marx@dcs.ufla.br, niltoncuri@dcs.ufla.br

⁴Engenheira Florestal – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – mayesse@gmail.com

⁵Professor do Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – rog.mello@terra.com.br

diferentes tamanhos nem as elevadas intensidades das chuvas (Lal, 1976). Mesmo assim, o índice EI_{30} vem sendo utilizado praticamente em todo o Brasil, principalmente como parâmetro para avaliar a erosividade e na obtenção de linhas isoerosivas (Dedecek, 1988).

Nas condições tropicais do Zimbábue, Hudson (1971) observou que as chuvas só tornavam-se erosivas quando sua intensidade superava 25 mm h^{-1} , o que o levou a propor um índice que é a soma das energias cinéticas das chuvas com intensidade maior do que 25 mm h^{-1} ($KE > 25$). Lal (1988) verificou que para chuvas tropicais de alta intensidade, nas condições da Nigéria, as melhores correlações com as perdas de solo se verificaram com os índices do tipo precipitação pluvial multiplicada pela intensidade máxima de qualquer período consecutivo, em minutos (PI_m).

Marques et al. (1998) mencionaram que esse índice poderia se correlacionar melhor com as perdas por erosão, em regiões tropicais. Apesar desta consideração, possivelmente, a maior limitação de ambos os índices de erosividade é a não contemplação das condições de umidade antecedente do solo e do efeito erosivo do escoamento superficial sobre o mesmo.

Nos diversos estudos de determinação da erosividade média anual para diferentes regiões brasileiras, observa-se que a maioria dos valores encontrados se enquadra na faixa de 5.000 a $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ que, normalmente, ocorrem no Brasil (Cogo, 1988). Mas, principalmente, os valores de erosividade média anual se enquadram melhor na faixa de variação de 3.116 a $20.035 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ encontrada por Silva (2004) por meio de mapa de erosividade da chuva para o Brasil.

O tempo de retorno é outro fator importante, definido como o intervalo médio de tempo em longo prazo ou o número de anos que separam um evento de dimensão conhecida de outro evento com dimensão igual ou superior, sendo, ao menos uma vez, em qualquer ano, seu valor igualado ou superado, constituindo um importante parâmetro da erosividade (Haan, 1979). Ele pode ser determinado por meio de distribuições de probabilidades, como Gumbel, Gama, Log-Normal 2 e 3 parâmetros e outros (Freitas et al., 2001). Estudos probabilísticos envolvendo climáticas como a precipitação foram realizados por Ribeiro et al. (2007) para a região de Barbacena, MG e Junqueira Junior et al. (2007) para a região do Alto Rio Grande, município de Madre de Deus, MG. Assim, valores anuais e mensais de determinado evento aproximam-se de um padrão definido de distribuição de frequência, quando o número de observações, em cada ano, torna-se o mais amplo possível (Schwab et al., 1966). No caso do planejamento de terraceamento agrícola (Schwab et al., 1966; Lombardi

Neto et al., 1989), tal evento hidrológico é calculado normalmente para um período de retorno de 10 a 15 anos.

Estudando padrões de chuva e variabilidade espacial da erosividade para o Sul de Minas Gerais, Aquino (2005) aplicou cinco distribuições de probabilidades para valores de erosividade, mensais e anuais, determinando o tempo de recorrência da erosividade. De acordo com os resultados, verificou-se que, dentre as distribuições estudadas, a Log-Normal apresentou maior precisão e que as erosividades anuais, para todos os tempos de recorrência, foram consideradas muito altas, segundo a classificação de Foster et al. (1981) modificada.

A região do Vale do rio Doce atualmente é das regiões mais degradadas pela erosão hídrica no estado de Minas Gerais. Ela sofreu um efeito antrópico muito impactante nos últimos 50 – 60 anos, que incluiu: uso indiscriminado do fogo nas pastagens de capim colônia que, naturalmente, já não oferecem uma boa cobertura ao terreno, total desrespeito à capacidade de suporte das pastagens, o que aliado ao relevo movimentado dominante e à ocorrência de chuvas erosivas concentradas resultou num quadro dramático de pobreza rural decorrente do processo de erosão acelerada, inclusive no topo dos morros (áreas de recarga do lençol freático), justificando estudos relativos a esses aspectos nessa região, visando a ações de planejamento de práticas de conservação do solo e da água.

Nesse contexto, conduziu-se este trabalho, com os objetivos de: a) determinar a erosividade da chuva e sua distribuição, na região do Vale do Rio Doce, MG, para nove sub-regiões; b) estimar o índice EI_{30} mensal, no período de 1969 a 2005, para os municípios de Ferros e Guanhães e c) determinar o tempo de retorno dos índices mensais e anuais de erosividade.

MATERIALE MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas experimentais de plantios de eucalipto da Celulose Nipo Brasileira S. A. (CENIBRA S. A.), localizadas em nove sub-regiões distintas (Alfié, Cataquinho, Cocais, Coqueiro, Cordeiros, Fábrica, Gaspar, Lagoa Grande e Rubro Negro), no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais (Tabela 1). Segundo Köeppen, os seguintes tipos climáticos podem ocorrer na área de estudo: Aw – clima tropical, com inverno seco e estação chuvosa no verão. A estação seca ocorre entre os meses de maio e setembro; Cwa – clima de inverno e verão chuvoso. A temperatura do mês mais frio é inferior a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e a do mês mais quente ultrapassa $22 \text{ }^\circ\text{C}$. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro; e Cwb – clima mesotérmico de inverno seco e verão fresco, com temperaturas abaixo de $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Esse clima é característico de áreas de maior altitude (Celulose Nipo Brasileira - Cenibra, 2001).

Tabela 1 – Algumas características ambientais das áreas experimentais.

Município	Sub-região	Latitude	Longitude	Altitude	Clima
				m	Köppen
Sabinópolis	Lagoa Grande	18°39'58"S	42°55'16"W	1.012	Cwa
Peçanha	Cataquinho	18°42'24"S	42°29'25"W	1.015	Cwa
Antonio Dias	Cocais	19°29'19"S	42°51'54"W	1.273	Cwb
São Dom. Prata	Alfié	19°46'28"S	42°54'24"W	1.143	Cwb
Santa Bárbara	Gaspar	19°59'00"S	43°18'19"W	847	Cwb
Belo Oriente	Fábrica	19°18'50"S	42°23'38"W	240	Aw
Sto. Ant. do Itambé	Coqueiro	18°33'17"S	43°10'03"W	993	Cwa
Açucena	Rubro Negro	19°02'25"S	42°25'48"W	800	Aw
Caratinga	Cordeiros	19°33'20"S	42°23'42"W	310	Aw

Fonte: Cenibra (2004), com adaptações.

Os solos dominantes são os Latossolos, seguidos pelos Cambissolos, o relevo é principalmente ondulado e forte ondulado, a vegetação nativa é representada pela floresta subcaducifólia e o uso atual da terra é com pastagens e eucalipto (Cenibra, 2001).

Para o estudo, foram utilizados dados pluviométricos correspondentes ao ano de 2005, obtidos de estações climatológicas (Figura 1), distribuídas nos municípios e sub-regiões de abrangência do estudo (Tabela 1), que geraram dados a cada 5 minutos. A partir das precipitações, foram calculadas as energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de 6 horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h⁻¹, em 15 minutos ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram consideradas não erosivas (Maria, 1994). Para o cálculo da energia cinética (Ec), utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958):

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I$$

em que:

Ec = energia cinética (MJ ha⁻¹ mm⁻¹); e I = intensidade média da chuva (mm h⁻¹).

O índice de erosividade EI₃₀ (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) de cada chuva individual erosiva foi calculado pela multiplicação da energia cinética pela sua intensidade máxima em 30 minutos (mm h⁻¹). O EI₃₀ mensal foi calculado pelo somatório dos valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorreram em cada mês do ano e cuja soma, por sua vez, caracterizou o EI₃₀ anual (Wischmeier & Smith, 1958).

Foram acumulados os dados diários de precipitação pluvial do período compreendido entre 1969 e 2005, para Ferros e Guanhães, extraídos do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). A precipitação mensal foi constituída do somatório das precipitações diárias que ocorreram em determinado mês. Dessa forma, puderam ser obtidos os valores mensais da precipitação pluvial, para todos os meses de todos os anos da série.

Para se obter uma estimativa aproximada do índice de erosividade mensal, foi determinado o coeficiente da chuva, conforme proposto por Fournier (1956) e modificado por Lombardi Neto (1977):

$$Rc = p^2 P^{-1}$$

em que:

Rc = coeficiente de chuva (mm); p = precipitação média mensal (mm); e P = precipitação média anual (mm).

Análises de regressão entre os valores do índice de erosividade EI₃₀ mensal (variável dependente y), calculados com os dados pluviométricos obtidos das nove sub-regiões, e os valores do coeficiente de chuva (variável independente x), determinados com dados do ano de 2005, permitiram obter a seguinte equação do tipo potencial, com seu respectivo coeficiente de correlação:

$$EI_{30} = 137,09 (Rc)^{0,7717} \quad R^2 = 0,90$$

Tal equação permitiu obter valores mensais do índice EI₃₀ para as séries históricas de precipitação pluvial das regiões de Ferros e Guanhães.

Para verificar o tempo de retorno dos valores mensais e anuais de erosividade obtidos na série histórica das regiões estudadas, utilizou-se a distribuição Log-normal com 2 parâmetros.

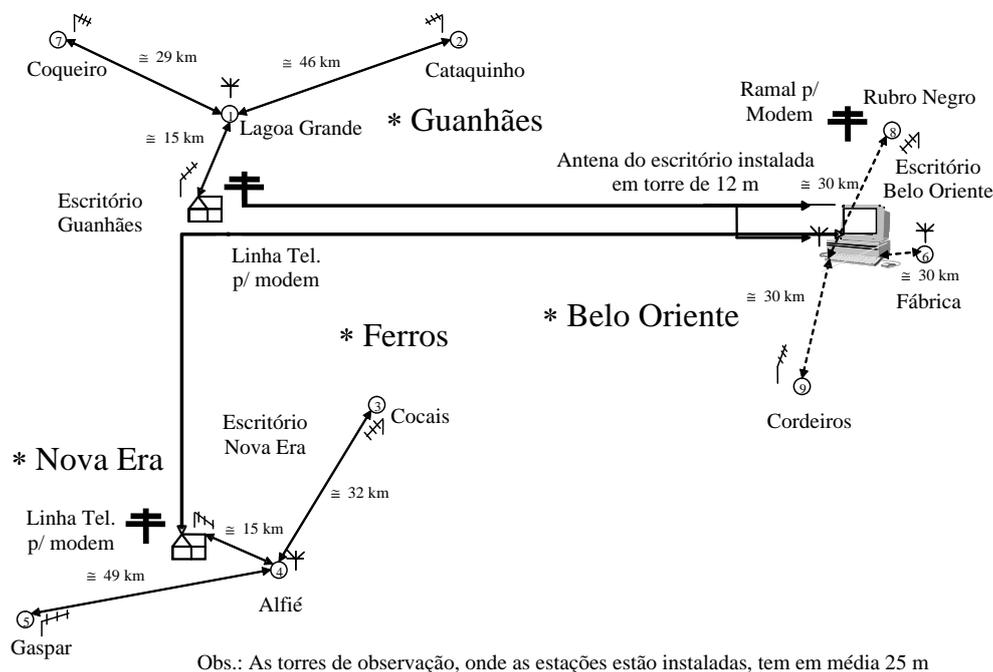


Figura 1 – Esquema de transmissão automática de dados climatológicos da área experimental (Cenibra, 2004).

A probabilidade, ou estimativa da frequência, foi obtida com base na equação geral de Chow (1954), que, na forma logarítmica, pode ser expressa como:

$$\ln X_{TR} = \mu_n + K_{TR} \cdot \sigma_n$$

Em que: K_{TR} , é a variável reduzida padronizada que, no caso desta distribuição, consiste nos valores de z da distribuição Normal (Haan, 1979). Os valores de cada erosividade associado à respectiva probabilidade de excedência podem ser obtidos por:

$$X_{TR} = e^{\mu_n + z \cdot \sigma_n}$$

A frequência observada foi determinada por meio da seguinte fórmula:

$$F_{obs} = \frac{m}{(n+1)}$$

em que:

F_{obs} = frequência observada; m = ordem do valor da amostra ordenada; e n = tamanho da amostra.

O tempo de retorno (TR) pode ser estimado por:

$$TR = \frac{1}{F_{obs}(X_{TR} \geq x)} \cong \frac{1}{\text{Prob}(X_{TR} \geq x)}$$

em que: TR é obtido em anos e $\text{Prob}(X_{TR} \geq x)$ é a probabilidade de excedência, ou seja, do valor de X ser igualado ou superado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição dos valores da precipitação pluvial e do índice de erosividade EI_{30} , observados no ano de 2005, para as nove sub-regiões, pode ser verificado na Tabela 2. De acordo com a distribuição dos valores, verifica-se uma precipitação média anual de 1.564,5 mm para as regiões. Entre as sub-regiões, a precipitação anual variou de 1.284,1 a 1.878,9 mm, destacando-se Rubro Negro e Fábrica.

Na Tabela 3, podem ser verificadas as distribuições dos valores mensais da precipitação pluvial no período de estudo. Observa-se que os meses mais críticos estão compreendidos no período inicial (janeiro a março) e final (novembro e dezembro) de 2005, os quais contribuíram, em média, com 82,9% da precipitação anual. Resultados semelhantes foram observados por Val et al. (1986), para Lavras, MG,

atualizados por Carvalho et al. (1989) e Aquino (2005), para Mococa, SP; Bertol (1993), para Lages, SC; Roque et al. (2001) para o município de Piraju, SP; e Martins (2005), para a região de Aracruz, ES.

Em relação ao índice de erosividade anual para as sub-regiões estudadas, verificou-se uma erosividade média de 12.913 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Entre as sub-regiões, a erosividade anual variou de 8.243 a 26.676 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, destacando-se as regiões de Alfíe e Fábrica, respectivamente, com valores considerados muito altos, segundo a classificação de Foster et al. (1981) modificada.

Na Tabela 3, podem ser verificadas as distribuições dos valores mensais do índice de erosividade EI₃₀, no período de estudo. Observa-se que meses considerados críticos contribuíram, em média, com 88,6% da erosividade anual. Por serem os meses de maiores precipitações o planejamento do manejo nos plantios, deve-se considerar que nesses meses podem ocorrer grandes perdas de solo e água em função dos elevados valores de erosividade da chuva e também da concentração de chuvas erosivas nesses períodos do ano. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2005) a porcentagem do valor anual de EI que ocorre durante um período do ano quando o solo está sendo cultivado é bastante vulnerável à erosividade da chuva e difere significativamente de local para local.

Os valores de EI₃₀ encontrados para as sub-regiões em estudo estão acima dos encontrados por vários pesquisadores (Carvalho et al., 1989; Bertol, 1993, 1994; Lopes & Brito, 1993; Silva et al., 1997; Dias

& Silva, 2003; Moreti et al., 2003; Silva & Dias, 2003). Porém, o valor médio de erosividade se enquadra dentro da faixa de variação de 3.116 a 20.035 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, encontrada por Silva (2004) por meio de mapa de erosividade da chuva para o Brasil, e superior à faixa estabelecida para o país que é de 5.000 a 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, de acordo com estudos de Cogo (1988).

Os valores do índice EI₃₀, mensal e anual estimados e o tempo de retorno para as regiões de Ferros e Guanhães, são mostrados na Tabela 4.

Observa-se que, para ambas as regiões estudadas, os valores máximos de erosividade mensal estão concentrados no período inicial (janeiro a março) e final (novembro e dezembro) do ano de 2005, principalmente para a região de Guanhães. Os valores mínimos estão concentrados no período de abril a outubro. Pode-se verificar também que, para os meses que apresentaram valores máximos, o tempo de retorno para as erosividades mensais consideradas críticas são acima de 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, está entre 1,1 e 2 anos, para ambas as regiões. Já, para os meses que apresentaram valores mínimos de erosividade, o tempo de retorno variou entre os meses para cada região.

Em relação aos valores anuais de erosividade, verifica-se que, para ambas as regiões, as erosividades estimadas são consideradas altas. De acordo com Foster et al. (1981), erosividades anuais maiores que 8.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ são consideradas muito altas.

Tabela 2 – Distribuição dos valores da precipitação pluvial e do índice de erosividade, EI₃₀, observadas, no ano 2005, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.

Sub-região	Precipitação pluvial mm ano ⁻¹	Erosividade MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
Alfíe	1.411,00	8.243
Cataquinho	1.580,90	13.018
Cocais	1.545,40	9.191
Coqueiro	1.757,70	12.046
Cordeiros	1.563,30	13.584
Fábrica	1.878,90	26.676
Gaspar	1.681,40	11.042
Lagoa Grande	1.377,60	8.397
Rubro Negro	1.284,10	14.019
Média	1.564,50	12.913

Tabela 3 – Distribuição dos valores mensais de precipitação pluvial e erosividade no ano de 2005, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.

Meses	Sub-regiões								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Precipitação Pluvial									
----- mm ano ⁻¹ -----									
Jan.	286,3	364,8	284,2	293,6	316,2	310,4	246,6	363,5	300,7
Fev.	182,9	181,6	157,5	207,0	210,1	522,0	204,7	186,9	16,0
Mar.	290,1	223,3	365,5	402,3	193,0	170,4	316,5	159,8	5,3
Abr.	25,4	75,5	50,3	47,2	51,3	74,4	19,1	37,3	72,6
Mai.	39,1	24,6	25,4	39,4	64,0	68,1	61,0	30,2	56,4
Jun.	32,8	41,9	17,8	8,1	35,8	25,7	32,0	15,5	58,9
Jul.	1,0	27,7	9,7	10,4	2,0	3,3	9,4	6,6	12,7
Ago.	3,8	17,3	3,6	3,6	22,4	8,4	6,4	9,1	17,3
Set.	72,6	35,8	87,1	51,8	65,1	59,7	112,8	26,7	62,7
Out.	50,8	91,4	30,7	68,1	47,0	40,4	57,66	77,7	64,3
Nov.	256,5	257,8	254,0	296,2	271,7	281,9	325,1	250,2	300,2
Dez.	169,7	239,3	259,6	330,0	284,7	314,2	290,1	214,1	317,0
Total	1.411,0	1.581,0	1.545,4	1.757,7	1.563,3	1.878,9	1.681,4	1.377,6	1.284,1
Erosividade									
----- MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹ -----									
Jan.	3.432	3.589	2.636	2.790	3.390	3.041	1.859	4.330	6.594
Fev.	1.887	1.833	1.099	1.172	3.485	16.357	1.853	1.635	27
Mar.	474	2.123	2.573	3.816	507	192	1.867	560	0
Abr.	38	1.745	50	117	94	358	6	81	879
Mai.	117	3	3	351	707	828	385	150	110
Jun.	124	14	6	0	385	67	133	0	145
Jul.	0	0	0	0	0	0	29	0	0
Ago.	6	3	0	0	214	48	8	3	4
Set.	203	128	415	448	339	411	728	47	62
Out.	215	1.027	33	331	242	213	480	427	257
Nov.	1.102	1.462	1.125	1.412	1.132	1.024	2.122	685	833
Dez.	645	1.091	1.251	1.609	3.089	4.137	1.572	479	5.108
Total	8.243	13.018	9.191	12.046	13.584	26.676	11.042	8.397	14.019

R1: Alfíé; R2: Cataquinho; R3: Cocais; R4: Coqueiro; R5: Cordeiros; R6: Fábrica; R7: Gaspar; R8: Lagoa Grande; R9: Rubro Negro.

Os valores do tempo de retorno, determinados para os menores índices de erosividade anual observados para Ferros (5.508 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) e Guanhães (5.542 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) foram de um ano. Para os maiores índices, 19.632 e 22.931 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, foram de 150 anos. Portanto, é esperado ocorrer, nestes locais, um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 19.632 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para Ferros e 22.931 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para Guanhães,

pelo menos uma vez a cada 150 anos. Roque et al. (2001) obtiveram índices de erosividade anual, esperados para diferentes tempos de retorno, verificando para 100 anos, valores de 14.292 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Dias & Silva (2003) observaram, para um tempo de retorno de 50 anos, valor de erosividade anual de 5.950 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, enquanto Martins (2005) constatou, para uma erosividade de 11.858 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, um tempo de retorno de 215,4 anos.

Tabela 4 – Tempo de retorno (TR) dos valores dos índices mensais e anuais de erosividade EI_{30} de Ferros e Guanhães, MG, durante o período de 1969 a 2005.

TR	Mês												Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Anos	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ período ⁻¹												
Ferros													
1	12	1	3	0	0	0	*	0	0	1	*	*	5.508
1,1	321	73	114	14	5	0	*	0	2	51	*	*	9.277
1,2	508	130	192	29	9	1	*	1	4	90	*	*	9.977
1,5	991	303	414	77	23	3	*	3	17	206	*	*	11.096
2	1.687	596	763	171	47	7	*	8	50	397	*	*	12.075
3	2.872	1.172	1.406	378	97	20	*	21	148	765	*	*	13.142
4	3.914	1.737	2.005	600	148	37	*	38	278	1.121	*	*	13.804
5	4.771	2.233	2.517	806	193	53	*	55	417	1.431	*	*	14.246
10	8.224	4.459	4.702	1.816	405	150	*	149	1.271	2.801	*	*	15.534
30	16.245	10.583	10.271	5.013	1.022	545	*	524	5.112	6.487	*	*	17.309
50	21.594	15.191	14.239	7.664	1.505	935	*	886	9.150	9.217	*	*	18.110
100	30.161	23.221	20.895	12.616	2.370	1.763	*	1.642	18.123	13.919	*	*	19.099
150	35.867	28.935	25.492	16.336	3.000	2.540	*	2.261	25.829	17.236	*	*	19.632
Guanhães													
1	5	8	2	1	0	0	0	0	0	4	3	*	5.542
1,1	217	156	112	38	3	0	0	0	2	107	188	*	9.924
1,2	370	236	195	63	6	1	1	1	4	172	343	*	10.765
1,5	805	433	434	131	16	3	3	2	16	345	828	*	12.121
2	1.496	703	822	235	37	8	7	6	46	599	1.668	*	13.323
3	2.779	1.141	1.558	423	82	21	20	18	130	1.042	3.360	*	14.644
4	3.983	1.512	2.258	595	132	37	34	34	238	1.436	5.050	*	15.471
5	5.016	1.811	2.864	740	178	54	49	51	351	1.764	6.554	*	16.025
10	9.452	2.971	5.506	1.350	406	152	132	154	1.016	3.107	13.423	*	17.653
30	20.872	5.519	12.465	2.862	1.138	553	453	607	3.837	6.302	32.888	*	19.921
50	29.069	7.150	17.541	3.918	1.752	948	759	1.078	6.689	8.470	47.840	*	20.954
100	42.886	9.690	26.197	5.665	2.908	1.784	1.392	2.116	12.844	11.986	74.277	*	22.236
150	52.467	11.344	32.253	6.858	3.782	2.477	1.905	3.001	18.014	14.349	93.308	*	22.931

* Valores que não apresentaram adequabilidade.

CONCLUSÕES

Os meses considerados mais críticos em relação à erosão hídrica, em razão da ocorrência de chuvas, são de novembro a março, para as sub-regiões estudadas do Vale do Rio Doce, MG.

A erosividade média anual das chuvas foi de 12.912 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo classificada como muito alta. Da mesma forma, entre as sub-regiões, as erosividades foram consideradas muito altas no período de estudo.

A erosividade anual de Ferros e Guanhães para os tempos de retorno foi consideradas alta a muito alta. Em média, os valores mensais de erosividade para os meses de novembro a março são considerados críticos.

AGRADECIMENTOS

A CENIBRA S. A. e ao pesquisador Dr. Fernando Palha Leite, pelo apoio e concessão dos dados de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, R.F. **Padrões de chuvas e variabilidade espacial da erosividade para o Sul do Estado de Minas Gerais**. 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1453-1458, set. 1994.

- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC): 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.515-521, abr. 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.
- CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N. ; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. de. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1679-1687, nov./dez., 2007.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI30. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.243-249, maio/ago. 1989.
- CELULOSE NIPO BRASILEIRA S.A. **Levantamento semidetalhado de solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis**. Ipatinga, 2001. v.1, 101p.
- CELULOSE NIPO BRASILEIRA S.A. **Sistema de monitoramento climático cenibra**. Ipatinga, 2004. 10p.
- CHOW, V.T. The log-probability law and its engineering applications. **Proceedings ASCE**, New York, v.80, n.536, 1954.
- COGO, N.P. Conceitos e princípios envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.251-262.
- DEDECEK, R.A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1431-1438, dez. 1988.
- DIAS, A.S.; SILVA, J.R.C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): I., distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno: 1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.335-345, mar./abr. 2003.
- 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**, Ankeny, v.36, n.6, p.355-359, Nov./Dec. 1981.
- FOURNIER, F. **The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff**. [S.l.]: Association Hydrologic Int. Public, 1956. 6p.
- FREITAS, A.J. et al. **Equações de chuvas intensas no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa, MG: UFV, 2001. 65p.
- HAAN, C.T. **Statistical methods in hydrology**. 2.ed. Ames: The Iowa State University, 1979. 377p.
- HUDSON, N. **Soil conservation**. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 1971. 320p.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; GOMES, N. M.; MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.842-850, maio, jun., 2007.
- LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria: III., effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, Amsterdam, v.16, n.5, p.389-401, 1976.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: _____. **Soil erosion research methods**. Ankeny: SWCS, 1988. p.141-160.
- LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.26-59.
- LOMBARDI NETO, R. **Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53p. Dissertação (Mestrado)-Purdue University, West Lafayette.
- LOPES, P.R.C.; BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.129-133, jan./abr. 1993.
- MARIA, I.C. de. Cálculo da erosividade da chuva. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas, 1994.

- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N. Erosividade das chuvas de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.285-288, maio 1998.
- MARTINS, S.G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES**. 2005. 106p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- MORETI, D.; CARVALHO, M.P.; MANNIGEL, A.R.; MEDEIROS, L.R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Miguel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.713-725, jul./ago. 2003.
- RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. de; LIMA, J. M. de; SILVA, M. L. N.; Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para a região de Barbacena, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.5, p.1297-1302, set./out., 2007.
- ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P.; PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente da chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.147-156, jan./mar. 2001.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; DMINSTER, T.W.; BARNES, K.K. **Soil and water conservation engineering**. 2.ed. New York: J.Wiley, 1966. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series).
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v.57, n.3, p.251-259, Aug. 2004.
- SILVA, J.R.C.; DIAS, A.S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): II., correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.347-354, abr./jun. 2003.
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia (GO). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.977-985, out. 1997.
- VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C.; DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras – MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v.10, n.2, p.199-209, jul./dez. 1986.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.39, n.2, p.285-291, 1958.