

Erosividade da chuva para o bioma Pantanal

Rainfall erosivity for Pantanal biome

Daniel Okamoto Machado¹, Teodorico Alves Sobrinho², Aline da Silva Ribeiro³,
Carlos Nobuyoshi Ide⁴, Paulo Tarso Sanches Oliveira⁵

RESUMO

ABSTRACT

A escassez de dados pluviográficos na região do Pantanal fez com que muitos autores utilizassem equações de regressão obtidas em outras regiões do Brasil para calcular o Fator R da Equação Universal de Perda de Solo (USLE). O presente estudo define equações para a previsão da erosividade em região do bioma Pantanal, correlacionando a erosividade das chuvas calculada pelo índice EI_{30} e o coeficiente de chuva (Rc). A equação desenvolvida, do tipo potencial, apresenta consistência e correlação significativa com os dados observados, obtendo valor de coeficiente de determinação de 97%. Portanto, a equação de erosividade proposta pode ser utilizada para estimativa do fator R da USLE a partir dos dados mensais e anuais de precipitação da região e de outras regiões com características climáticas semelhantes.

The scarcity of pluviograph data in the Pantanal zone forced many researchers to use regression equations obtained in others regions of Brazil to calculate the R factor of Universal Soil Loss Equation (USLE). This study defines a model to predict the erosivity of the Pantanal Biome correlating the calculated rainfall erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient (Rc). The model showed a significant correlation with the observed data, yielding coefficient of determination of 97%. Therefore, the rainfall erosivity model proposed can be used to estimate the R Factor of USLE data from monthly and annual precipitation for the region and other regions with similar climatic characteristics.

Palavras-chave: perda de solo; erosividade; conservação do solo; erosão.

Keywords: soil loss; erosivity; soil conservation; erosion.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem proporcionar alterações nas características da chuva, constituindo, assim, preocupação para a conservação do solo (MEUSBURGER *et al.*, 2012). Segundo Collinschonn, Tucci e Clarke (2001), a região da bacia do Rio Paraguai, a qual abrange áreas dos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e três países vizinhos: Argentina, Paraguai e Bolívia, sofreu flutuações climáticas nos últimos tempos, com modificações dos padrões de precipitação.

A Bacia do Alto Paraguai (BAP), com área de 140.000 km² de planície de inundação, pela sua característica e localização, destaca-se como importante área do Pantanal Sul-mato-grossense (HARRIS *et al.*, 2005; PAZ *et al.*, 2011). A BAP é definida pela seção em que o Rio Paraguai recebe a contribuição do Rio Apa, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai. O Pantanal caracteriza-se por ser de região baixa,

localizada no centro da bacia, onde os rios inundam a planície e alimentam um intrincado sistema de drenagem que inclui lagos extensos, cursos d'água divergentes e áreas de escoamento e inundação sazonal (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2002).

Este sistema vem sendo ameaçado pelas agroindústrias e reservatórios de hidrelétricas que modificam os padrões de vazões e a carga de sedimentos dos rios (JUNK & CUNHA, 2005). As atividades agropecuárias na área vêm aumentando ainda o suprimento de sedimento do Pantanal, transformando a erosão do solo em problema ambiental nessa bacia (ASSINE, 2005). Segundo Salles e Poesen (2000), a perda de solo por erosão intersulcos está intimamente ligada às propriedades da precipitação, devido à energia do impacto das gotas de chuva na superfície do solo e pela sua contribuição para o escoamento superficial. Dentre os fatores que regulam a erosão do solo, a erosividade da chuva

¹Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) - Campo Grande (MS), Brasil.

²Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor associado da UFMS. Bolsista do CNPq - Viçosa (MG), Brasil.

³Engenheira Ambiental pela UFMS. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Doutoranda em Engenharia Hidráulica Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP). Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/SP) - São Paulo (SP), Brasil.

⁴Engenheiro Civil pela UFMS. Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor associado da UFMS - Campo Grande (MS), Brasil.

⁵Doutorando em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP - São Carlos (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Daniel Okamoto Machado - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Cidade Universitária, s/n - Caixa Postal 549 - 79070-900 - Campo Grande (MS), Brasil - E-mail: okamachado@gmail.com

Recebido: 18/07/12 - **Aceito:** 07/01/14 - **Reg. ABES:** 474

tem maior importância por ser difícil de prever e de ser controlada pelo homem (ANGULO-MARTÍNEZ & BEGUERÍA, 2009). A erosividade da chuva expressa a sua capacidade de causar erosão em área sem proteção, sendo representada pelo Fator R da Equação Universal da Perda de Solo (USLE) (SILVA; WIECHETECK; ZUERCHER, 2011).

Wischmeier (1959) definiu a erosividade como “o produto da energia cinética de determinada chuva (E_c) pela sua máxima intensidade em 30 minutos (I_{30})”. Entretanto, a utilização dessa metodologia depende do conhecimento da distribuição horária ou sub-horária da intensidade de chuva. Dados de intensidade de chuva são obtidos por pluviógrafos ou por pluviômetros com *datalogger*. Porém, registros desse tipo ainda são escassos em muitas partes do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento (YU; HASHIM; EUSOF, 2001). Portanto, a capacidade de se estimar a erosividade através de dados mensais e anuais de precipitação é fundamental, considerando a disponibilidade desses registros para longos períodos.

O coeficiente de chuva (R_c), modificado por Lombardi Neto (1977), expressa a relação entre o quadrado da precipitação média mensal (p) e a média anual total (P), para cada mês do ano, sendo esses dados comumente registrados em estações meteorológicas. Apesar da irregularidade temporal da chuva, considerada por Mikos, Jost e Petkovsek (2006) como obstáculo para a utilização desse tipo de metodologia, o R_c demonstra satisfatória relação com a erosividade da chuva (CASSOL *et al.*, 2008).

Alguns pesquisadores (SORIANO; GALDINO; CLARKE, 2001; GALDINO; PADOVANI; SORIANO, 2004; SILVA, 2004) utilizam as equações desenvolvidas para Campinas por Lombardi Neto (1977), modificadas por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), apesar de essa localidade ter características distintas das observadas para a região da BAP. Isso ocorre pela escassez ou mesmo inexistência de série de dados oficiais de intensidade de chuva nessa região do Pantanal.

Assim, o presente estudo teve por objetivo desenvolver e calibrar equações para estimativa da erosividade da chuva para a BAP, correlacionando a erosividade das chuvas calculada pelo índice EI_{30} e o coeficiente de chuva (R_c).

METODOLOGIA

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Taquarizinho, sub-bacia do Rio Taquari, uma das áreas mais impactadas do bioma Pantanal. A bacia do Rio Taquari é, por sua vez, a maior sub-bacia da BAP, localizada no Pantanal Sul-mato-grossense. A bacia do Rio Taquarizinho está localizada entre as latitudes 18° e 20° S e as longitudes 54° e 55°30' W. A área está posicionada entre as cidades de Coxim e São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul, região dos planaltos com cotas acima de 200 m. A região possui, predominantemente, atividade agropecuária. Em geral, se cultiva soja e milho no verão, com entressafras de milho e sorgo para cobertura do solo, e pecuária extensiva de corte como atividade principal

(IBGE, 2010). Foram utilizados registros pluviométricos de uma série de quatro anos devido ao escasso histórico de informações climáticas no Brasil, como justificado por Oliveira *et al.* (2011). Os dados foram obtidos através de três pluviógrafos com *datalogger* instalados na bacia, tendo como fonte resultados de pesquisa do grupo iniciado no local em 2005.

A erosividade das chuvas foi determinada pelo índice EI_{30} para cada chuva individual erosiva, de acordo com critérios de chuva individual utilizados por Cassol *et al.* (2008). A energia cinética unitária, transformada por Foster *et al.* (1981) para o sistema internacional e apresentada em Lombardi Neto e Mondehauer (1992), foi determinada para cada segmento uniforme de chuva (Equações 1 e 2).

$$e=0,119+0,0873 \log_{10} i; \quad \text{para } i \leq 76 \text{ mm.h}^{-1} \quad (1)$$

$$e=0,283i; \quad \text{para } i > 76 \text{ mm.h}^{-1} \quad (2)$$

Onde,

e : energia cinética unitária ($\text{MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$);

i : intensidade da chuva (mm.h^{-1}).

A energia cinética do segmento, em MJ.ha^{-1} , corresponde ao produto entre a energia cinética unitária e a quantidade de chuva, no respectivo segmento uniforme. A energia cinética total da chuva (E_c) é obtida pela soma da energia cinética de cada segmento uniforme. A erosividade da chuva é calculada pela Equação 3.

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30} \quad (3)$$

Onde,

EI_{30} : índice de erosividade da chuva erosiva individual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$);

E_c : energia cinética total da chuva em (MJ.ha^{-1});

I_{30} : intensidade máxima da chuva em período contínuo de 30 min de chuva (mm h^{-1}).

A erosividade mensal das chuvas é obtida somando-se os índices EI_{30} das chuvas individuais erosivas no mês e a erosividade anual se

Tabela 1 – Classificação da erosividade das chuvas pelo índice R.

Erosividade ($\text{MJ mm year}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Classificação da erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008), modificado para o SI métrico de unidades segundo Foster *et al.* (1981).

obtem pela soma dos índices mensais EI_{30} , índice este que representa os valores observados. Os resultados obtidos foram classificados de acordo com as classes propostas por Carvalho (2008) (Tabela 1).

Os registros pluviométricos da série de dados entre 2006 e 2009 foram utilizados para estabelecer equações a partir das regressões linear e potencial, correlacionando os valores observados e o coeficiente de chuva proposto por Lombardi Neto (1977). A calibração das equações foi realizada pelo método de otimização *Simplex*. Além disso, para efeito de comparação, utilizou-se a equação desenvolvida por Lombardi Neto e Moudenhauer (1992) para Campinas com a mesma série de dados, uma vez que Silva (2004) sugeriu a aplicação dessa equação para a região da BAP.

A qualidade do ajuste das equações foi avaliada pelos coeficientes: de determinação (R^2); de Nash-Sutcliffe (COE) (Equação 4); de massa residual (CMR) (Equação 5); de ajuste (CA) (Equação 6) e pela eficiência (EF) (Equação 7).

$$COE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right]^2 \quad (4)$$

$$CMR = \left(\frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \quad (5)$$

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (6)$$

$$EF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{P})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (7)$$

Onde,

O_i : valores observados;

P_i : valores calculados;

n : número de observações;

\bar{O} : média aritmética das observações;

\bar{P} : média aritmética dos valores estimados.

A análise foi feita considerando os seguintes limites de valores: quanto mais próximo de zero o valor de CMR e mais próximo de 1 os valores de COE e CA, melhor o ajuste. O coeficiente de Nash-Sutcliffe prioriza a eficiência dos valores estimados mais altos e pode variar de menos infinito a 1. A eficiência igual ao valor unitário corresponde à combinação perfeita da equação aos dados observados e eficiência zero indica que as previsões são tão precisas quanto a média dos valores observados. Eficiência negativa ocorre quando a média observada é melhor do que a equação (SCHAEFLI & GUPTA, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pluviosidade

A precipitação média anual na área estudada, no período de 2006 a 2009, foi de 1.371 mm (Tabela 2), com variação anual de 1.153 mm (2007) até 1.699 mm (2009). Uma série de registros com mais de 60 anos de dados pluviométricos, de região próxima à área estudada, demonstra que a pluviosidade anual na região varia entre 1.150 e 1.500 mm (COLLINSCHONN; TUCCI; CLARKE, 2001). Segundo Renard, Foster e Weesies (1997), poucos eventos de chuvas torrenciais são responsáveis pelas altas taxas de sedimentos, eventos estes não identificados

Tabela 2 - Valores de precipitação pluvial (mm) no Rio Taquarizinho: acumulados mensais, acumulados anuais e médios dos acumulados mensais e anuais do período de 2006 a 2009, com suas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2006	-	-	-	-	81	4	0	21	90	99	168	155	-
2007	436	269	71	27	75	1	43	1	1	1	211	16	1153
2008	232	216	111	90	59	4	0	5	18	192	126	258	1314
2009	161	213	210	61	29	18	61	53	64	223	189	415	1699
Média	277	233	131	60	61	7	26	20	43	129	174	211	1371
DP	143	32	72	31	23	8	31	24	41	100	36	169	-
CV(%)	52	14	55	52	38	118	119	118	95	78	21	80	-
Máx	436	270	210	62	81	18	61	53	90	223	211	415	436
Mín	232	217	111	28	29	4	0	6	19	1	126	16	0

DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Máx: valor máximo da série; Mín: valor mínimo da série.

Tabela 3 - Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade EI30 (MJ.mm/ha.h) para a bacia do Rio Taquarizinho e suas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2006	-	-	-	-	314	0	0	17	271	257	1.021	965	-
2007	4.590	2.135	876	61	266	0	461	0	0	0	2.586	2	10.976
2008	934	1.352	330	314	207	0	0	0	0	1.403	984	2.637	8.159
2009	936	1.950	2.128	477	128	28	1.035	129	219	1.781	1.679	3.927	14.418
Média	2.153	1.812	1.111	284	229	7	374	37	123	860	1.568	1.883	10.440
DP	2.110	410	922	210	80	14	492	62	143	865	750	1.744	-
CV(%)	98	23	83	74	35	200	131	170	117	101	48	93	-
Máx	4.590	2.135	2.128	477	314	28	1.035	129	271	1.781	2.586	3.927	4.590
Mín	934	1.352	330	61	128	0	0	0	0	0	984	2	0

DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Máx: valor máximo da série; Mín: valor mínimo da série.

em séries históricas pequenas. Entretanto, os dados de precipitação do presente estudo mostraram-se uma série representativa, englobando os valores mínimos e máximos de precipitação da região. Em relação às médias, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram maiores valores de pluviosidade média, respectivamente 211, 277 e 233 mm de chuva. Por outro lado, observou-se que nos meses de junho, julho e agosto os valores de pluviosidade média mensal foram os menores, respectivamente 7, 26 e 20 mm de chuva (Tabela 2).

Erosividade das chuvas

A erosividade média mensal das chuvas variou de 7 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, no mês de junho, a 2.153 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, no mês de janeiro (Tabela 3). O mês em que ocorreu a maior erosividade foi janeiro de 2007, totalizando 4.590 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, resultado de 436 mm de chuva. No entanto, valores elevados de precipitação anual não necessariamente produzem maiores valores de erosividade. No Estado de Mato Grosso do Sul, a erosividade está associada a concentrações de chuvas em determinado período do ano, devido às características climáticas regionais (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Hoyos, Waylen e Jaramillo (2005) relatam que os elevados valores de erosividade observados em regiões tropicais são causados principalmente pela característica de formação das chuvas convectivas, resultando, assim, em valores elevados de total precipitado, intensidade e energia cinética da chuva.

Com exceção do mês de julho de 2008, nenhum mês da série apresentou zero de chuva (Tabela 2), apesar de vários meses apresentarem erosividade nula (Tabela 3). Isso se deve à ocorrência de chuvas não erosivas no período considerado.

A erosividade média anual das chuvas (Fator R) no período estudado foi de 10.440 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Oliveira *et al.* (2012) verificaram que os valores de erosividade médios anuais para o Estado de Mato Grosso do Sul variam de 5.770 a 13.601 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, com erosividade média anual de 9.318±870 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Dessa forma, pode-se verificar que o valor médio obtido no presente estudo é superior à média encontrada para o Estado. Além disso, pode-se classificar a erosividade média anual obtida como muito forte. A erosividade anual das chuvas apresentou variação, com valores entre 8.159 (forte) e 14.418 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ (muito forte), em 2008 e 2009, respectivamente. A determinação do Fator R possibilita a utilização da USLE no planejamento conservacionista do solo e da água.

Coeficiente de chuva

O coeficiente de determinação (R²) de 0,97, apresentado pela regressão potencial (Figura 1A), indica que 97% da variação dos valores observados foram explicados pelos valores calculados; conseqüentemente, 90% da variação dos valores observados foram explicados pela regressão linear (Figura 1B) e 65% foram explicados pela equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) (Figura 1C).

Vários outros estudos também constataram que o índice pluviométrico possibilita obter resultados satisfatórios no cálculo da erosividade da chuva (RENARD & FREIMUND, 1994; CARVALHO *et al.*, 2005; HICKMANN *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Os parâmetros estatísticos estimados para a regressão linear, potencial e de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) são apresentados na Tabela 4. As três equações apresentaram bom índice para coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE).

O coeficiente de massa residual (CMR) positivo para a equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) indica que essa equação tende a subestimar o índice de erosividade EI_{30} , enquanto que os valores negativos para as regressões linear e potencial indicam que a erosividade é superestimada. Tal índice estatístico também confirma o melhor ajuste da regressão potencial, com desvios mais próximos de zero. O índice de eficiência (EF) apresentou-se aproximadamente igual às três equações, admitindo que não houve diferença entre elas. O coeficiente de ajuste (CA) foi melhor para a regressão potencial, ratificando essa equação como a mais adequada para estimar o índice de erosividade EI_{30} na área de estudo.

Os valores do Fator R da USLE estimados pelas equações linear e potencial, de 10.588 e 10.578 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, respectivamente,

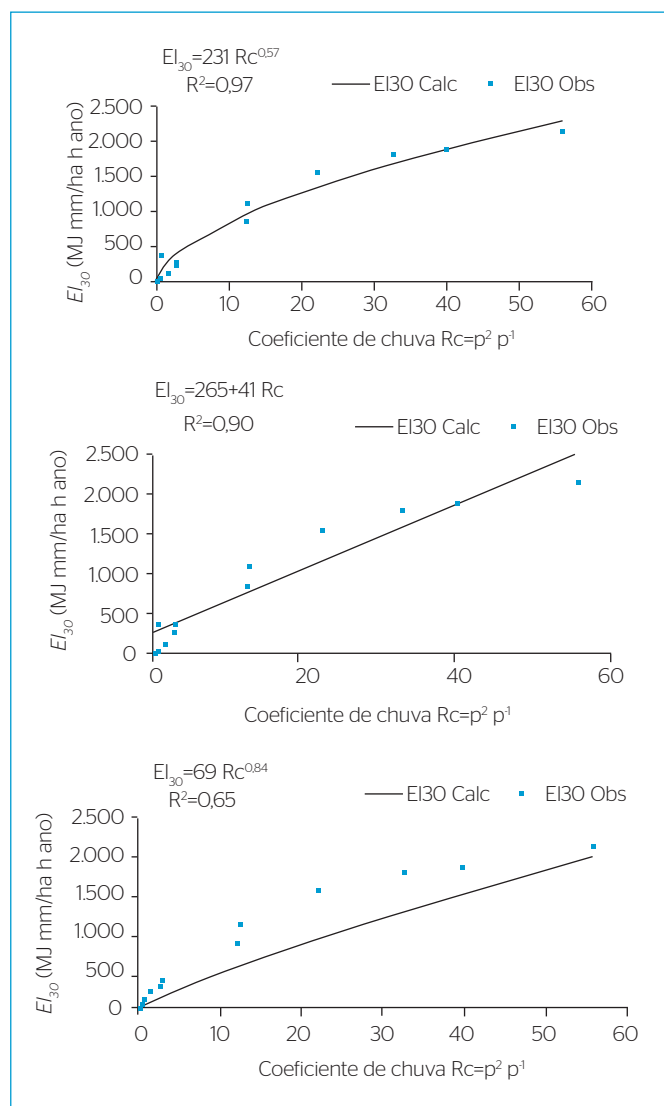


Figura 1 - Curvas de regressão potencial (A), linear (B) e de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) (C), entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva (Rc) para a bacia hidrográfica do Rio Taquarizinho (2006 a 2009).

são próximos do valor observado de 10.440 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ (Tabela 5). Isso permite afirmar que o valor médio anual da erosividade das chuvas pode ser estimado por qualquer uma das equações obtidas por regressão, mesmo que a regressão potencial seja mais adequada. O valor de R de 7.354 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, estimado pela equação Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para a região de estudo, subestimou em aproximadamente 30% os valores observados pelo índice EI_{30} . Oliveira, Wendland e Nearing (2013) verificaram que as equações de regressão para cálculo do Fator R não podem ser extrapoladas de forma generalizada, pois podem superestimar ou subestimar os valores de erosividade, como constatado no presente estudo. Os autores concluíram, ainda, que devem ser realizados estudos locais para aplicação dessas equações. Dessa forma, as equações obtidas no presente estudo podem auxiliar na aplicação da USLE para a região na qual foram desenvolvidas.

Devido à ausência de dados pluviográficos, Galdino, Padovani e Soriano (2004) obtiveram 7.348 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ para o Fator R na bacia do Rio Taquarizinho, com mais de 20 registros anuais completos de estações pluviométricas, utilizando a equação de Lombardi Neto (1977) desenvolvida para Campinas (SP). O valor encontrado foi semelhante ao deste estudo, utilizando a equação modificada (7354 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) entre os anos de 2006 e 2009, podendo-se perceber que a série de quatro anos observados demonstrou-se compatível com a série histórica estudada por aqueles autores.

Quanto à distribuição mensal dos valores de erosividade (Figura 2), de um modo geral, os valores estimados pelas regressões linear e potencial superestimaram os valores abaixo de 500 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ e valores superiores a 2.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$, enquanto a regressão potencial apresentou melhor ajuste para valores intermediários. A equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) apresentou o melhor ajuste para os valores abaixo de 300 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ e valores superiores a 2.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$.

Sugere-se, portanto, que a distribuição mensal da erosividade das chuvas seja estimada pelo uso da regressão potencial,

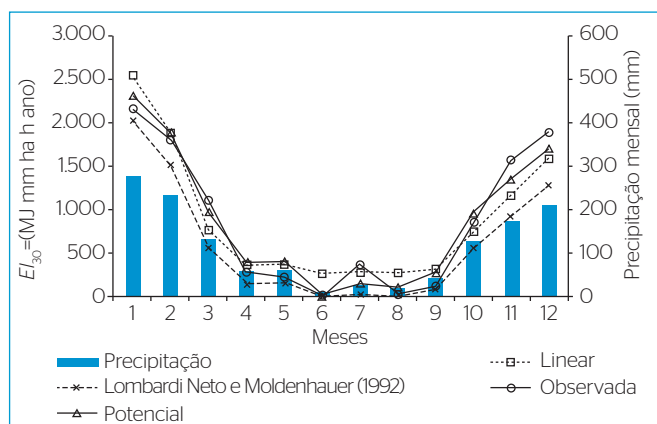
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos estimados para a regressão linear, potencial e de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para a bacia hidrográfica do Rio Taquarizinho (2006 e 2009).

	Linear*	Potencial*	Lombardi Neto e Moldenhauer (1992)
COE	0,90	0,96	0,80
CMR	-0,01	-0,01	0,30
CA	1,13	1,07	1,20
EF	$1,40 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-7}$	$1,30 \times 10^{-7}$

COE: coeficiente de Nash-Sutcliffe; CMR: coeficiente de massa residual; CA: coeficiente de ajuste; EF: eficiência.

Tabela 5 - Regressão linear, potencial e de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) da quantidade de precipitação pluvial (mm) com a erosividade das chuvas (2006 a 2010).

Mês do ano	Precipitação acumulada média mensal	Coefficiente de chuva (Rc)	Índice de erosividade (EI_{30} Obs)	Regressão Linear	Regressão Potencial	Lombardi Neto e Moldenhauer (1992)
	(mm)			(MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)		
jan	277	56	2153	2535	2307	2023
fev	233	40	1812	1879	1898	1519
mar	131	12	1111	772	978	573
abr	60	3	284	371	398	153
maio	61	3	229	377	411	161
jun	7	0	7	266	33	4
jul	26	1	374	285	155	38
ago	20	0	37	277	114	24
set	43	1	123	321	275	89
out	129	12	860	758	962	560
nov	174	22	1568	1159	1353	924
dez	211	33	1883	1589	1695	1286
Total	1371	182	10440	10588	10578	7354

**Figura 2** - Distribuição mensal da precipitação pluvial e erosividades observadas e calculadas pelas regressões linear, potencial e de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

considerando os valores dos coeficientes estatísticos. A utilização da equação potencial dá consistência à relação obtida, uma vez que, se em determinado mês ocorrer zero de precipitação pluvial, a erosividade determinada será zero, fato que não se observará com

a utilização da regressão linear, apresentando erosividade mínima de 265 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.

CONCLUSÕES

O valor médio observado para erosividade (10.440 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) caracteriza elevado potencial erosivo das chuvas na bacia hidrográfica estudada. O período de outubro a março é o mais crítico em relação ao potencial erosivo, concentrando 90% da erosividade anual.

As equações de regressão linear e potencial determinadas no presente estudo apresentam melhores resultados que a equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Portanto, deve-se evitar o uso de equações de regressão de outras regiões para o cálculo do Fator R da USLE, sem considerar as características climáticas da região estudada.

A equação de regressão potencial apresenta melhor resultado e consistência em relação aos valores observados; assim, sugere-se que tal equação seja usada para a estimativa da erosividade das chuvas para região estudada e de outras regiões de características climáticas semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ANGULO-MARTÍNEZ, M. & BEGUERÍA, S. (2009) Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, v. 379, p. 111-21.
- ASSINE, M.L. (2005) River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, v. 70, n. 3-4, p. 357-71.
- CARVALHO, N.O. (2008) Hidrossedimentologia Prática. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. (2005) Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 7-14.
- CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.S.; BUENO, A.C. (2008) Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1239-51.
- COLLINSCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. (2001) Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology*, v. 245, n. 1-4, p. 218-38.
- FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. (1981) Conversion of the universal soil loss equation to SI units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 36, p. 355-59.
- GALDINO, S.L.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A. (2004) Erosão potencial laminar hídrica na Bacia do Alto Taquari. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 2, p. 125-33.
- HARRIS, M.B.; TOMAS, W.; MOURÃO, G.; SILVA, C.J.; GUIMARÃES, E.; SONODA, F.; FACHIM, E. (2005) Safeguarding the Pantanal Wetlands: Threats and Conservation Initiatives. *Conservation Biology*, v. 19, p. 714-20.
- HICKMANN C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; COGO, C.M. (2008) Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 825-31.
- HOYOS, N.; WAYLEN, P.R.; JARAMILLO, A. (2005) Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, v. 314, p. 177-91.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 ago. 2010.
- JUNK, W.J. & CUNHA, C.N. (2005) Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. *Ecological Engineering*, v. 24, n. 4, p. 391-01.
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. (1992) Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, v. 51, p. 189-96.
- LOMBARDI NETO, F. (1977) *Rainfall erosivity - Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil*. MSc Thesis, Purdue University, West Lafayette.
- MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. (2012) Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 16, p. 167-77.
- MIKOS, M.; JOST, D.; PETKOVSEK, G. (2006) Rainfall and runoff erosivity in the alpine climate of north Slovenia: a comparison of different estimation methods. *Hydrological Sciences*, v. 51, n. 1, p. 115-26.
- OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T. RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. (2011) Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. *Water Resources Management*, v. 25, p. 1021-36.
- OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E. (2012) Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v. 32, p. 69-79.
- OLIVEIRA, P.T.S., WENDLAND, E., NEARING, M.A. (2013) Rainfall erosivity in Brazil: A Review. *Catena*, v. 100, p. 139-47.
- PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; PADOVANI, C.R. (2011) Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). *Hydrological Processes*, v. 25, n. 9, p. 1498-16.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (2002) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. (1997) *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook, n. 703, USDA-ARS.
- RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. (1994) Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, v. 157, p. 287-06.
- SALLES, C. & POESEN, J. (2000) Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological Processes*, v. 14, p. 271-82.
- SCHAEFLI, B. & GUPTA, H. (2007) Do Nash values have value? *Hydrological Processes*, v. 21, p. 2075-80.
- SILVA, A.M.; WIECHETECK, M.; ZUERCHER, B. (2011) Spatial assessment of indices for characterizing the erosive force of rainfall in El Salvador Republic. *Environmental Engineering Science*, v. 28, n. 4, p. 309-316.
- SILVA, A.M. (2004) Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v. 57, p. 251-59.
- SORIANO, B.M.A.; GALDINO, S.; CLARKE, R.T. (2001) Evolução da erosividade das chuvas na Bacia do Alto Taquari. Corumbá: Embrapa Pantanal. *Boletim de Pesquisa*, n. 25, 18 p.
- WISCHMEIER, W.H. (1959) A rainfall erosion index for a universal-loss equation. *Soil Science Society of America*, v. 23, p. 246-49.
- YU, B.; HASHIM, G.M.; EUSOF, Z. (2001) Estimating the R-factor with limited rainfall data: A case study from Peninsular Malaysia. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 56, n. 2, p. 101-5.

Errata

Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 2014;19(2): 195

DOI: 10.1590/S1413-41522014000200010

Artigo: Erosividade da chuva para o bioma Pantanal

Na página 195, na titulação da autora Aline da Silva Ribeiro, onde se lê:

Engenheira Ambiental pela UFMS. Mestre e Doutoranda em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) – São Carlos (SP), Brasil.

Leia-se:

Engenheira Ambiental pela UFMS. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Doutoranda em Engenharia Hidráulica Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP). Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/SP) – São Paulo (SP), Brasil.