



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PEDRO LUIZ NAGEL

**FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA-ENXURRADA
CORRELACIONADO COM A EROSÃO E ERODIBILIDADE EM UM
ARGISSOLO VERMELHO DE AQUIDAUANA (MS)**

Ilha Solteira
2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PEDRO LUIZ NAGEL

**FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA-ENXURRADA
CORRELACIONADO COM A EROSÃO E ERODIBILIDADE EM UM
ARGISSOLO VERMELHO DE AQUIDAUANA (MS)**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -
UNESP – Campus de Ilha Solteira, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho
Orientador

Ilha Solteira
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N147f Nagel, Pedro Luiz.
Fator erosividade da chuva – enxurrada correlacionado com a erosão e erodibilidade em um argissolo vermelho de Aquidauana (MS) / Pedro Luiz Nagel. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
75 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2016

Orientador: Morel de Passos e Carvalho

Co-orientador: Elói Panachuki

Inclui bibliografia

1. Perda de solo. 2. Conservação do solo. 3. Índice Ei30. 4. EUPS. 5. EUPSM. 6. RUSLE.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Fator erosividade da chuva-enxurrada correlacionado com a erosão e erodibilidade em um Argissolo Vermelho de Aquidauana (MS)

AUTOR: PEDRO LUIZ NAGEL

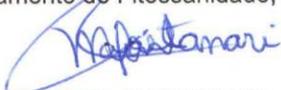
ORIENTADOR: MOREL DE PASSOS E CARVALHO

CO-ORIENTADOR: ELÓI PANACHUKI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



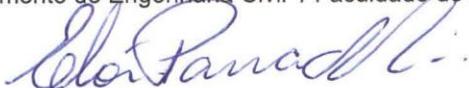
Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / FEIS / UNESP - Ilha Solteira, SP



Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. ELÓI PANACHUKI
Agronomia / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul



Prof. Dr. CASSIANO GARCIA ROQUE
Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 28 de julho de 2016

DEDICO E OFEREÇO

Primeiramente dedico a Deus, meu pai querido e reconheço a sua soberania na minha vida!!!

Para minha querida esposa Suzielly da Silva Adriano Nagel dedico em Amor, e quero expressar a minha gratidão e alegria por estar ao meu lado durante esta caminhada.

Aos meus amados pais Humberto Eloi Nagel e Doralina da Silva Nagel, pela força, companheirismo, amor, compreensão e principalmente confiança de que juntos poderíamos alcançar esta vitória. Também aos meus irmãos queridos André Lucas Nagel e Cristina Gerda Nagel, os quais posso passar esse exemplo no sentido de mais uma conquista na área acadêmica.

A Deus, por me dar a vida, amar, sustentar nas horas difíceis, pela sua infinita misericórdia.

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado, todos os dias me incentivaram e mostraram o verdadeiro valor da família. Muito obrigado por absolutamente tudo o que fizeram para que eu pudesse prosseguir com meus estudos!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, pelos ensinamentos e contribuição à minha formação profissional.

Ao professor Dr. Morel de Passos e Carvalho, pela orientação, paciência, compreensão, confiança e respeito. Ao professor Dr. Elói Panachuki pela disponibilidade e auxílio na condução desta pesquisa. Ao Professor Dr. Alan Rodrigo Panosso pelo auxílio estatístico das análises.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, por todo apoio em infra-estrutura e profissional para realização do presente projeto de pesquisa.

Meu agradecimento especial aos colegas do laboratório Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, unidade de Aquidauana, que sempre me ajudaram durante as atividades no decorrer do trabalho. Em especial ao Wander Cardoso Valim, Sônia Ambrust, Rodrigo Araújo Marques, Roniedison da Silva Menezes, Carlos Henrique Martins, Israel Oliveira, Wilk Almeida, Daniele de Souza Fernandes, Denis Miranda de Castilho, Felipe das Neves Monteiro, Felipe Silva Centenaro, Gabriele Golçalves de Mendonça, Giovana Tetsuya Lopes, Jean Carlos, Joilson Magalhães de Arruda Júnior, Matheus Schmitt, Natascha Saviana Soares e Sérgio Bortoloto Junior.

Aos demais colegas, amigos e funcionários, pelo apoio e colaboração durante o período de trabalho.

Obrigado a todos.

“Levantarei os meus olhos para os montes, de onde vem o meu socorro. O meu socorro vem do Senhor que fez o céu e a terra. Não deixará vacilar o teu pé; aquele que te guarda não tosquenejará. Eis que não tosquenejará nem dormirá o guarda de Israel. O Senhor é quem te guarda; o Senhor é a tua sombra à tua direita. O sol não te molestará de dia nem a lua de noite. O Senhor te guardará de todo o mal; guardará a tua alma. O Senhor guardará a tua entrada e a tua saída, desde agora e para sempre.”

Salmos 121:1-8

RESUMO

Um índice de erosividade da chuva que se destaque e auxilie na estimativa da erosão do solo é altamente desejável. O parâmetro EI_{30} é o mais utilizado no mundo, no entanto, inúmeros trabalhos nacionais têm comprovado a eficácia de modelos que envolvem a enxurrada. O trabalho foi desenvolvido entre dezembro/2012 a agosto/2014, em um Argissolo Vermelho, da unidade experimental de Aquidauana (MS), pertencente à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Foram selecionadas 92 chuvas individuais erosivas para o cálculo dos modelos de erosividade, e coletados os dados de perdas de solo e de enxurrada provenientes da parcela padrão. Parâmetros de erosividade da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada foram analisados por meio de regressão linear simples, múltipla e não-linear, com a finalidade de: (a) definir o fator erosividade para chuvas individuais na tentativa de avaliar a eficiência entre si de parâmetros da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada, visando aprimorar o uso da EUPS, EUPSM e da EUPSR local, e (b) determinar o fator erodibilidade para o solo pesquisado. Portanto, concluiu-se que: **1)** No âmbito da EUPS, o índice EI_{30} de Wischmeier e Smith foi convenientemente adequado para predizer as perdas de solo das chuvas individuais erosivas locais. Assim, a erosão de Aquidauana pode ser calculada pela expressão: $A^*=3,7323+3,1171.10^{-2}.EI_{30}$, e o fator erosividade da chuva em questão deve ser calculado pelo emprego do índice de erosividade da chuva EI_{30} ; **2)** Já no âmbito da EUPSM e da EUPSR, o índice de erosividade local, por ter resultado uma substancial e superior correlação com as perdas de solo por erosão quando comparado ao tradicional EI_{30} , deve ser calculado pelo emprego do índice de erosividade da chuva-enxurrada $A^*=a+b.EI_{30}+c.V_u$, e **3)** O valor do fator K da EUPS, para o Argissolo Vermelho de Aquidauana (MS), foi de $0,0312 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Portanto, nas condições de parcela padrão, estima-se uma perda de solo de $236,62 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, cujo valor está bem acima do valor máximo de perda de solo permissível (tolerância de perda de solo), que é de $6,00 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Sendo assim, recomenda-se o emprego dos demais fatores da EUPS (LS, C e P), para que a erosão do solo pesquisado fique aquém de sua tolerância, de forma a se trabalhar sob a égide da auto-sustentabilidade agrícola local.

Palavras-chave: Perda de solo. Conservação do solo. Índice EI_{30} . EUPS. EUPSM. EUPSR.

ABSTRACT

An index of erosivity rainfall that can stand out and assist in the estimation of soil erosion is highly desirable. The EI_{30} parameter is the most widely used in the world; however, many national papers have proved the effectiveness of models that involve the runoff. This study was carried out between December 2012 to August/2014, in the Experimental Unit of Aquidauana (MS), State University of Mato Grosso do Sul (UEMS), in a Dystrophic Tropustult. A set of 92 individual erosive rainfalls were selected for the calculation of the erosivity models and collected the data of soil losses and runoff from the unit plot. Erosivity parameters from rainfall, runoff and rainfall-runoff were analyzed through simple linear regression, multiple and non-linear, with the purpose of: (a) define the erosivity factor for individual rainfalls in an attempt to evaluate the efficiency between the parameters from rainfall, runoff and rainfall-runoff, aiming to improve the use of the USLE, MUSLE and RUSLE local, and (b) determine the factor erodibility for the soil of unit plot. Therefore, it was concluded that: **1)** In the context of USLE, the Wischmeier and Smith EI_{30} was conveniently suited for predicting soil losses of individual erosive rainfalls local. Thus, Aquidauana erosion can be calculated using the expression: $A^*=3.7323+3.1171 \cdot 10^{-2} \cdot EI_{30}$, and erosivity rainfall factor shall be calculated using erosivity index rainfall EI_{30} ; **2)** By the other hand, in the context of MUSLE and RUSLE, the local erosivity index, that resulted in a substantial and higher correlation with soil losses by erosion when compared to traditional EI_{30} , must be calculated by using the rainfall-runoff erosivity index $A^*=a+b \cdot EI_{30}+c \cdot V_u$, and **3)** The value of the K factor of the USLE, for Aquidauana (MS) Dystrophic Tropustult, was $0.0312 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Therefore, the unit plot conditions, it is estimated a soil loss of $236.62 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, value that is above the maximum allowable soil loss (soil loss tolerance) which is $6.00 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Therefore, it is recommended the other EUPS factors, such as LS, C and P, in order to study the soil erosion underneath its tolerance to be worked under the local agricultural sustainability aegis.

Keywords: Soil loss. Soil conservation. EI_{30} index. USLE. MUSLE. RUSLE.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Localização da área de estudo do município de Aquidauana-MS. Aquidauana (MS), 2015. 33
- Figura 2- Vista aérea das parcelas de perda de solo, com destaque para as estudadas. Aquidauana (MS), 2013. 34
- Figura 3- Parcela padrão (a), e vista das caixas de coleta na área experimental após evento de precipitação individual erosiva (b). Aquidauana (MS), 2012. 36
- Figura 4- Estação meteorológica automática acoplada a uma antena (a), e vista aproximada (b). Console e computador com armazenamento dos dados meteorológicos (c). Aquidauana (MS), 2012. 39
- Figura 5- Dispersão e ajuste dos dados entre erosividade (EI_{30}) e perda de solo obtida em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012. 61
- Figura 6- Preparo do solo nas parcelas descobertas. Aquidauana (MS), 2012. 73
- Figura 7- Sistema coletor de enxurrada conectado por um cano de PVC ao tanque de sedimentação (a), e vista de caixas de coleta na área experimental (b). Aquidauana (MS), 2012. 73
- Figura 8- Tanque de sedimentação (primeiro) ligado ao tanque de enxurrada (segundo) (a), e divisor de geib do tipo 1/9 (b). Aquidauana (MS), 2012. 73
- Figura 9- Coleta de sedimentos da caixa de sedimentação (a) e da calha coletora (b). Aquidauana (MS), 2012. 74
- Figura 10- Pesagem do sedimento úmido em bandeja de ferro (a), e secagem do mesmo em estufa a 105°C por 24h (b). Aquidauana (MS), 2012. 74
- Figura 11- Registro da altura da enxurrada, proveniente de evento individual de precipitação erosiva, em um galão de 42 L (a), na caixa de sedimentação (b) e na caixa de enxurrada (c). Aquidauana (MS), 2012. 74
- Figura 12- Homogeneização da enxurrada, e imediata coleta das amostras de concentração de solo (a), e adicionamento de ácido clorídrico nos potes coletados (b). Aquidauana (MS), 2012. 75
- Figura 13- Sucção da água excedente, deixando lamina de 1 cm acima do solo precipitado no fundo do pote (a), amostras encaminhadas para secagem em estufa a 65°C (b), e pesagem das amostras secas (c). Aquidauana (MS), 2012. 75

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1- Atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho distrófico típico localizado em Aquidauana-MS, referente ao perfil no local do experimento. Aquidauana (MS), 2010. 35
- Quadro 2- Relação dos fatores erosividade estudados para as chuvas individuais de Aquidauana (MS). Aquidauana (MS), 2014.43
- Quadro 3- Análise descritiva dos índices de erosividade da chuva e da erosão ocorridos em condições de alqueive contínuo num Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014. 46
- Quadro 4- Análise descritiva dos índices de erosividade das chuvas individuais em condições de alqueive contínuo, ocorridas em Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014, com distribuição de frequência log-normal e tendendo à log-normalidade. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014. 47
- Quadro 5- Coeficiente de correlação das regressões entre as variáveis da chuva e a perda de solo em condições de alqueive contínuo num Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014. 49
- Quadro 6- Coeficiente de correlação das regressões lineares entre as variáveis da chuva e a perda de solo obtida em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014. 53
- Quadro 7- Coeficiente de determinação (R^2) das regressões entre os fatores erosividade e a perda de solo em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014. 55

Lista de abreviaturas e siglas

EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
EUPSR	Equação Universal de Perda de Solo Revisada
Eq	Equação ou Equações
EUPSM	Equação Universal de Perda de Solo Modificada
UEMS	Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
SAS	Statistical Analysis System

LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c, d	coeficientes de regressão ajustados;
A	perda de solo ($t\ ha^{-1}$);
A*	estimativa de perda de solo ($t\ ha^{-1}$);
Aa	distribuição de frequência log-normal da perda de solo ($t\ ha^{-1}$);
Acam	perda de solo da parcela de campo (kg/unidade de largura);
Acor	perda de solo da parcela-padrão (kg/unidade de largura);
AJB	perda de solo da parcela em estudo (kg/unidade de largura);
C	fator uso e manejo do solo;
D	tempo de duração da enxurrada (h);
D_u	desagregação pela enxurrada;
D_r	desagregação do solo pela chuva;
EC	energia cinética da chuva ($MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) (Equação de WISCHMEIER; SMITH, 1958)
$EC > 10$	somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que $10\ mm\ h^{-1}$ (método proposto por WISCHMEIER; SMITH, 1958);
$EC > 25$	somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que $25\ mm\ h^{-1}$ (método proposto por WISCHMEIER; SMITH, 1958);
ECW	energia cinética da chuva ($MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) (Equação de WAGNER; MASSAMBANI, 1988);
$ECW > 10$	somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que $10\ mm\ h^{-1}$ (método proposto por WAGNER; MASSAMBANI, 1988);
$ECW > 25$	somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que $25\ mm\ h^{-1}$ (método proposto por WAGNER; MASSAMBANI, 1988);
EI_5	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 5 minutos ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$);
EI_{10}	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 10 minutos ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$);

El ₁₅	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 15 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₂₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 20 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₂₅	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 25 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₃₀	parâmetro de erosividade da chuva de Wischmeier e Smith (1958, 1965) (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₃₅	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 35 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₄₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 40 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₄₅	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 45 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₅₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 50 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₅₅	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 55 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₆₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 60 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₁₂₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 120 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₂₄₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 240 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₃₆₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 360 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₇₂₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 720 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
El ₁₄₄₀	índice de erosividade da chuva na intensidade máxima de 1440 minutos (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
EIA	parâmetro de erosividade da chuva durante a ocorrência da enxurrada (mm ² h ⁻¹);

EIW ₃₀	parâmetro de erosividade da chuva, utilizando EC segundo método proposto por Wagner e Massambani (1988);
FEI ₃₀	fração do índice de erosividade de cada estágio de determinada cultura agrícola;
I	intensidade da chuva (mm h^{-1});
I _n	maior valor de intensidade média ponderado pelo tempo de 5 e, ou, de 30 min de ocorrência (mm h^{-1});
i _μ	valor da intensidade de ordem μ (mm h^{-1}), ocorrida dentro do tempo de 5 e, ou, de 30 min;
I ₅	intensidade máxima da chuva em 5 min (mm h^{-1});
I ₁₀	intensidade máxima da chuva em 10 min (mm h^{-1});
I ₁₅	intensidade máxima da chuva em 15 min (mm h^{-1});
I ₂₀	intensidade máxima da chuva em 20 min (mm h^{-1});
I ₂₅	intensidade máxima da chuva em 25 min (mm h^{-1});
I ₃₀	intensidade máxima da chuva em 30 min (mm h^{-1});
I ₃₅	intensidade máxima da chuva em 35 min (mm h^{-1});
I ₄₀	intensidade máxima da chuva em 40 min (mm h^{-1});
I ₄₅	intensidade máxima da chuva em 45 min (mm h^{-1});
I ₅₀	intensidade máxima da chuva em 50 min (mm h^{-1});
I ₅₅	intensidade máxima da chuva em 55 min (mm h^{-1});
I ₆₀	intensidade máxima da chuva em 60 min (mm h^{-1});
I ₁₂₀	intensidade máxima da chuva em 120 min (mm h^{-1});
I ₂₄₀	intensidade máxima da chuva em 240 min (mm h^{-1});
I ₃₆₀	intensidade máxima da chuva em 360 min (mm h^{-1});
I ₇₂₀	intensidade máxima da chuva em 720 min (mm h^{-1});
I ₁₄₄₀	intensidade máxima da chuva em 1440 min (mm h^{-1});
K	fator erodibilidade do solo ($\text{t h ha}^{-1} \text{mm}^{-2}$; $\text{t ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$; $\text{t ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$);
L	fator comprimento do declive (adimensional);
n	espaço de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima, no caso igual a 5 e, ou, de 30 min;
P	fator prática conservacionista;

- QI_n produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em intervalo crescente de tempo ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 5 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₁₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 10 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₁₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 15 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₂₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 20 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₂₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 25 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₃₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 30 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₃₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 35 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₄₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 40 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₄₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 45 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₅₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 50 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₅₅ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 55 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₆₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 60 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₁₂₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 120 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₂₄₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 240 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
- QI₃₆₀ produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 360 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);

QI ₇₂₀	produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 720 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
QI ₁₄₄₀	produto do volume total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 1440 minutos ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
R	fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
R _F	parâmetro de erosividade da chuva-enxurrada de Foster (1977a,b);
R _{FM}	parâmetro de erosividade da enxurrada ou em sulcos de Foster e Meyer (1975);
R _L	parâmetro de erosividade da enxurrada de Lombardi Neto (1979) ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
R _{LF}	parâmetro de erosividade da enxurrada de Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer. (1982);
R _M	parâmetro de erosividade da enxurrada apresentado em Carvalho (1992) ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
R _O	parâmetro de erosividade da enxurrada de Onstad e Foster (1975) ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
R _r	termo de erosividade da chuva ou entre sulcos;
R _u	termo de erosividade da chuva ou em sulcos;
R _W	parâmetro de erosividade da enxurrada de Williams (1975) ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);
RPS	razão de perda de solo;
S	fator grau de declive (adimensional);
T	tempo de duração total da chuva (min);
T _a	frequência log-normal de T (min);
T _r	transporte pela chuva;
T _u	transporte pela enxurrada;
t _μ	tempo de ocorrência da intensidade de ordem μ (min) ocorrida dentro do tempo de 5 e, ou, de 30 min;
V _r	volume da chuva (mm);
V _{ra}	frequência log-normal do índice V _r (mm);
V _u	volume da enxurrada (mm);
α	termo de proporcionalidade entre a enxurrada e a chuva (adimensional);
σ _{pu}	pico da taxa da enxurrada (mm h^{-1});
τ _E	tensão efetiva de cisalhamento da enxurrada (N m^{-2});
τ _C	tensão crítica de cisalhamento do solo (N m^{-2});

ξ

expoente da subtração ($\tau_E - \tau_C$).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	EROSÃO HÍDRICA	21
2.1.1	Etapas do processo erosivo	21
2.1.2	Erosão entressulcos e em sulcos	22
2.2	EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO – EUPS	23
2.3	EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA – EUPSR	26
2.4	PARÂMETROS EROSIVIDADE DA CHUVA, DA ENXURRADA E DA CHUVA-ENXURRADA	26
2.4.1	Desenvolvimento de modelos matemáticos	26
2.4.2	Desempenho dos parâmetros	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	33
3.2	UNIDADE EXPERIMENTAL	35
3.3	COLETA E PROCESSAMENTO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA	36
3.3.1	Correção das perdas de solo	38
3.4	DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA	39
3.5	SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE EROSIVIDADE	40
3.5.1	Parâmetros de erosividade da chuva	41
3.5.2	Parâmetros de erosividade da enxurrada	42
3.5.3	Parâmetros de erosividade da chuva-enxurrada	42
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	FATORES EROSIVIDADE VERSUS PERDA DO SOLO	55
4.1.1	Parâmetros erosividade da chuva-enxurrada	57
4.1.2	Parâmetros erosividade da enxurrada	58
4.1.3	Parâmetros erosividade da chuva	59
4.2	ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR K.....	60

5 CONCLUSÕES 63

REFERÊNCIAS 64

1 INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica anual acumulada tem pouca importância na predição da erosão hídrica, pois está mais correlacionada com um menor número de chuvas, que se diferenciam por apresentarem alta intensidade (ANGULO-MARTÍNEZ; BEGUERÍA, 2009; PRUSKI, 2009). No processo de erosão hídrica, que por sua vez resulta em perdas de solo, estão envolvidos parâmetros físicos da chuva, como o formato e a velocidade final de gotas, e consequentemente a sua energia cinética e intensidade, bem como, a duração e a frequência (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O termo erosividade expressa a propensão das precipitações pluviais em causar erosão do solo. Um índice de erosividade da chuva que auxilie na estimativa do efeito da chuva, demonstrando melhor a composição de suas várias características, sobre a erosão do solo é altamente desejável (ANGULO-MARTÍNEZ; BEGUERÍA, 2009; LEE; HEO, 2011).

O índice de erosividade mais comum para as chuvas individuais é o EI_{30} (o produto da energia cinética, EC, e a máxima intensidade em 30 minutos, I_{30}), que é utilizado na Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978), a qual tem sido o modelo mais utilizado em todo o globo terrestre (KINNEL, 2010), e na Equação Universal de Perda de solo Revisada – EUPSR (RENARD et al., 1997). Entretanto, em muitos lugares, têm se destacado outros parâmetros que predizem melhor as perdas de solo.

Uma modificação da EUPS foi proposta por Williams (1975). A Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MEUPS) difere da EUPS no que diz respeito à substituição do fator R por um fator com base no escoamento superficial. O autor constatou que o parâmetro erosividade da enxurrada, que combinava o volume e o pico da taxa da enxurrada, apresentou melhor correlação com as perdas de solo. Inúmeras pesquisas têm constatado a superioridade da erosividade da enxurrada, na forma linear ou potencial, especialmente em relação a da chuva, ou mesmo aumentando a correlação com as perdas de solo, quando associada a da chuva. Porém, esta deve ser avaliada de acordo com a metodologia estabelecida para o fator erosividade da chuva (FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982).

Os estudos da erosão do solo no Brasil se intensificaram nos últimos quinze anos, dobrando o número total de pesquisas que até então existiam, bem como, houve uma concentração destes experimentos, sugerindo que há pouco conhecimento dos processos erosivos em grandes extensões do território nacional, destacando-se as Regiões Norte e Centro-Oeste (BARRETTO; BARROS; SPAROVEK, 2008).

A utilização adequada dos modelos de predição de erosão só é possível quando os seus parâmetros são determinados para as condições locais. A determinação de um parâmetro erosividade que melhor represente a capacidade potencial da chuva de provocar erosão para as condições edafoclimáticas de Aquidauana (MS), bem como o fator erodibilidade (K), contribuirão para estabelecer o adequado planejamento do uso e do manejo de seus solos.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho, para as condições de Aquidauana (MS), foram: (a) definir o fator erosividade para chuvas individuais na tentativa de avaliar a eficiência entre si de parâmetros da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada, visando aprimorar o uso da EUPS, EUPSM e EUPSR local, e (b) determinar o fator erodibilidade para o solo pesquisado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EROSÃO HÍDRICA

A erosão hídrica é o resultado da interação do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e da adoção de práticas conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1958), e se manifesta de maneira variável sobre a superfície do terreno, sendo as perdas de solo, e nutrientes dela resultantes, as principais responsáveis pelo empobrecimento das terras cultiváveis, o que leva a uma diminuição acelerada da sua capacidade produtiva e, conseqüentemente, insustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (BERTOL et al., 2004; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

A degradação dos solos é um problema que influencia todo o globo terrestre e constitui um fenômeno de grande importância, em razão da rapidez com que se processa e pelo fato de acarretar grandes prejuízos para diversas atividades econômicas e para o meio ambiente (EDUARDO et al., 2013).

2.1.1 Etapas do processo erosivo

A erosão hídrica é a forma mais ativa do processo de degradação dos solos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014) e é definida como a combinação dos processos de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, em razão da ação do impacto da gota de chuva e do escoamento superficial da água sobre o solo. Este processo é descrito como físico-energético gerado a partir das interações de agentes ativos (chuva) e passivo (solo) do sistema natural. Dependendo das características desses agentes e suas interfaces, este processo pode originar perdas de solo, água e outras substâncias (CASSOL; REICHERT, 2002).

Para Guerra e Mendonça (2007), o impacto da gota de chuva resulta na compactação do solo pela formação de crostas que irão dificultar e impedir a infiltração da água da chuva. Na área periférica à compactada, ocorre o deslocamento das partículas que são lançadas para o exterior da cratera formada. A partir dessa etapa, começam a se formar as poças nas irregularidades existentes no topo do solo. Quando essas poças se rompem, inicia-se então, o escoamento superficial, inicialmente difuso, onde não há concentração de fluxo em canais, provocando a erosão em regime laminar.

2.1.2 Erosão entressulcos e em sulcos

Ao final dos anos 60s e início dos anos 70s, foi proposta a divisão do processo de erosão do solo em erosão entressulcos e em sulcos, respectivamente, causadas pela ação da gota da chuva e da enxurrada (MEYER; WISCHMEIER, 1969; YOUNG; WIERSMA, 1973; FOSTER; MEYER, 1975; MEYER; FOSTER; NIKOLOV, 1975; MUTCHLER; YOUNG, 1975; FOSTER, 1982). Dessa forma, Foster, Meyer e Onstad (1977a,b), estudando os princípios básicos da erosão, concluíram que a estimativa precisa da perda de solo para chuvas individuais necessitava da adição de um parâmetro que levasse em conta a erosividade da enxurrada. Na oportunidade, foi proposto um parâmetro de erosividade da chuva-enxurrada em substituição ao tradicional EI_{30} , composto pelo somatório das parcelas responsáveis pela erosão entressulcos (chuva) e em sulcos (enxurrada).

A importância relativa das fases do processo erosivo depende se elas estão ocorrendo nas áreas entressulcos ou nos sulcos. Na erosão entressulcos, a desagregação das partículas de solo se dá pelo impacto das gotas de chuva e seu posterior transporte para os sulcos. Neste caso o transporte se dá pela ação combinada do salpicamento ocasionado pelo impacto das gotas de chuva e do escoamento laminar da água (FOSTER, 1982). Na erosão em sulcos, tanto a desagregação quanto o transporte são ocasionados pelo escoamento da água nos sulcos (MEYER; FOSTER; NIKOLOV, 1975; ALBERTS; MOLDENHAUER; FOSTER, 1980; FOSTER, 1982).

Portanto, em resumo a erosão entressulcos pode ser vista como uma combinação de dois diferentes processos: desagregação da massa do solo pelo impacto das gotas de chuva e pelo fluxo entressulcos; e transporte do solo desagregado pelo escoamento entressulcos (FREITAS et al., 2008).

De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006), o destacamento das partículas cessa quando o solo passa a resistir aos esforços de desprendimento e o fluido satura a sua capacidade de transporte de sedimento. O escoamento superficial passa a se dar quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo.

Segundo Amorim et al. (2001), o domínio da energia de impacto das gotas da chuva ou do escoamento superficial no desprendimento e transporte de sedimentos depende se a erosão ocorre em sulcos ou em áreas entressulcos. A erosão entressulcos é, às vezes, referida como erosão superficial ou laminar que está relacionada com a distribuição do destacamento

das partículas que ocorre de maneira uniforme e suave por toda a sua extensão (FOSTER, 1982). É considerada um dos tipos de erosões mais drásticas, pois muitas vezes é difícil de ser observada (FENDRICH et al., 1997). Alguns autores, como Camapum de Carvalho et al. (2006), afirmaram que a erosão superficial por escoamento laminar pode ou não propiciar o aparecimento de sulcos.

Segundo Cantalice et al. (2005), a erosão em sulcos caracteriza-se pelo escoamento superficial concentrado de uma lâmina d'água com tensão de cisalhamento suficiente para desagregar o solo. A erosão em sulcos é a primeira etapa de desenvolvimento de uma erosão dita linear. A erosão em sulcos desenvolve-se rapidamente durante uma chuva intensa devido ao escoamento superficial, que se torna concentrada (MEYER; FOSTER; NIKOLOW, 1975; CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Young e Wiersma (1973) estudaram os efeitos que a chuva e a enxurrada desempenham sobre a desagregação e o transporte do solo, em condições de alqueive e com chuva simulada. Desta forma, observaram respectivamente que o impacto da gota da chuva e a enxurrada possuem elevados e baixos poder de desagregação do solo nos entressulcos. Por outro lado, foi respectivamente também observado que o impacto da chuva e a enxurrada possuem baixos e elevados poder de transporte do solo nos sulcos. Assim, concluiu-se que o elevado poder de transporte que a enxurrada possui no sulco foi atribuído tanto a velocidade como a altura da lâmina d'água, que foram, respectivamente, 7 e 50 vezes maiores, quando comparadas àquelas das áreas entressulcos.

As características da enxurrada são dominantes e, portanto, determinam a velocidade de ocorrência da erosão em sulcos. Sucessivos turbilhonamentos podem aparecer ao longo do sulco, contribuindo com grande porção de perda de solo. Contudo, a erosão em sulcos pode ocorrer na ausência de enormes turbilhonamentos, através do aumento do comprimento do sulco, que é proporcional ao comprimento do declive. Assim, a extensão e o tipo dos sulcos desenvolvidos dependem das propriedades do solo, declive e suas características, taxa de enxurrada e cultivo do solo (MEYER; FOSTER; NIKOLOW, 1975).

2.2 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO - EUPS

A Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) é uma equação empírica utilizada para estimar a erosão entressulcos e em sulcos do solo agricultado. Originalmente, a EUPS foi projetada de forma a servir como ferramenta de trabalho para conservacionistas americanos,

com a seguinte filosofia para cada fator: (i) fosse representado por um número apenas, (ii) pudesse ser calculado a partir de dados meteorológicos, pedológicos e de parcelas de erosão em nível local e regional, e (iii) fosse livre de qualquer base geográfica (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009).

Utilizando-se dos dados reunidos pela National Runoff and Soil Loss Data Center, bem como de deliberações e conclusões das conferências de Fevereiro e Julho de 1956, realizadas em Purdue - EUA, e subsequentes análises de Wischmeier, Smith e outros, desenvolveram a EUPS. Uma cooperação entre os projetos de pesquisa estaduais e federais de 49 localidades norte-americanas contribuiu com mais de 10.000 parcelas anuais de dados de enxurrada e de perda de solo para este acontecimento (WISCHMEIER; SMITH, 1965, 1978). Esta equação quantifica a erosão do solo como o produto de seis fatores, apresentada em unidades do Sistema Internacional de Unidades conforme Foster et al. (1981), sendo expressa da seguinte forma:

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

onde:

A, é a perda de solo, em $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R, fator erosividade das chuvas, é o potencial erosivo médio anual das chuvas, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

K, fator erodibilidade do solo, é a perda de solo por unidade do fator erosividade da chuva, para um solo específico, quando mantido permanentemente em condições de alqueive, isto é, permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido do declive, em uma parcela de 22,13 m de comprimento e 9% de declividade, em $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

L, fator comprimento do declive, é a razão entre as perdas de solo de uma área com um comprimento de declive qualquer e aquela com 22,13 m de comprimento, para o mesmo tipo de solo e mesma declividade (adimensional).

S, fator grau de declive, é a razão entre as perdas de solo de uma área com uma declividade qualquer e aquela com 9% de declividade, para o mesmo tipo de solo e mesmo comprimento de declive (adimensional).

C, fator uso do solo e manejo da cultura, é o somatório dos produtos da razão de perda do solo (RPS) pela fração do índice de erosividade (FEI_{30}) de cada estágio da cultura (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A RPS é o quociente da perda de solo ocorrida em determinado sistema de manejo pela ocorrida num solo sem cultura e descoberto, variando, portanto, de zero a um. A FEI_{30} também varia de zero a um, significando a percentagem do índice de erosividade que produziu a erosão utilizada no cálculo da respectiva RPS dentro de

cada estádio. Assim, o fator C da EUPS varia de zero a um, aproximando-se de zero, nos sistemas de manejo conservacionistas, e de um, nos sistemas não-conservacionistas (adimensional).

P, fator prática de controle da erosão, é a razão entre as perdas de solo de uma área com práticas conservacionistas e aquela mantida, permanentemente, descoberta e com preparo do solo no sentido do declive (adimensional).

A parcela unitária ou parcela padrão – ponto de referência para avaliação dos fatores da EUPS – foi arbitrariamente definida da seguinte forma: parcela com 72,6 pés de comprimento (22,13 m); declive uniforme de 9% no sentido do comprimento; mantida continuamente em condições de alqueive, e cultivada morro-abaxo de forma a manter a superfície do solo livre de crostas. Foram selecionadas estas dimensões porque a maioria das parcelas norte americanas de estudo de erosão, no período de 1930 a 1960, foram assim estabelecidas. A condição de alqueive contínuo foi padronizada por duas razões: a) as culturas e os sistemas de cultivo não eram comuns a todas as áreas agricultadas, e b) a perda de solo para qualquer outra condição seria influenciada tanto pelos efeitos residuais como pelo uso e manejo em vigor, os quais variaram de local para local (WISCHMEIER, 1972).

Vários autores consideram a EUPS um excelente modelo para a previsão de perda de solo devido à sua aplicabilidade (em termos de dados de entrada exigidos) e a confiabilidade das estimativas de perda de solo obtido (FERRO, 2010; RISSE et al., 1993; VALLE JUNIOR, 2008). Apesar de algumas limitações quantitativas, o modelo de erosão ainda é o mais utilizado mundialmente. Caracteriza-se por estabelecer estimativas de perda média anual de solo por erosão laminar e em sulcos (AMORIM et al., 2010; KINNELL, 2010; OLIVEIRA et al., 2011).

Atualmente pesquisas que objetivam realizar medições da erosão dos solos e produção de sedimentos são relativamente escassas e limitadas. Nas últimas décadas, foram desenvolvidos vários modelos visando a melhoria dos conhecimentos sobre os processos de erosão do solo, mas estes são utilizados em estudos que avaliam áreas de reduzida dimensão (PETAN et al., 2010).

Devido à base totalmente empírica, a aplicação da EUPS em situações diferentes daquelas para as quais foi desenvolvida requer a realização de pesquisas para a obtenção dos componentes do modelo, ou seja, condicionada ao desenvolvimento de uma base específica para as condições edafoclimáticas locais (KINNELL, 2010).

2.3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA - EUPSR

A EUPSR (“Equação Universal de Perda de Solo Revisada”) foi originada de uma revisão realizada ao modelo EUPS, permitindo estimar a perda de solo média anual causada pela precipitação pelo escoamento associado (RENARD et al., 1997). Embora a estrutura da equação seja a mesma da EUPS, vários conceitos da modelagem da erosão baseada na descrição do processo físico foram incorporados na EUPSR para melhorar as previsões de erosão (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009).

2.4 PARÂMETROS EROSIVIDADE DA CHUVA, DA ENXURRADA E DA CHUVA-ENXURRADA

2.4.1 Desenvolvimento de modelos matemáticos

A premissa de que a chuva e a enxurrada respectivamente poderiam ser expressas por uma intensidade característica constante (I_{30}) e uma taxa característica constante (σ_{pu}), ou seja, intensidade da chuva e a taxa do pico de descarga da enxurrada, veio a possibilitar o estabelecimento das seguintes relações matemáticas (LOMBARDI NETO, 1979; CARVALHO; CATANEO; LOMBARDI NETO, 1997):

$$\sigma_{pu} I_{30}^{-1} = D \cdot T^{-1} = \alpha \quad (2)$$

$$D = \alpha \cdot T \quad (3)$$

$$\sigma_{pu} = \alpha \cdot I_{30} \quad (4)$$

Como o volume da enxurrada (V_u) (LOMBARDI NETO, 1979) pode ser expresso pela equação (4):

$$V_u = \sigma_{pu} D \quad (5)$$

Então, substituindo as equações – eq. (2) e (3) na eq. (4), pode-se deduzir que:

$$V_u = \alpha^2 \cdot I_{30} \cdot T \quad (6)$$

Considerando que o volume da chuva (V_r) é igual ao produto de sua intensidade (I_{30}) pela sua duração:

$$V_r = I_{30} \cdot T \quad (7)$$

Então, substituindo a Eq. (6) na Eq. (5), pode-se deduzir que:

$$V_u = \alpha \cdot 2 \cdot V_r \quad (8)$$

Consequentemente:

$$\alpha=(V_u \cdot V_r^{-1})^{1/2} \quad (9)$$

(LOMBARDI NETO, 1979).

A Eq. (8) foi utilizada em combinação com inúmeros parâmetros erosividade da chuva-enxurrada como propostos por Lombardi Neto (1979) e Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997).

Meyer e Wischemeier (1969) propuseram um modelo matemático para descrever o processo de erosão, considerando os seguintes sub-processos: desagregação do solo pela chuva (D_r), desagregação pela enxurrada (D_u), transporte pela chuva (T_r) e transporte pela enxurrada (T_u). Os mesmos autores concluíram que a desagregação pela chuva é nula antes do início da precipitação, no entanto, após seu início, a perda de solo dos entressulcos é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da chuva. Com base nesta premissa, foi proposta a seguinte equação (MEYER; WISCHMEIER, 1969; FOSTER; MEYER, 1975):

$$EIA=(I_{30})^2 \cdot D \quad (10)$$

A diferença entre os parâmetros EI_{30} e EIA é relativa à duração na qual o I_{30} proporciona as perdas de solo. Quanto ao parâmetro EI_{30} , a duração é relativa ao tempo total da chuva (T) e, para o EIA, é relativa ao tempo total da enxurrada (D). Portanto, o parâmetro EIA estima as perdas de solo apenas quando ocorre enxurrada, enquanto o EI_{30} estima as perdas de solo na presença ou não da enxurrada (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982).

Normalmente não é mensurada a duração da enxurrada (D) nas parcelas experimentais, porém tendo tanto o volume de chuva (V_r) quanto o da enxurrada (V_u), expressos em unidade de volume por unidade de área, representando, respectivamente, as alturas pluviométricas e limnimétricas, a mesma pode ser deduzida, por meio das seguintes relações (LOMBARDI NETO, 1979): Como (Eq. 6): $V_r=I_{30} \cdot T$. Então:

$$T=V_r \cdot I_{30}^{-1} \quad (11)$$

Substituindo a eq. (2) na eq. (9); a eq. (8) na (11) e a eq. (10) na eq. (12), tem-se que:

$$EIA=(I_{30})^2 \cdot \alpha \cdot T \quad (12)$$

$$EIA=(I_{30})^2 \cdot (V_u \cdot V_r^{-1})^{1/2} \cdot T \quad (13)$$

$$EIA=(I_{30})^2 \cdot (V_u \cdot V_r^{-1})^{1/2} \cdot V_r \cdot I_{30}^{-1} \quad (14)$$

Por conseguinte, deduz-se que:

$$EIA=I_{30} \cdot (V_u \cdot V_r)^{1/2} \quad (15)$$

(LOMBARDI NETO, 1979).

O parâmetro EIA apresenta em sua composição os termos V_u e V_r , sendo considerado como um parâmetro erosividade da chuva-enxurrada (LOMBARDI NETO, 1979). Pelo fato de ser o cálculo do parâmetro erosividade da chuva do tipo EI_{30} demorado e complexo, Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) introduziram alguns parâmetros, objetivando simplificar a obtenção de um parâmetro erosividade da chuva, de modo que não houvesse a necessidade de se calcular a energia cinética e que apresentassem uma estimativa das perdas de solo, semelhante àquela obtida pelo parâmetro EI_{30} , a saber:

$$A^*=a+b.V_r.I_{30} \quad (16)$$

$$A^*=a+b.V_r.(I_{30})^{1,14} \quad (17)$$

$$A^*=a+b.(0,119+0,0873.\log.I_{30}).V_r.I_{30} \quad (18)$$

$$A^*=a+b.(V_r)^b \quad (19)$$

Para obter a combinação de um parâmetro erosividade da chuva-enxurrada (EIA) com um parâmetro erosividade da chuva (EI_{30}), Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), propuseram o seguinte parâmetro erosividade da chuva-enxurrada, expresso pela eq.:

$$A^*=a+b.(EI_{30})+c.EIA \quad (20)$$

Considerando a hipótese de que existiria uma relação não-linear entre as perdas de solo e os parâmetros EI_{30} e EIA, respectivamente, foram propostas as seguintes eq. (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982):

$$A^*=a.(EI_{30})^b \quad (21)$$

$$A^*=a.(EIA)^b \quad (22)$$

Também foi proposto um parâmetro erosividade da enxurrada, expresso por uma equação não-linear, objetivando verificar se existiria um efeito não-linear entre as perdas de solo e a enxurrada, expresso pela seguinte equação (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982):

$$A^*=a.(V_u)^b \quad (23)$$

Meyer, Foster e Romkens (1975) consideraram a hipótese de que o processo erosivo poderia ser estimado, com maior precisão, por meio de modelos matemáticos, caso o referido processo fosse representado matematicamente por dois subprocessos distintos, a saber: erosão em sulcos e erosão entressulcos.

Considerando que os parâmetros, EI_{30} , V_u e EIA, poderiam representar a erosão entressulcos e em sulcos, respectivamente, Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) propuseram as seguintes eq.:

$$A^*=a+b.EI_{30}+c.V_u \quad (24)$$

$$A^*=a+b.EIA+c.V_u \quad (25)$$

Uma modificação da EUPS foi proposta por Williams (1975). A Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MEUPS) difere da EUPS no que diz respeito à substituição do fator R por um fator com base no escoamento superficial. O autor constatou que o parâmetro erosividade da enxurrada, que combinava o volume e o pico da taxa da enxurrada, apresentou melhor correlação com as perdas de solo do que o parâmetro erosividade da enxurrada, que considerava apenas o volume de enxurrada. O parâmetro erosividade da enxurrada foi expresso pela seguinte eq.:

$$A^*=a.(V_u.\sigma_{pu})^b \quad (26)$$

A taxa do pico da enxurrada pode ser expressa pelo termo $(\alpha.I_{30})$, então substituindo este termo na eq. (25), obtém-se a eq. (26), conforme sugeriram Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982):

$$A^*=a(V_u.\alpha.I_{30})^b \quad (27)$$

A inclusão do termo $(\alpha.I_{30})$, como estimador da taxa do pico da enxurrada, é exclusivamente matemática, visto que $\sigma_{pu}=\alpha.I_{30}$. Portanto, outros parâmetros erosividade da chuva-enxurrada semelhantes aos de Williams (1975) foram dados pelas seguintes eq. (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982):

$$A^*=a.(V_u.\alpha.I_5)^b \quad (28)$$

$$A^*=a+b.(1/2).EI_{30}+c.(1/2).V_u.(\alpha.I_{30})^{1/3} \quad (29)$$

$$A^*=a+b.(1/2).EI_{30}+c.(1/2).V_u.(\alpha.I_5)^{1/3} \quad (30)$$

$$A^*=a+b.EIA+c.V_u(\alpha.I_{30})^{1/3} \quad (31)$$

$$A^*=a+b.EIA+c.V_u(\alpha.I_5)^{1/3} \quad (32)$$

$$A^*=a.EIA+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5) \quad (33)$$

$$A^*=a.EI_{30}+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5) \quad (34)$$

$$A^*=a.(EI_{30})^b+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5) \quad (35)$$

$$A^*=a.(EIA)^b+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5) \quad (36)$$

2.3.2 Desempenho dos parâmetros

Morais, Mutti e Eltz (1988), estudando a correlação entre a energia cinética da chuva (EC) e as perdas de solo de três locais do Rio Grande do Sul, obtiveram os seguintes coeficientes de correlação (r): 0,57, em Ijuí; 0,66, em Santa Maria, e 0,71, em Guaíba. Carvalho et al. (1993), correlacionando parâmetros da erosividade da chuva com as perdas de solo de Campinas (SP), verificaram que os parâmetros erosividade da chuva que melhor se correlacionaram com as perdas de solo foram os seguintes: $EC > 10$ ($r = 0,69$), EIW_{30} ($r = 0,67$), EC ($r = 0,67$) e EI_{30} ($r = 0,67$).

Em Mococa (SP), Carvalho (1992) estudou a correlação entre os parâmetros erosividade da chuva e as perdas de solo, obtendo para os parâmetros erosividade da chuva que envolvem a energia cinética pelos métodos de Wischmeier e Smith (1958) e Wagner e Massambani (1988), os seguintes coeficientes de correlação: $EC > 10$ ($r = 0,77$); $ECW > 10$ ($r = 0,76$); EI_{30} ($r = 0,75$); EIW_{30} ($r = 0,75$); $EC > 25$ ($r = 0,75$); $ECW > 25$ ($r = 0,75$); EC ($r = 0,71$); EC ($r = 0,69$) e ECW ($r = 0,64$), respectivamente. Evidenciando não haver diferença da EC pelos dois métodos.

Albuquerque et al. (2002), estudando a correlação entre os parâmetros erosividade da chuva, erosividade da enxurrada e as perdas de solo, constataram que os parâmetros erosividade da chuva foram os que apresentaram os menores coeficientes de correlação, concordando com os resultados obtidos por Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho et al. (1993), e Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997). Dentre os parâmetros erosividade da chuva analisados, constatou-se que aqueles que incluíram o produto do volume de chuva pela intensidade máxima em trinta minutos; na forma linear e não-linear, respectivamente, foram os que melhor se correlacionaram ($r = 0,7493$ a $0,7450$) com as perdas de solo, explicando-as em torno de 56%.

Albuquerque et al. (2002) também constataram que o modelo não-linear utilizado para o parâmetro EI_{30} não melhorou, de forma significativa, a estimativa das perdas de solo, quando comparado ao modelo linear, que apresentou coeficiente de correlação ligeiramente superior. Da mesma forma, o modelo não-linear utilizado para o parâmetro $V_r.I_{30}$ não melhorou a estimativa das perdas de solo, quando comparado ao modelo linear.

Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) estabeleceram correlações entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada (V_u) e as perdas de solo em 10 localidades dos EUA. Constataram que os valores dos coeficientes de correlação,

obtidos para o parâmetro erosividade da enxurrada ($r = 0,42$ a $0,80$), quando comparados com os parâmetros erosividade da chuva do tipo: EI_{30} ($r = 0,59$ a $0,91$) e QI_{30} ($r = 0,71$ a $0,89$) apresentaram, em seis localidades, menores valores do coeficiente de correlação. Estes ainda concluíram que os parâmetros erosividade da enxurrada EIA , $a(V_u \cdot \alpha \cdot I_{30})^b$ e $a(V_u \cdot \alpha \cdot I_5)^b$, apresentaram uma melhor correlação com as perdas de solo do que o parâmetro EI_{30} .

Segundo Carvalho (1992), o parâmetro erosividade da enxurrada (V_u), obtido em Campinas (SP) ($r = 0,83$), Mococa (SP) ($r = 0,80$) e Pindorama (SP) ($r = 0,70$), quando comparado com 30 parâmetros erosividade da chuva ($r = 0,61$ a $0,77$), foi o que melhor se correlacionou com as perdas de solo. O autor concluiu que, nas condições tropicais paulistas, o efeito da enxurrada sobre a erosão, quando comparado ao da chuva, foi sobremaneira superior, sendo os que melhor explicaram as perdas de solo das chuvas individuais: $(V_u \cdot \alpha \cdot I_{30})^b$, $(V_u \cdot \alpha \cdot I_5)^b$ e $(EIA)^b$, respectivamente.

A capacidade potencial da chuva de provocar erosão pode ser mais bem estimada a partir de correlações entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978; CARVALHO, 1992).

Para as condições brasileiras, Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997) constataram que o volume da enxurrada, combinado ou não com características da chuva, foi importante para evidenciar o melhor desempenho dos parâmetros da erosividade da enxurrada em relação aos da chuva, especialmente o EI_{30} . Os mesmos autores concluíram que os parâmetros erosividade que melhor estimaram as perdas de solo para chuvas individuais foram: $a(EIA)^b$, $a(V_u \cdot \alpha \cdot I_{30})^b$, $a(V_u \cdot \alpha \cdot I_5)^b$ e $a(V_r)^b$, e, que para as condições tropicais paulistas, o efeito da enxurrada sobre a erosão, quando comparado com o da chuva, foi sobremaneira superior.

Albuquerque et al. (2002) também obteve resultados semelhantes, constatando que os parâmetros erosividade da chuva-enxurrada, expressos pelos modelos não lineares (lineares por anamorfose) $(V_u \cdot \alpha \cdot I_{30})^b$, $(V_u \cdot \alpha \cdot I_5)^b$ e $(EIA)^b$, apresentaram os melhores coeficientes de correlação, cuja explicação dos eventos relativos às perdas de solo em condições da parcela-padrão foi em torno de 86%, diferindo estatisticamente dos demais parâmetros, com exceção do parâmetro $(V_u)^b$.

De forma geral, os resultados obtidos por Carvalho et al. (1993), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque (1997), Albuquerque (1998), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque et al. (2002) evidenciaram alta correlação entre os modelos não-lineares e as perdas de solo, provavelmente em decorrência de chuvas tropicais de alta intensidade.

Possivelmente, as perdas de solo, quando correlacionadas com modelos lineares, são superestimadas para as chuvas de baixa intensidade e, por outro lado, subestimadas para as de alta intensidade (CARVALHO; CATANEO; LOMBARDI NETO, 1997).

Os resultados obtidos para o parâmetro erosividade da enxurrada evidenciam que, em condições tropicais, o volume da enxurrada talvez seja um melhor preditor das perdas de solo, considerando os maiores valores de intensidade das chuvas tropicais, quando comparados aos das chuvas de clima temperado. Portanto, devem-se envidar esforços no sentido de avaliar este parâmetro por um período mais longo, objetivando validar o volume de enxurrada como o fator erosividade da equação universal de perda de solo (ALBUQUERQUE et al, 2002). Esse resultado também foi atestado pelas idéias de Dragoun (1962), Williams, Hiler e Baird (1971), Onstad e Foster (1975), Williams (1975), Foster, Meyer e Onstad (1977a,b), Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho (1992), Carvalho et al. (1993), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Jacobs (1995), Albuquerque (1997), Albuquerque et al. (1998), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque et al. (2002), que preconizaram, para a EUPS, um fator erosividade da enxurrada.

A utilização adequada da EUPS só é possível quando os seus parâmetros são determinados para as condições edafoclimáticas da região (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A determinação de um parâmetro erosividade que melhor represente a capacidade potencial da chuva de provocar erosão para as condições edafoclimáticas local, bem como o fator erodibilidade (K), contribuirão para estabelecer o melhor ajuste da EUPS local, e consequente, o adequado planejamento do uso e do manejo de seus solos.

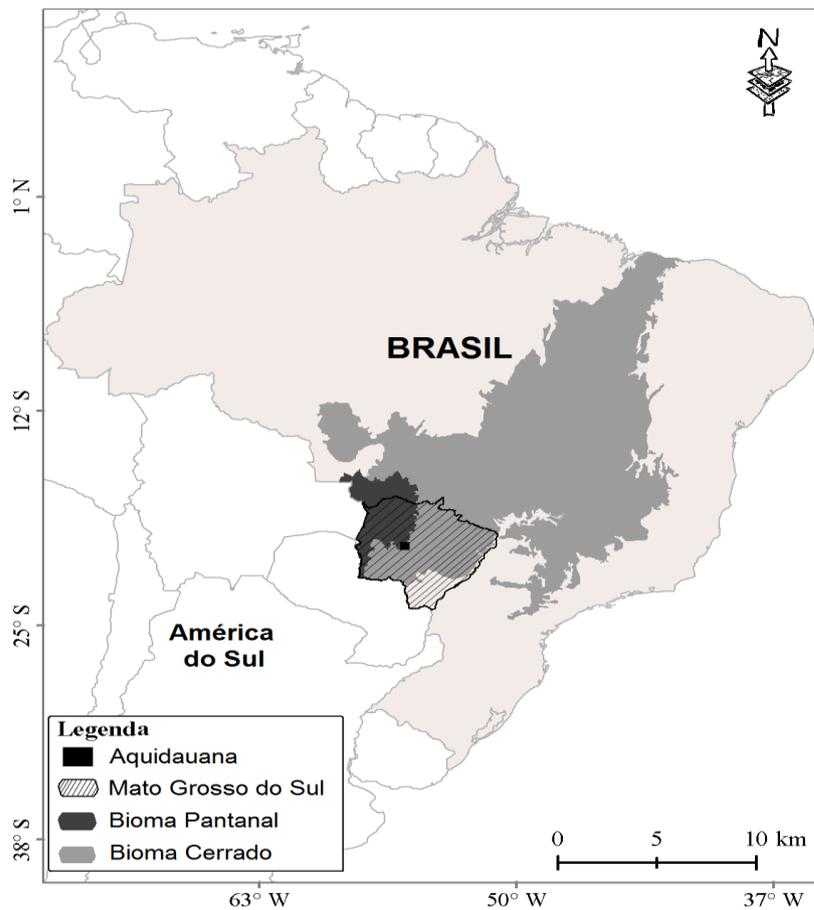
Diante do exposto, os objetivos deste trabalho, para as condições de Aquidauana (MS), foram: (a) definir o fator erosividade para chuvas individuais na tentativa de avaliar a eficiência entre si de parâmetros da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada, visando aprimorar o uso da EUPS e EUPSM local, e (b) determinar o fator erodibilidade para o solo pesquisado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os dados de pesquisa foram coletados no período que compreende dezembro de 2012 a agosto de 2014, na Unidade Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, localizada no município de Aquidauana – MS (latitude Sul de 20° 20', longitude Oeste de 55°48', e altitude média de 191 m). A região está inserida no ecótono Cerrado-Pantanal (Figura 1), o clima classificado pelo sistema internacional de Köppen (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), é do tipo Aw (tropical úmido), e de acordo com Santos et al. (2014), os valores médios anuais de temperatura e precipitação pluvial são, respectivamente, de 24°C e 1.400 mm.

Figura 1- Localização da área de estudo no município de Aquidauana-MS. Aquidauana (MS), 2015.



Fonte: Elaboração do próprio autor

A composição botânica da região é constituída por extensas áreas de pastagens cultivadas com *Urochloa* (= *Brachiaria*) spp. e pomares no contexto da agricultura familiar próximos a encostas de serra (SILVA et al., 2015).

As duas parcelas padrão foram alocadas ao lado de parcelas de trabalho do fator C, também com duas repetições, com as culturas: soja (*Glycine max*) sob preparo convencional, soja (*Glycine max*) sob plantio direto, pastagem (*Urochloa ruziziensis*) e cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) (Figura 2, visualizado de cima para baixo).

Figura 2- Vista aérea das parcelas de perda de solo, com destaque para as estudadas. Aquidauana (MS), 2013.



Fonte: Elaboração do próprio autor

De acordo com Schiavo et al. (2010), o solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, profundo, moderadamente drenado e com classe textural franco arenosa (horizonte A)/franco argiloarenosa (horizonte B), cujas principais propriedades descritas pelo autor encontram-se no Quadro 1. A área experimental é de topografia plana a suavemente ondulada com declividade média de $0,03 \text{ m}^{-1}$.

Quadro 1- Atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho distrófico típico localizado em Aquidauana-MS, referente ao perfil no local do experimento. Aquidauana (MS), 2010.

Característica	Horizonte							
	A1	A2	AB	BA	Bt1	Bt2	Bt3	C
	Profundidade (cm)							
	0-10	10-24	24-36	36-50	50-65	65-80	80-109	109-130+
Atributos físicos								
Argila (g Kg ⁻¹)	100	120	180	200	250	280	270	240
Silte (g Kg ⁻¹)	110	110	100	150	140	140	130	140
AF (g Kg ⁻¹)	450	440	410	410	370	370	370	410
AG (g Kg ⁻¹)	340	330	310	240	240	210	230	220
ADA (%)	90	100	170	190	200	50	30	30
GF (%)	10	17	5	5	20	83	89	87
Silte/Argila	1,10	0,92	0,56	0,75	0,56	0,14	0,48	0,58
DP (kg dm ⁻³)	2,84	2,81	2,84	2,84	2,79	2,79	2,75	2,84
DS (kg dm ⁻³)	1,63	1,46	1,57	1,49	1,46	1,46	1,52	1,25
Mi (m ³ m ⁻³)	0,187	0,166	0,182	0,192	0,220	0,215	0,223	0,203
Ma (m ³ m ⁻³)	0,209	0,239	0,201	0,223	0,233	0,202	0,172	0,457
PT (m ³ m ⁻³)	0,397	0,406	0,383	0,416	0,453	0,417	0,395	0,659
Atributos químicos								
CO (g kg ⁻¹)	5,1	5,4	3,6	3,3	5,7	3,1	2,4	2,1
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0,8	1,0	1,6	0,5	0,7	0,5	0,4	0,1
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,3	0,4	0,1	0,6	0,3	0,5	0,3	0,4
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,22	0,28	0,21	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SB (cmol _c kg ⁻¹)	1,32	1,68	1,91	1,18	1,06	1,06	0,74	0,54
H (cmol _c kg ⁻¹)	2,7	3,0	3,0	2,2	1,8	2,5	2,4	1,0
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,3	0,0	0,0	0,3	0,7	0,5	0,6	0,7
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	1,7
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	4,3	4,7	4,9	3,7	3,6	4,1	3,7	2,2
P (mg kg ⁻¹)	30	22	5	1	1	1	1	1
V (%)	31	36	39	32	30	26	20	24
pH H ₂ O (1:2,5)	5,3	5,7	6,0	4,8	4,3	4,2	4,3	4,6

Nota: ^(a) AF = areia fina; AG = areia grossa; ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; DP = densidade da partícula; DS = densidade do solo; Mi = microporosidade; Ma = macroporosidade; PT = porosidade total; CO = carbono orgânico total; Ca = cálcio; Mg = magnésio; K = potássio; Na = sódio; SB = soma de bases; H = hidrogênio; CTC = capacidade de troca catiônica; P = fósforo; V = saturação de bases; pH H₂O = potencial hidrogeniônico.

Fonte: Schiavo et al. (2010).

3.2 UNIDADE EXPERIMENTAL

A unidade experimental (Figura 3a) constituiu-se de uma parcela com dimensões de 22,15 m de comprimento a favor do declive e 3,50 m de largura (77,53 m² de área), delimitada lateralmente e na extremidade superior por chapas galvanizadas (2 × 0,2 m), as quais foram cravadas 0,10 m no solo. Na extremidade inferior de cada parcela foi instalado

um sistema coletor de enxurrada (calha) (Figura 3a), conectado por um cano de PVC a um primeiro tanque, com capacidade de 500 L, situado seis metros abaixo da parcela (Figura 3b). Este tanque também é chamado de tanque de decantação, já que o efeito proveniente da interação erosão, ou seja, perda de solo, esta contida no mesmo.

Figura 3- Parcela padrão (a), e vista de caixas de coleta na área experimental, após evento de precipitação individual erosiva (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

O tanque de sedimentação, por sua vez, estava ligado, por meio de um divisor de enxurrada tipo Geib com nove janelas, a um segundo tanque (de enxurrada), também com capacidade de 500 L de armazenagem. Já os segundo tanque é chamado de tanque de enxurrada, já que apenas 1/9 do excedente do sobrenadante da enxurrada do primeiro tanque era passado para o segundo, ou seja, há exclusivamente a causa do processo de interação da erosão. Ambas as caixas eram dotadas de tampas para que a precipitação não fosse contabilizada como escoamento superficial.

O manejo do solo foi o mesmo que o da parcela padrão, proposto por Wischmeier (1972), isto é, em alqueive contínuo (uma aração, seguida de uma gradagem no sentido do declive, sendo realizadas a cada mês, por dois anos consecutivos).

3.3 COLETA E PROCESSAMENTO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA

As coletas de dados de perdas de solo e enxurrada foram realizadas após cada chuva. As coletas e o processamento das amostras de enxurrada, para a quantificação das perdas de

solo e água, foram realizadas em duas parcelas padrão experimentais (Figura 3b), sendo realizada a média das perdas de solo e volume de enxurrada entre as duas repetições.

A coleta e o processamento das amostras de enxurrada para a quantificação das perdas de solo e água seguiram o método proposto por Cogo (1978) e Bertoni e Lombardi Neto (2014) com algumas modificações. Após a ocorrência de cada evento de chuva erosiva, os sedimentos eram retirados dos galões de polietileno (quando a sua quantidade assim permitia, viravam-se os galões a fim de retirar o máximo de água) com capacidade de aproximadamente 42 litros, que estavam logo abaixo do bocal dos canos e situados na primeira caixa (sedimentação).

Inicialmente eram registradas as alturas de enxurrada nos galões, e quando excedia sua capacidade, na caixa de sedimentação, e também quando superada a sua capacidade, na caixa de enxurrada, através de régua milimetrada de alumínio de altura máxima de 150 cm. Os valores obtidos para o segundo tanque foram multiplicados por nove, pois esta é ligada a primeira caixa por divisor de Geib de 1/9. O produto da altura de enxurrada dentro dos tanques pelas suas respectivas áreas forneceu o volume de enxurrada dentro das duas caixas (vol A e B).

Também foram retirados os sedimentos da própria caixa, nos casos em que a quantidade de sedimentos extravasava o volume do galão. Estes foram passados para bandejas de ferro, juntamente com os sedimentos da calha coletora. Posteriormente pesados em balança com capacidade de 120 kg, secos em estufa, à temperatura de 105°C, e pesados novamente, para obtenção da massa de solo seco (MasA), e pela diferença a quantidade de água (VolC). Neste caso, toda a quantidade de sedimentos era pesada após ser seco em estufa, e não apenas uma amostra, como geralmente é feito nos experimentos de mesma natureza.

Em seguida, a enxurrada era homogeneizada e, dela, coletadas amostras dos tanques em potes de polietileno numerados, com capacidade de 750 mL, em número de três por caixa. Com estas amostras se determinava a concentração de sedimentos na enxurrada e a massa de sedimentos existentes na suspensão. Para isso, no laboratório, foram adicionadas de 3 a 5 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) em cada frasco que continha uma amostra da enxurrada, com a finalidade de precipitar os sedimentos em suspensão. O sobrenadante era retirado de dentro dos frascos 48 horas após, sendo sifonado com uma mangueira plástica com o auxílio de uma bomba de sucção a vácuo, e deixando uma lâmina de cerca de um cm de água sobre os sedimentos. Os frascos eram então levados à estufa com circulação de ar forçada, com temperatura de 55°C por 48 h. A partir das amostras de sedimentos secos eram pesados em

balança analítica, e com os respectivos valores, calculada a massa de solo contida em suspensão nas caixas, e por fim, relacionando-se com os volumes de enxurrada dos tanques (MasB).

O volume total escoado foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{Vol}=\text{VolA}+(9.\text{VolB})+\text{VolC} \quad (37)$$

Em que:

Vol = volume total escoado da parcela, mm;

VolA = volume total escoado retido na primeira caixa de armazenamento, mm;

VolB = volume total escoado retido na segunda caixa de armazenamento, mm;

VolC = volume obtido pela diferença da pesagem de amostra de sedimentos úmido e seco, mm.

A massa total de solo erodido foi obtida pela seguinte equação:

$$\text{Mas}=\text{MasA}+\text{MasB} \quad (38)$$

Em que:

Mas = massa total de solo perdido da parcela, t ha⁻¹;

MasA = massa de solo contido na caixa de sedimentação e na calha coletora, t ha⁻¹;

MasB = massa de solo contida na suspensão das caixas, relacionando-se com os volumes de enxurrada das respectivas caixas t ha⁻¹.

3.3.1 Correção das perdas de solo

Os dados de perda de enxurrada, por ser uma variável independente, não necessitaram nenhuma correção, enquanto os dados de perda de solo foram corrigidos por meio da seguinte equação de Bertoni (1959):

$$A=0,018.S^{1,18}.L^{1,6} \quad (39)$$

O declive e o comprimento da parcela de campo utilizados foram, respectivamente, de 0,03 m m⁻¹ (3%) e de 22,15 m, ao passo que, nas condições de parcela padrão, foram, respectivamente, de 0,09 m m⁻¹ (9%) e de 22,13 m. A substituição desses dados na equação (38) resultou nas quantias de perda de solo (A) de 10,2621 e 37,4626 kg/unidade de largura, respectivamente, para as condições de parcelas de campo e padrão. Assim, a relação 37,4626/10,2621 proporcionou o fator de conversão igual a 3,6506, necessário para a transformação das perdas de solo da condição de parcela de campo (A_{cam}) para parcela-padrão (A_{cor}). A equação final, utilizada para a correção de tais dados, foi a seguinte:

$$\text{Acor}=3,6506.\text{Acam}$$

(40)

3.4 DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA

As chuvas correspondentes ao período de estudo (12/2012 a 03/2015) foram registradas (segmentadas à cada 5 min) por uma estação meteorológica automática (Figura 4a,b), instalada a 80 m das parcelas de erosão. Os dados foram coletados e transmitidos para um console central via rede sem fio, e em seguida, armazenados em um computador, por meio do programa Weather Link 6.0.3 (Figura 4c). Estes últimos estavam abrigados no laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água, distante 120 m da estação meteorológica.

Figura 4- Estação meteorológica automática acoplada a uma antena (a), e vista aproximada (b). Console e computador com armazenamento dos dados meteorológicos (c). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor

De um total de 187 chuvas registradas, foram selecionadas 92 chuvas erosivas e desenvolvidos os índices de erosividade estudados no presente trabalho por meio do software Microsoft Office Excel versão 2010. Assim os critérios de chuvas individuais erosivas, foram: I- valores do EI_{30} para chuvas maiores ou iguais a 10 mm; II- valores de EI_{30} daqueles menores do que 10 mm, se possuírem uma quantidade de seis mm ou mais em 15 minutos, e III - valores dos EI_{30} , daquelas que apresentarem perda de solo por erosão e/ou por enxurrada (CARVALHO, 2001; CARVALHO; FREDDI; VERONESE JÚNIOR, 2004).

Para compor os modelos matemáticos representativos dos parâmetros de erosividade da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada, foram organizados os seguintes índices de erosividade da chuva:

(a) tempo total de duração da chuva, T (min);

(b) volume total da chuva, V_r (mm);

(c) $I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}, I_{60}, I_{120}, I_{240}, I_{360}, I_{720}$ e I_{1440} , sendo a intensidade máxima da chuva nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 min (mm h^{-1}), respectivamente, de acordo com a seguinte expressão, apresentada por Carvalho et al. (1989):

$$I_n = \left(\sum_{i=1}^{\mu} i_{\mu} \cdot t_{\mu} \right) / n \quad (41)$$

(d) produtos da altura total da chuva pelas intensidades máximas das chuvas em intervalos crescentes de tempo (QI_n), ou seja: $QI_5, QI_{10}, QI_{15}, QI_{20}, QI_{25}, QI_{30}, QI_{35}, QI_{40}, QI_{45}, QI_{50}, QI_{55}, QI_{60}, QI_{120}, QI_{240}, QI_{360}, QI_{720}, QI_{1440}$, em $\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$.

(e) produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas de chuva em intervalos crescentes de tempo (EI_n), ou seja: $EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55}, EI_{60}, EI_{120}, EI_{240}, EI_{360}, EI_{720}, EI_{1440}$, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Para calcular a referida energia, foi utilizada a seguinte Eq. (FOSTER et al., 1981):

$$E=0,119+0,0873.\log I \quad (42)$$

(f) altura total da enxurrada, V_u (mm), obtida diretamente no tanque coletor da parcela de campo pela leitura de uma régua e correlacionada com o volume;

(g) EIA, sendo o parâmetro de erosividade da chuva durante a ocorrência da enxurrada, apresentado por Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) ($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$);

(h) $\alpha=(V_u/V_r)^{1/2}$, coeficiente adimensional de proporcionalidade entre a enxurrada e a chuva apresentado por Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982).

3.5 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE EROSIVIDADE

A seleção dos parâmetros de erosividade estudados foi semelhante àquela apresentada por Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque et al. (1998) e Carvalho e Hernani (2001) conforme idealização prévia de Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982). Além dos parâmetros anteriores, também foram estudados os seguintes modelos:

$$A^*=a+b.EC \quad (43)$$

$$A^*=a.(EC)^b \quad (44)$$

$$A^*=a.exp^{EC.b} \quad (45)$$

$$A^*=a+b.EC+c.EC^2 \quad (46)$$

Assim, foram considerados três grupos de parâmetros de erosividade: (a) da chuva, (b) da enxurrada e (c) da chuva-enxurrada.

3.5.1 Parâmetros de erosividade da chuva

Os parâmetros mais simples de erosividade da chuva, respectivamente relacionados por Wischmeier e Smith (1958) e Wischmeier e Smith (1965), adotados na forma linear, foram os seguintes:

$$A^*=a+b.V_r \quad (47)$$

$$A^*=a+b.EI_{30} \quad (48)$$

Uma vez que Wischmeier e Smith (1978) haviam relatado que o cálculo do EI_{30} é moroso e complicado, foram adotados os seguintes parâmetros, conforme sugestões de Foster e Meyer (1975):

$$EI_{30} \sim a+b(V_r)I_{30} \quad (16)$$

$$EI_{30} \sim a+b.(V_r).I_{30}^{1,14} \quad (17)$$

$$EI_{30} \sim a+b.(0,119+0,0873 \log I_{30}).V_r.I_{30} \quad (18)$$

$$EI_{30} \sim a+b.(V_r)^b \quad (19)$$

O parâmetro mais complexo pesquisado de erosividade da chuva foi o EIA (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982). Tal complexidade ocorre pela presença na sua composição de variáveis de maior dificuldade de obtenção, tais como o V_u e o I_{30} . Dessa forma, este parâmetro avalia a erosividade da chuva apenas durante a ocorrência da enxurrada. Sua expressão, cuja determinação encontra-se detalhadamente explicada em Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), é a seguinte:

$$EIA=I_{30}.(V_u.V_r)^{1/2} \quad (15)$$

Tal parâmetro é expresso na forma linear da seguinte maneira:

$$A^*=a+b.EIA \quad (49)$$

3.5.2 Parâmetros de erosividade da enxurrada

O parâmetro mais simples da enxurrada que pode expressar sua erosividade depende linearmente do volume da enxurrada (V_u), conforme a seguinte expressão (CARVALHO; CATANEO; LOMBARDI NETO, 1997):

$$A^*=a+b.V_u \quad (50)$$

Contudo, como Williams (1975) havia observado que a combinação desse volume com o pico da taxa da enxurrada (σ_{pu}), na forma potencial, apresentava melhores resultados, foram propostos os seguintes parâmetros:

$$R_M=a.(V_u.\alpha.I_{30})^b \quad (27)$$

$$R_L=a.(V_u.\alpha.I_5)^b \quad (28)$$

3.5.3 Parâmetros de erosividade da chuva-enxurrada

Considerando as inúmeras evidências das observações teóricas, assim como os dados de pesquisa de campo, foi sugerido que o fator erosividade da chuva, até então exclusivamente representado pelo EI_{30} , deveria conter termos distintos para as formas de erosão nos entressulcos e nos sulcos, respectivamente, desencadeadas pelo impacto da gota da chuva e pelo atrito da enxurrada.

A representação matemática desse conceito, estabelecida por Foster, Meyer e Onstad (1977a,b), foi a seguinte:

$$R_F=R_r+R_u \quad (51)$$

Assim, no presente estudo, representando a erosão nos entressulcos (R_r), pelos parâmetros EI_{30} e EIA , assim como a erosão em sulcos (R_u), pelo volume da enxurrada (V_u), por meio das combinações possíveis, obtiveram-se os parâmetros de erosividade da chuva-enxurrada mais simples, representados basicamente pelo seguinte modelo geral:

$$R_F=a+b.R_r+c.R_u \quad (52)$$

Valendo do conceito estabelecido pela eq. (50), assim como da utilização dos parâmetros EI_{30} e EIA para representação do seu termo R_r , foram pesquisadas as seguintes expressões, para representação do termo complementar de erosividade da enxurrada (R_u), relacionadas a seguir pelas eq. (52), (53) e (54). Portanto, aquela de Onstad e Foster (1975):

$$R_o=a.(V_u).\sigma_{pu}^{1/3} \quad (53)$$

Também, o termo de Foster e Meyer (1975) e Foster, Meyer e Onstad (1977a):

$$R_{FM} = \alpha S \cdot (\tau_E - \tau_C) \cdot \xi \quad (54)$$

E, finalmente, aquela idealizada por Foster e Meyer (1972) e proposta por Lombardi Neto (1979) e Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982):

$$R_{LF} = a \cdot (V_u) \cdot \exp(d/a \cdot I_5 \text{ e ou } I_{30}) \quad (55)$$

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Do total das 92 chuvas estudadas, algumas apresentaram valor nulo de perda de solo, como observado em outros trabalhos: Carvalho (1992), Carvalho et al. (1993), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Jacobs (1995), Albuquerque (1997) e Albuquerque et al. (1998). Assim, atribuiu-se o valor de $10^{-7} \text{ t ha}^{-1}$ para que o estudo de regressão pudesse ser efetuado.

Foram utilizadas regressões lineares simples e múltiplas, para os parâmetros lineares, e também foram empregadas regressões não-lineares, para os parâmetros não-lineares, a fim de ajustar os 28 parâmetros de erosividade estudados (Quadro 2). As análises não-lineares foram efetuadas pelo método de Gauss-Newton.

Quadro 2- Relação dos fatores erosividade estudados para as chuvas individuais de Aquidauana (MS).

Número de ordem	Natureza	FATOR EROSIVIDADE Modelo Matemático	Número da ⁽¹⁾ equação no texto
01	C ⁽¹⁾	$A^* = a + b \cdot V_r$	44
02	C	$A^* = a + b \cdot EI_{30}$	45
03	C	$A^* = a + b \cdot EIA$	48
04	C	$A^* = a + b \cdot EC$	40
05	C	$A^* = a + b \cdot EI_{30} + c \cdot EIA$	19
06	C	$A^* = a + b \cdot (V_r \cdot I_{30})$	15
07	C	$A^* = a + b \cdot [V_r \cdot (I_{30})^{1,14}]$	16
08	C	$A^* = a + b(0,119 + 0,0873 \cdot \log I_{30}) V_r \cdot I_{30}$	17
09	C	$A^* = a \cdot (V_r)^b$	18
10	C	$A^* = a \cdot (EI_{30})^b$	20
11	C	$A^* = a \cdot (EIA)^b$	21
12	C	$A^* = a \cdot (EC)^b$	41
13	C	$A^* = a \cdot \exp^{EC \cdot b}$	42
14	C	$A^* = a + b \cdot EC + c \cdot EC^2$	43
15	E	$A^* = a + b \cdot V_u$	49
16	E	$A^* = a \cdot (V_u)^b$	22
17	E	$A^* = a \cdot (V_u \cdot \alpha \cdot I_{30})^b$	26
18	E	$A^* = a \cdot (V_u \cdot \alpha \cdot I_5)^b$	27
19	C-E	$A^* = a + b \cdot EI_{30} + c \cdot V_u$	23
20	C-E	$A^* = a + b \cdot EIA + c \cdot V_u$	24
21	C-E	$A^* = a + b(1/2)EI_{30} + c(1/2)V_u \cdot (\alpha \cdot I_{30})^{1/3}$	28

...continua...

Quadro 2- Relação dos fatores erosividade estudados para as chuvas individuais de Aquidauana (MS).

...continuação...

Número de ordem	FATOR EROSIVIDADE		Número da ⁽¹⁾ equação no texto
	Natureza	Modelo Matemático	
22	C-E	$A^* = a + b(1/2)EI_{30} + c(1/2)V_u \cdot (\alpha \cdot I_5)^{1/3}$	29
23	C-E	$A^* = a + b \cdot EIA + c \cdot V_u \cdot (\alpha \cdot I_{30})^{1/3}$	30
24	C-E	$A^* = a + b \cdot EIA + c \cdot V_u \cdot (\alpha \cdot I_5)^{1/3}$	31
25	C-E	$A^* = a \cdot EIA + b \cdot V_u \cdot \exp.(c/\alpha \cdot I_5)$	32
26	C-E	$A^* = a \cdot EI_{30} + b \cdot V_u \cdot \exp.(c/\alpha \cdot I_5)$	33
27	C-E	$A^* = a \cdot (EI_{30})^b + c \cdot V_u \cdot \exp.(d/\alpha \cdot I_5)$	34
28	C-E	$A^* = a \cdot (EIA)^b + c \cdot V_u \cdot \exp.(d/\alpha \cdot I_5)$	35

Nota: ⁽⁰⁾ Número da equação ranqueada na revisão bibliográfica e material e métodos

⁽¹⁾ Modelos de erosividade de natureza: C= chuva, E= enxurrada e C-E= chuva-enxurrada.

Fonte: Carvalho (1992)

O coeficiente de correlação foi empregado para os modelos lineares simples, com distribuição de frequência normal, log-normal e tendendo a log-normal, visando verificar a homogeneidade entre tais coeficientes, conforme Graybill (1976). O teste que apresenta uma distribuição de qui-quadrado com um grau de liberdade é dado pela seguinte expressão:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) Z^2 i - (\bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3)} \quad (56)$$

com:

Z_i = arco tangente hiperbólico de (r_i) , e

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3)} \quad (57)$$

onde: n_i é tamanho da amostra que originou o coeficiente de correlação r_i .

Essa análise foi efetuada no Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia - UNESP/Campus de Ilha Solteira (SP), através de programação computacional processado em uma calculadora manual, em linguagem Basic. Após o ajuste dos coeficientes de regressão (a, b, c, d) dos parâmetros de erosividade estudados, foi aplicado o teste t de Student, para observar a significância estatística dos coeficientes R^2 ajustados, segundo Hoffmann e Vieira (1977).

As equações de regressão, os coeficientes de regressão, os coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) foram obtidos por meio do programa estatístico Statistical Analysis System - SAS (SAS, 2002), com exceção dos que se referem aos modelos matemáticos apresentados no Quadro 2: $A^* = a \cdot (EIA)^b + c \cdot V_u \cdot \exp.(d/\alpha \cdot I_5)$ (28);

$A^*=a.(EI_{30})^b+c.V_u.exp.(d/\alpha.I_5)$ (27); $A^*=a.EI_{30}+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5)$ (26) e $A^*=a.EIA+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_5)$ (25), pois foram obtidos por meio do programa estatístico R-project, versão 3.1.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3 é apresentada a análise descritiva dos índices de erosividade da chuva estudados e a perda de solo em condições de alqueive, em um Argissolo Vermelho distrófico típico, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana, entre 09/12/2012 e 13/08/2014.

Quadro 3- Análise descritiva dos índices de erosividade da chuva e da erosão ocorridos em condições de alqueive contínuo num Argissolo Vermelho Distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

Índice	Valores (n=92)						Coeficiente ^(a)				
	Núm.	Ti-Po	Mé-dia	Me-diana	Moda	Máxi-mo	Mí-nimo	CV (%)	Curtose	Assi-metria	Pr<W
#01	A*	12,1	6,0	1,0	98,9	10 ⁻³	145,6	10,515	2,926	10 ⁻⁴	IN
#02	T	565,7	537,5	160,0	1420,0	20,0	69,3	-0,946	0,448	2.10 ⁻⁴	IN
#03	V _r	30,2	21,7	5,8	120,0	5,6	80,0	3,018	1,733	10 ⁻⁴	NN
#04	V _u	9,1	4,7	4.10 ⁻²	51,2	10 ⁻⁶	126,8	4,010	1,976	10 ⁻⁴	IN
#05	EC	6,7	4,8	1,2	31,8	1,2	84,1	4,138	1,830	10 ⁻⁴	NN
#06	I ₅	56,0	50,4	33,6	189,6	7,1	68,4	2,157	1,349	10 ⁻⁴	NN
#07	I ₁₀	45,1	37,2	50,4	158,4	7,1	73,3	3,240	1,715	10 ⁻⁴	NN
#08	I ₁₅	38,2	29,6	9,6	148,0	6,3	77,8	3,704	1,854	10 ⁻⁴	NN
#09	I ₂₀	33,7	26,7	16,8	154,2	6,0	81,6	5,419	2,127	10 ⁻⁴	NN
#10	I ₂₅	29,8	23,5	9,6	137,3	5,8	81,2	5,541	2,115	10 ⁻⁴	NN
#11	I ₃₀	26,6	20,8	9,6	126,0	4,8	82,6	6,324	2,226	10 ⁻⁴	NN
#12	I ₃₅	24,2	18,6	21,3	112,8	4,1	83,2	6,776	2,290	10 ⁻⁴	NN
#13	I ₄₀	22,1	16,7	9,00	106,5	3,6	83,9	7,388	2,372	10 ⁻⁴	NN
#14	I ₄₅	20,4	15,2	10,9	97,3	3,2	83,0	7,345	2,351	10 ⁻⁴	NN
#15	I ₅₀	18,9	13,7	4,6	88,3	2,9	82,0	7,112	2,309	10 ⁻⁴	NN
#16	I ₅₅	17,6	12,8	6,1	80,5	2,6	81,5	6,804	2,262	10 ⁻⁴	NN
#17	I ₆₀	16,4	11,9	9,2	74,0	2,4	80,9	6,470	2,209	10 ⁻⁴	NN
#18	I ₁₂₀	13,6	8,6	6,4	85,5	1,2	111,7	9,527	2,890	10 ⁻⁴	NN
#19	I ₂₄₀	13,6	5,0	2,3	143,2	9.10 ⁻¹	195,6	13,737	3,698	10 ⁻⁴	IN
#20	I ₃₆₀	15,7	3,7	1,8	207,7	6.10 ⁻¹	246,6	14,048	3,777	10 ⁻⁴	IN
#21	I ₇₂₀	17,4	2,0	9.10 ⁻¹	272,2	3.10 ⁻¹	293,1	14,069	3,792	10 ⁻⁴	IN
#22	I ₁₄₄₀	20,0	1,0	6.10 ⁻¹	336,7	2.10 ⁻¹	316,2	14,059	3,792	10 ⁻⁴	IN
#23	QI ₅	279,8	252,0	168,0	948,0	35,5	68,4	2,157	1,349	10 ⁻⁴	NN
#24	QI ₁₀	225,3	186,0	252,0	792,0	35,5	73,3	3,241	1,715	10 ⁻⁴	NN
#25	QI ₁₅	191,1	148,0	48,0	740,0	31,5	77,8	3,704	1,854	10 ⁻⁴	NN
#26	QI ₂₀	168,3	133,5	84,0	771,0	30,0	81,6	5,419	2,127	10 ⁻⁴	NN
#27	QI ₂₅	148,9	117,6	48,0	686,4	28,8	81,2	5,541	2,115	10 ⁻⁴	NN
#28	QI ₃₀	132,9	104,0	48,0	630,0	24,0	82,6	6,324	2,226	10 ⁻⁴	NN
#29	QI ₃₅	120,8	92,6	106,3	564,0	20,6	83,2	6,779	2,291	10 ⁻⁴	NN
#30	QI ₄₀	110,5	83,3	45,0	532,5	18,0	83,9	7,389	2,372	10 ⁻⁴	NN
#31	QI ₄₅	101,8	76,0	54,7	486,7	16,0	83,0	7,356	2,353	10 ⁻⁴	NN
#32	QI ₅₀	94,4	68,6	22,8	441,6	14,4	82,0	7,122	2,310	10 ⁻⁴	NN
#33	QI ₅₅	87,8	63,9	43,6	402,5	13,1	81,5	6,797	2,261	10 ⁻⁴	NN
#34	QI ₆₀	81,8	59,5	46,0	370,0	12,0	80,9	6,470	2,209	10 ⁻⁴	NN
#35	QI ₁₂₀	68,2	42,8	32,0	427,6	6,0	111,7	9,532	2,891	10 ⁻⁴	NN
#36	QI ₂₄₀	68,0	24,9	16,3	715,9	4,5	195,9	13,729	3,697	10 ⁻⁴	IN
#37	QI ₃₆₀	78,5	18,3	7,7	1038,4	3,0	246,6	14,049	3,778	10 ⁻⁴	IN
#38	QI ₇₂₀	87,1	9,8	7,8	1360,8	1,5	293,3	14,067	3,792	10 ⁻⁴	IN
#39	QI ₁₄₄₀	100,0	5,1	3,0	1683,3	8.10 ⁻¹	316,3	14,058	3,792	10 ⁻⁴	IN
#40	EI ₅	516,6	234,4	49,5	5576,6	12,6	165,3	17,592	3,856	10 ⁻⁴	NN
#41	EI ₁₀	433,8	185,2	36,7	5041,9	12,6	174,7	18,607	3,969	10 ⁻⁴	NN
#42	EI ₁₅	378,6	141,3	18,8	4354,3	11,2	179,1	17,496	3,900	10 ⁻⁴	NN
#43	EI ₂₀	339,2	117,4	48,3	3552,2	10,8	182,5	15,707	3,788	10 ⁻⁴	NN
#44	EI ₂₅	299,7	100,9	18,0	2983,1	10,3	179,1	14,916	3,694	10 ⁻⁴	NN
#45	EI ₃₀	269,5	86,4	15,0	2738,0	9,4	180,0	14,945	3,698	10 ⁻⁴	NN

...continua...

Quadro 03- Análise descritiva dos índices de erosividade da chuva e da erosão ocorridos em condições de alqueive contínuo num Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Índice		Valores (n=92)					Coeficiente				
Núm.	Ti-Po	Mé-dia	Me-diana	Moda	Máxi-mo	Mí-nimo	CV (%)	Curtose	Assi-metria	Pr<W	DF
#46	EI ₇₅	246,9	77,0	22,0	2451,1	8,1	180,5	15,089	3,714	10 ⁻⁴	NN
#47	EI ₄₀	227,8	70,3	8,9	2316,4	7,4	181,5	15,340	3,736	10 ⁻⁴	NN
#48	EI ₄₅	210,4	64,3	12,7	2117,0	6,8	180,1	15,083	3,699	10 ⁻⁴	NN
#49	EI ₅₀	195,2	58,9	17,6	1921,0	6,1	178,3	14,661	3,641	10 ⁻⁴	NN
#50	EI ₅₅	181,4	53,5	22,6	1751,1	5,6	176,9	14,350	3,598	10 ⁻⁴	NN
#51	EI ₆₀	168,9	49,4	6,4	1608,0	5,1	175,3	14,015	3,550	10 ⁻⁴	NN
#52	EI ₁₂₀	126,8	42,6	12,4	1043,4	2,6	163,8	8,069	2,802	10 ⁻⁴	NN
#53	EI ₂₄₀	113,4	26,9	5,2	1654,9	1,6	219,1	20,083	4,183	10 ⁻⁴	NN
#54	EI ₃₆₀	120,7	22,8	1,3	2266,5	1,0	274,6	25,707	4,859	10 ⁻⁴	NN
#55	EI ₇₂₀	122,3	11,4	6.10 ⁻¹	2878,0	5.10 ⁻¹	346,1	27,698	5,147	10 ⁻⁴	NN
#56	EI ₁₄₄₀	134,1	6,0	3.10 ⁻¹	3489,5	3.10 ⁻¹	387,7	27,553	5,163	10 ⁻⁴	IN
#57	QI ₁₄₄₀	100,0	5,1	3,0	1683,3	8.10 ⁻¹	316,3	14,058	3,792	10 ⁻⁴	IN

Nota: ^(a) CV = coeficiente de variação; Pr<W = valor estatístico do teste de probabilidade de Shapiro & Wilk; DF = distribuição de frequência dos dados, sendo: IN = indeterminada, e NN = não normal.

Fonte: Elaboração do próprio autor

No Quadro 3 todas as variáveis testadas não foram significativas para a distribuição de frequência normal, de maneira que, os índices enquadrados como não normais, se enquadraram na distribuição de frequência log-normal ou tendendo à log-normalidade, apresentado no Quadro 4, e os indeterminados, não se enquadraram em nenhuma distribuição de frequência testada no presente estudo.

No Quadro 4 está apresentada a análise descritiva dos logaritmos dos índices de erosividade das chuvas estudadas em condições de alqueive, em um Argissolo Vermelho distrófico típico, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana, entre 09/12/2012 e 13/08/2014.

Quadro 4- Análise descritiva dos índices de erosividade das chuvas individuais em condições de alqueive contínuo, ocorridas em Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014, com distribuição de frequência log-normal e tendendo à log-normalidade. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

Índice		Valores (n=92)					Coeficiente ^(a)				
Núm.	Ti-Po	Mé-dia	Me-diana	Moda	Máxi-mo	Mí-nimo	CV (%)	Cur-tose	Assi-metria	Pr<W	DF
&01	V _{ra}	1,4	1,3	0,8	2,1	0,8	23,0	-0,523	0,220	2.10 ⁻¹	LN
&02	E _{ca}	0,7	0,7	0,1	1,5	0,1	48,3	-0,731	0,189	2.10 ⁻¹	LN
&03	I _{5a}	1,7	1,7	1,5	2,3	0,9	19,1	-0,237	-0,379	2.10 ⁻²	TL
&04	I _{10a}	1,6	1,6	1,7	2,2	0,9	19,7	-0,287	-0,113	8.10 ⁻²	LN
&05	I _{15a}	1,5	1,5	1,6	2,2	0,8	21,1	-0,267	0,015	2.10 ⁻¹	LN
&06	I _{20a}	1,4	1,4	1,5	2,2	0,8	21,8	-0,309	0,126	1.10 ⁻¹	LN

...continua...

Quadro 4- Análise descritiva dos índices de erosividade das chuvas individuais em condições de alqueive contínuo, ocorridas em Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014, com distribuição de frequência log-normal e tendendo à log-normalidade. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Índice		Valores (n=92)					Coeficiente ^(a)				
Núm.	Ti-Po	Mé-dia	Me-diana	Moda	Máxi-mo	Mí-nimo	CV (%)	Cur-tose	Assi-metria	Pr<W	DF
&07	I _{7a}	1,4	1,4	1,5	2,1	0,8	22,9	-0,467	0,184	4.10 ⁻²	TL
&08	I _{30a}	1,3	1,3	1,4	2,1	0,7	24,5	-0,351	0,203	1.10 ⁻¹	LN
&09	I _{35a}	1,3	1,3	1,3	2,1	0,6	24,9	-0,260	0,205	3.10 ⁻¹	LN
&10	I _{40a}	1,2	1,2	1,0	2,0	0,6	24,9	-0,292	0,239	1.10 ⁻¹	LN
&11	I _{45a}	1,2	1,2	1,2	2,2	0,5	26,4	-0,243	0,247	1.10 ⁻¹	LN
&12	I _{50a}	1,2	1,1	1,0	1,9	0,5	26,0	-0,396	0,232	1.10 ⁻¹	LN
&13	I _{55a}	1,1	1,1	1,0	1,9	0,4	27,4	-0,145	0,185	3.10 ⁻¹	LN
&14	I _{60a}	1,1	1,1	1,0	1,9	0,4	28,5	-0,324	0,197	1.10 ⁻¹	LN
&15	I _{120a}	1,0	0,9	0,8	1,9	0,1	39,1	-0,077	0,357	1.10 ⁻¹	LN
&16	QI _{5a}	2,4	2,4	2,2	3,0	1,6	13,4	-0,237	-0,379	2.10 ⁻²	TL
&17	QI _{10a}	2,3	2,3	2,4	2,9	1,6	13,6	-0,290	-0,112	6.10 ⁻²	LN
&18	QI _{15a}	2,2	2,2	2,3	2,9	1,5	14,4	-0,296	0,033	2.10 ⁻¹	LN
&19	QI _{20a}	2,1	2,1	2,2	2,9	1,5	14,6	-0,229	0,158	1.10 ⁻¹	LN
&20	QI _{25a}	1,4	1,3	0,8	2,1	0,8	23,0	-0,523	0,220	2.10 ⁻¹	LN
&21	QI _{30a}	0,7	0,7	0,1	1,5	0,1	48,3	-0,731	0,189	2.10 ⁻¹	LN
&22	QI _{35a}	1,7	1,7	1,5	2,3	0,9	19,1	-0,237	-0,379	2.10 ⁻²	TL
&23	QI _{40a}	1,6	1,6	1,7	2,2	0,9	19,7	-0,287	-0,113	8.10 ⁻²	LN
&24	QI _{45a}	1,5	1,5	1,6	2,2	0,8	21,1	-0,267	0,015	2.10 ⁻¹	LN
&25	QI _{50a}	1,4	1,4	1,5	2,2	0,8	21,8	-0,309	0,126	1.10 ⁻¹	LN
&26	QI _{55a}	1,4	1,4	1,5	2,1	0,8	22,9	-0,467	0,184	3.10 ⁻²	TL
&27	QI _{60a}	2,1	2,1	2,2	2,8	1,5	15,1	-0,467	0,184	3.10 ⁻²	TL
&28	QI _{120a}	2,0	2,0	2,1	2,8	1,4	16,0	-0,351	0,203	1.10 ⁻¹	LN
&29	EI _{5a}	2,0	2,0	2,0	2,8	1,3	16,0	-0,260	0,205	3.10 ⁻¹	LN
&30	EI _{10a}	1,9	1,9	1,7	2,7	1,3	15,9	-0,292	0,239	1.10 ⁻¹	LN
&31	EI _{15a}	2,2	2,2	1,7	3,6	1,0	27,4	-0,599	0,247	1.10 ⁻¹	LN
&32	EI _{20a}	2,1	2,1	1,7	3,6	1,0	28,6	-0,535	0,281	6.10 ⁻²	LN
&33	EI _{25a}	2,1	2,0	1,7	3,5	1,0	29,5	-0,643	0,273	3.10 ⁻²	TL
&34	EI _{30a}	2,0	1,9	1,9	3,4	1,0	30,4	-0,637	0,241	3.10 ⁻²	TL
&35	EI _{35a}	2,0	1,9	1,9	3,4	0,9	31,3	-0,635	0,244	3.10 ⁻²	TL
&36	EI _{40a}	1,9	1,9	2,6	3,4	0,9	32,0	-0,647	0,240	4.10 ⁻²	TL
&37	EI _{45a}	1,9	1,8	1,8	3,3	0,8	32,8	-0,639	0,221	5.10 ⁻²	LN
&38	EI _{50a}	1,9	1,8	1,7	3,3	0,8	33,2	-0,679	0,245	4.10 ⁻²	TL
&39	EI _{55a}	1,8	1,7	1,7	3,2	0,7	33,7	-0,706	0,214	6.10 ⁻²	LN
&40	EI _{60a}	1,8	1,7	1,7	3,2	0,7	34,3	-0,613	0,262	5.10 ⁻²	LN
&41	EI _{120a}	1,7	1,6	2,1	3,0	0,4	38,9	-0,717	0,112	1.10 ⁻¹	LN
&42	EI _{240a}	1,4	1,4	1,0	3,2	0,2	48,4	-0,576	0,267	9.10 ⁻²	LN
&43	EI _{360a}	1,4	1,4	0,9	3,4	0,0	56,3	-0,379	0,349	1.10 ⁻¹	LN
&44	EI _{720a}	1,1	1,1	0,4	3,5	-0,3	74,7	0,057	0,569	2.10 ⁻²	TL

Nota: ^(a) CV = coeficiente de variação; Pr<W = valor estatístico do teste de probabilidade de Shapiro & Wilk; DF = distribuição de frequência dos dados, sendo: LN = log-normal, e TL = tendendo a log-normalidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor

A distribuição de frequência dos valores dos índices de erosividade de Aquidauana seguiu o padrão log-normal e tendendo a log-normal (Quadro 4), típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959), corroborado por Almeida et al. (2011) e Machado et al. (2013). A distribuição log-normal aplica a distribuição normal aos índices da chuva transformados pela aplicação do logaritmo. A distribuição foi considerada tendendo a log-normal quando Pr<W se encontra na faixa de 1.10⁻² à 4.10⁻².

Os resultados da análise descritiva (Quadro 4) apresentou distribuição de frequência com média e mediana semelhantes, portanto, considerados como simétrica. A maioria dos índices de intensidade da chuva apresentou distribuição platicúrtica, ou seja, com curtose menor que zero. Em relação à variabilidade dos dados, medida pelo CV (%), os quais variaram de 13,4 a 74,7, são classificados em médios ($10\% < CV \leq 20\%$), altos ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito altos ($CV > 30\%$) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002), apresentando uma tendência de aumento dos valores para os índices de intensidades da chuva em tempo de duração maior.

No Quadro 5 são apresentados os coeficientes de correlação (r), dispostos em ordem decrescente, das regressões lineares simples entre as variáveis da chuva (com distribuição de frequência normal, log-normal e tendendo a log-normal), e a perda de solo. Os coeficientes de correlação significativos pelo teste t apresentaram amplitude de 0,879 a 0,405 (£01 a £88), a 1%, e de 0,400 a 0,239 (£89 a £97), a 5% de probabilidade através do teste t de Student. Na maioria dos casos, os parâmetros com distribuição de frequência normal apresentaram correlação maior que os mesmos com distribuição log normal e tendendo a log normal.

Quadro 05- Coeficiente de correlação (r) das regressões entre as variáveis da chuva e a perda de solo em condições de alqueive contínuo em um Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

Índice		R ^(§)Teste de Graybill.....
Núm.	Tipo		
£01	EI ₆₀	0,879**	a
£02	EI ₅₅	0,878**	a b
£03	EI ₅₀	0,876**	a b c
£04	V _u	0,874**	a b c d
£05	EI ₄₅	0,873**	a b c d e
£06	EI ₄₀	0,870**	a b c d e f
£07	EI ₃₅	0,864**	a b c d e f g
£08	EI ₁₅	0,857**	a b c d e f g h
£09	EI ₃₀	0,856**	a b c d e f g h
£10	EI ₂₀	0,856**	a b c d e f g h
£11	EI ₂₅	0,856**	a b c d e f g h
£12	EI ₁₀	0,855**	a b c d e f g h i
£13	EI ₅	0,851**	a b c d e f g h i j
£14	EC	0,820**	a b c d e f g h i j k
£15	I ₆₀	0,792**	b c d e f g h i j k l
£16	QI ₆₀	0,792**	b c d e f g h i j k l
£17	I ₅₅	0,791**	. b c d e f g h i j k l m
£18	QI ₅₅	0,791**	b c d e f g h i j k l m
£19	QI ₅₀	0,787**	d e f g h i j k l m
£20	I ₅₀	0,787**	d e f g h i j k l m
£21	EI ₁₂₀	0,784**	e f g h i j k l m n
£22	I ₄₅	0,781**	f g h i j k l m n o p
£23	QI ₄₅	0,781**	f g h i j k l m n o p
£24	I ₄₀	0,774**	g h i j k l m n o p q
£25	QI ₄₀	0,774**	g h i j k l m n o p q
£26	QI ₃₅	0,759**	g h i j k l m n o p q r

...continua...

Quadro 5- Coeficiente de correlação (r) das regressões entre as variáveis da chuva e a perda de solo em condições de alqueive contínuo em um Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Índice		R ^(§)Teste de Graybill.....
Núm.	Tipo		
£27	I ₃₅	0,759**	g h i j k l m n o p q r
£28	V _r	0,753**	j k l m n o p q r s
£29	I ₃₀	0,741**	k l m n o p q r s t
£30	QI ₃₀	0,741**	k l m n o p q r s t
£31	I ₂₀	0,739**	k l m n o p q r s t u
£32	QI ₂₀	0,739**	k l m n o p q r s t u
£33	I ₂₅	0,735**	k l m n o p q r s t u v
£34	QI ₂₅	0,735**	k l m n o p q r s t u v
£35	I ₁₅	0,725**	k l m n o p q r s t u v w
£36	QI ₁₅	0,725**	k l m n o p q r s t u v w
£37	EI _{40a}	0,710**	k l m n o p q r s t u v w x
£38	EI _{55a}	0,709**	k l m n o p q r s t u v w x y
£39	EI _{45a}	0,709**	k l m n o p q r s t u v w x y
£40	EI _{50a}	0,708**	k l m n o p q r s t u v w x y z
£41	EI _{60a}	0,708**	k l m n o p q r s t u v w x y z
£42	EI _{35a}	0,707**	k l m n o p q r s t u v w x y z a
£43	QI ₁₀	0,707**	k l m n o p q r s t u v w x y z a
£44	I ₁₀	0,707**	k l m n o p q r s t u v w x y z a
£45	EI _{20a}	0,705**	k l m n o p q r s t u v w x y z a β
£46	EI _{30a}	0,704**	k l m n o p q r s t u v w x y z a β γ
£47	EI _{25a}	0,703**	k l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ
£48	EI _{15a}	0,697**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε
£49	EI _{10a}	0,692**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ
£50	Eca	0,680**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η
£51	I _{60a}	0,676**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ
£52	QI _{60a}	0,676**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ
£53	I _{55a}	0,675**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι
£54	QI _{55a}	0,675**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι
£55	EI _{5a}	0,671**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ
£56	I _{50a}	0,671**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ
£57	QI _{50a}	0,671**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ
£58	QI _{45a}	0,668**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ
£59	I _{45a}	0,668**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ
£60	I _{40a}	0,664**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ
£61	QI _{40a}	0,664**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ
£62	I ₅	0,655**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν
£63	QI ₅	0,655**	l m n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν
£64	I _{35a}	0,652**	n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ
£65	QI _{35a}	0,652**	n o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ
£66	EI _{120a}	0,643**	o p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο
£67	V _{ra}	0,642**	p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π
£68	I _{30a}	0,638**	p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ
£69	QI _{30a}	0,638**	p q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ
£70	I _{25a}	0,628**	q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ
£71	QI _{25a}	0,628**	q r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ
£72	I _{20a}	0,625**	r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ
£73	QI _{20a}	0,625**	r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ
£74	A _a	0,622**	r s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ
£75	I _{15a}	0,601**	s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ
£76	QI _{15a}	0,601**	s t u v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ
£77	I _{10a}	0,574**	v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ
£78	QI _{10a}	0,574**	v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ
£79	EI _{240a}	0,574**	v w x y z a β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ

...continua...

Quadro 5- Coeficiente de correlação (r) das regressões entre as variáveis da chuva e a perda de solo em condições de alqueive contínuo em um Argissolo Vermelho distrófico típico de Aquidauana (MS) entre 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Índice		R ^(§)Teste de Graybill.....
Núm.	Tipo		
£80	EI _{360a}	0,522**	ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ
£81	I _{5a}	0,509**	ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ
£82	QI _{5a}	0,509**	ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ
£83	I _{120a}	0,498**	η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ ω
£84	QI _{120a}	0,498**	η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ ω
£85	V _{ua}	0,486**	θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ ω ρ
£86	EI ₂₄₀	0,475**	λ μ ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ ω ρ
£87	EI _{720a}	0,459**	ν ξ ο π ρ ς σ τ υ φ χ ψ ω ρ
£88	EI _{1440a}	0,405**	υ φ χ ψ ω ρ
£89	I ₁₂₀	0,400*	υ φ χ ψ ω ρ
£90	QI ₁₂₀	0,400*	υ φ χ ψ ω ρ
£91	QI _{240a}	0,375*	φ χ ψ ω ρ
£92	I _{240a}	0,375*	φ χ ψ ω ρ
£93	I _{360a}	0,308*	χ ψ ω ρ
£94	QI _{360a}	0,308*	χ ψ ω ρ
£95	EI ₃₆₀	0,300*	χ ψ ω ρ
£96	I _{720a}	0,239*	ρ
£97	QI _{720a}	0,239*	ρ
£98	QI _{1440a}	0,189 ^{NS}	
£99	I _{1440a}	0,189 ^{NS}	
£100	EI ₇₂₀	0,172 ^{NS}	
£101	I ₂₄₀	0,143 ^{NS}	
£102	QI ₂₄₀	0,143 ^{NS}	
£103	EI ₁₄₄₀	0,119 ^{NS}	
£104	I ₃₆₀	0,069 ^{NS}	
£105	QI ₃₆₀	0,069 ^{NS}	
£106	I ₇₂₀	0,025 ^{NS}	
£107	QI ₇₂₀	0,025 ^{NS}	
£108	I ₁₄₄₀	0,008 ^{NS}	
£109	QI ₁₄₄₀	0,008 ^{NS}	
£110	T _a	-0,035 ^{NS}	
£111	T	-0,052 ^{NS}	

Nota: (§) Coeficiente de correlação (r) das regressões entre as médias das variáveis da chuva e a perda de solo A*;

**= estatisticamente significativo a 1% pelo teste t;

*= estatisticamente significativo a 5% pelo teste t;

NS= estatisticamente não significativo;

Coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de teste de Graybill.

Fonte: Elaboração do próprio autor

Apesar do índice EI₆₀ ter apresentado a maior correlação com as perdas de solo, quando avaliado o teste de Graybill, este não difere da variável EC (£14), e com base estatística pode ser empregado qualquer uma das variáveis entre £1 e £14 como índice representativo da erosividade. A EC Entre estes índices esta o EI₃₀, o qual foi preconizado por Wischmeier e Smith (1958), como o índice de erosividade para os EUA.

A associação da energia cinética com a intensidade máxima (Quadro 5), e em especial para os intervalos compreendidos nos primeiros 60 minutos (EI₅, EI₁₀, EI₁₅, EI₂₀, EI₂₅, EI₃₀,

EI₃₅, EI₄₀, EI₄₅, EI₅₀, EI₅₅, EI₆₀), foi superior pelo teste de Graybill. De maneira geral, estas interações aumentaram a correlação com a perda de solo, o que corrobora com os dados obtidos por Wischmeier e Smith (1958); Carvalho (1992); Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); Albuquerque, Chaves e Vasques Filho (1994); Carvalho, Cataneo e Lombardi neto (1997); Marques et al. (1997a); Chen et al. (2010) e Schick (2014). No Planalto de Loess chinês, Wang (1983) e Jia, Wang e Li (1987) sugeriram o EI₁₀ como o índice de erosividade para esta região, no entanto, Wang (1987) demonstrou em estudos na mesma região, que este é de eficácia semelhante ao EI₃₀. Já Usón e Ramos (2001) destacaram o índice EI₅ na Espanha, e Sharifah Mastura, Al-Toum e Jaafar (2003) o índice EI₆₀ na Malásia.

Os parâmetros erosividade da chuva significativos do tipo I_n (Quadro 5) apresentaram coeficientes de correlação (r) que variaram de 0,239 (I₉₆, I_{720a}) a 0,792 (I₂₀, I₆₀), com destaque para as intensidades de intervalos menores. Tal fato, também foi observado por Carvalho (1992); Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); Albuquerque, Chaves e Vasques Filho (1994); Carvalho, Cataneo e Lombardi neto (1997); Albuquerque et al. (1998); Chen et al. (2010) e Schick (2014). Dentre os parâmetros I_n, o índice I₆₀ foi o que apresentou maior correlação (0,792) com as perdas de solo no presente estudo. Esta intensidade foi considerada a melhor estimadora da erosão na Espanha, em ambiente mediterrânico (NICOLAU, 2002), na Malásia (SHARIFAH MASTURA; AL-THOM; JAAFAR, 2006), no Sudeste da China, em Yunnan (YANG; YANG; ZHANG, 2010) e no norte do Iraque (KIASSARI et al., 2012).

Como verificado em trabalhos de mesma natureza, a correlação de T (I₁₁₁, Quadro 5) não foi significativa com a erosão, fato que além de ser explicado pela intensidade das chuvas, possivelmente, relaciona-se a outros fatores: umidade antecedente do solo, resultante de eventos anteriores; infiltração anterior ao início do evento; rugosidade superficial; camadas de impedimentos; entre outros. Todos estes fatores podem alterar o processo hidrológico nas parcelas.

Os parâmetros erosividade do tipo QI_n (Quadro 5) apresentaram coeficientes de correlação entre 0,239 a 0,792, para os índices QI_{720a} e QI₆₀. O valor de QI₃₀ (0,741) encontrou-se muito próximo dos encontrados por Albuquerque et al. (1998) (0,749) e Albuquerque et al. (2005) (0,730) para Sumé (PB), e em geral, menor que os encontrados por Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) para as condições climáticas dos EUA (r = 0,511 a 0,879), e maior aos encontrados por Kiassari et al. (2012) nos climas árido e semiárido do norte do Iraque (r = 0,557 a 0,685). Este índice é de suma importância, pois dispensa o cálculo da energia cinética, sendo um parâmetro de maior facilidade de obtenção.

Portanto, o modelo linear expresso pelo produto entre o volume total da chuva e as intensidades máximas em 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos presentes no Quadro 5 (£07, £06, £05, £03, £02, £01), respectivamente, em valores absolutos, contribuiu para melhorar a correlação com as perdas de solo, quando comparado com o modelo linear expresso pelo volume total da chuva considerado isoladamente. Tais resultados concordam com os obtidos por Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho (1992) e Albuquerque, Chaves e Vasques Filho (1994). Porém, todos os In apresentaram correlação similar aos seus respectivos QI_n , discordando dos autores anteriores, que em geral, tem constatado superioridade dos QI_n .

No Quadro 6 são apresentados os coeficientes de correlação (r), os quais estão dispostos em ordem decrescente, das regressões lineares simples entre as variáveis da chuva e a perda de solo, bem como os valores dos coeficientes a e b.

Quadro 6- Coeficiente de correlação (r) das regressões lineares entre as variáveis da chuva e a perda de solo obtida em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

Núm.	Modelo Matemático	Correlação (r)	Coeficientes de ajuste	
			a	b
@01	$A^* = a + b.EI_{60}$	0,879**	3,2728	$5,2456.10^{-2}$
@02	$A^* = a + b.EI_{55}$	0,878**	3,3642	$4,8337.10^{-2}$
@03	$A^* = a + b.EI_{50}$	0,876**	3,4555	$4,4465.10^{-2}$
@04	$A^* = a + b.V_u$	0,874**	$-4,6518.10^{-2}$	1,3407
@05	$A^* = a + b.EI_{45}$	0,873**	3,5658	$4,0721.10^{-2}$
@06	$A^* = a + b.EI_{40}$	0,870**	3,4870	$3,7177.10^{-2}$
@07	$A^* = a + b.EI_{35}$	0,864**	3,6764	$3,4259.10^{-2}$
@08	$A^* = a + b.EI_{15}$	0,857**	3,6761	$2,2340.10^{-2}$
@09	$A^* = a + b.EI_{30}$	0,856**	3,7323	$3,1171.10^{-2}$
@10	$A^* = a + b.EI_{20}$	0,856**	3,8494	$2,4424.10^{-2}$
@11	$A^* = a + b.EI_{25}$	0,856**	3,6947	$2,8160.10^{-2}$
@12	$A^* = a + b.EI_{10}$	0,855**	3,4870	$1,9931.10^{-2}$
@13	$A^* = a + b.EI_5$	0,851**	3,0371	$1,7607.10^{-2}$
@14	$A^* = a + b.EC$	0,820**	-5,0848	2,5582
@15	$A^* = a + b.I_{60}$	0,792**	-5,1683	1,0581
@16	$A^* = a + b.QI_{60}$	0,792**	-5,1683	$2,1163.10^{-1}$
@17	$A^* = a + b.I_{55}$	0,791**	-5,0159	$9,7707.10^{-1}$
@18	$A^* = a + b.QI_{55}$	0,791**	-5,0159	$1,9542.10^{-1}$
@19	$A^* = a + b.QI_{50}$	0,787**	-4,8194	$1,7952.10^{-1}$
@20	$A^* = a + b.I_{50}$	0,787**	-4,8194	$8,9761.10^{-1}$
@21	$A^* = a + b.EI_{120}$	0,784**	3,6833	$6,6636.10^{-2}$
@22	$A^* = a + b.I_{45}$	0,781**	-4,4931	$8,1653.10^{-1}$
@23	$A^* = a + b.QI_{45}$	0,781**	-4,4931	$1,6331.10^{-1}$
@24	$A^* = a + b.I_{40}$	0,774**	-4,1633	$7,3739.10^{-1}$
@25	$A^* = a + b.QI_{40}$	0,774**	-4,1633	$1,4748.10^{-1}$
@26	$A^* = a + b.QI_{35}$	0,759**	-3,9853	$1,3349.10^{-1}$
@27	$A^* = a + b.I_{35}$	0,759**	-3,9853	$6,6743.10^{-1}$
@28	$A^* = a + b.V_r$	0,753**	-4,5011	$5,5110.10^{-1}$

...continua...

Quadro 6- Coeficiente de correlação (r) das regressões lineares entre as variáveis da chuva e a perda de solo obtida em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Núm.	Modelo Matemático	Correlação (r)	Coeficientes de ajuste	
			a	b
@29	$A^* = a + b.I_{30}$	0,741 ^{**}	-3,7163	$5,9628.10^{-1}$
@30	$A^* = a + b.QI_{30}$	0,741 ^{**}	-3,7163	$1,1926.10^{-1}$
@31	$A^* = a + b.I_{20}$	0,739 ^{**}	-3,8537	$4,7486.10^{-1}$
@32	$A^* = a + b.QI_{20}$	0,739 ^{**}	-3,8537	$9,4971.10^{-2}$
@33	$A^* = a + b.I_{25}$	0,735 ^{**}	-3,8669	$5,3732.10^{-1}$
@34	$A^* = a + b.QI_{25}$	0,735 ^{**}	-3,8669	$1,0746.10^{-1}$
@35	$A^* = a + b.I_{15}$	0,725 ^{**}	-4,3348	$4,3082.10^{-1}$
@36	$A^* = a + b.QI_{15}$	0,725 ^{**}	-4,3348	$8,6164.10^{-2}$

Fonte: Elaboração do próprio autor

O valor do coeficiente de correlação ($r = 0,856$), encontrado por meio da correlação linear entre o EI_{30} e as perdas de solo da parcela padrão da EUPS (Quadro 6), foi similar aqueles obtidos por Wischmeier (1959), para as condições dos EUA ($r = 0,84$ a $0,98$), e no Brasil, por Marques et al. (1997a) ($r = 0,87$ e $0,72$). No entanto, foi superior ao encontrado por Khorsandi et al. (2010) no norte do Irã ($0,784$ e $0,727$), e por vários outros autores no Brasil; Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) ($r = 0,672$), Carvalho et al. (1993) ($r = 0,680$), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997) ($r = 0,61$), Albuquerque et al. (1998) ($r = 0,734$), Schick (1999) ($r = 0,687$), Beutler (2000) ($r = 0,350$), Carvalho e Hernani (2001) ($r = 0,537$), Bertol et al. (2002) ($r = 0,687$), Schick et al., 2014 ($0,655$). Portanto, como o índice EI_{30} não apresentou diferença estatística para os melhores índices representativos da erosividade (Quadro 5), bem como, é reconhecido e empregado internacionalmente, pode-se concluir que o índice EI_{30} ($r = 0,856$), a exemplo de que ocorreu em diversos outros locais, é uma variável conveniente para estimar as perdas de solo que são causadas pela erosão hídrica pluvial de Aquidauana (MS). Fato esse que facilita a comparação entre dados de erosividade de diversas localidades, como também a junção dos mesmos a fim de confeccionar mapas de erosividade e a reunião de banco de dados em uma escala geográfica maior.

A recomendação do índice EI_{30} permite o cálculo da erosão de Aquidauana pela EUPS e EUPSR pela expressão: fator $A^* = 3,7323 + 3,1171.10^{-2}.EI_{30}$. A estimativa da erosão com os valores mínimo e máximo de EI_{30} (Quadro 2), no presente estudo, variou de $4,03 \text{ t ha}^{-1}$ a $89,08 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente em parcela padrão. Já o valor médio de EI_{30} resultou em perda de solo de $12,13 \text{ t ha}^{-1}$.

4.1 FATOR EROSIVIDADE VERSUS PERDA DE SOLO

No Quadro 7 são apresentados os coeficientes de determinação (R^2) e os coeficientes ajustados (a, b, c e d) das equações de regressão entre os fatores erosividade e a perda de solo em condições de alqueive, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS), entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Foram analisadas as intensidades de chuva e as quantidades de solo e de enxurrada arrastados pela erosão, das chuvas individuais erosivas, em parcelas experimentais com o solo descoberto (condições de alqueive), de acordo com as preposições de Cogo (1979) e Bertoni e Lombardi Neto (2014).

No Quadro 7, analisando-se os coeficientes de determinação é observado que todos foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Entretanto, somente os modelos que apresentaram todos os coeficientes de ajuste significativos influenciam estatisticamente as perdas de solo por erosão.

Os valores de R^2 dos modelos com coeficientes de ajuste significativos variaram entre 0,813 (#01) e 0,360 (#20) (Quadro 7), com uma amplitude de 0,453, a qual foi menor quando comparada com Carvalho (1992) (contanto todos os valores obtidos para as localidades de Mococa (SP), Pindorama (SP) e Campinas (SP), o R^2 variou entre 0,826 e 0,245 com amplitude de 0,581), Carvalho e Hernani (2001) (para a localidade de Dourados (MS), o R^2 variou entre 0,994 e 0,125 com amplitude de 0,869) e Albuquerque et al. (2002) (para a localidade de Sumé (PB), o R^2 variou entre 0,873 e 0,330 com amplitude de 0,543).

Quadro 7- Coeficiente de determinação (R^2) das regressões entre os fatores erosividade e a perda de solo em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

Núm.	Modelo matemático	Tipo	Determinação (R^2)	Coeficientes de ajuste ⁽¹⁾			
				a	b	c	d
Modelos com coeficientes de ajuste significativos							
#01	$A^*=a+b.EI_{30}+c.V_u$	C-E	0,813*	$7,426.10^{-1}$	$1,498.10^{-2*}$	$8,096.10^{-1*}$	--
#02	$A^*=a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(a.I5)^{1/3}$	C-E	0,803*	2,140	$1,860.10^{-2*}$	$4,486.10^{-1*}$	--
#03	$A^*=a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(a.I30)^{1/3}$	C-E	0,799*	2,448	$1,854.10^{-2*}$	$5,316.10^{-1*}$	--
#04	$A^*=a+b.EIA+c.V_u$	C-E	0,797*	1,215	$4,723.10^{-3*}$	$8,499.10^{-1*}$	--
#05	$A^*=a+b.V_u$	E	0,764*	$-4,652.10^{-1}$	1,341*	--	--
#06	$A^*=a+b.EI_{30}$	C	0,732*	3,732	$3,117.10^{-2*}$	--	--
#07	$A^*=a+b.EIA$	C	0,723*	4,741	$1,092.10^{-2*}$	--	--
#08	$A^*=a+b.(V_r.I_{30})$	C	0,700*	3,538	$7,579.10^{-3*}$	--	--
#09	$A^*=a+b(0,119+0,0873.log I_{30})V_r.I_{30}$	C	0,679*	4,457	$2,543.10^{-2*}$	--	--
#10	$A^*=a+b.[V_r.(I_{30})^{1,14}]$	C	0,678*	4,456	$3,914.10^{-3*}$	--	--
#11	$A^*=a+b.EC$	C	0,672*	-5,085	2,558*	--	--
#12	$A^*=a+b.V_r$	C	0,566*	-4,501	$5,511.10^{-1*}$	--	--

...continua...

Quadro 7- Coeficiente de determinação (R^2) das regressões entre os fatores erosividade e a perda de solo em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.

...continuação...

Núm.	Modelo Matemático	Tipo	Determinação (R^2)	Coeficientes de ajuste ⁽¹⁾			
				a	b	c	d
#13	$A^*=a.(EIA)^b$	C	0,518*	$3,867.10^{-2}$	$8,539.10^{-1*}$	--	--
#14	$A^*=a.(EI_{30})^b$	C	0,494*	$1,182.10^{-2}$	1,197*	--	--
#15	$A^*=a.(EC)^b$	C	0,488*	$9,417.10^{-2}$	2,152*	--	--
#16	$A^*=a.(V_u.\alpha.I_{30})^b$	E	0,435*	$8,896.10^{-1}$	$4,094.10^{-1*}$	--	--
#17	$A^*=a.(V_u.\alpha.I_s)^b$	E	0,422*	$6,501.10^{-1}$	$4,091.10^{-1*}$	--	--
#18	$A^*=a.(V_u)^b$	E	0,421*	1,549	$6,500.10^{-1*}$	--	--
#19	$A^*=a.(V_r)^b$	C	0,405*	$4,048.10^{-3}$	2,102*	--	--
#20	$A^*=a.exp^{EC.b}$	C	0,360*	$-6,089.10^{-1}$	$2,531.10^{-1*}$	--	--
Modelos com coeficientes de ajuste não significativos							
#21	$A^*=a.(EIA)^b+c.V_u.exp.(d/\alpha.I_s)$	C-E	0,798*	$2,450.10^{-2}$	$8,175.10^{-1*}$	$8,605.10^{-1*}$	-2,001 ^{NS}
#22	$A^*=a.(EI_{30})^b+c.V_u.exp.(d/\alpha.I_s)$	C-E	0,816*	$2,140.10^{-3}$	1,236*	$9,340.10^{-1*}$	$4,768.10^{-1NS}$
#23	$A^*=a.EI_{30}+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_s)$	C-E	0,813*	$1,458.10^{-2}$	$8,561.10^{-1*}$	$-1,014.10^{-1NS}$	--
#24	$A^*=a.EIA+b.V_u.exp.(c/\alpha.I_s)$	C-E	0,795*	$3,987.10^{-3}$	$9,987.10^{-1*}$	$-1,4319^{NS}$	--
#25	$A^*=a+b.EC+c.EC^2$	C	0,717*	$8,216.10^{-1}$	$8,547.10^{-1NS}$	$7,218.10^{-2*}$	--
#26	$A^*=a+b.EIA+c.V_u.(\alpha.I_s)^{1/3}$	C-E	0,793*	2,185	$1,269.10^{-3NS}$	$2,723.10^{-1*}$	--
#27	$A^*=a+b.EIA+c.V_u.(\alpha.I_{30})^{1/3}$	C-E	0,789*	2,467	$6,635.10^{-4NS}$	$3,409.10^{-1*}$	--
#28	$A^*=a+b.EI_{30}+c.EIA$	C	0,736*	4,001	$2,066.10^{-2*}$	$3,7881.10^{-3NS}$	--

Nota: ⁽¹⁾ a, b, c e d = coeficientes ajustados;

* = estatisticamente significativo a 5% pelo teste t;

NS = não significativo.

Fonte: Elaboração do próprio autor

No Quadro 7, observa-se que entre os 8 primeiros fatores erosividade, na ordem decrescente de R^2 , quatro são de natureza chuva-enxurrada, seguidos de um fator de enxurrada e três da chuva. Tais fatores foram os seguintes: 1º) 4 lineares múltiplos, a saber: $a+b.EI_{30}+c.V_u$ (#01); $a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(\alpha.I_s)^{1/3}$ (#02); $a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(\alpha.I_{30})^{1/3}$ (#03) e $a+b.EIA+c.V_u$ (#04), sendo todos fatores erosividade da chuva-enxurrada, e 2º) 4 linear simples, a saber: $a+b.V_u$ (#05); $a+b.EI_{30}$ (#06); $a+b.EIA$ (#07) e $a+b.(V_r.I_{30})$ (#08), sendo (#05) da enxurrada, e o restante fatores erosividade da chuva.

O melhor fator erosividade em meio aos modelos lineares, não lineares, simples e múltiplos para estimar as perdas de solo de Aquidauana foi $a+b.EI_{30}+c.V_u$ (#01, Quadro 7), com $R^2=0,813$. Este fato é contrário ao encontrado por Wischmeier e Smith (1959), que preconizavam o EI_{30} como tal (#06 e #14, Quadro 7). Porém concorda com o proposto por Meyer et al. (1975), que distinguiu o processo erosivo em dois sub-processos distintos: erosão em sulcos e entressulcos, sendo representados de acordo com Lombardi Neto (1979) pelos parâmetros V_u e EI_{30} , respectivamente. Tal composição é indicada no presente trabalho como fator R para emprego da EUPSM em Aquidauana-MS.

4.1.1 Parâmetros erosividade da chuva-enxurrada

Os parâmetros lineares múltiplos de erosividade da chuva-enxurrada (#1, #2, #3 e #4, Quadro 7) apresentaram os mais elevados coeficientes de determinação, variando de 0,797 a 0,813. Este fato comprova uma maior robustez do fator R, quando composto por parâmetros representativos da erosão entressulcos e em sulcos, conforme estabelecido por Foster, Meyer e Onstad (1977a,b), e com Lombardi Neto (1979) e Foster. Lombardi Neto e Moldenhauer (1982) que propuseram os modelos em questão: $a+b.EI_{30}+c.V_u$ (#1) e $a+b.EIA+c.V_u$ (#4). Também comprova a eficiência dos modelos #2 e #3 (Quadro 7) que foram idealizados por Onstad e Foster (1975). Porém não foram significativos os modelos #21 e #22 (Quadro 7), que atestam o conceito de tensão crítica de cisalhamento do solo (τ_c), estimada pelo termo $\exp.(d/aI^5)$, para a erosão em sulcos ocorrida em Aquidauana, conforme proposições de Foster e Meyer, 1975, Foster, Meyer e Onstad (1977a,b).

Os parâmetros de erosividade que resultaram nos maiores coeficientes de determinação (#1, #2, #3 e #4, Quadro 7), cujos modelos são de natureza chuva-enxurrada, apresentaram desempenho superior em relação àqueles da chuva e da enxurrada, estabelecidos na forma não-linear (lineares por anamorfose) (#13, #16, #17 e #18), fato esse que contraria os dados obtidos por Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque et al. (2002), em que constituíram os melhores modelos preditores de perda de solo, para todos os locais estudados.

No Quadro 7, os modelos lineares múltiplos $a+b.EI_{30}+c.V_u$ (#1) e $a+b.EIA+c.V_u$ (#4) incrementaram a predição das perdas de solo quando comparado com os modelos lineares simples EI_{30} (#6), V_u (#5) e EIA (#7). Já o modelo linear múltiplo $a+b.EI_{30}+c.EIA$ (#28) não foi significativo. Estes resultados concordam em parte com Lombardi Neto (1979), Foster, Cataneo e Lombardi Neto (1982), Carvalho (1992), Carvalho et al. (1993), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque (2002), que obtiveram significância para o modelo #28, sendo inferior aos modelos #1 e #4, e superior aos modelos #6 e #7.

Os modelos lineares múltiplos $a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(a.I_5)^{1/3}$ (#02) e $a+b(1/2)EI_{30}+c(1/2)V_u.(a.I_{30})^{1/3}$ (#03), propostos por Onstad e Foster (1975) e Foster et al. (1977a), não foram superiores ao modelo linear múltiplo $a+b.EI_{30}+c.V_u$ (#1) (Quadro 7), discordando dos resultados obtidos por Lombardi Neto (1979) e Foster, Cataneo e Lombardi Neto (1982) para os Estados Unidos, e corroborando com o observado por Carvalho (1992),

Carvalho et al. (1993), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque et al. (2002). Portanto, isto indica uma inexistência do efeito não-linear estabelecido por Onstad e Foster (1975) quanto a taxa de pico de descarga de enxurrada (σ_{pu}), através dos termos $(\alpha.I_5)^{1/3}$ e $(\alpha.I_{30})^{1/3}$. A mesma conclusão é feita quando comparados os modelos lineares múltiplos $a+b.EIA+c.V_u.(\alpha.I_5)^{1/3}$ (#26) e $a+b.EIA+c.V_u.(\alpha.I_{30})^{1/3}$ (#27) com o modelo linear múltiplo $a+b.EIA+c.V_u$ (#4), pois os modelos #26 e #27 não foram significativos. Também, nesse caso, pareceu não haver diferença entre o uso do I_5 ou do I_{30} para a estimativa do pico da taxa da enxurrada, que estão contidos nos parâmetros #2, #3, #26 e #27, concordando com o observado por diversos trabalhos de mesma natureza (LOMBARDI NETO, 1979; FOSTER, LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982; CARVALHO, 1992; CARVALHO; CATANEO; LOMBARDI NETO, 1997; ALBUQUERQUE, 1997; CARVALHO; HERNANI 2001).

4.1.2 Parâmetros erosividade da enxurrada

Em relação ao índice de erosividade da enxurrada, V_u , sua superioridade na forma linear (#05, Quadro 7), sobre os não-lineares (#16, #17 e #18, Quadro 7), os quais se apresentam na forma potencial e na presença ou não do pico da taxa da enxurrada (WILLIAMS, 1975), contrariou o observado para Campinas, Mococa e Pindorama, por Carvalho (1992) e Carvalho et al. (1997), assim como com o observado para Sumé (ALBUQUERQUE, 1997) e para Dourados (CARVALHO; HERNANI, 2001). O comportamento do modelo potencial, a exemplo do parâmetro $A^*=a.(V_u)^b$ (#18), é determinado principalmente pelo seu expoente b . Para o caso de ser o expoente b positivo, quanto maior for o seu valor, mais rápida a resposta ao valor crescente da erosão.

Carvalho e Hernani (2001) concluíram que o modelo não-linear com o volume da enxurrada (#18) foi indicado como o fator erosividade para Dourados (MS), pois foi o que melhor explicou as variações das perdas de solo das chuvas individuais ($R^2 = 0,9944$), e tal correlação foi 45,71% superior àquela do parâmetro EI_{30} . Tal índice de erosividade recomendado para Dourados (MS) apresentou coeficiente b de 1,07, enquanto no presente trabalho, este índice foi bem inferior, a saber, 0,56. Já Zheng e Chen (2015), estudando índices de erosividade na bacia hidrográfica do planalto de Loess na China, constataram que o volume da enxurrada (V_u) foi o melhor índice de erosividade, embora o I_{30} seria útil em muitos casos, considerando a dificuldade de medir o volume de escoamento, o qual, também foi relatado por Albuquerque et al. (1998).

O modelo linear simples com a altura da enxurrada V_u (#05, Quadro 7) apresentou coeficiente de determinação muito próximo ao modelo linear simples com o EI_{30} (#06) e EIA (#07). No entanto, apresentaram R^2 diferente e maior ao modelo representado pelo V_r (#12). Em comparação entre V_u e EI_{30} , houve concordância com resultados obtidos por Albuquerque (1997), Albuquerque et al. (1998) e Carvalho e Hernani (2001), e discordância de Carvalho (1992) e Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997). Em relação à comparação entre V_u e EIA, concordou-se com Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997) e Albuquerque (1997) e discordou-se de Carvalho e Hernani (2001). Já com relação à comparação entre V_u e V_r , concordou-se com Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque (1997) e Carvalho e Hernani (2001).

Em relação à estimativa do pico da taxa da enxurrada, a correlação muito próxima dos parâmetros não-lineares #16 e #17 mostrou não haver distinção no uso do I_5 ou do I_{30} , como termos adjuntos de a , concordando com o observado por Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque (1997) e Carvalho e Hernani (2001).

4.1.3 Parâmetros erosividade da chuva

Os modelos de erosividade da chuva não apresentaram necessariamente as menores correlações com as perdas de terra (Quadro 7), como tem sido observado pela maioria das pesquisas de mesma natureza, citando Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho et al. (1993), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Carvalho e Hernani (2001) e Albuquerque (2002).

Dentre os parâmetros de erosividade da chuva compreendidos entre o #06 e o #20, o modelo linear simples prevaleceu, e o modelo que contém o EI_{30} (#06) apresentou maior R^2 em relação aos demais (Quadro 7). Possivelmente para Aquidauana, não deve ser recomendada a substituição do EI_{30} (#06), de Wischmeier e Smith (1965), por variáveis mais simples, como o V_r e, ou, I_{30} , conforme preconizado por Foster e Meyer (1975), discordando do observado por Lombardi Neto (1979), Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997) e Albuquerque (2002), e concordando com Carvalho e Hernani (2001).

Os modelos lineares do índice EI_{30} , expressos pelo produto entre o volume da chuva e a intensidade máxima em trinta minutos (#08, #09 e #10, Quadro 7), contribuiriam para

melhorar a correlação com as perdas de solo, quando comparados com os modelos que utilizaram o volume da chuva isoladamente (#12 e #19, Quadro 7). Os resultados obtidos concordaram com os registrados por Foster, Lombardi Neto e Moldenhauer (1982), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque et al. (1998) e Albuquerque et al. (2002).

Os modelos não-lineares (#14, #13, #15 e #19), utilizados para os parâmetros de erosividade da chuva (EI_{30} , EIA, EC e V_r), não melhoraram as estimativas de perda de solo quando comparados aos modelos lineares (06, #07, #11 e #12) (Quadro 7). A diferença entre os modelos mencionados esta de acordo com o relatado por Lombardi Neto (1979), Carvalho (1992), Carvalho, Cataneo e Lombardi Neto (1997), Albuquerque (1997) e Albuquerque et al. (2002).

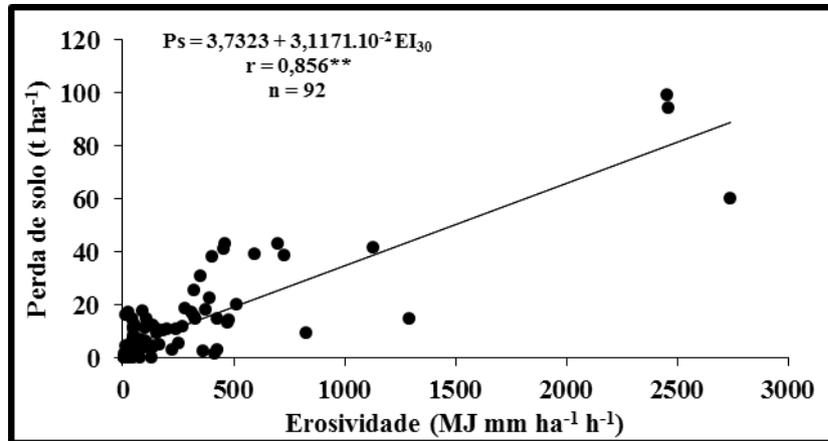
Apesar de o índice EIA ser selecionado como fator erosividade da chuva, este apresenta em sua composição variáveis da chuva (I_{30} e V_r) como da enxurrada (V_u), portanto é um fator erosividade da chuva-enxurrada (Quadros 7) (CARVALHO, 1992; CARVALHO; HERNANI, 2001).

4.2 ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR K

Em relação ao modelo linear $A^*=a+b.x$, A^* representa a estimativa da perda de solo por erosão, x é o índice de erosividade escolhido e o fator erodibilidade do solo (K) é representado pelo coeficiente de regressão b , quando os dados são obtidos sob condições de *parcela padrão* (WISCHMEIER, 1972; WISCHMEIER; SMITH, 1978; FOSTER; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1982). Já o coeficiente linear, esta relacionado a outros fatores: umidade no solo, resultante de eventos anteriores; infiltração de água no solo, anterior ao início de escoamento, bem como, em decorrência da rugosidade. O coeficiente ajustado b foi positivo, indicando função crescente entre causa e efeito. Desta forma, o modelo linear que explica as perdas de solo por erosão, em função do EI_{30} (Figura 4) para Aquidauana é dado pela seguinte eq.:

$$A^*=3,7323+3,1171.10^{-2}.EI_{30} \dots\dots\dots r=0,8560^{**} \quad (58)$$

Figura 5- Dispersão e ajuste dos dados entre erosividade (EI_{30}) e perda de solo obtida em condição de alqueive contínuo, para 92 chuvas individuais ocorridas em Aquidauana (MS) entre o período de 09/12/2012 e 13/08/2014. Aquidauana (MS), 2012/2013/2014.



Nota: ** Estatisticamente significativo a 1%

Fonte: Elaboração do próprio autor

Portanto, o fator erodibilidade (K), a ser usado na EUPS para o solo da parcela de campo da UEMS de Aquidauana (Argissolo Vermelho distrófico típico, com classe textural franco arenosa /franco argilo-arenosa), que o presente estudo estimou, foi $0,0312 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Eq. 58). O coeficiente b, obtido pela tangente do ângulo entre a abscissa e a reta linear plotada, resulta no referido fator K. Esta erodibilidade é classificada como de magnitude moderada de acordo com Foster et al. (1981) (valores de K entre $0,03$ e $0,06 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e alta de acordo com Mannigel et al. (2002) (valores de K entre $0,0300$ e $0,0450 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$).

O valor obtido está na faixa do fator K encontrado por Bertoni e Lombardi Neto (2014) para vários solos que possuem B textural do Estado de São Paulo, que está entre $0,018$ e $0,055 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, e também por Denardin (1990), Marques et al. (1997a) e Marques et al. (1997b), que para a mesma gama de solos, variam entre $0,004$ e $0,045 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

O valor do fator K encontrado no presente estudo também foi semelhante aos obtidos por Marques et al. (1997a) que obtiveram valor de K de $0,0330 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para Argissolo Vermelho-Amarelo na região de Sete Lagoas (MG) e Silva et al. (2009) que obtiveram erodibilidade de $0,0355 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para um Cambissolo na região de Lavras (MG). Porém, não foi próximo ao observado por Eduardo et al. (2013), que encontraram valor de $0,0106 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para um Argissolo Vermelho-Amarelo (relação textural de 1,86) na região de Seropédica (RJ).

De maneira geral, os solos com horizonte B textural apresentam limitação à infiltração de água no solo devido a alta relação textural da argila entre o horizonte A e B (MANNIGEL et al., 2002), sendo que para este solo a relação textural é de 2,42 (Quadro 1), especialmente por apresentar conteúdo de areia + silte no horizonte A elevado (areia= 780 g kg⁻¹, silte= 110 g kg⁻¹, argila= 110 g kg⁻¹).

Em um estudo com quatro tipos de Argissolos para o Estado de São Paulo, Mannigel et al. (2002) encontraram valores de K entre 0,0178 e 0,0466 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ associados a relação textural entre 1,49 e 2,54, e valor de 0,4278 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ para uma relação textural maior, de 8,79. Este fato mostra a importância de se mencionar a relação textural para comparação do fator K entre solos que apresentam B textural.

Em trabalho de levantamento do índice de erosividade (fator R) para o Estado de Mato Grosso, no qual foram incluídas algumas regiões dos estados circunvizinhos, é relacionado o fator R de 7584 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para Aquidauana (SALTON; COMUNELLO; FIETZ, 2013). Considerando que nas condições de parcela padrão, o produto dos fatores restantes da EUPS dará um (L.S.C.P=1), a estimativa de perda de solo por erosão é dada por A*=K.R. Portanto, com o valor do fator K obtido no presente estudo e o fator R estimado para Aquidauana, tem-se um total de perda de solo de 236,62 t ha⁻¹ ano⁻¹ nas condições de parcela padrão. Essa erosão situa-se muito acima do valor da tolerância de perda do solo pesquisado (39,4 vezes maior), cuja estimativa foi de 6,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). Assim, deve-se lançar mão dos fatores restantes da EUPS (LS, C e P), para que tal cifra fique aquém da referida tolerância e preconizada para a conservação do solo pesquisado, de forma a se trabalhar sob a égide da auto-sustentabilidade agrícola local.

5 CONCLUSÕES

1) No âmbito da EUPS, o índice EI_{30} foi convenientemente adequado para prever as perdas de solo das chuvas individuais locais. Assim, a erosão de Aquidauana deve ser calculada pela expressão: $A^*=3,7323+3,1171.10^{-2}.EI_{30}$, cujos valores extremos estimados foram de 4,03 e 89,08 t ha⁻¹. Portanto, o fator erosividade da chuva em questão deve ser calculado pelo emprego do índice de erosividade da chuva EI_{30} de Wischmeier e Smith,

2) Já no âmbito da EUPSM e da EUPSR, o índice de erosividade local, por ter resultado uma substancial e superior correlação com as perdas de solo por erosão quando comparado ao tradicional EI_{30} , deve ser calculado pelo emprego do índice de erosividade da chuva-enxurrada $A^*=a+b.EI_{30}+c.V_u$, e

3) O valor do fator K da EUPS, para o Argissolo Vermelho de Aquidauana (MS), foi de 0,0312 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Portanto, nas condições de parcela padrão, estima-se uma perda de solo de 236,62 t ha⁻¹ ano⁻¹, cujo valor está bem acima do valor máximo de perda de solo permissível (tolerância de perda de solo), que é de 6,00 t h ha⁻¹ ano⁻¹. Sendo assim, recomenda-se o emprego dos demais fatores da EUPS (LS, C e P), para que a erosão do solo pesquisado fique aquém de sua tolerância, de forma a se trabalhar sob a égide da auto-sustentabilidade agrícola local.

REFERÊNCIAS

- ABU HAMMAD, A. H.; BORRESEN, T.; HAUGEN, L. E. Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 39-47, 2005.
- ALBERTS, E. E., MOLDENHAUER, W. C., FOSTER, G. R. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill-flow. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 590-595, 1980.
- ALBUQUERQUE, A. W. **Determinação de parâmetros para a equação universal de perda de solo nas condições de Sumé (PB)**. 1997. 133 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I. B.; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 2, p. 279-283, 1994.
- ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A.; SRINIVASAN, V. S. Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno Não-Cálcico vértico em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 743-749, 1998.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Parâmetros erosividade da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 695-703, 2002.
- ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá-MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 178-184, 2011.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas Brasileiras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, 2010.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 74-107.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n.1, p. 124-130, 2001.

ANGULO-MARTÍNEZ, M.; BEGUERÍA, S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 379, n. 1-2, p. 111-121, 2009.

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2443-2460, 2008.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinados em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355 p.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N. P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 455-464, 2002.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 485-494, 2004.

BEUTLER, J. F. **Erosão hídrica num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. 2000. 105 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Faculdade de Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2000.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; MORTARI, D.; FÁCIO, J. A.; MOTTA, N.; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília, DF: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 39-91.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 597-607, 2005.

CARVALHO, M. P. **Fator erosividade da chuva-enxurrada para chuvas individuais do estado de São Paulo**. 1992. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

CARVALHO, M. P. **Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o estado de São Paulo**. 2001. 62 f. Tese (Livre Docência na disciplina de Manejo e Conservação do Solo) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

CARVALHO, M. P.; HERNANI, L. C. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 137-146, 2001.

CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 279-286, 1997.

CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; VERONESE JÚNIOR, V. Critérios para classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 175-183, 2004.

CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES, FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa / muito argilosa de Mococa/SP: primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 237-242, 1989.

CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo distrófico de Campinas (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 445-450, 1993.

CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M. Pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: ARAÚJO, Q. R. de (org). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 399-420.

CHEN, X. A.; CAI, Q. G.; ZHENG, M. G.; NIE, B. B.; CUI, P. W. Study on rainfall erosivity of Chabagou watershed in a hilly loess region on the Loess Plateau. **Journal of Sediment Research**, Madrid, v. 1, n. 1, p. 5-10, 2010.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p. 75-98.

CRUZ, E. S. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-amarelo**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

DENARDIN, J. R. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 106 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DRAGOUN, F. J. Rainfall energy as related to sediment yield. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 67, n. 4, p. 1495-1501, 1962.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 3, p. 796-803, 2013.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: Ibrasa Champagnat, 1997. 486 p.

FERRO, V. Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 106, n. 2, p. 216–220, 2010.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: BASSELMAN, J. A. **Hidrological modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engeeniring, 1982. p. 297-300.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAEUR, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservervation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 335-359, 1981.

FOSTER, G. R.; LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors of individual storms. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 25, n. 1, p. 124-129, 1982.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. A closed-form soil erosion equation for uplands areas. In: SHEN, H. W. (ed.). **Sedimentation: symposium to honor professor H. A. Einstein**. Fort Collins: USDA, 1972. p.1-19.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In: **Present and prospective tecnology for predicting sediment yields and sources**. Oxoford: United Stades Agricultural Research Service, 1975. p. 190-207.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D.; ONSTAD, C. A. An erosion equation derived from basic erosion principles. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 20, n. 4, p. 678-682, 1977a.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D.; ONSTAD, C. A. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 20, n. 4, p. 683-687, 1977b.

FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência dos Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1743-1751, 2008.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. North Scituate: Duxbury, 1976. 704 p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão**: uma introdução à econometria. São Paulo: EDUSP, 1977. 339 p.

JACOBS, G. A. **Erodibilidade de dois Latossolos Vermelho-Escuro (textura argilosa e média) em relação a erosividade**. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

JIA, Z. J.; WANG, X. P.; LI, J. Y. Determination of the rainfall erosivity index for hilly loess areas in the western Shanxi. **Soil and Water Conservation in China**, Beijing, v. 6, n. 1, p. 18-20, 1987.

KHORSANDI, N.; MAHDIAN, M. H.; PAZIRA, E.; NIKKAMI, D. Comparison of rainfall erosivity indices in runoff-sediment plots in northern Iran. **World Applied Sciences Journal**, Dubai, v. 10, n. 8, p. 975-79, 2010.

KIASSARI, E. M.; NIKKAMI, D.; MAHDIAN, M. H.; PAZIRA, E. Investigating rainfall erosivity indices in arid and semiarid climates of Iran. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Istanbul, v. 36, n. 3, p. 365-378, 2012.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the universal soil loss Equation family of models: A review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 385, n. 1-4, p. 384-97, 2010.

LEE, J. H.; HEO, J. H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 409, n. 1/2, p. 30-48, 2011.

LOMBARDI NETO, F. **Universal soil loss equation (USLE), runoff erosivity factor, slope length expoent, and slope steepness expoent for individual storms**. 1979. 128 f. Tese (Doctor of Philosophy) - Purdue University, West Lafayette, 1979.

LOMBARDI-NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 529-547, 2013.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 427-434, 1997a.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; CAROLINO, M. A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 447-456, 1997b.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 395-403, 2003.

MEYER, L. D., FOSTER, G. R., NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; ROMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Oxford: Research Service, 1975. p. 177-189.

MEYER, L. D.; WISCHMEIER, W. H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 12, n. 6, p. 754-758, 1969.

MORAIS, L. F. B; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 12, n. 3, p. 281-284, 1988.

MUTCHLER, C. K.; YOUNG, R. A. Soil detachment by raindrops. In: United States Department of Agriculture. **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Oxford: United States Agricultural Research Service, 1975. p. 113-117.

NICOLAU, J. M. Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean continental environment: the Teruel Coalfield, Spain. **Hydrological Processes**, Bristol, v. 16, n. 3, p. 631-647, 2002.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, New York, v. 25, n. 3, p. 1021-1036, 2011.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 69-79, 2012.

ONSTAD, C. A.; FOSTER, G. R. Erosion modeling on watershed. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 19, n. 2, p. 288-292, 1975.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PETAN, S.; PINTO, F. T.; MIKO, M.; BARBOSA, J. P. Modelação da erosão do solo da bacia do Rio Leça com a equação RUSLE e SIG. **Revista de Recursos Hídricos**, Coimbra, v. 31, n. 1, p. 99-110, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 41-73.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Version 3.1.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10. dez. 2014.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. 404 p. (Agricultural Handbook, 703).

RISSE, L. M.; NEARING, M. A.; NICKS, A. D.; LAFLEN, J. M.. Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 3, p. 825-833, 1993.

SALTON, J. C.; COMUNELLO, E.; FIETZ, C. R. **Estimativa de índices de erosividade da chuva para o Estado de Mato Grosso**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 46 p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 116).

SANTOS, M. A. N.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Water infiltration in an Ultisol after cultivation of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 1143-1152, 2014.

Statistical Analysis System - SAS. **SAS/STAT procedure guide for personal computers**. 6. ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2002. 334 p.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M. de; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010.

SCHICK, J. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Faculdade de Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 1999.

SCHICK, J. **Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um Cambissolo Húmico em Lages, SC.** 2014. 149 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Faculdade de Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

SHARIFAH MASTURA, S. A.; AL-THOM, S.; JAAFAR, O. Rain splash erosion: a case study in Tekala River catchment, East Selangor, Malaysia. **Geografia: Malaysian Journal of Society and Space**, Bangi, v. 2, n. 1, p. 43-57, 2006.

SINZOT, A.; BOLLINNE, A.; LAURANT, A.; ERPICUM, M.; PISSART, A. A contribution to the development of an erosivity index adapted to the prediction of erosion in Belgium. **Earth Surface Processes and Landforms**, Amsterdam, v. 14, n. 6, p. 509-515, 1989.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, A. P. T.; CUNHA, H. F.; RICARDO, J. A. D.; ABOT, A. R. Espécies de cupins (Isoptera) em cultura de eucalipto sob diferentes sistemas de manejo de irrigação, em região de transição cerrado-pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 137-146, 2015.

USÓN, A.; RAMOS, M. C. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. **Catena**, Amsterdam, v. 43, n. 4, p. 293-305, 2001.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na Bacia do rio Uberaba.** 2008. 220 f. Tese (Doutorado em Agronomia, produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, 2008.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, MG: UFV, 1991. 499 p.

WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 12, n. 3, p.197-203, 1988.

WANG, W. Z. Relationship between soil loss and rainfall characteristics for the Chinese loess areas. **Bulletin of soil and water conservation**, Beijing, v. 3, n. 5, p. 62-64, 1983.

WANG, W. Z. Determination of the rainfall erosivity index for Chinese loess areas. **Soil and Water Conservation in China**, Beijing, v. 12, p. 34-38, 1987.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: United States Department of Agriculture. **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources.** Oxford: United States Agricultural Research Service, 1975. p. 244-252.

WILLIAMS, J. R.; HILER, E. A.; BAIRD, R. W. Predicting of sediment yield from small watersheds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 14, n. 6, p. 1157-1162, 1971.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H. Upslope erosion analyses. In: SHEN, H. W. (ed.). **Environmental impact on rivers**. Littleton: Water Resources, 1972. cap 15, p. 1-26.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-91, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington: USDA, 1965. 47 p. (Agriculture Handbook, 282)

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537)

YANG, Z.; YANG, L.; ZHANG, B. Soil erosion and its basic characteristics at karst rocky-desertified land consolidation area: a case study at Muzhe Village of Xichou County in southeast Yunnan, China. **Journal of Mountain Science**, Beijing, v. 7, n. 1, p. 55-72, 2010.

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, Washington, v. 9, n. 6, p. 1629-1636, 1973.

ZHENG, M.; CHEN, X. Statistical determination of rainfall-runoff erosivity indices for single storms in the Chinese Loess Plateau. **Plos One**, São Francisco, v. 10, n. 3, p. 1-18, 2015.

APÊNDICE – FOTOS DA ÁREA EXPERIMENTAL

Figura 6- Preparo do solo nas parcelas descobertas. Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 7- Sistema coletor de enxurrada conectado por um cano de PVC ao tanque de sedimentação (a), e vista de caixas de coleta na área experimental (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 8- Tanque de sedimentação (primeiro) ligado ao tanque de enxurrada (segundo) (a), e divisor de geib do tipo 1/9 (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 9- Coleta de sedimentos da caixa de sedimentação (a) e da calha coletora (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 10- Pesagem do sedimento úmido em bandeja de ferro (a), e secagem do mesmo em estufa a 105°C por 24h (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 11- Registro da altura da enxurrada, proveniente de evento individual de precipitação erosiva, em um galão de 42 L (a), na caixa de sedimentação (b) e na caixa de enxurrada (c). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 12- Homogeneização da enxurrada, e imediata coleta das amostras de concentração de solo (a), e adição de ácido clorídrico nos potes coletados (b). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 13- Sucção da água excedente, deixando lamina de 1 cm acima do solo precipitado no fundo do pote (a), amostras encaminhadas para secagem em estufa a 65°C (b), e pesagem das amostras secas (c). Aquidauana (MS), 2012.



Fonte: Elaboração do próprio autor

