

Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo

Morel de Passos e Carvalho*, Onã da Silva Freddi e Valdenir Veronese Júnior

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil, 56, Centro, C. P. 31, 15.385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência.
e-mail: morel@agr.feis.unesp.br

RESUMO. As múltiplas formas de conceituação da chuva individual erosiva pelos pesquisadores nacionais são notórias. Neste trabalho, foram estudados os critérios para conceituação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo, destinados ao estudo do fator erosividade da chuva, como também para o estudo da correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão. Foram analisadas as chuvas das Estações Experimentais de Conservação do Solo de Campinas, Mococa e Pindorama (IAC). Para o estudo de correlação, foram feitas análises de regressão linear simples, entre os EI_{30} das chuvas e as respectivas perdas de solo, de forma a investigar as situações estatísticas necessárias ao estabelecimento dos critérios conceituais de chuva individual erosiva. A análise final possibilitou concluir que, quando o propósito do estudo for o de correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão, devem ser adotados os seguintes critérios: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm; 2) considerar aquelas menores do que 10,0mm se apresentarem uma quantidade maior ou igual a 6,0mm em 15 minutos e 3) considerar todas as que apresentaram perda de solo por erosão e/ou enxurrada. Por outro lado, quando o propósito do estudo for o de determinação do fator erosividade da chuva, tais critérios devem ser: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm e 2) considerar aquelas menores do que 10,0mm se apresentarem uma quantidade maior ou igual a 6,0mm em 15 minutos.

Palavras-chave: equação universal de perda de solo, erosividade da chuva, fator erosividade da chuva, erosão do solo.

ABSTRACT. Classification criteria of erosive individual-storm in the São Paulo state. The multiple evaluation forms of erosive individual-storm for the national researchers are undeniable. Therefore, the criteria to classify the erosive individual-storm, used in rainfall erosivity factor, as well as to study the correlation of the EI_{30} index with the erosion soil losses, were investigated in São Paulo State, Brazil. To study, analysis of simple individual-storm in Campinas, Mococa and Pindorama Experimental Stations (IAC). To study the correlation, analysis of simple linear regression, between the rainfall EI_{30} indexes and the respective soil losses, were done to research the necessary statistical treatments to the establishment of the criteria of the erosive individual-storm. The conclusive analysis, were destined to two purposes. In the first case, with a view to study the correlation of the EI_{30} index with the erosion soil losses, the following criteria must be used: 1) to compute the EI_{30} index for all storms equal or greater than 10.0mm; 2) to compute the EI_{30} index for storms of less than 10.0mm only if they to show a precipitation equal or greater than 6.0mm in 15 minutes, and 3) to compute the EI_{30} index for all storms with erosion soil losses and/or runoff. Otherwise, with a view to determine the rainfall erosivity factor (R), to use the following criteria: 1) to compute the EI_{30} index for all storms equal or greater than 10.0mm, and 2) to compute the EI_{30} index for storms of less than 10.0mm only if they to show a precipitation equal or greater than 6.0mm in 15 minutes.

Key words: universal soil loss equation, rainfall erosivity, rainfall erosivity factor, soil erosion.

Introdução

A equação universal de perda de solo (EUPS) relaciona todas as variáveis que influenciam a erosão induzida do solo que são os seguintes: fator

erosividade da chuva, fator erodibilidade do solo, fator comprimento e grau de inclinação do declive, fator cobertura e manejo do solo e fator prática conservacionista de suporte do solo. Sua utilização tem o objetivo de prever a perda média anual de

solo, causada pela erosão induzida que poderá ocorrer numa determinada lavoura.

O cálculo da energia cinética total da chuva, como um componente do EI_{30} , requer a definição exata de *chuva individual erosiva*. O tempo mínimo e ótimo, definido como intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração de água no solo, após o término do primeiro evento. Esse tempo, indubitavelmente, varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações do EI_{30} com a perda de solo foram obtidas quando as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tomadas como únicas (Wischmeier, 1959). Por outro lado, Wischmeier e Smith (1978) omitiram do cálculo do fator R as chuvas menores do que 0,5 polegada (12,7mm) e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegada (6,4mm) em 15 minutos ou mais. Dessa forma, tal procedimento poupou muito trabalho desnecessário, uma vez que um número considerável de chuvas de inexpressiva erosividade não foi utilizado. Portanto, a partir de tais critérios, os autores conceituaram a chuva individual erosiva, para o propósito de utilização na EUPS.

Os critérios de seleção das chuvas individuais erosivas (Wischmeier, 1959) para o estudo do fator R foram os seguintes: 1^o) considerar as chuvas maiores do que 0,5 polegada (12,7mm) e 2^o) considerar a chuva menor do que 0,5 polegada (12,7mm) se ela apresentar, pelo menos, um segmento de intensidade que proporcione 0,25 polegada (6,4mm) em 15 minutos ou menos. Entretanto, detalhando o estudo de correlação entre a perda de solo por erosão e a erosividade da chuva, Wischmeier (1956) já havia relatado um terceiro critério para seleção das chuvas individuais erosivas, que considerava a inclusão das chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha.

Hudson (1973) conceituou como chuva individual erosiva aquela com, pelo menos, um segmento de intensidade maior ou igual a 25,0mm/h. Seu conceito originou o índice $KE > 25$ para determinação do fator R.

Lombardi Neto (1977), baseado no conceito inicial de Wischmeier (1959), estabeleceu o seguinte critério para a seleção das chuvas individuais erosivas: todas as chuvas de 10,0mm ou mais, ou aquelas menores do que isso, mas que proporcionaram significativas enxurradas, foram selecionadas para o cálculo da quantidade total, tempo total, energia cinética total, intensidade máxima em 30 minutos e EI_{30} . Por outro lado, chuvas separadas por menos de 6 horas foram tidas como únicas, para o cálculo do EI_{30} . Assim, se

houvesse duas delas durante o mesmo dia, num único pluviograma, separadas por mais de 6 horas, seus valores do EI_{30} seriam avaliados separadamente. Contudo o valor diário do EI_{30} foi estabelecido como sendo a soma dos EI_{30} de ambas.

Wischmeier e Smith (1978) relataram que chuvas que possuíam menos do que 0,5 polegada (12,7mm) e que foram separadas de outra por um período maior do que 6 horas foram omitidas do cálculo do fator R, a menos que uma quantia de 0,25 polegada (6,4mm) fosse precipitada em 15 minutos. As análises exploratórias iniciais desse caso evidenciaram que os valores do EI_{30} dessas chuvas eram insignificantes e que, portanto, proporcionaram um mínimo efeito sobre as porcentagens dos EI_{30} mensais, componentes do fator R final. Foi economizado muito, em termos de tempo e de dinheiro, nas análises dos dados de intensidade de chuva, necessários ao EI_{30} , através da adoção do limite de 0,5 polegada para conceituação de chuvas não-erosivas. Foster et al. (1981), conceituando as chuvas não-erosivas, afirmaram que as menores do que 13,0mm (0,5 polegada) e separadas de outra por um tempo superior a 6 horas não deveriam ser incluídas no cálculo do fator R, a menos que a quantia de 6,0mm (0,25 polegada) fosse precipitada em 15 minutos.

Cabeda (1976), trabalhando com a erosividade das chuvas do Rio Grande do Sul, foi o primeiro pesquisador nacional a preocupar-se com o conceito norte-americano de chuva individual erosiva para as condições brasileiras, estabelecendo o seguinte critério: 1^o) computar o valor do EI_{30} para chuvas com 10,0mm ou mais; 2^o) computar o valor do EI_{30} para as chuvas com menos do que 10,0mm, se a quantidade de chuva em 15 minutos for de 6,0mm ou mais; 3^o) chuvas separadas por menos do que 6 horas, com qualquer quantidade nesse período, ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com 1,0mm ou mais de chuva nesse período, devem ser tratadas como única chuva individual e 4^o) chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com menos do que 1,0mm nesse período, devem ser tratadas como diferentes chuvas. Posteriormente, De Maria (1994) adicionou o critério de Wischmeier (1956), que tratava da inclusão das chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha, juntamente àqueles de Cabeda (1976), compondo, dessa forma, um novo critério.

De Maria (1994) considerou como chuva não-erosiva aquela menor do que 10,0mm, com intensidade máxima em 15 minutos menor do que 24,0mm/h e com energia cinética total abaixo de 3,6

MJ/ha. Foram consideradas chuvas distintas aquelas separadas por um período superior a 6 horas e com precipitação menor do que 1,0mm neste período.

Lombardi Neto¹, em todos os seus trabalhos de erosividade da chuva, sabia previamente dos dois conceitos clássicos de chuva individual erosiva, originados de Wischmeier (1959) e de Wischmeier e Smith (1978), que eram: 1) considerar as chuvas maiores do que 0,5 polegada (12,7mm) e 2) considerar aquelas menores do que 0,5 polegada se elas apresentassem 0,25 polegada (6,4mm) em 15 minutos. Entretanto, naquela época, o referido autor comentava que Wischmeier (1956) defendia a idéia de que também deveriam ser incluídas, como terceiro conceito de tais chuvas, aquelas que tivessem uma energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha.

A grande maioria dos pesquisadores brasileiros de erosividade que trabalha com o índice EI₃₀ utiliza os critérios de Wischmeier (1959) e de Wischmeier e Smith (1978), que foram modificados por Cabeda (1976), para definir chuva individual erosiva. Poucos pesquisadores trabalharam exclusivamente com os critérios de Wischmeier (1959), assim como outros poucos, com os critérios de De Maria (1994). Por outro lado, poucos pesquisadores têm trabalhado com o critério de Hudson (1973), o qual definiu que chuva individual erosiva é aquela que apresenta, pelo menos, um segmento com intensidade maior ou igual a 25,0mm/h. Assim, as múltiplas formas de conceituação de chuva individual erosiva pelos pesquisadores nacionais são notórias. Portanto, sabendo-se desse problema, o presente trabalho objetivou estabelecer critérios para a conceituação de chuva individual erosiva, com o propósito de estudar o fator erosividade, R, e a correlação do EI₃₀ com as perdas de solo por erosão, para as condições do Estado de São Paulo.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado com dados de perdas de solo e água e pluviogramas obtidos nas Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama, pertencentes à Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Brasil, no período de 01/07/79 a 30/06/85.

A Estação Experimental de Campinas está localizada entre as coordenadas geográficas 22° 51' S e 47° 04' W. Sua altitude varia de 601 a 721 metros, com precipitação média anual de 1350mm, sendo a

média anual de temperatura 20,5°C. O tipo climático é Cwa, de acordo com o critério de Koeppen, definido como mesotérmico úmido com verões quentes. O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa, (Typic Haplortox)², com erodibilidade de 0,0101 t ha h/ha MJ mm (Carvalho *et al.*, 1993).

A Estação Experimental de Mococa está localizada entre as coordenadas geográficas 21° 28' S e 47° 01' W. Sua altitude é de aproximadamente 665 metros, com precipitação média anual de 1584mm, sendo a temperatura média anual de 21,8°C. O tipo climático é Aw, de acordo com o critério de Koeppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, T_b, A chernozêmico, (Oxic Argiudoll)³, com erodibilidade de 0,0232 t ha h/ha MJ mm (Carvalho *et al.*, 1989).

A Estação Experimental de Pindorama está localizada entre as coordenadas geográficas 21° 31' S e 48° 55' W. Sua altitude varia de 498 a 594 metros, com precipitação média anual de 1258mm, sendo a temperatura média anual de 21,5°C. O tipo climático é o mesmo que o de Mococa (Aw). O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho-Amarelo, A moderado, abrupático, textura arenosa/média, (Typic Kandiodult), segundo levantamento pedológico de Lepsch e Valadares (1976), com erodibilidade de 0,0044 t ha h/ha MJ mm (Carvalho *et al.*, 1997).

O pluviógrafo utilizado foi do tipo "sifão" - modelo Hillman - que registra incrementos sucessivos das chuvas, assim como os totais acumulados. Os pontos de inflexão da intensidade da chuva no pluviograma foram identificados no Centro de Informática na Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônômicas/Unesp - Campus de Botucatu. Para tanto, foram efetuadas cronologicamente as seguintes fases: digitalização dos pontos de inflexão, passagem pelo programa de consistência, processamento e análise de regressão. A digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva foi efetuada na mesa digitalizadora Versa PAD II, que opera pelo princípio da indução eletromagnética, conectada a um computador PC/AT 486. As fases de consistência, processamento e análise de regressão dos dados foram efetuadas em

¹ LOMBARDI NETO, F. Comunicação pessoal. 1992. (Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).

² OLIVEIRA, J. B. Comunicação pessoal. 1995 (Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).

³ LESCH, I. F. Comunicação pessoal. 1995 (Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).

um computador PC/AT 486. Para a consistência dos pontos de inflexão e processamento das características da chuva, foi utilizado o programa computacional de Cataneo *et al.* (1982), que sofreu pequenas modificações. Por outro lado, a análise de regressão dos dados foi efetuada através do programa computacional SAS (1988a,b).

Foram coletados e acumulados dados pluviográficos de perdas de solo e de água de 83, 71 e 53 parcelas anuais, respectivamente das Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama, segundo as especificações de Bertoni (1949) e de Marques (1951). O sistema coletor de solo e enxurrada, adaptado à jusante da soleira das parcelas, foi construído de alvenaria, inclusive a soleira e a parede divisória. Seu coletor possuía dois tanques ligados por um divisor de janelas do tipo "Geib", para fração de 1/7. O primeiro tanque, acoplado à soleira, destinava-se à coleta do solo, enquanto o segundo, acoplado ao primeiro, captava 1/7 da enxurrada.

Para análise dos pluviogramas, assumiu-se que eles representavam apenas uma única chuva. Dessa forma, foram selecionadas 1.239 chuvas das três localidades, assim distribuídas: a) Campinas com 499; b) Mococa com 423 e c) Pindorama com 317 chuvas, conforme Wischmeier e Smith (1958, 1978), com as sugestões apresentadas por Cabeda (1976). Especificamente, as 1.239 chuvas foram relacionadas da seguinte forma, para cada Estação Experimental trabalhada: I) primeiramente, foram consideradas aquelas maiores ou iguais a 10,0mm; II) posteriormente, foi feito um repasse na sobra das chuvas, de forma a considerar aquelas menores do que 10,0mm, caso houvesse uma quantidade de 6,0mm ou mais em 15 minutos e III) por último, foram consideradas as chuvas que ocasionaram perda de solo e/ou água. Foram chamadas de *chuvas erosivas* aquelas selecionadas pelos itens I e II e *não erosivas* aquelas selecionadas pelo item III.

Assim, para as três localidades, tais chuvas ficaram quantitativamente distribuídas da seguinte forma: a) Campinas: 332 erosivas e 167 não-erosivas; b) Mococa: 325 erosivas e 98 não-erosivas e c) Pindorama: 304 erosivas e 13 não-erosivas. Dessa forma, no geral, houve 961 chuvas erosivas e 278 não-erosivas, segundo o critério de selecionamento sugerido por Cabeda (1976). Finalmente, deve ser salientado que, no universo das 961 chuvas erosivas, houve uma quantia considerável delas que não apresentou nem perda de solo nem de água. Portanto ficou evidente que essas chuvas com perdas nulas foram computadas, exclusivamente, em função dos critérios I e II, sugeridos por Cabeda (1976),

originados daqueles de Wischmeier e Smith (1958, 1978).

Após selecionar e separar os pluviogramas das 1.239 chuvas estudadas, efetuou-se o cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva. Seguidamente, as chuvas foram passadas por um programa, que acusava erros de lógica contidos nos registros dos pontos de inflexão. Posteriormente à correção de todas as chuvas que apresentaram erros, foi efetuado o processamento das 1.239 chuvas das três Estações Experimentais, para o cálculo das características estudadas. Para isso, foi utilizado o programa computacional de Cataneo *et al.* (1982), modificado para tal propósito. O programa foi organizado de forma a fornecer, para cada chuva, as seguintes características ou índices de erosividade: 1^o) intensidades máximas da chuva com os seguintes tempos de ordem n variável: $I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}$ e I_{60} , todas em mm/h e 2^o) índice de erosividade EI_{30} da chuva em MJ mm/ha h (Wischmeier e Smith, 1958). A única característica não procedente do mencionado programa foi a perda de solo por erosão, avaliada em t/ha e obtida diretamente no tanque coletor próprio da parcela de campo.

As intensidades máximas da chuva $I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}$ e I_{60} foram calculadas através da expressão apresentada por Carvalho *et al.* (1989). A energia cinética total da chuva foi calculada através da equação apresentada por Wischmeier e Smith (1958), reformulada por Foster *et al.* (1981).

Foram coletados e armazenados dados de perda de solo (A_s em t/ha) e de água (V_u em mm) das parcelas de campo mantidas descobertas e sem cultivo (parcela padrão da EUPS). A instalação de tais parcelas foi efetuada segundo as dimensões recomendadas por Bertoni (1949) e Marques (1951), tendo sido manejadas e conduzidas segundo as recomendações para a "parcela padrão" de Wischmeier (1972). As determinações de perda de solo e de água foram feitas sempre que uma chuva proporcionou perda de solo e/ou de água, efetuando-se o esvaziamento e a limpeza dos tanques coletores e, posteriormente, avaliando-se as quantidades dos sedimentos. Por outro lado, as determinações de perda de solo das parcelas de campo foram corrigidas para o declive de 9,0% da "parcela padrão" da EUPS, utilizando-se a equação desenvolvida por Bertoni (1959) para tal propósito.

As determinações de perda de solo e de água das parcelas de campo não foram corrigidas para o comprimento do declive de 22,13 metros, referentes à "parcela padrão", para que se tivessem

as mesmas condições de 25,00 metros preconizadas para o Estado de São Paulo, através dos trabalhos de Bertoni (1949) e de Marques (1951). A análise da bibliografia revelou haver basicamente cinco critérios de selecionamento de chuvas individuais erosivas, descritos a seguir. Os dois primeiros foram subdivididos em dois cada, uma vez que os autores nacionais, ao trabalharem com a altura pluviométrica registrada no pluviograma, fizeram-no da mesma forma como nos Estados Unidos, isto é, em polegadas. Por conseguinte, a outra parte fez a aproximação da referida altura, para o Sistema Métrico Internacional, trabalhando em milímetros.

a) Primeiro critério

- a1) **P ≥ 12,7:** chuvas com precipitação maior ou igual a 12,7mm (Wischmeier e Smith, 1958, 1978), a2) **P ≥ 10,0:** chuvas com precipitação maior ou igual a 10,0mm (Cabeda, 1976);

b) Segundo critério

- b1) **I ≥ 25,4:** chuvas com precipitação menor do que 12,7mm se sua quantidade em 15 minutos for de 6,4mm ou mais (Wischmeier e Smith, 1978), b2) **I ≥ 24,0:** chuvas com precipitação menor do que 10,0mm se sua quantidade em 15 minutos for de 6,0mm ou mais (Cabeda, 1976);

c) Terceiro critério

- c1) **E ≥ 3,6:** chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha (Wischmeier, 1956; De Maria, 1994);

d) Quarto critério

- d1) **KE ≥ 25:** chuvas com, pelo menos, um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4mm/h (Hudson, 1973);

e) Quinto critério

- e1) **TOT:** todas as chuvas estudadas, isto é, todas aquelas envolvidas nos estudos do fator R, assim como todas aquelas envolvidas nos estudos de regressão entre suas variáveis e as perdas de solo e/ou de água (Wischmeier e Smith, 1958, 1978; Cabeda, 1976; Lombardi Neto, 1977; Carvalho *et al.*, 1989).

Dessa forma, foi efetuado o estudo da análise conceitual de chuva individual erosiva através de análises de regressão linear simples entre os EI_{30} e parte pelos I_n de todas as 1.239 chuvas e as respectivas perdas de solo. Essas regressões representaram *situações (S)* nas quais foram tomadas as características das chuvas, de forma a atender ao

embasamento teórico contido nos cinco critérios de selecionamento analisados. Para tanto, analisaram-se conjuntamente, ou não conforme o caso, todas as 1.239 chuvas.

As análises estatísticas foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia - FE/Unesp do Campus de Ilha Solteira, através do programa computacional SAS (1988a,b). Foram feitas análises de regressão linear simples entre as variáveis independentes e as respectivas perdas de solo, relatadas nas situações estatísticas. As variáveis independentes foram referentes ao primeiro, ao segundo, ao terceiro, ao quarto e ao quinto critérios de selecionamento das chuvas individuais erosivas. Procedeu-se à aplicação do teste t de Student para se verificar a significância estatística dos coeficientes ajustados, segundo Hoffmann e Vieira (1977). Aplicou-se também um teste para verificação da significância entre os coeficientes de correlação (r_i), de acordo com Graybill (1976). Foram testadas as correlações duas a duas, sendo que a estatística do teste (ξ) se apresenta como uma distribuição de “qui-quadrado” com um grau de liberdade.

Resultados e discussão

Uma vez que seu embasamento é puramente quantitativo, idéias do terceiro, do quarto e do quinto critérios foram adicionadas as do primeiro critério que também são exclusivamente quantitativas. A Tabela 1 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples entre o EI_{30} e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas (IS_n).

Dessa forma, como existiu a necessidade de se analisar o primeiro critério sob o ponto de vista do estudo de correlação das chuvas com as perdas de solo, assim como para determinação do fator R, tal divisão é apresentada a seguir.

Na Tabela 1, observa-se que todos os coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 1% e positivos. Em geral, tais coeficientes foram moderados, variando entre 0,5759 (#1) e 0,4200 (#10), devido à existência, dentro das 961 chuvas erosivas, daquelas que não apresentaram perda de solo nem de água.

Tabela 1. Correlação entre os EI₃₀ e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao primeiro critério (1S_n) de seleção das chuvas individuais erosivas, ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama, no período de 01/07/79 a 30/06/85.

N ^o	Situação estatística (1S _n)		N ⁽¹⁾	Correlação ⁽²⁾ r	Regressão	
	Situação	Descrição			a	b
#1	1S ₁	(TOT)	1239	0,5759a	0,9748	0,0100
#2	1S ₁₁ = 1S ₁₃	P ≥ 10,0 ou KE ≥ 25,4 P ≥ 10,0 ou KE ≥ 25,4 ou E ≥ 3,6	1027	0,5518b	1,0953	0,0098
#3	1S ₁₀ = 1S ₁₂	P ≥ 12,7 ou KE ≥ 25,4 P ≥ 12,7 ou KE ≥ 25,4 ou E ≥ 3,6	959	0,5413bc	1,2315	0,0095
#4	1S ₃	(P ≥ 10,0)	921	0,5396bc	1,3669	0,0088
#5	1S ₈	(KE ≥ 25,4)	859	0,5340bcd	1,4347	0,0087
#6	1S ₂	(P ≥ 12,7)	768	0,5271cde	1,5981	0,0084
#7	1S ₅	(P ≥ 10,0 e KE ≥ 25,4)	748	0,5127de	1,6370	0,0079
#8	1S ₄	(P ≥ 12,7 e KE ≥ 25,4)	660	0,5079ef	1,8273	0,0071
#9	1S ₆ = 1S ₇	P ≥ 12,7 e KE ≥ 25,4 e E ≥ 3,6 P ≥ 10,0 e KE ≥ 25,4 e E ≥ 3,6	549	0,4813f	1,9530	0,0068
#10	1S ₉	(KE < 25,4)	383	0,4200g	2,0513	0,0050

⁽¹⁾ Número de eventos ou de chuvas (n); ⁽²⁾ todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

O teste de Graybill (1976) revelou (Tabela 1) que a situação estatística que abrigou todas as chuvas estudadas (#1, 1S₁) apresentou, além da maior correlação (r = 0,5759), diferença em relação a todas as demais (#2 ao #10). Dessa forma, a melhor situação estatística, referente ao primeiro critério de seleção de chuvas individuais erosivas do Estado de São Paulo, para fins de correlação com as perdas de solo, foi aquela na qual foram incluídas todas as chuvas, isto é, todas as que se enquadraram nos seguintes critérios de selecionamento: 1) maiores ou iguais a 10,0mm; 2) menos de 10,0mm se a precipitação em 15 minutos foi de 6,0mm ou mais e 3) as que apresentaram perda de solo e/ou de água. Esses resultados concordaram com Wischmeier e Smith (1958), Wischmeier (1959), Cabeda (1976), Lombardi Neto (1977) e Carvalho et al. (1989).

Excluindo-se a situação 1S₁, (#1; todas as 1239 chuvas), o teste de Graybill (1976) revelou que, nas situações estatísticas 1S₁₁ e 1S₁₃ (#2), 1S₁₀ e 1S₁₂ (#3), 1S₃ (#4) e 1S₈ (#5), não existiram diferenças entre seus coeficientes de correlação. Esse fato sugeriu não haver diferença entre o primeiro critério (apenas para P ≥ 10,0; #2 e #4), o terceiro critério (E ≥ 3,6; #2 e #3) e o quarto critério (KE ≥ 25,4; #2; #3 e #5). O referido teste revelou também não haver diferença entre as situações estatísticas 1S₃ (#4; p ≥ 10,0) e 1S₂ (#6; p ≥ 12,7) (Tabela 1). Portanto a situação estatística de melhor conveniência para o estabelecimento do primeiro critério, o de seleção de chuvas individuais erosivas para fins de determinação do fator R, foi aquela na qual foram selecionadas as chuvas com precipitação total maior ou igual a 10,0mm, concordando com Cabeda (1976), Lombardi Neto (1977), Foster et al. (1981) e De Maria (1994).

Nas situações estatísticas que envolveram análise conjunta ou separada, entre o primeiro e/ou quarto

critérios, dadas por 1S₃, 1S₈, 1S₁₀, 1S₁₁, 1S₁₂ e 1S₁₃ (Tabela 1), seus coeficientes de correlação foram iguais. Esse fato reforçou o parâmetro p ≥ 10 como sendo o racional para o primeiro critério, em detrimento do KE ≥ 25,4, uma vez que é substancialmente mais fácil analisar, no pluviograma, a quantidade de 10,0mm de precipitação do que um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4mm/h.

Para a análise das situações estatísticas referentes ao segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas, foi necessário, além de conhecer o parâmetro selecionado pelo primeiro critério (p ≥ 10,0mm, cujo total remanescente do primeiro critério, TRPC, foi com o n = 318, isto é, 1239 – 921), também dividir sua análise em dois casos. O primeiro referiu-se à análise da melhor intensidade máxima de 5 em 5 minutos até 60 (I_n) e, o segundo, à análise das classes de intensidade ocorridas dentro do tempo da intensidade (I_n) selecionada anteriormente. Esses casos são apresentados seguidamente.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples entre as intensidades máximas I_n (de 5 em 5 minutos até 60) e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas (21S_n).

Na Tabela 2, observa-se que todos os coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 1% e positivos. Em geral, eles tiveram uma magnitude moderada, variando de 0,6057 (@01) a 0,4308 (@12).

O teste de Graybill (1976) (Tabela 2) revelou que os tratamentos estatísticos destinados à análise da melhor intensidade máxima, de 5 em 5 minutos até 60, entre o 21S₀₇ (@1) e o 21S₀₂ (@11), foram

iguais. Sabendo-se dos critérios recomendados por Wischmeier e Smith (1978) e por Cabeda (1976), para o cálculo do fator R, o melhor tratamento estatístico destinado à análise da intensidade máxima, de 5 em 5 minutos até 60, foi o 21S₀₇ (@01), representado pelo I₃₅, o qual apresentou o maior coeficiente de correlação. Entretanto foi observado não existir diferença entre os coeficientes de correlação tomados dois a dois, que estão compreendidos entre os tratamentos estatísticos 21S₀₇ (@01) e 21S₀₂ (@11). Dessa forma, a diferença existente entre os coeficientes de correlação dos mencionados tratamentos foi meramente casual. Assim, pôde-se concluir que a melhor intensidade máxima, de 5 em 5 minutos até 60, para representar o primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas, pode ser dada por qualquer uma daquelas contidas entre os tratamentos 21S₀₇ (@01) e 21S₀₂ (@11), isto é, qualquer uma entre I₁₀, I₁₅, I₂₀, I₂₅, I₃₀, I₃₅, I₄₀, I₄₅, I₅₀, I₅₅ e I₆₀. Entretanto, em face dos resultados obtidos por outros autores para os Estados Unidos da América do Norte (Wischmeier e Smith, 1978), assim como visando-se concordar com a sugestão de Cabeda (1976) para as condições do Sul do Brasil e ficando, portanto, em sintonia com a maioria das pesquisas nacionais relacionadas ao assunto, a melhor e mais conveniente situação estatística referente ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas para o Estado de São Paulo deve ser dada pela intensidade máxima em 15 minutos (I₁₅; @10).

Tabela 2. Correlação entre as intensidades máximas, de 5 em 5 minutos até 60 (In), e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério (21S_n – intensidades máximas de 5 em 5 minutos-I_n) de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama, no período de 01/07/79 a 30/06/85. Número de eventos (n) igual a 318 = (1239 – 921) = TRPC.

Nº	Situação estatística 21S _n			Correlação ⁽¹⁾ R	Regressão	
	Descrição				a	b
@01	21S ₇	I ₃₅		0,6057	-0,6961	0,1288
@02	21S ₆	I ₃₀		0,6039	-0,6770	0,1147
@03	21S ₈	I ₄₀		0,6035	-0,6991	0,1420
@04	21S ₁₁	I ₅₅		0,6014	-0,7228	0,1822
@05	21S ₁₀	I ₅₀		0,6014	-0,7133	0,1686
@06	21S ₉	I ₄₅		0,6010	-0,6978	0,1545
@07	21S ₁₂	I ₆₀		0,5990	-0,7313	0,1955
@08	21S ₅	I ₂₅		0,5980	-0,6515	0,0999
@09	21S ₄	I ₂₀		0,5763	-0,5806	0,0834
@10	21S ₃	I ₁₅		0,5421ab	-0,4414	0,0650
@11	21S ₂	I ₁₀		0,5460ab	-0,2744	0,0470
@12	21S ₁	I ₅		0,4308b	0,1064	0,0262

⁽¹⁾ Todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de

correlação das regressões lineares simples entre os EI₃₀ e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas (22S_n).

Tabela 3. Correlação entre os EI₃₀ e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério (22S_n – classes de quantidades de chuva ocorridas em 15 minutos) de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama, no período de 01/07/79 a 30/06/85.

Nº	Situação estatística 22S _n			Correlação ⁽²⁾ r	Regressão	
	Descrição		n ⁽¹⁾		a	b
£ 01	22S ₁	I ≥ 0,1	318	0,3691a	-0,0226	0,0253
£ 02	22S ₂	I ≥ 1,0	298	0,3598a	-0,0200	0,0253
£ 03	22S ₃	I ≥ 2,0	256	0,3738a	-0,0425	0,0259
£ 04	22S ₄	I ≥ 3,0	213	0,3530a	-0,0236	0,0254
£ 05	22S ₅	I ≥ 4,0	171	0,3815a	-0,0697	0,0271
£ 06	22S ₆	I ≥ 5,0	137	0,3676a	-0,0891	0,0271
£ 07	22S ₇	I ≥ 6,0	115	0,3450a	-0,0809	0,0272
£ 08	22S ₈	I ≥ 7,0	96	0,3377a	-0,0991	0,0285
£ 09	22S ₉	I ≥ 8,0	83	0,2944a	-0,0440	0,0257
£ 10	22S ₁₀	I ≥ 9,0	71	0,3428a	-0,1540	0,0294
£ 11	22S ₁₁	I ≥ 10,0	60	0,3846a	-0,2969	0,0344

⁽¹⁾ Número de eventos ou de chuvas (n); ⁽²⁾ todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

Na Tabela 3, observa-se que todos os coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 1% e positivos, tendo sido baixos e variando entre 0,3846 (I ≥ 10,0; £11) e 0,2944 (I ≥ 8,0; £ 09). O teste de Graybill (1976) (Tabela 3) revelou que todas as situações estatísticas destinadas à análise da melhor quantidade de chuva ocorrida dentro de 15 minutos, isto é, dentro da intensidade selecionada IS (I ≥ 0,1 ao I ≥ 10,0, respectivamente £₀₁ e £₁₁), foram iguais entre si.

Dessa forma, a diferença existente entre os coeficientes de correlação das referidas situações estatísticas foi meramente casual. Assim, pode-se concluir que a melhor situação estatística destinada à análise da quantidade de chuva ocorrida dentro de 15 minutos pode ser qualquer uma delas, isto é, qualquer uma entre as quantidades compreendidas entre 0,1mm a 10,0mm em 15 minutos. Entretanto, também neste caso, visando-se concordar com as pesquisas prévias sobre o assunto, ou seja, com aquelas de Wischmeier e Smith (1978) e com a sugestão de Cabeda (1976) em relação a tal recomendação, a situação estatística de maior conveniência, para o estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas para o Estado de São Paulo, deve ser dada por aquelas chuvas que apresentarem, pelo menos, um segmento de intensidade maior ou igual a 6,0mm em 15 minutos (I ≥ 6,0 ; £ 07).

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao terceiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($3S_n$).

Tabela 4. Correlação entre os EI_{30} e as perdas de solo na condição da parcela padrão da EUPS, para as situações estatísticas referentes ao terceiro critério ($3S_n$ – classes de energia cinética) de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama, no período de 01/07/79 a 30/06/85.

Nº	Situação estatística $3S_n$		N ⁽¹⁾	Correlação ⁽²⁾ r	Regressão	
	Descrição				a	b
μ_{01}	$3S_1$	EC > zero ⁽³⁾	1239	0,5759**a	-0,8349	0,6375
μ_{02}	$3S_2$	EC ≤ 7,2	1001	0,4984**b	-0,8750	0,6857
μ_{03}	$3S_3$	EC ≤ 6,6	963	0,4223**c	-0,8299	0,7142
μ_{04}	$3S_4$	EC ≤ 6,0	925	0,4091**c	-0,8628	0,7594
μ_{05}	$3S_5$	EC ≤ 5,4	874	0,3792**cd	-0,7342	0,7316
μ_{06}	$3S_7$	EC ≤ 4,2	738	0,3627**d	-0,7581	0,7717
μ_{07}	$3S_6$	EC ≤ 4,8	805	0,3392**de	0,8002	0,7825
μ_{08}	$3S_{10}$	EC ≤ 2,4	429	0,3202**e	-0,7347	0,8012
μ_{09}	$3S_8$	EC ≤ 3,6	650	0,2972**e	-0,6285	0,8059
μ_{10}	$3S_9$	EC ≤ 3,0	548	0,2954**e	-0,6768	0,8537
μ_{11}	$3S_{11}$	EC ≤ 1,8	296	0,1933**f	-0,6510	0,8439
μ_{12}	$3S_{12}$	EC ≤ 1,2	148	0,1264 ^{NS} f	-0,6300	0,8996
μ_{13}	$3S_{13}$	EC ≤ 0,6	46	0,7060 ^{NS} g	-0,6418	0,9009

⁽¹⁾ Número de eventos ou de chuvas (n); ⁽²⁾**= significativo ao nível de 1% pelo teste t; ^{NS} = não significativo; a, b, ...f= coeficientes de correlação (n) seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill; ⁽³⁾ todas as chuvas estudadas.

Na Tabela 4, observa-se que os coeficientes de correlação compreendidos entre o $3S_1$ (μ_{01} ; EC > zero) e o $3S_{11}$ (μ_{11} ; EC ≤ 1,8) foram significativos ao nível de 1% e positivos, variando de moderado (μ_{01} ; EC ≤ zero) a nulo (μ_{11} ; E ≤ 1,8), com os tratamentos estatísticos $3S_{12}$ (μ_{12} ; EC ≤ 1,2) e $3S_{13}$ (μ_{13} ; EC ≤ 0,6) sendo não significativos, de acordo com o teste t de Student. O teste de Graybill (1976) (Tabela 4) revelou que a primeira situação estatística (EC > zero, μ_1 , $3S_1$) destinada à análise da melhor classe de energia cinética total das chuvas, além de apresentar a melhor correlação ($r = 0,5759$), também foi diferente de todas as demais compreendidas entre a EC ≤ 7,2 (μ_{02}) e a EC ≤ 0,6 (μ_{13}). Dessa forma, pode-se perceber que a situação estatística EC > zero MJ/ha (μ_{01}) contém todas as chuvas dos demais tratamentos, os quais estão entre os números μ_{02} a μ_{13} , com especial destaque para aquele estabelecido por Wischmeier (1956), isto é, aquele em que são consideradas apenas as chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha. Conseqüentemente, esse fato discordou do referido autor, assim como do preconizado por De Maria (1994), quanto à recomendação do terceiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas. Assim, em vez de se considerar apenas aquelas com EC ≥ 3,6 MJ/ha, devem ser consideradas todas aquelas

com EC > zero MJ/ha, ou seja, todas as chuvas destinadas ao estudo de correlação do EI_{30} com as perdas de solo e/ou de água por erosão.

Conclusão

Os critérios de selecionamento das chuvas individuais erosivas para o cálculo do fator R, em Campinas, Mococa e Pindorama, SP, estão na seguinte ordem: I) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm, e II) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0mm, se possuírem uma quantidade de 6,0mm ou mais em 15 minutos. Tais critérios podem poupar, em média, 47% do total do trabalho que seria necessário se fossem consideradas todas as chuvas ocorridas.

Os critérios de selecionamento das chuvas individuais erosivas, destinadas ao estudo de correlação dos EI_{30} com as perdas de solo, devem ordenar-se da seguinte forma: I) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm; II) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0mm se possuírem uma quantidade de 6,0mm ou mais em 15 minutos e III) computar os valores dos EI_{30} daquelas que apresentarem perda de solo e/ou de água por erosão. Nesse caso, tais critérios podem poupar, em média, 31% do total do trabalho que seria necessário se fossem consideradas todas as chuvas ocorridas.

Referências

- BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, v.9, p.147-155, 1949.
- BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, v.18, n.10, p.113-140, 1959.
- CABEDA, M. S. V. Computation of storm EI Values. West Lafayette: Purdue University, 1976. 6p. (unpublished).
- CARVALHO, M. P. et al. 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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.237-242, 1989.
- CARVALHO, M. P. et al. 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). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.319-340, 1993.
- CARVALHO, M. P. et al. 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). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*,

- Campinas, v.17, n.2, p.279-286, 1997.
- CATANEO, A. *et al.* Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.6, n.3, p.236-239, 1982.
- FOSTER, G. R. *et al.* Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, v.36, n.6, p.355-359, 1981.
- GRAYBILL, F. A. *Theory and application of the linear model*. Massachusetts: Duxbury Press, 1976.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. Análise de regressão: uma introdução à econometria. 1.ed. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1977.
- HUDSON, N. W. *Soil conservation*. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.
- LEPSCHE, I. F.; VALADARES, J. R. A. S. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pindorama. *Bragantia*, Campinas, v.35, p.13-40, 1976.
- LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil*. 1977. Dissertação (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette, 1977.
- DE MARIA, I. C. Cálculo de erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F. *et al.* Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994 (não publicado).
- MARQUES, J. Q. A. Determinação de perdas por erosão. *Arch. Fit. Uruguai*, Montevideo, v.4, n.3, p.505-556, 1951.
- SAS INSTITUTE, SAS/STAT. Guide for personal computers, Version 6 Edition. Cary, 1988a. 378p.
- SAS INSTITUTE. SAS Language guide, Release 6.03 edition. Cary, 1988b. 530p.
- WISCHMEIER, W. H. Soil water losses through runoff as affected by soil type, length and percent of slope, cropping systems, soil management practices and weather conditions. Annual research report. *National Summary of Runoff and Soil Loss Data*. USDA, ARS, SWCRD. West Lafayette, 34p., 1956 (unpublished).
- WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.23, n.3, p.246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W. H. Upslope erosion analysis. In: SHEN, H.W. *Environmental impact on rivers*. Fort Collins: USDA, 1972. cap.15, p.1-26.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Un.*, Washington, DC, v.39, n.2, p.285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. Washington, DC: United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537).

Received on April 07, 2003.

Accepted on December 22, 2003.