

PARÂMETROS EROSIVIDADE DA CHUVA E DA ENXURRADA CORRELACIONADOS COM AS PERDAS DE SOLO DE UM SOLO BRUNO NÃO-CÁLCICO VÉRTICO EM SUMÉ (PB)⁽¹⁾

A. W. ALBUQUERQUE⁽²⁾, F. LOMBARDI NETO⁽³⁾,
A. CATANEO⁽⁴⁾ & V. S. SRINIVASAN⁽⁵⁾

RESUMO

Foram estudadas correlações lineares simples entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo provocadas por chuvas erosivas num solo Bruno Não-Cálcico Vértico. Os dados correspondentes aos anos de 1986-1990 foram obtidos na estação experimental de Sumé (PB), pertencente à Universidade Federal da Paraíba-UFPB. Os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada estudados foram: (a) altura total da chuva (P), em mm; (b) intensidades máximas (I_n), ocorridas nos tempos de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60 e 120 minutos, respectivamente, em mm h^{-1} ; (c) energia cinética total, pelo método de Wischmeier e Smith (Ec) e pelo método de Wagner e Massambani (EcW), em MJ ha^{-1} ; (d) somatório da energia cinética de intensidades superior a 10 mm h^{-1} ($\text{Ec} > 10$ e $\text{EcW} > 10$) em MJ ha^{-1} ; (e) somatório da energia cinética de intensidades superior a 25 mm h^{-1} ($\text{Ec} > 25$ e $\text{EcW} > 25$), em MJ ha^{-1} ; (f) 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} e EI_{120} , em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; (g) produtos da altura total da chuva pelas intensidades máximas das chuvas em intervalos crescentes de tempo (PI_n), ou seja: PI_5 ; PI_{10} ; PI_{15} ; PI_{20} ; PI_{25} ; PI_{30} ; PI_{35} ; PI_{40} ; PI_{45} ; PI_{50} ; PI_{55} ; PI_{60} e PI_{120} , em $\text{mm}^2 \text{ h}^{-1}$, e (h) volume de enxurrada (V_w), em m^3 . O parâmetro volume de enxurrada (V_w) foi o que melhor estimou ($r = 0,812$) as perdas de solo em Sumé (PB). Dentre os parâmetros erosividade da chuva, o que melhor se correlacionou com as perdas de solo foi o parâmetro PI_{25} ($r = 0,753$). As equações de Wischmeier & Smith e de Wagner & Massambani, utilizadas no cálculo da energia cinética total da chuva, apresentaram o mesmo grau de precisão na estimativa das perdas de solo.

Termos de indexação: erosividade, erosão, Bruno Não-Cálcico.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, Área de Solos e Nutrição de Plantas, apresentada a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba (SP). Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em agosto de 1998.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural, CECA/UFAL. Campus A.C. Simões, Cidade Universitária, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970 Maceió (AL). Tel.: (082) 350-3148.

⁽³⁾ Pesquisador Científico do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Economia e Sociologia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA/UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP).

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, UFPB. Campus II, CEP 58109-970 Campina Grande (PB).

SUMMARY: RAINFALL AND RUNOFF EROSION PARAMETERS CORRELATED WITH SOIL LOSSES OF A HAPLARGIDS (PARAIBA STATE, BRAZIL)

Simple linear correlations among runoff and rainfall erosivity parameters and soil losses caused by erosivity rainfall in Haplargids were studied. Data related to 1986-1990 were obtained in the Experimental Station at Sumé-Brazil. The rainfall erosivity parameters were the following: a) total height of the rainfall (P) in mm; b) maximum intensity (I_n): I_5 ; I_{10} ; I_{15} ; I_{20} ; I_{25} ; I_{30} ; I_{35} ; I_{40} ; I_{45} ; I_{50} ; I_{55} ; I_{60} and I_{120} minutes in mm h^{-1} , respectively; c) total kinetic energy by the Wischmeier & Smith's and by the Wagner & Massambani's methods in MJ ha^{-1} (KE and KEW); d) kinetic energy of intensities higher than 10 mm h^{-1} ($KE > 10$ and $KEW > 10$) in MJ ha^{-1} ; e) kinetic energy of intensities higher than 25 mm h^{-1} ($KE > 25$ and $KEW > 25$) in MJ ha^{-1} ; f) total kinetic energy products by maximum intensities rainfall (EI_n): EI_5 ; EI_{10} ; EI_{15} ; EI_{20} ; EI_{25} ; EI_{30} ; EI_{35} ; EI_{40} ; EI_{45} ; EI_{50} ; EI_{55} ; EI_{60} and EI_{120} in $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectively; g) total height of rainfall products by maximum intensity rainfall (PI_n): PI_5 ; PI_{10} ; PI_{15} ; PI_{20} ; PI_{25} ; PI_{30} ; PI_{35} ; PI_{40} ; PI_{45} ; PI_{50} ; PI_{55} ; PI_{60} and PI_{120} in $\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$, respectively; and h) runoff volume (V_u) in m^3 . The runoff erosivity parameter (V_u) best estimated ($r = 0.812$) the soil losses in Sumé-PB. Among rainfall erosivity parameters, the PI_{25} type ($r = 0.753$) was best correlated with soil losses. The Wischmeier & Smith's and the Wagner & Massambani's equations used to calculate the total kinetic energy rainfall presented the same degree of precision in estimating soil losses.

Index terms: erosion, rainfall erosivity parameter, runoff erosivity parameter, runoff-rainfall erosivity parameter, erosion.

INTRODUÇÃO

A utilização adequada da equação universal de perda de solo (EUPS) só é possível, quando os seus parâmetros são determinados para as condições edafoclimáticas da região e, ou, local a ser aplicada. A determinação de um parâmetro erosividade, que melhor represente a capacidade potencial da chuva de provocar erosão para cada região do estado da Paraíba, contribuirá para que, por meio da equação universal de perda de solo, possa estabelecer-se o adequado planejamento do uso e do manejo dos seus solos.

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). Wischmeier & Smith (1958), ao estudarem as relações entre a energia cinética e as perdas de solo, obtiveram alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$). O parâmetro erosividade da chuva EI_{30} foi estabelecido num trabalho clássico realizado por Wischmeier & Smith (1958). Estatisticamente o parâmetro EI_{30} foi capaz de explicar entre 72 e 97% as perdas de solo causadas por chuvas erosivas. Morais (1986), estudando a correlação entre a energia cinética da chuva (Ec) e as perdas de solo de três locais do Rio Grande do Sul, obteve 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 os seguintes coeficientes de correlação: $Ec > 10$ ($r = 0,77$); $EcW > 10$ ($r = 0,76$); EI_{30} ($r = 0,75$); $Ec > 25$ ($r = 0,75$); EIW_{30} ($r = 0,75$); $EcW > 25$ ($r = 0,75$); Ec ($r = 0,71$); EcW ($r = 0,69$) e P ($r = 0,64$), respectivamente. Lombardi Neto (1979) e Foster et al. (1982) estabeleceram correlações entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada (V_u) e as perdas de solo em 10 localidades dos EUA, onde constataram que os valores dos coeficientes de correlação obtidos para o parâmetro erosividade da enxurrada ($r = 0,42$ a $0,80$), quando comparado com os parâmetros erosividade da chuva do tipo: EI_{30} ($r = 0,59$ a $0,91$) e PI_{30} ($r = 0,71$ a $0,89$), apresentaram, em seis localidades, menores valores do coeficiente de correlação. 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.

O objetivo deste trabalho foi estudar as correlações entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo provocadas por chuvas erosivas de Sumé (PB), visando estabelecer o melhor estimador da erosividade da chuva local.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos na Estação Experimental de Sumé (PB), pertencente à Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

De acordo com a classificação de Köppen, a região de Sumé (PB) está enquadrada no tipo climático BSh, ou seja, seco; caracterizado pela insuficiência das precipitações pluviométricas e temperaturas elevadas. A precipitação pluviométrica média anual é de 550 mm. A temperatura média anual é de 24°C e a umidade relativa média anual é de 57% (Cadier et al., 1983).

Para o registro das chuvas correspondentes ao período de 1986 a 1990, foi utilizado um pluviógrafo do tipo IH, localizada na estação meteorológica, próxima da parcela em alqueive contínuo. Os critérios utilizados para separar as chuvas erosivas basearam-se naqueles propostos por Wischmeier & Smith (1958). Com base nesses critérios, foram separadas e analisadas 75 chuvas consideradas como erosivas.

O cálculo da energia cinética da chuva, para cada segmento de intensidade constante, foi realizado por meio do método proposto por Wischmeier & Smith (1958). As equações utilizadas para calcular a energia cinética e convertidas para o Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981) foram obtidas por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988), a saber:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (1)$$

$$EcW = 0,153 + 0,0645 \log_{10} I \quad (2)$$

em que E: energia cinética da chuva, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹, e I: é a intensidade de cada segmento com intensidade constante (mm h⁻¹); para valores correspondentes a intensidades iguais ou superiores a 76 mm h⁻¹, a energia cinética passa a ter um valor máximo de 0,2832 MJ ha⁻¹.

A digitação dos pontos de inflexão de cada chuva individual erosiva foi determinada na FCA/UNESP/Botucatu, por meio do programa computacional de Cataneo et al. (1982). Após a cotação dos pluviogramas das chuvas individuais erosivas e digitalização dos pontos de inflexão, foram determinados 47 parâmetros de erosividade da chuva, por meio do referido programa computacional. O volume de enxurrada foi obtido diretamente no tanque coletor da parcela experimental.

Os parâmetros erosividade da chuva, considerados como variáveis independentes, foram os seguintes: (a) altura total da chuva (P), em mm, (b) intensidades máximas (I_n), ocorridas nos tempos de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60 e 120 minutos, respectivamente, em mm h⁻¹; (c) energia cinética total, pelos métodos de Wischmeier & Smith (1978) e Wagner & Massambani (1988), em MJ ha⁻¹ (Ec e EcW), (d) somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que 10 mm h⁻¹ (Ec > 10 e EcW > 10), em MJ ha⁻¹; (e) somatório da energia cinética de segmentos uniformes de intensidades maiores do que 25 mm h⁻¹ (Ec > 25 e EcW > 25), em MJ ha⁻¹; (f) produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas de chuva em intervalos crescentes de tempo (EI_n), ou seja: EI₅, EI₁₀; EI₁₅; EI₂₀; EI₂₅; EI₃₀; EWI₃₀; EI₃₅; EI₄₀; EI₄₅; EI₅₀; EI₅₅; EI₆₀; e EI₁₂₀, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, e (g) produtos da altura total da chuva pelas intensidades máximas das chuvas em intervalos crescentes de tempo (PI_n), ou seja: PI₅, PI₁₀, PI₁₅; PI₂₀; PI₂₅; PI₃₀; PI₃₅; PI₄₀; PI₄₅; PI₅₀; PI₅₅; PI₆₀ e PI₁₂₀, em mm² h⁻¹.

As parcelas providas de tanques coletores de enxurrada estão localizados no solo Bruno Não-Cálcico Vértico A fraco textura argilosa caatinga hiperxerófila (Cadier et al., 1983). Os dados de perdas de solo foram obtidos numa parcela experimental com dimensões de 22,13 x 4,55 m e declividade de 4%. O sistema coletor foi constituído por 2 tanques de fibro cimento e interligados com calhas divisoras de nove janelas do tipo Geib. Após cada chuva, o material foi coletado dos tanques e amostrado de acordo com as recomendações de Cadier et al. 1983. O manejo da parcela experimental seguiu as recomendações de Wischmeier & Smith (1978), ou seja, foi mantido nas condições de alqueive contínuo.

A correção das perdas de solo, para o declive de 9% da parcela-padrão, foi feita de acordo com a equação proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1985):

$$A = 0,00984 S^{1,18} L^{0,63}, \quad (3)$$

em que A é a perda de solo, em kg por unidade largura; S é o grau de declive, em percentagem; L é o comprimento de rampa, em metros.

A equação final utilizada para a transformação direta das perdas de solo, para a declividade de 9% da parcela-padrão, foi a seguinte:

$$A_1 = 2,603 A_2, \quad (4)$$

em que A₁ é a perda de solo, em kg por unidade largura, para o declive de 9,0%, concernente à parcela-padrão, e A₂ é a perda de solo, em kg por unidade largura, para o declive de 4% da parcela de campo.

As equações de regressão lineares simples ($y = a + b x$), os coeficientes lineares (a), os coeficientes de regressão (b) e os coeficientes de correlação (r) foram obtidos por meio do programa SAS Institute (1988). Para verificar a homogeneidade entre os coeficientes de correlação, foi utilizado o teste proposto por Graybill (1961), sendo os coeficientes de correlação testados dois a dois. O teste que apresenta uma distribuição de qui-quadrado com um grau de liberdade é dado pela seguinte expressão:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) Z^2 i - (\bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3)} \quad (5)$$

com,

$Z_i =$ arco tangente hiperbólico de (r_i)

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

em que n_i tamanho da amostra que originou o coeficiente de correlação (r_i)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, estão apresentados, para efeito de comparações em ordem decrescente, os valores dos coeficientes de correlação (r), obtidos entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo em condições da parcela-padrão. Os dados correspondentes a 75 chuvas individuais erosivas foram coletados no período de 1986 a 1990. Pela análise global dos coeficientes de correlação, verifica-se que os valores dos coeficientes de correlação obtidos variaram de 0,509 a 0,812, para os parâmetros I_5 e V_u , respectivamente.

A altura total da chuva, quando correlacionada com as perdas de solo, apresentou coeficiente médio de correlação ($r = 0,700$). O coeficiente de correlação, obtido entre a altura total da chuva e as perdas de solo, foi, em termos absolutos, superior aos obtidos no Rio Grande do Sul ($r = 0,547$ a $0,631$), por Moraes (1986), em Campinas (SP) ($r = 0,412$) em Mococa (SP) ($r = 0,420$) e em Pindorama (SP) ($r = 0,247$), por Carvalho (1992), e em Caruaru (PE), ($r = 0,321$), por Albuquerque et al. (1994).

Os parâmetros erosividade da chuva do tipo I_n apresentaram coeficientes de correlação (r) que variaram de 0,509 a 0,695, correspondentes aos parâmetros I_5 e I_{35} , respectivamente. Em termos absolutos, a intensidade máxima em 35 minutos, quando comparada com os demais parâmetros do tipo I_n , foi a que melhor se correlacionou com as perdas de solo de Sumé (PB). A intensidade máxima

Quadro 1. Coeficientes de correlação (r) e de regressão entre as perdas de solo em condições da parcela-padrão e os parâmetros erosividade da chuva e enxurrada

Equação	$r^{(1)}$	Coeficiente de regressão	
		a	b
A = a + b.V _u	0,8120**	0,589670	0,268940
A = a + b.PI ₂₅	0,7527**	0,496994	0,002466
A = a + b.PI ₃₀	0,7493**	0,644849	0,002582
A = a + b.PI ₃₅	0,7441**	0,747408	0,002723
A = a + b.PI ₂₀	0,7411**	-0,354526	0,002339
A = a + b.EWI ₃₀	0,7386**	0,755339	0,101120
A = a + b.EI ₂₅	0,7384**	0,652763	0,009583
A = a + b.PI ₄₀	0,7360**	0,796397	0,002920
A = a + b.EI ₃₀	0,7342**	0,796648	0,010012
A = a + b.EI ₅	0,7305**	0,058228	0,007011
A = a + b.PI ₅	0,7305**	0,058228	0,007011
A = a + b.EI ₃₅	0,7281**	0,900503	0,010522
A = a + b.EI ₂₀	0,7268**	0,522242	0,009079
A = a + b.PI ₁₀	0,7267**	0,141421	0,001994
A = a + b.PI ₄₅	0,7243**	0,842894	0,003120
A = a + b.PI ₁₅	0,7232**	0,265866	0,002156
A = a + b.EI ₄₀	0,7194**	0,011251	0,011251
A = a + b.EI ₁₀	0,7149**	0,320184	0,007759
A = a + b.PI ₅₀	0,7126**	0,900630	0,003293
A = a + b.EI ₁₅	0,7108**	0,937145	0,008382
A = a + b.Ec	0,7086**	-1,670935	0,795026
A = a + b.EcW	0,7080**	-1,796760	0,801380
A = a + b.EI ₄₅	0,7066**	1,008664	0,011968
A = a + b.PI ₅₅	0,7001**	0,953291	0,004127
A = a + b.P	0,7001**	-2,078019	0,201064
A = a + b.I ₃₅	0,6948**	-2,156872	0,204259
A = a + b.EI ₅₀	0,6937**	1,073064	0,012574
A = a + b.I ₄₀	0,6927**	-2,145697	0,223529
A = a + b.I ₃₀	0,6858**	-2,199417	0,185794
A = a + b.PI ₁₂₀	0,6898**	0,993441	0,006303
A = a + b.PI ₆₀	0,6892**	1,005077	0,003260
A = a + b.I ₄₅	0,6836**	-2,095576	0,241504
A = a + b.EI ₅₅	0,6811**	1,131212	0,013172
A = a + b.I ₅₀	0,6748**	-2,007091	0,257442
A = a + b.EI ₁₂₀	0,6697**	1,178387	0,023913
A = a + b.Ec > 10	0,6692**	-0,819960	0,806670
A = a + b.EcW > 10	0,6688**	-0,867131	0,823416
A = a + b.EI ₆₀	0,6685**	1,187438	0,013730
A = a + b.I ₂₅	0,6634**	-2,201500	0,165280
A = a + b.I ₅₅	0,6625**	-1,888327	0,271182
A = a + b.Ec > 25	0,6598**	0,062345	0,857348
A = a + b.EcW > 25	0,6594**	0,057433	0,836623
A = a + b.I ₁₂₀	0,6533**	-1,856627	0,503404
A = a + b.I ₆₀	0,6497**	-1,761502	0,283504
A = a + b.I ₂₀	0,6168**	-1,943254	0,139271
A = a + b.I ₁₅	0,5646**	-1,604962	0,114169
A = a + b.I ₁₀	0,5469**	-1,560792	0,098391
A = a + b.I ₅	0,5095**	-1,509093	0,078413

⁽¹⁾ Coeficientes de correlação altamente significativos a 1%.

em 35 minutos (I_{35}) apresentou coeficiente de correlação ($r = 0,695$) superior aos coeficientes de correlação obtidos para os parâmetros, $Ec > 10$ ($r = 0,669$), $EcW > 10$ ($r = 0,668$), $Ec > 25$ ($r = 0,659$) e $EcW > 25$ ($r = 0,659$), respectivamente.

O fato de o parâmetro da chuva I_{35} ter apresentado, em termos absolutos, o maior coeficiente de correlação, quando comparado com os demais parâmetros do tipo I_n , pode indicar que, para as condições edafoclimáticas de Sumé (PB), e especificamente do local do experimento, com solo do tipo B textural, com horizonte superficial pouco espesso e de drenagem moderada, as perdas de solo, provavelmente, estejam mais associadas às chuvas de curta duração, condição em que a infiltração do solo diminui rapidamente e aumenta o escoamento superficial.

A energia cinética total, representada pelos parâmetros (E_c) e (E_cW), apresentou coeficientes médios de correlação ($r = 0,708$ e $0,708$). Os coeficientes de correlação, obtidos para a energia cinética total neste trabalho, foram superiores aos obtidos em Campinas (SP) ($r = 0,669$ e $0,677$) e em Pindorama ($r = 0,526$ e $0,536$) por Carvalho (1992); no Rio Grande do Sul ($r = 0,576$ a $0,718$), por Moraes et al. (1988) e semelhantes aos obtidos em Mococa (SP) ($r = 0,698$ e $0,715$), por Carvalho (1992), entretanto inferiores aos obtidos nos EUA ($r = 0,98$) por Wischmeier & Smith (1958). Constatou-se não haver diferença estatística entre a energia cinética calculada pela equação de Wischmeier & Smith (1978) e a equação proposta por Wagner & Massambani (1988), concordando com os resultados de Carvalho (1992).

A ausência de altos coeficientes de correlação para a relação entre a energia cinética e as perdas de solo indica a necessidade de se desenvolverem trabalhos de pesquisa, com vistas em obter modelos mais ajustados às condições locais, capazes de expressar, de forma mais adequada, a relação entre distribuição de tamanho de gotas de chuva, intensidade e energia cinética. O baixo valor do coeficiente de correlação da energia cinética total (E_c) pode ser atribuído ao fato de a equação de Wischmeier & Smith (1958), desenvolvida a partir das condições climáticas dos EUA, ao ser aplicada em condições diferentes, mormente naquelas existentes em climas tropicais, não representar satisfatoriamente a relação entre energia cinética e intensidade. Portanto, o emprego dessa equação nas diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil significa considerar que as chuvas do Brasil são semelhantes às dos EUA e entre si, resultando, sem dúvida, em prováveis erros (Roth et al., 1985; Leprun, 1988).

Os parâmetros erosividade da chuva do tipo: $E_c > 10$ ($r = 0,669$), $E_cW > 10$ ($r = 0,669$), $E_c > 25$ ($r = 0,660$) e $E_cW > 25$ ($r = 0,659$) apresentaram coeficientes de correlação semelhantes, sendo tais resultados, de modo geral, inferiores aos obtidos no Rio Grande do Sul ($r = 0,78$) para o $E_c > 10$ por Moraes (1986) em Campinas ($r = 0,695$ e $0,695$) para o $E_cW > 10$ e $E_c > 10$ e em Mococa (SP) ($r = 0,768$ e $0,771$) para o $E_c > 10$ e $E_cW > 10$ por Carvalho (1992).

Analisando os coeficientes de correlação obtidos para os parâmetros $E_c > n$, pode-se constatar que a eliminação dos valores da energia cinética das intensidades inferiores a 10 e 25 mm h⁻¹ respectivamente, não melhorou a estimativa da erosividade da chuva, uma vez que os valores dos coeficientes de correlação da energia cinética total (E_c e E_cW) foram maiores. Os resultados obtidos discordam dos relatados por Hudson (1981); Carvalho (1992) e Albuquerque et al. (1994).

Os parâmetros erosividade da chuva do tipo PI_n apresentaram coeficientes de correlação (r) que variaram de 0,689 a 0,753, para os parâmetros PI_{60} e PI_{25} , respectivamente. Em termos absolutos, PI_{25} foi o parâmetro que melhor se correlacionou com as perdas de solo de Sumé (PB). Os resultados obtidos para o parâmetro PI_{30} foram, em geral, menores que os encontrados por Foster et al. (1982) para as condições climáticas dos EUA ($r = 0,511$ a $0,879$).

Portanto, o modelo linear expresso pelo produto entre a altura total da chuva e as intensidades máximas em 25, 30 e 35 minutos, respectivamente, contribuiu para melhorar a correlação com as perdas de solo, quando comparado com o modelo linear expresso pela altura total da chuva considerada isoladamente. Tais resultados concordam com os obtidos por Foster et al. (1982); Carvalho (1992) e Albuquerque et al. (1994). O parâmetro erosividade da chuva do tipo PI_n , por exigir apenas o volume e a intensidade máxima e dispensar o cálculo moroso da energia cinética, torna-se um parâmetro importante na estimativa das perdas de solo, mormente para aqueles locais desprovidos de maiores informações, além daqueles relativos à altura total da chuva e à intensidade máxima em 30 minutos.

Os parâmetros da chuva do tipo: EI_n e EWI_n apresentaram coeficientes de correlação (r) que variaram de 0,668 a 0,738, para EI_{60} e EWI_{30} , respectivamente. Em termos absolutos, os parâmetros erosividade da chuva do tipo EWI_n apresentaram-se como melhores estimadores das perdas de solo do que os parâmetros erosividade do tipo EI_n . Os dados obtidos em Campinas (SP) e Pindorama (SP) por Carvalho (1992), concernentes aos parâmetros do tipo EI_n ($r = 0,540$ a $0,679$), foram, em geral, menores do que os obtidos neste trabalho ($r = 0,668$ a $0,738$); entretanto, em Mococa, os valores obtidos ($r = 0,740$ a $0,759$) por Carvalho (1992) foram maiores do que os deste trabalho.

Os parâmetros do tipo EI_n explicaram as perdas de solo entre 45 a 55%, portanto inferiores aos valores obtidos (72 a 97%) por Wischmeier & Smith (1958). Apesar de a erosividade da chuva EI_{30} ter sido selecionada em clima temperado, considerando as variações da energia cinética da chuva ocorridas entre diferentes regiões, esse parâmetro vem-se

apresentando como um bom estimador das perdas de solo, como têm demonstrado diversos trabalhos já realizados nas condições edafoclimáticas do Brasil, razão por que tem sido utilizado para estimar o potencial erosivo das chuvas no Brasil e em muitos países de clima tropical (Morais, 1986; Carvalho, 1992, e Albuquerque et al., 1994).

No quadro 1, pode ser observado o valor do coeficiente de correlação ($r = 0,812$), obtido a partir da correlação entre o parâmetro erosividade da enxurrada (V_u) e as perdas de solo. Em termos absolutos, o coeficiente de determinação, obtido no presente trabalho, concernente ao parâmetro erosividade da enxurrada (V_u), foi, em geral, maior ($R^2 = 0,659$) do que os obtidos nos EUA ($R^2 = 0,144$ a $0,768$), por Foster et al. (1982); em Mococa (SP) ($R^2 = 0,646$) e Pindorama (SP) ($R^2 = 0,4943$), por Carvalho (1992); entretanto, menor que os obtidos em Campinas (SP) ($R^2 = 0,689$), por Carvalho (1992).

O fato de o parâmetro erosividade da enxurrada ter apresentado melhor explicação das perdas de solo do que os parâmetros erosividade da chuva indica que o potencial erosivo da enxurrada nos sulcos, para as condições edafoclimáticas de Sumé (PB), redonda em maiores efeitos sobre as perdas de solo do que a erosividade da chuva, representada pelo impacto das gotas de chuva, confirmando os resultados de Lombardi Neto (1979); Foster et al. (1982) e Carvalho (1992).

Os resultados obtidos para o parâmetro erosividade da enxurrada revelam que, em condições tropicais, provavelmente o volume da enxurrada, 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. Chuvas intensas proporcionam intensas enxurradas, elevando, por conseguinte, o processo de erosão nos sulcos do solo, quando comparada à erosão de impacto da chuva ou entressulcos. O fato de ter o parâmetro erosividade da enxurrada (V_u) apresentado alto coeficiente de correlação indica que, considerando sua facilidade de obtenção, simplicidade e praticidade, pode-se tornar um promissor parâmetro para a estimativa do potencial erosivo da chuva. Portanto, devem-se envidar esforços para 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.

A aplicação do teste estatístico proposto por Graybill (1961), para verificar a significância entre os coeficiente de correlação (r), obtidos a partir das correlações entre os 48 parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo de Sumé (PB), levou aos seguintes resultados: (a) não existe diferença significativa a 5% de probabilidade entre os parâmetros erosividade V_u e I_{50} , respectivamente, portanto não existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação entre si: V_u e PI_{25} ; V_u e PI_{30} ; V_u e EI_{30} ; V_u e EIW_{30} ; EI_{30} e Ec ; EI_{30} e EcW ; PI_{30} e EI_{30} ; PI_{30} e EcW ; PI_{30} e Ec ; (b) não existe

diferença significativa a 5% de probabilidade entre a energia cinética calculada pelo método de Wischmeier & Smith (1958) e pelo método de Wagner & Massambani (1988), respectivamente, corroborando com Carvalho (1992).

Dentre os parâmetros analisados, o PI_{25} foi o que melhor se correlacionou com as perdas de solo. Todavia, a ausência de significância estatística entre os coeficientes de correlação dos parâmetros PI_{25} e EI_{30} torna estatisticamente o parâmetro EI_{30} semelhante ao parâmetro PI_{25} , visto que as diferenças, em termos absolutos, são atribuídas aos efeitos do acaso. Por conseguinte, o parâmetro EI_{30} pode estimar as perdas de solo causadas pelas chuvas com mesma precisão que o PI_{25} .

CONCLUSÕES

1. O parâmetro erosividade da enxurrada (V_u) foi o melhor estimador da erosividade da chuva de Sumé (PB).
2. PI_{25} foi o que melhor se correlacionou com as perdas de solo.
3. A energia cinética calculada pelas equações de Wischmeier & Smith (1958) e de Wagner & Massambani (1988), estimou com a mesma precisão as perdas de solo de Sumé (PB).
4. Considerando que não houve diferença estatística entre o parâmetro erosividade da enxurrada (V_u) e o parâmetro EI_{30} , conclui-se que o parâmetro EI_{30} pode ser um bom estimador das perdas de solo de Sumé (PB), como tem sido demonstrado em diversos trabalhos realizados nas condições edafoclimáticas do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Paraíba (CCT/UFPB), Campus II, Campina Grande (PB), na pessoa do Prof. Doutor Vajapeyam S. Srinivasan, que, gentilmente, nos concedeu os dados da estação experimental de Sumé (PB). Ao Prof. Doutor Carlos Galvão, que, gentilmente, nos auxiliou com preciosas informações concernentes ao experimento.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, A.W.; CHAVES, I.B. & VASQUES FILHO, J. Características físicas das chuvas correlacionadas com as perdas de solo num regossolo eutrófico de Caruaru-PE. R. Bras. Ci. Solo, 18:279-283, 1994.

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. Piracicaba, Livroceres, 1985. 368p.
- CADIER, E.; FREITAS, B.J. & LEPRUN, J.C. Bacia Experimental de Sumé: instalação e primeiros resultados. Recife, SUDENE, 1983. 87p. (Série hidrológica, 16)
- CARVALHO, M.P. Fator erosividade da chuva-enxurrada para as chuvas individuais do estado de São Paulo. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1992. 110p. (Tese de Doutorado)
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. 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. R. Bras. Ci. Solo, 17:445-450, 1993.
- CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. & ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. R. Bras. Ci. Solo, 6:236-239, 1982.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation the SI metric units. J. Soil Water Conserv., 36:355-9, 1981.
- FOSTER, G.R.; LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., v.25, p.124-129, 1982.
- GRAYBILL, F.A. An introduction to linear statistical models. New York, McGrawHill, 1961. 684p.
- HUDSON, N.W. Soil conservation. 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1981. 324p.
- LEPRUN, J.C. Manejo e conservação de solos do Nordeste. Recife, SUDENE, 1988. 238p.
- LOMBARDI NETO, F. Universal soil loss equation (USLE), runoff erosivity factor, slope length exponent, and slope steepness exponent for individual storms. West Lafayette, Purdue University, 1979. 128p. (Tese de Doutorado)
- MORAIS, L.F.B. Índices de erosividade de chuvas naturais correlacionadas com perdas de solo em três locais do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1986. 108p. (Tese de Mestrado)
- MORAIS, L.F.B; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande Sul. R. Bras. Ci. Solo, 12:281-284, 1988.
- ROTH, C.H; HENKLAIN, J.C & FARIAS, G.S. Avaliação do tamanho de gotas de chuva natural e simulada para o norte do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 9:281-284, 1985.
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT: Guide for personal computers, version 6 Edition. Cary, 1988. 378p.
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 12:197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys Union, 39:285-91, 1958.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)