

IMPORTANTES CARACTERÍSTICAS DE CHUVA PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NO MUNICÍPIO DE SÃO MANUEL (SP)⁽¹⁾

D. MORETI⁽²⁾, M. P. CARVALHO⁽³⁾,
A. R. MANNIGEL⁽²⁾ & L. R. MEDEIROS⁽²⁾

RESUMO

Os modelos matemáticos preditivos da erosão do solo, como a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), são de muita valia no planejamento de uso agrícola da terra. Tal equação, desenvolvida para estimar as perdas médias anuais de solo esperadas em dado local, para determinado sistema de manejo, apresenta como variáveis os fatores erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento do declive (L), grau do declive (S), cobertura e manejo (C) e práticas conservacionistas de suporte (P). Com o objetivo de contribuir para o planejamento conservacionista de uso do solo local, foi estimado, de forma simplificada, o fator erosividade da chuva (R) da EUPS para o município de São Manuel (SP), para uma série pluviométrica contínua de 49 anos de dados de chuva diária. Além disso, foram também calculados o período de retorno, a frequência de ocorrência dos índices de erosividade anuais e as quantidades máximas diárias das chuvas necessárias para o dimensionamento mais adequado de canais de terraços agrícolas em nível. O valor calculado do fator R foi de 7.487 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, esperado ocorrer no local, pelo menos, uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92 %. Observou-se uma concentração de 81,48 % do valor total deste fator no semestre de outubro a março, indicando que, potencialmente, as maiores perdas anuais de solo por erosão são esperadas neste período. Os valores anuais do índice EI₃₀, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram de 7.216, 8.675, 9.641, 10.568, 11.768 e 12.667 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Com relação às quantidades máximas de chuva diária, para os mesmos períodos de retorno, os valores foram de 73, 98, 115, 131, 151 e 167 mm, respectivamente.

Termos de indexação: precipitação pluviométrica, erosividade, período de retorno da chuva.

⁽¹⁾ Trabalho realizado na disciplina de Manejo e Conservação do Solo do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Sistema de Produção, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – UNESP. Recebido para publicação em dezembro de 2001 e aprovado em abril de 2003.

⁽²⁾ Mestrando em Manejo e Conservação do Solo, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15.385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: dmoreti@carpa.ciagri.usp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto, Faculdade de Engenharia, UNESP. E-mail: morel@agr.feis.unesp.br

SUMMARY: *IMPORTANT RAINFALL CHARACTERISTICS FOR SOIL AND WATER CONSERVATION IN SÃO MANUEL, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL*

Mathematical models for soil erosion prediction are of unquestionable validity for planning the use of agricultural soils. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is an example of such models and estimates the expected annual mean losses of soil in a given site and for a given management system based on the parameters: rain erosivity (R), soil erodibility (K), slope length (L), steepness (S), soil cover and management (C), and conservation practices (P). With the objective of contributing to conservation planning in the use of local soils, the rain erosivity factor (R) of the USLE was estimated in simplified form for a 49 year daily rain series in the county of São Manuel, Brazil (22 ° 45 ' S latitude; 48 ° 30 ' W longitude). Besides, the return period, frequency of occurrence of the annual rain erosivity indexes, and the maximum daily rain values for the calculation of canal dimension of agricultural level terraces were also calculated. The calculated value of parameter R was 7,487 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, expected to occur at least once every 2.33 years at the site with a probability of 42.92%. A concentration of 81.48% of the total R value was observed from October through March, indicating that the greatest part of the annual erosion soil losses are expected to occur during this period. The values of the annual EI₃₀ indexes for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were 7,216; 8,675; 9,641; 10,568; 11,768 and 12,667 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, respectively. Maximum daily rain quantities were 73, 98, 115, 131, 151 and 167 mm, respectively, for the same return periods.

Index terms: rain, erosivity, rain return period.

INTRODUÇÃO

A Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) tem por objetivo predizer a erosão, em t ha⁻¹ano⁻¹, que poderá ocorrer em determinada área agrícola, de forma que a magnitude da perda de solo fique situada dentro dos limites toleráveis. Esta equação relaciona, de forma combinada, todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, quais sejam: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau do declive (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas de suporte (P). Dessa forma, sua utilização é de fundamental importância para o estabelecimento do uso e manejo corretos do solo e, conseqüentemente, para a seleção das práticas conservacionistas de maior eficácia na redução da erosão hídrica.

O solo é o recurso natural mais intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, em decorrência de seu uso e manejo inadequados. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista da propriedade agrícola (Roque et al., 2001). Dentre os fatores, destaca-se a erosividade da chuva (fator R da EUPS), que denota o potencial da chuva e enxurrada associada em causar erosão do solo, sendo determinada pelo produto da energia cinética total

da chuva com sua intensidade máxima em trinta minutos (Wischmeier & Smith, 1978).

Fundamentalmente, a erosividade, definida como o potencial da chuva em causar erosão do solo, depende de suas características físicas básicas, a saber: tamanho, forma e velocidade terminal de queda das gotas. Combinadamente, estas características determinam a energia cinética total da chuva.

Com o propósito de estudar este fator erosivo, a pesquisa tem demonstrado que as características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a energia cinética. Já com relação à enxurrada, basicamente são o seu volume e taxa máxima de descarga as características mais importantes (Hudson, 1973; Lombardi Neto, 1977; Wischmeier & Smith, 1978).

Fournier⁽⁴⁾, citado por Lombardi Neto (1977), verificou uma estreita correlação entre o que chamou de degradação específica ou total de erosão anual e o coeficiente de chuva c, expresso como:

$$c = p^2/p_n \quad (1)$$

sendo p a média mensal e p_n a média anual de chuva. Com vistas em obter uma estimativa simplificada do índice EI₃₀, uma vez que para muitos locais do

⁽⁴⁾ FOURNIER, F. Climate et Erosion. Paris, Press Universitaires de France, Paris, 1960. 201p.

estado de São Paulo não existem registros pluviográficos, Lombardi Neto (1977) estimou o índice de erosividade médio mensal no município de Campinas (SP) por meio de um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da equação 1, utilizando, exclusivamente, registros pluviométricos e a seguinte equação:

$$R_c = P_m^2/P_a \quad (2)$$

sendo R_c o coeficiente de chuva, P_m a precipitação pluviométrica média mensal e P_a a precipitação pluviométrica média anual, em mm, resultando na seguinte expressão ($r = 0,991$):

$$EI_{30} = 67,414 R_c^{0,850} \quad (3)$$

sendo EI_{30} a estimativa (por meio da equação de ajuste) do índice de erosividade médio mensal, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Portanto, pode-se deduzir que, para uma localidade com uma distribuição de chuva semelhante à de Campinas, com uma série pluviométrica contínua de, no mínimo, 20 anos, tal equação pode estimar com boa aproximação os valores médios mensais do EI_{30} , usando-se apenas dados de quantidade de chuva, isto é, dados pluviométricos. Posteriormente, inúmeras equações foram usadas com o mesmo objetivo daquela (equação 3) de Lombardi Neto (1977), tanto para outras localidades paulistas, como para o resto do País, de forma geral (Pereira, 1983; Carvalho, 1987; Sosa, 1987; Moraes et al., 1991; Bertol, 1993, 1994; Colodro, 1999; Roque et al., 2001; Coelho, 2001).

O período de retorno, definido como o intervalo de tempo, em anos, dentro do qual determinado evento hidrológico máximo será igualado ou ultrapassado, é outro importante parâmetro de chuva. Ele pode ser determinado pelo método de Gumbel, que apresenta, como base estatística, a teoria dos valores extremos. Dessa forma, os valores máximos anuais de determinado evento aproximam-se de um padrão definido de distribuição de frequência quando o número de observações, em cada ano, torna-se o mais amplo possível (Schwab et al., 1966). No caso do terraceamento agrícola (Schwab et al., 1966; Lombardi Neto, 1989), tal evento hidrológico é calculado normalmente para um período de retorno de 10 a 15 anos.

Segundo Lombardi Neto (1989), no terraceamento em nível, o evento hidrológico máximo a ser utilizado é representado pela chuva máxima diária, enquanto, no terraceamento em desnível, é representado pela intensidade máxima de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia. A escolha do período de retorno é necessária para a construção de obras hidráulicas de várias finalidades, incluindo as de grande porte, para garantir a segurança das populações ou áreas abaixo de onde elas serão construídas, uma vez que o princípio envolvido é o de eventos climatológicos extremos (Schwab et al., 1966).

Por ser o período de retorno utilizado para o terraceamento agrícola normalmente de 10 a 15 anos, pode-se, eventualmente, planejar tal prática conservacionista do solo com uma margem de segurança maior, visando solucionar problemas específicos, considerando os de ordem econômica e ecológica e os possíveis danos maiores presumíveis, adotando períodos de retorno mais convenientes, mesmo que superestimem a dimensão normal dos canais dos terraços, como de 20 a 50 anos (Carvalho, 1987).

Dentro do enfoque tratado, o objetivo do presente trabalho foi estudar algumas características de chuva para o município de São Manuel (SP), relacionadas com erosividade da chuva.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir de dados obtidos em pluviômetro, registrados para o município de São Manuel (SP), fornecidos pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral local (CATI/Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo). O município de São Manuel encontra-se próximo às coordenadas de 22 ° 45 ' de latitude sul e 48 ° 30 ' de longitude a oeste de Greenwich. Sua altitude média é de 520 m, com as temperaturas médias mínimas e máximas, no verão, 19 e 29 °C e, no inverno de 12 e 25 °C, respectivamente. O tipo climático predominante na região é o Cwa, de acordo com o critério de Köppen, caracterizado como clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente (Nascimento & Pereira, 1988).

Foram acumulados os dados diários de precipitação pluviométrica da série compreendida entre 1950 e 1998 (49 anos). A precipitação mensal foi constituída do somatório das precipitações diárias que ocorreram em determinado mês, dentro de um ano qualquer. Da mesma forma, a precipitação anual foi constituída do somatório de seus totais mensais, efetuando-se o mesmo para todos os anos da série. Assim, puderam ser obtidos os valores médios mensais da precipitação pluviométrica, mês a mês, para todos os meses do ano. Procedeu-se à tabulação de tais dados de forma a obter, finalmente, a precipitação média anual do município de São Manuel, para a referida série de chuva.

Para obter uma estimativa aproximada do índice de erosividade mensal (EI_{30}), uma vez que para muitos locais do estado de São Paulo não existem dados pluviográficos, Lombardi Neto (1977) estimou o mesmo para o município de Campinas (SP) por meio do coeficiente de chuva relacionado na equação 2, originado exclusivamente de dados pluviométricos (quantidade total de chuva). A correlação entre tal coeficiente e a precipitação média mensal resultou em elevado coeficiente de

correlação para o modelo matemático do tipo potência, dado pela equação 3. Portanto, pode-se deduzir que, para uma localidade paulista que possua uma distribuição de chuva semelhante à de Campinas, com uma série pluviométrica contínua de, no mínimo, 20 anos, a equação 3 pode estimar com boa aproximação os valores médios mensais do índice EI_{30} , usando apenas dados de quantidade total de chuva. Desta forma, tomando como base a metodologia de estimativa do índice EI_{30} por meio do coeficiente de chuva como o utilizado por Lombardi Neto (1977), os índices de erosividade médios mensais para o município de São Manuel (SP) foram obtidos por meio da seguinte expressão ($r = 0,991$), desenvolvida para o município de Mococa (SP) (Carvalho, 1987), para o mesmo propósito como o da equação 3:

$$EI_{30} = 111,173 R_c^{0.691} \quad (4)$$

em que EI_{30} representa o índice de erosividade médio mensal em MJ mm ha⁻¹h⁻¹, obtido mês a mês, e R_c o coeficiente de chuva, obtido pelo quociente entre o quadrado da precipitação pluviométrica média mensal e a precipitação pluviométrica média anual (equação 2). A validade de aplicação da equação obtida para Mococa aos dados de São Manuel foi previamente verificada, tanto por meio de regressão linear entre os dados de precipitação anual para a série de 1949 a 1998 das duas localidades, quanto por meio dos intervalos de confiança entre suas respectivas precipitações médias mensais, visando à extrapolação do uso da referida equação.

Os índices de erosividade, mês a mês, dentro de cada ano, foram estimados a partir do quadro geral de distribuição da precipitação pluviométrica para o município de São Manuel por meio de regra de três simples, da seguinte forma:

$$ei = (PM \times IE)/PA \quad (5)$$

em que ei é o valor do índice de erosividade EI_{30} de um mês i contido num ano j da série de dados, PM é o total precipitado num mês i contido num ano j da série de dados, IE é o valor do índice de erosividade EI_{30} médio mensal, no qual o mês i está contido na série de dados, e PA é o valor da precipitação média mensal no qual o mês i está contido na série de dados.

A obtenção dos índices de erosividade mês a mês, dentro de cada ano, proporcionou o quadro final de índices de erosividade EI_{30} de São Manuel, para o período de 1949 a 1998. Para tanto, o somatório dos índices de erosividade mês a mês, dentro de cada ano, constituiu o índice de erosividade para determinado ano. Finalmente, o fator R das chuvas do município de São Manuel foi obtido pelo valor médio entre os 49 anos contidos na série estudada.

Foram analisados ainda a probabilidade de ocorrência e o correspondente período de retorno, tanto para os índices de erosividade EI_{30} anuais, como para as quantidades máximas de chuva diária,

da série parcial estudada para o município de São Manuel, compreendida entre 1949 e 1998. Para tais análises, foram utilizadas as teorias de probabilidade logarítmica (Chow, 1951; 1954) e dos valores extremos (Gumbel, 1941; 1954), preconizadas por Schwab et al. (1966).

A estimativa do período de retorno (T , em anos) foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$T = (N + 1) / m \quad (6)$$

em que N representa o número de anos da extensão da série parcial de dados e m o número de ordem, quando os eventos climatológicos são relacionados em ordem decrescente de magnitude. Desta forma, a probabilidade em % (Pr), equivalente ao período de retorno, foi calculada como:

$$Pr = 100 / T \quad (7)$$

A estimativa do valor teórico do evento climático (X_c), para os índices de erosividade EI_{30} anuais e para as chuvas máximas diárias, foi efetuada com a seguinte expressão:

$$X_c = X (1 + C_v k) \quad (8)$$

em que X representa a média aritmética dos eventos climáticos, C_v é o coeficiente de variação e k é o fator frequência do evento climático, estimado para determinado período de retorno (T) e obtido com a expressão (Chow, 1954):

$$k = (-2,45 \cdot (\lambda + \ln(\ln T - \ln(T - 1))))/\pi \quad (9)$$

em que λ é a constante de Euler (0,577).

Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores observados dos eventos climáticos, assim como para traçar a respectiva curva de probabilidade logarítmica, tanto dos índices de erosividade EI_{30} anuais, como das chuvas máximas diárias. As probabilidades de ocorrência de determinado evento climático e seu correspondente período de retorno foram relacionadas, respectivamente, nas abscissas (inferior e superior) do gráfico. Na ordenada, foram relacionadas as magnitudes dos eventos climáticos, sendo os índices de erosividade em unidades MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e a quantidade de chuva máxima diária em unidades de mm.

A determinação da significância da extensão da série parcial estudada foi efetuada pela seguinte expressão (Schwab et al., 1966):

$$Y = (4,30 \cdot t \cdot \log \theta)^2 + 6 \quad (10)$$

sendo Y o número aceitável de anos de registro da série parcial de eventos climáticos, t o valor estatístico de Student, a 10 % de significância, com $(y - 6)$ graus de liberdade, e θ é a relação entre as magnitudes do evento climático com período de retorno de 100 anos e aquele com período de retorno de 2 anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 1 apresenta a distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica do município de São Manuel, representante da série de 49 anos de análise de dados (1950 a 1998) utilizada para o cálculo do fator R local. A precipitação média anual

observada foi de 1557,7 mm, com desvio-padrão e erro-padrão da média de, respectivamente, 345,5 e 49,4 mm. O coeficiente de variação foi de 22,18 %. A adequação do número de anos de registro da série parcial de dados de precipitação anual revelou que, a 1 % de probabilidade, o tempo mínimo aceitável, obtido pela equação 10, contida em Schwab et al. (1966), é de 10,5 anos.

Quadro 1. Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica no município de São Manuel (SP), no período de 1950 a 1998

Ano	Precipitação pluviométrica												Total
	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
	mm												
50	310	180	220	60	30	18	0	26	85	69	165	246	1.409
51	404	280	100	66	52	11	5	0	87	142	100	220	1.467
52	157	420	347	34	0	51	0	0	20	185	129	98	1.441
53	221	181	193	23	20	19	45	0	85	132	281	228	1.428
54	241	266	111	44	186	67	93	0	15	61	20	221	1.325
55	161	173	137	201	42	52	22	65	4	99	108	218	1.282
56	118	326	73	200	199	126	123	57	93	173	9	73	1.570
57	288	144	129	99	48	42	174	81	164	119	43	167	1.498
58	346	180	163	32	205	106	1	2	113	172	87	234	1.641
59	287	117	255	65	54	13	27	55	11	107	120	153	1.264
60	236	354	129	60	46	52	0	11	20	139	178	249	1.474
61	141	211	148	122	86	0	3	10	23	126	100	216	1.186
62	174	241	372	58	13	110	6	41	23	259	49	137	1.483
63	232	114	149	10	46	59	11	58	145	201	57	88	1.170
64	20	342	27	50	50	33	83	37	79	129	131	307	1.288
65	433	392	149	97	109	38	0	13	106	184	191	252	1.964
66	92	119	56	32	27	7	19	27	72	188	56	271	966
67	332	263	56	4	0	108	22	0	85	235	124	183	1.412
68	251	163	98	33	8	25	9	45	12	103	70	201	1.018
69	156	106	96	41	35	53	22	16	111	163	433	121	1.353
70	181	394	43	30	59	67	12	104	101	68	78	151	1.288
71	164	94	187	23	52	109	70	40	78	88	36	91	1.032
72	387	409	54	55	44	7	148	58	110	243	172	127	1.814
73	132	128	171	110	84	79	52	38	58	113	42	170	1.177
74	132	55	431	35	20	147	0	25	16	188	51	391	1.491
75	128	334	71	77	16	2	59	0	38	120	149	331	1.325
76	263	229	205	66	213	89	86	148	210	144	341	192	2.186
77	311	122	176	136	21	72	50	8	107	129	117	435	1.684
78	123	176	281	0	205	38	53	5	65	121	215	187	1.469
79	93	111	104	30	67	0	37	110	140	117	97	158	1.064
80	208	268	153	121	13	53	0	18	67	80	184	412	1.577
81	323	66	68	91	31	59	10	24	23	249	169	267	1.380
82	326	267	173	64	75	177	61	26	16	242	264	384	2.075
83	390	147	143	130	304	264	34	0	275	166	155	289	2.297
84	193	79	112	158	31	0	7	130	111	37	100	179	1.137
85	112	196	197	201	71	22	13	23	105	28	125	84	1.177
86	133	261	386	52	92	0	12	179	100	70	192	393	1.870
87	337	258	67	57	229	234	24	17	110	97	264	146	1.840
88	359	263	138	101	115	44	0	0	40	270	138	225	1.693
89	484	210	152	119	84	52	96	49	103	53	105	271	1.778
90	329	260	351	37	80	26	107	96	108	208	119	150	1.871
91	337	387	360	152	52	88	36	25	144	188	164	215	2.148
92	104	319	333	177	134	5	16	24	158	256	161	123	1.810
93	307	423	192	85	188	93	15	57	270	59	86	228	2.003
94	289	196	150	102	98	34	31	0	2	110	225	401	1.638
95	413	356	190	118	88	60	94	0	108	209	66	233	1.935
96	209	136	257	104	63	29	4	51	176	256	148	301	1.734
97	725	139	82	94	136	194	32	19	159	215	235	199	2.229
98	134	514	224	85	155	25	26	72	140	188	36	366	1.965
Média	249,5	232,0	172,6	80,4	83,2	62,4	37,8	38,6	91,7	149,0	136,4	224,1	1.557,7

Desta forma, em relação à caracterização da chuva de regiões temperadas, este fato diferiu do relatado por Newman (1970), o qual recomendou a utilização de uma série parcial de dados climáticos com, pelo menos, 22 anos. Diferiu também dos relatos de Wischmeier & Smith (1978), que indicaram o tempo mínimo de 20 anos de dados para a série contínua destinada ao cálculo do fator R.

No entanto, em relação à caracterização da chuva de regiões tropicais, o resultado encontrado ficou de acordo com os de Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Lima (1995), Carvalho et al. (1996, 1997), Colodro (1999), Roque & Carvalho (1999), Coelho (2001) e Roque et al. (2001), os quais relataram tempos menores do que 20-22 anos para a série pluviográfica contínua destinada ao cálculo do fator R.

A figura 1 apresenta os intervalos de confiança determinados para as precipitações médias mensais dos municípios de São Manuel e Mococa, no período de 1950 a 1998. O objetivo foi verificar a eficácia de utilização da equação 4 de Mococa (SP) para estimar os índices de erosividade médios mensais de outra localidade, desde que a distribuição de chuva seja semelhante. Pode-se observar que a referida equação é relativamente satisfatória para uso aos dados da precipitação de São Manuel (SP), uma vez que, para todos os meses do ano, com exceção de novembro e dezembro, percebeu-se, nas duas localidades, sobreposição dos intervalos de confiança obtidos para as precipitações médias mensais. O coeficiente de correlação (r) obtido da regressão linear com os dados médios anuais de precipitação de tais locais foi de 0,9163 ($p < 0,00002$), sendo, portanto, elevado.

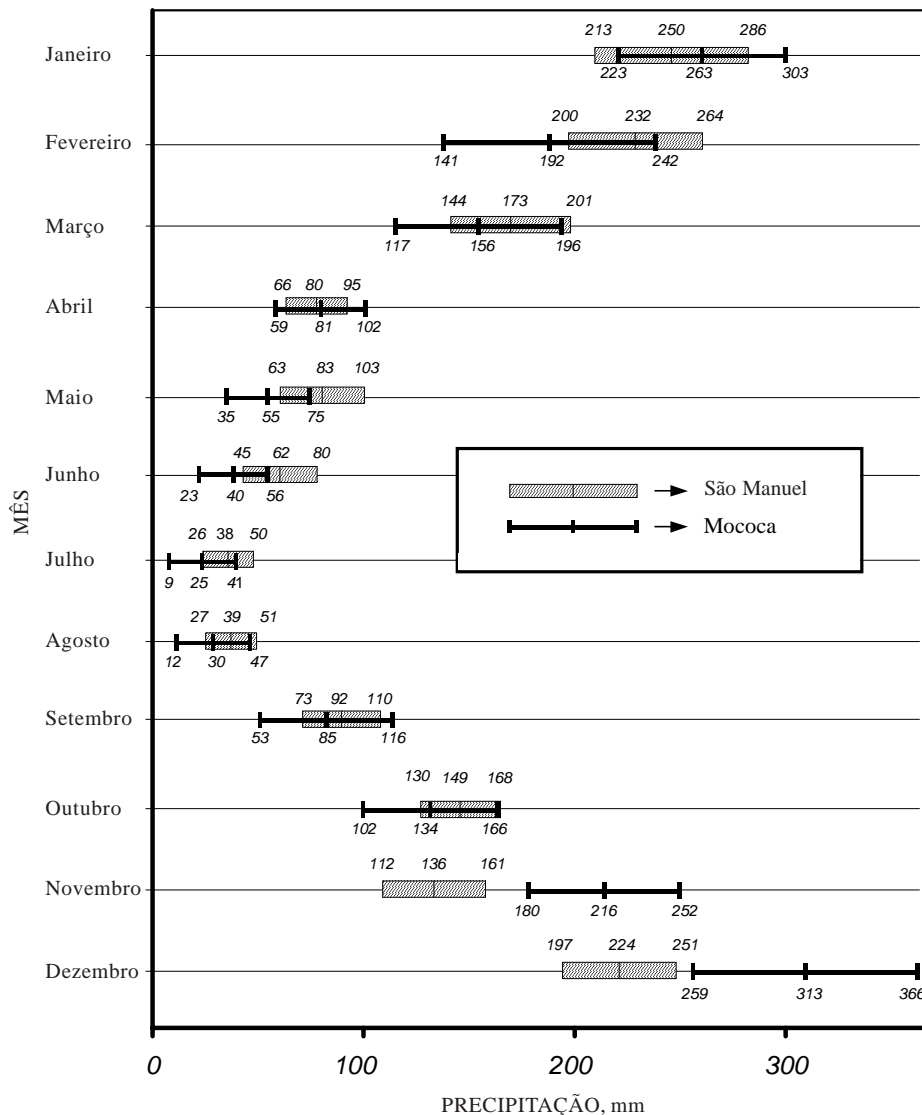


Figura 1. Intervalo de confiança da precipitação pluviométrica média mensal nos municípios de São Manuel (SP) e Mococa (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998.

Os quadros 2 e 3 e a figura 2 apresentam os valores médios mensais e anuais do fator erosividade da chuva (R) do município de São Manuel, avaliados para a série de dados entre os anos de 1950 a 1998. O fator R local foi de 7.487 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com desvio-padrão e erro-padrão da média de, respectivamente, 1.651 e 236 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O coeficiente de variação foi de 22,05 %.

O fator erosividade da chuva (R) do município de São Manuel de 7487 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Quadros 2 e 3) foi superior aos de Mirandópolis, Piracicaba, Pindorama e Selvíria, calculados, respectivamente, por Kuratani (2001), Pereira (1983), Sosa (1987) e Carvalho et al. (1997). Por outro lado, foi inferior aos de Mococa, Barranquinho, Flexas e Bauru, calculados, respectivamente, por Carvalho (1987), Morais et al. (1991) e Lima (1995). Sua magnitude ficou um tanto em desacordo com o valor mostrado no mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo, traçadas por Lombardi Neto et al. (1980), para o município de São Manuel, o qual está ao redor de 6.550 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

O estudo da distribuição do potencial erosivo da chuva, bem como da sua quantidade, é de grande importância para o manejo do solo e das culturas. No período de estudo, os valores anuais do índice de erosividade variaram de 4.707 a 10.729 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, para os anos de 1971 e 1997. Os valores mensais do índice de erosividade variaram de 105 e 1.766 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, para os meses de julho e janeiro (Quadro 3). Analisando os dados apresentados, pode-se observar que 81,48 % do índice de erosividade anual ocorreu nos meses de outubro a março, indicando que, neste período, era esperada a maior perda anual de solo por erosão no município de São Manuel (SP). Em

contraposição, no semestre complementar (abril a setembro), esta quantidade foi de, apenas, 18,52 % e, no trimestre de junho a agosto, ela foi de 5,63 %. Tais valores, em termos de magnitude e época de ocorrência, concordam com os de pesquisas afins, realizadas em outras localidades do estado de São Paulo (Lombardi Neto, 1977; Sosa, 1987; Carvalho et al., 1989, 1996, 1997; Morais et al., 1991; Lima, 1995; Colodro, 1999, Roque et al., 2001 e Coelho, 2001).

A distribuição da precipitação pluviométrica anual no município de São Manuel (Figura 1) seguiu um padrão semelhante ao unimodal, conforme descrição apresentada por Hudson (1973). Esta distribuição se assemelhou à dos municípios de Mococa, Campinas, Piraju e Votuporanga, respectivamente, determinadas por Carvalho (1987), Lombardi Neto (1977), Roque et al. (2001) e Coelho (2001), que apresentaram um padrão de chuva com tendência ao tipo unimodal. No entanto, a distribuição foi diferente daquela do município de Teodoro Sampaio, determinada por Colodro (1999), a qual apresentou um padrão de chuva com tendência ao tipo bimodal.

A curva de distribuição da erosividade da chuva (Figura 2) fornece informações de grande importância para a determinação do fator cobertura e manejo (C) da Equação Universal de Perda de Solo e para a aplicação prática (Wischmeier & Smith, 1965, 1978; Lombardi Neto, 1977; Carvalho, 1987). Os valores da distribuição relativa dos valores de EI₃₀ médios mensais (estabelecidos de julho a junho na figura 2, de acordo com o ano agrícola), que poderão oportunamente ser utilizados no cálculo do fator C local, foram de, respectivamente, 1,40; 1,44; 4,77; 9,31; 8,24; 16,38; 18,98; 17,16; 11,41; 3,97; 4,15 e 2,79 %.

Quadro 2. Valores médios mensais de chuva, coeficiente de chuva e índice de erosividade EI₃₀ no município de São Manuel (SP), avaliados no período de 1950 a 1998

Mês	Chuva	Coeficiente de chuva (Rc) ⁽¹⁾	EI ₃₀ ⁽²⁾
	mm		MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
Janeiro	249,5	39,96	1.421
Fevereiro	232,0	34,55	1.285
Março	172,6	19,13	854
Abril	80,4	4,15	297
Maio	83,2	4,44	311
Junho	62,4	2,50	209
Julho	37,8	0,92	105
Agosto	38,6	0,96	108
Setembro	91,7	5,40	357
Outubro	149,0	14,25	697
Novembro	136,4	11,94	617
Dezembro	224,1	32,24	1.226
Total	1.557,7	--	7.487

⁽¹⁾ Calculado por meio da equação 3 (Lombardi Neto, 1977). ⁽²⁾ Calculado por meio da equação 4 (Carvalho, 1986).

Quadro 3. Valores médios mensais e anuais do índice de erosividade EI₃₀ no município de São Manuel (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998

Ano	Precipitação pluviométrica												Total
	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹													
50	1.766	997	1.089	222	112	60	0	73	331	323	746	1.346	7.064
51	2.301	1.551	495	244	194	37	14	0	339	664	452	1.204	7.494
52	894	2.326	1.717	126	0	171	0	0	78	865	584	536	7.297
53	1.259	1.003	955	85	75	64	125	0	331	617	1.271	1.247	7.031
54	1.373	1.473	549	163	695	224	258	0	58	285	90	1.209	6.379
55	917	958	678	743	157	174	61	182	16	463	489	1.193	6.030
56	672	1.806	361	739	744	422	342	159	362	809	41	399	6.856
57	1.640	798	638	366	179	141	483	227	638	557	195	914	6.775
58	1.971	997	807	118	766	355	3	6	440	805	394	1.280	7.940
59	1.635	648	1.262	240	202	44	75	154	43	501	543	837	6.182
60	1.344	1.961	638	222	172	174	0	31	78	650	805	1.362	7.437
61	803	1.169	732	451	321	0	8	28	90	589	452	1.182	5.825
62	991	1.335	1.841	214	49	368	17	115	90	1.212	222	749	7.201
63	1.321	631	737	37	172	198	31	162	565	940	258	481	5.533
64	114	1.894	134	185	187	111	231	104	308	603	593	1.680	6.141
65	2.466	2.171	737	358	407	127	0	36	413	861	864	1.379	9.820
66	524	659	277	118	101	23	53	76	280	879	253	1.483	4.727
67	1.891	1.457	277	15	0	362	61	0	331	1.099	561	1.001	7.055
68	1.430	903	485	122	30	84	25	126	47	482	317	1.100	5.149
69	888	587	475	151	131	178	61	45	432	762	1.959	662	6.332
70	1.031	2.182	213	111	221	224	33	291	393	318	353	826	6.196
71	934	521	925	85	194	365	194	112	304	412	163	498	4.707
72	2.204	2.265	267	203	164	23	411	162	428	1.137	778	695	8.739
73	752	709	846	406	314	265	144	106	226	529	190	930	5.417
74	752	305	2.133	129	75	492	0	70	62	879	231	2.139	7.267
75	729	1.850	351	284	60	7	164	0	148	561	674	1.811	6.639
76	1.498	1.268	1.014	244	796	298	239	414	818	674	1.543	1.050	9.856
77	1.771	676	871	502	78	241	139	22	417	603	529	2.380	8.230
78	701	975	1.390	0	766	127	147	14	253	566	973	1.023	6.935
79	530	615	515	111	250	0	103	308	545	547	439	864	4.826
80	1.185	1.484	757	447	49	178	0	50	261	374	832	2.254	7.871
81	1.840	366	336	336	116	198	28	67	90	1.165	764	1.461	6.766
82	1.857	1.479	856	236	280	593	169	73	62	1.132	1.194	2.101	10.033
83	2.221	814	708	480	1.136	884	94	0	1.071	777	701	1.581	10.468
84	1.099	438	554	584	116	0	19	364	432	173	452	979	5.210
85	638	1.086	975	743	265	74	36	64	409	131	565	460	5.445
86	757	1.446	1.910	192	344	0	33	501	389	327	869	2.150	8.918
87	1.919	1.429	332	211	856	784	67	48	428	454	1.194	799	8.519
88	2.045	1.457	683	373	430	147	0	0	156	1.263	624	1.231	8.408
89	2.757	1.163	752	440	314	174	267	137	401	248	475	1.483	8.610
90	1.874	1.440	1.737	137	299	87	297	269	420	973	538	821	8.892
91	1.919	2.144	1.781	561	194	295	100	70	561	879	742	1.176	10.423
92	592	1.767	1.648	654	501	17	44	67	615	1.198	728	673	8.504
93	1.748	2.343	950	314	703	311	42	159	1.051	276	389	1.247	9.534
94	1.646	1.086	742	377	366	114	86	0	8	515	1.018	2.194	8.151
95	2.352	1.972	940	436	329	201	261	0	420	978	299	1.275	9.462
96	1.190	753	1.272	384	235	97	11	143	685	1.198	669	1.647	8.285
97	4.129	770	406	347	508	650	89	53	619	1.006	1.063	1.089	10.729
98	763	2.847	1.108	314	579	84	72	201	545	879	163	2.002	9.559
Média	1.421	1.285	854	297	311	209	105	108	357	697	617	1.226	7.487

No quadro 4, são apresentados a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias no município de São Manuel, durante o período

de 1950 a 1998. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior valor do índice de erosividade anual observado (10.729 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹),

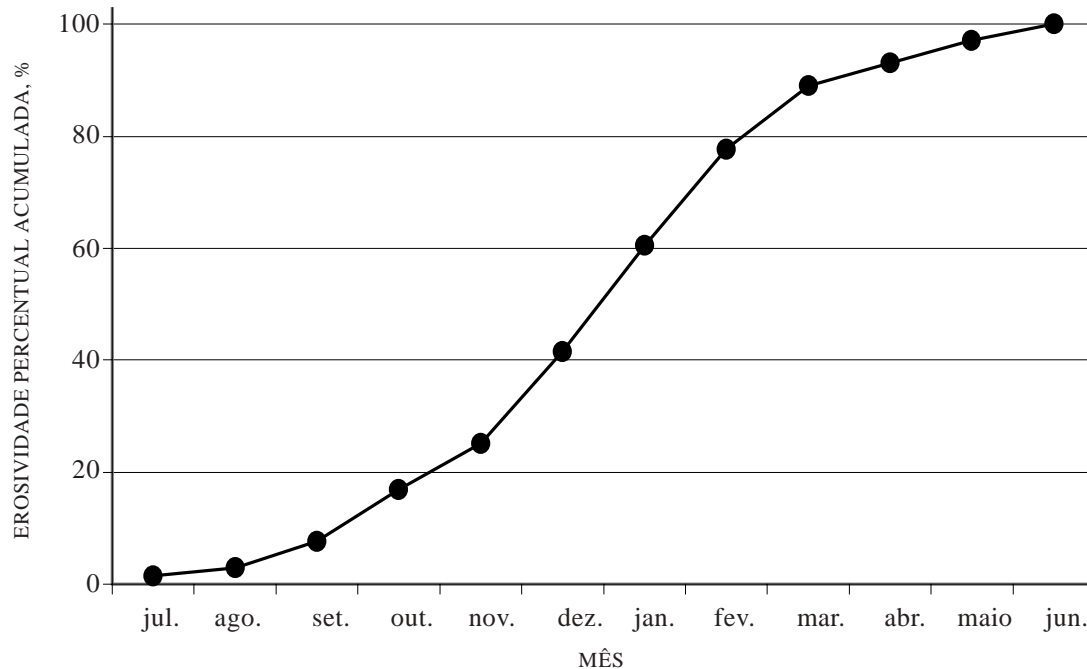


Figura 2. Distribuição relativa acumulada anual do índice de erosividade (EI30) no município de São Manuel (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998.

assim como para o maior valor de chuva máxima diária (160 mm), foram de, respectivamente, 50 anos e 2 %. Da mesma forma, os valores menores para o menor índice de erosividade anual e chuva máxima diária (4.707 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 31 mm) foram de, respectivamente, 1 ano e 98 %.

A distribuição da probabilidade de ocorrência, apresentada nas figuras 3 e 4, foi ajustada por meio da equação (8), de acordo com indicação de Schwab et al. (1966). Os valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias, para qualquer período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos por meio de leitura direta nas curvas de distribuição de probabilidade apresentadas nas figuras 3 e 4, ou calculados por meio da aplicação da equação 8. Como exemplo, observa-se que o período de retorno do fator R (erosividade da chuva) do município de São Manuel é de 2,33 anos, para uma probabilidade de ocorrência de 42,92 %. Assim, pode-se dizer que, para o local estudado, é possível ocorrer, com uma probabilidade de 42,92 %, um valor anual do índice EI₃₀ de igual ou superior ao calculado (7.487 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), pelo menos, uma vez a cada 2,33 anos. Os valores dos índices anuais de erosividade, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, são, respectivamente, 7.216, 8.675, 9.641, 10.568, 11.768 e 12.667 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

As curvas de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias do município de São Manuel (SP) (Figuras 3 e 4) seguiram o padrão lognormal,

típico de eventos hidrológicos, de acordo com Wischmeier (1959), e corroborados por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Lima (1995), Carvalho et al. (1996, 1997), Colodro (1999), Roque et al. (2001) e Coelho (2001). Os valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias do município de São Manuel, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, no geral, diferiram daqueles de outras localidades do estado de São Paulo, para as quais também foram realizados estudos semelhantes.

De acordo com os resultados constantes no quadro 4, o maior valor do índice anual de erosividade (10.729 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) e o da quantidade de chuva máxima diária (160 mm), observados para São Manuel, apresentaram um período de retorno de 50 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 2 %. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 2 %, um valor do índice anual de erosividade, ou valor da quantidade de chuva máxima diária, igual ou superior, respectivamente, a 10.729 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 160 mm, pelo menos, uma vez a cada 50 anos.

De forma semelhante, para o menor índice anual médio de erosividade e a menor quantidade de chuva máxima diária, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 98 %, um valor do índice anual de erosividade, ou da chuva máxima diária, igual ou superior, respectivamente, a 4.707 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 31 mm, pelo menos, uma vez a cada 1 ano.

Os valores médios das chuvas máximas diárias, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20,

Quadro 4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência do índice EI₃₀ anual e da quantidade de chuva máxima diária no município de São Manuel (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998

Chuva máxima diária		Erosividade		Número de ordem	Período de retorno ⁽¹⁾ (T)	Probabilidade de ocorrência ⁽²⁾ (Pr)
Data	Quantidade	Ano	EI ₃₀			
	mm		MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	m	ano	%
12/01/75	160	97	10.729	1	50,00	2,00
12/02/77	160	83	10.468	2	25,00	4,00
14/06/87	140	91	10.423	3	16,67	6,00
21/01/97	133	82	10.033	4	12,50	8,00
30/05/93	113	76	9.856	5	10,00	10,00
11/09/91	106	65	9.820	6	8,33	12,00
17/02/78	105	98	9.559	7	7,14	14,00
02/01/92	104	93	9.534	8	6,25	16,00
17/11/76	102	95	9.462	9	5,56	18,00
31/05/83	95	86	8.918	10	5,00	20,00
18/11/88	95	90	8.892	11	4,55	22,00
03/06/96	95	72	8.739	12	4,17	24,00
04/06/80	92	89	8.610	13	3,85	26,00
13/12/81	91	87	8.519	14	3,57	28,00
01/04/89	89	92	8.504	15	3,33	30,00
26/03/86	85	88	8.408	16	3,13	32,00
26/02/56	81	96	8.285	17	2,94	34,00
27/03/74	81	77	8.230	18	2,78	36,00
12/05/98	80	94	8.151	19	2,63	38,00
24/02/82	78	58	7.940	20	2,50	40,00
24/01/50	75	80	7.871	21	2,38	42,00
27/02/72	75	51	7.494	22	2,27	44,00
27/02/62	71	60	7.437	23	2,17	46,00
29/12/94	71	52	7.297	24	2,08	48,00
16/02/64	69	74	7.267	25	2,00	50,00
27/01/53	67	62	7.201	26	1,92	52,00
27/01/61	67	50	7.064	27	1,85	54,00
24/01/65	66	67	7.055	28	1,79	56,00
16/01/51	65	53	7.031	29	1,72	58,00
02/09/54	65	78	6.935	30	1,67	60,00
12/02/58	65	56	6.856	31	1,61	62,00
14/06/67	65	57	6.775	32	1,56	64,00
01/04/70	65	81	6.766	33	1,52	66,00
28/02/90	65	75	6.639	34	1,47	68,00
14/02/52	64	54	6.379	35	1,43	70,00
03/05/57	62	69	6.332	36	1,39	72,00
26/01/59	61	70	6.196	37	1,35	74,00
12/07/66	61	59	6.182	38	1,32	76,00
26/01/84	58	64	6.141	39	1,28	78,00
01/02/95	58	55	6.030	40	1,25	80,00
02/06/55	54	61	5.825	41	1,22	82,00
14/02/60	54	63	5.533	42	1,19	84,00
11/09/69	52	85	5.445	43	1,16	86,00
20/01/71	51	73	5.417	44	1,14	88,00
02/09/85	51	84	5.210	45	1,11	90,00
01/01/63	46	68	5.149	46	1,09	92,00
01/10/68	45	79	4.826	47	1,06	94,00
13/02/79	36	66	4.727	48	1,04	96,00
02/11/73	31	71	4.707	49	1,02	98,00
Média	78,0	Média	7.487	--	--	--
C.V. ⁽³⁾	0,3628	C.V. ⁽³⁾	0,2205	--	--	--
DP ⁽⁴⁾	28,3	DP ⁽⁴⁾	1.651	--	--	--

⁽¹⁾ T = (N + 1)/m.... ⁽²⁾ Pr = 100/T.... ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto). ⁽⁴⁾ DP = Desvio-padrão.

50 e 100 anos, foram, respectivamente, de 73,4; 98,4; 115,0; 130,8; 151,4 e 166,9 mm. O valor médio da chuva máxima diária (115 mm) para o período de retorno de 10 anos, utilizado no cálculo de área da seção transversal de terraços agrícolas em nível, conforme

preceitos de Schwab et al. (1966) e Lombardi Neto (1989), concorda plenamente com o valor mostrado no mapa de isoietas previamente determinado para o estado de São Paulo, uma vez que o município de São Manuel situa-se na isoietas de 115,0 mm.

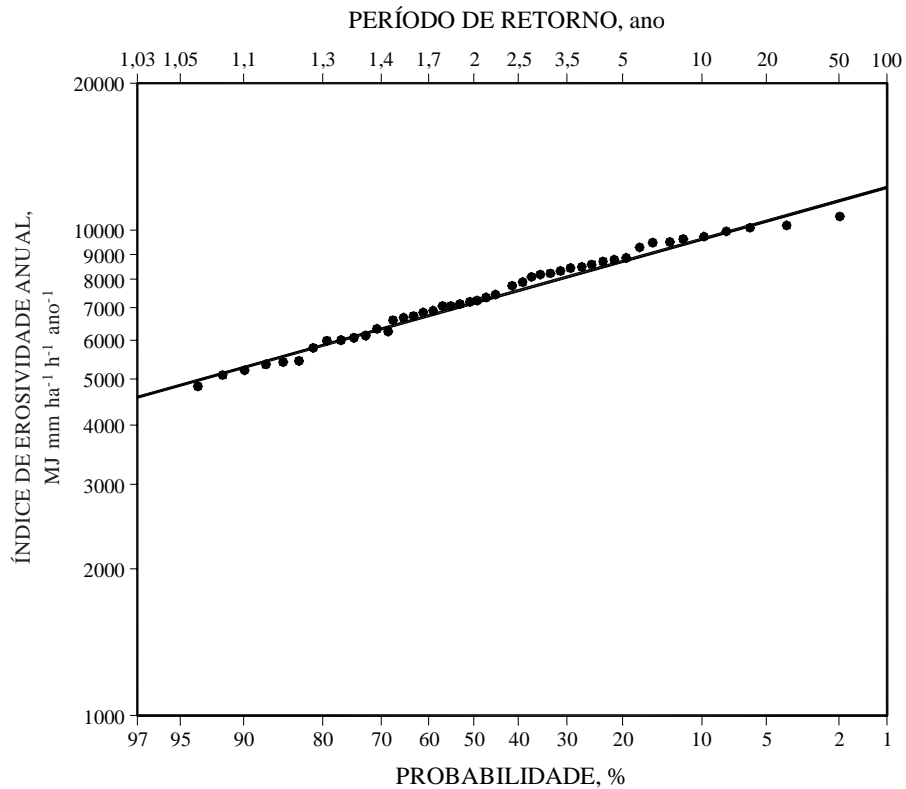


Figura 3. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno do índice EI30 anual no município de São Manuel (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998.

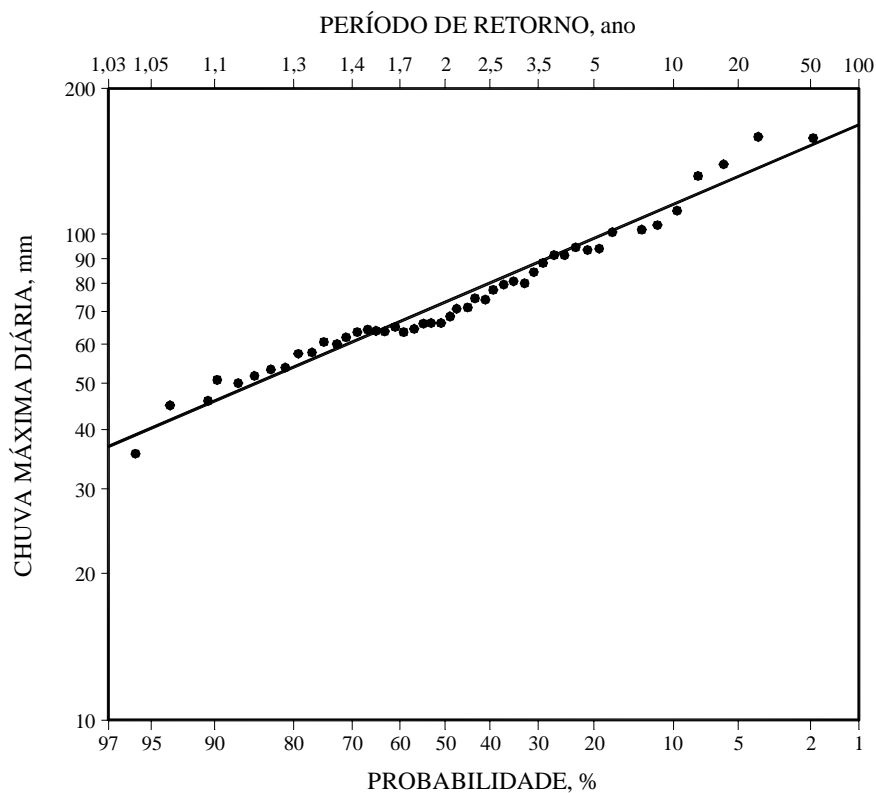


Figura 4. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno da quantidade de chuva máxima diária no município de São Manuel (SP), com base nas chuvas do período de 1950 a 1998.

CONCLUSÕES

1. Os dados referentes ao fator R de São Manuel do presente trabalho devem ser aceitos com um nível de significância de 99,10 % de probabilidade de acerto. Isto porque, a equação de Mococa, que estimou a erosividade da chuva de São Manuel, apresentou um coeficiente de correlação de 0,991.

2. A chuva máxima diária, calculada para o período de retorno de 10 anos e que é necessário ao terraceamento agrícola, foi de 115 mm. Entretanto, desejando-se trabalhar com maior segurança de tal prática conservacionista, podem ser utilizados valores mais consistentes, com períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos, respectivamente de 130,8, 151,4 e 166,9 mm.

LITERATURA CITADA

- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª aproximação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC), no período de 1981 a 1990. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1453-1458, 1994.
- CARVALHO, M.P. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 104p. (Tese de Mestrado)
- 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 dos solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:237-242, 1989.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e coeficiente de chuva do município de Mococa - SP. *Científica*, 19:1-7, 1991.
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C.T. & AULINO, H.B. Erosividade da chuva de Botucatu (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996, Águas de Lindóia. Anais. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1996. CD-ROM
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C.T. & PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Selviria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM
- CHOW, V.T. General fórmula for hidrologic frequency analysis. *Am. Geophys. Union Trans*, 32:231-237, 1951.
- CHOW, V.T. The log-probability law and II engineering applications, *Americ Society. And Engeenerig*, 1954. 80p. (Separate, 536)
- COELHO, A.P. Fator erosividade da chuva de Votuporanga (SP). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 101p. (Tese de Mestrado)
- COLODRO, G. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP), Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1999. 77p. (Tese de Mestrado)
- GUMBEL, E.J. The return period of flood flows. *Annals of mathematical statistics*, 1941, v.12, n.2, June.
- GUMBEL, E.J. Statistical theory of extreme values and some practical applications. *Bureau Standards*, 1954. (Applied Mathematics Series, 33)
- HUDSON, N.W. Soil conservation. 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1973. 320p.
- KURATANI, M.C.B. Erosividade da chuva de Mirandópolis (SP): Distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. Três Lagoas, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2001.55p. (Lato Sensu em Geografia)
- LIMA, M.A. Avaliação do período de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva de Bauru (SP). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1995.35p. (Trabalho de Graduação)
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p.(Tese de Mestrado)
- LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R.L. & CASTRO, O.M. Potencial de erosão de chuvas no estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife 1980. Anais. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1980. p.159.
- LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. Simpósio. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.26-59.
- MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI_{30} e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:339-344, 1991.
- NASCIMENTO, C.M. & PEREIRA, M.A.M.G. Atlas climatológico do estado de São Paulo. Campinas, Fundação Cargill, 1988. 93p.
- NEWMAN, J.E. Climate in the 1970'S. *Crops Soil Mag.*, 22:9-12, 1970.
- PEREIRA, H.H.G. Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba-SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983. 70p. (Tese de Mestrado)

- ROQUE, C.G. & CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999, Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM
- ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. & PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. R. Bras. Ci. Solo, 25:147-156, 2001.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; DMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 2.ed. New York: John Wiley, 1966. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series)
- SOSA, D.A. Erosividade a chuva: distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 105p. (Tese de Mestrado)
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Proc. Soil Sci. Am., 20:246-249, 1959.
- 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. 47p. (Agriculture handbook, 282)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537)