

Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993

Erosivity and hydrological patterns of Ijuí (RS, Brazil) rainfalls in the period of 1963 to 1993

Elemar Antonino Cassol¹, Daniela Martins², Flávio Luiz Foletto Eltz³, Vladimir Silva de Lima⁴,
Aristides Camara Bueno⁵

Resumo: A capacidade potencial das chuvas em causar erosão do solo é denominada de erosividade das chuvas. O objetivo deste trabalho foi determinar a erosividade e os padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS), com base no período de 1963 a 1993. Em pluviogramas diários da estação meteorológica da FEPAGRO foram separados as chuvas individuais e erosivas, determinando-se a erosividade (pelo índice EI_{30}) e os padrões hidrológicos. O período de outubro a fevereiro concentrou 60% da erosividade anual, o que coincide com o preparo do solo, semeadura e crescimento das culturas de verão. O pico mais notável do potencial erosivo ocorreu em fevereiro, quando normalmente a maioria das culturas praticamente já está em pleno desenvolvimento, enquanto que julho é o mês de menor potencial erosivo. Na média, os padrões avançado, intermediário e atrasado têm, respectivamente, 48, 25 e 27% das chuvas erosivas por ano, 52, 26 e 22%, do volume total anual de chuvas erosivas e 58, 25 e 17% da erosividade média total das chuvas. O índice de erosividade médio anual para Ijuí é de $8.825 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o qual representa o Fator “R” da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) que pode ser utilizada para prever perdas médias anuais de solo por erosão hídrica em Ijuí, RS e regiões agroclimáticas semelhantes.

Palavras-chave: energia cinética, potencial erosivo da chuva, intensidade da chuva, fator “R”, Equação Universal de Perdas de Solo, USLE

Abstract: The potential capacity of rainfall to cause water soil erosion is named rainfall erosivity. The objective of this study was to determine the rainfall erosivity and hydrological patterns of Ijuí (RS, Brazil), based on data from the period of 1963 to 1993. From diary rainfall charts obtained from FEPAGRO weather station, the EI_{30} index and hydrological pattern were calculated for each individual and erosive rainfall. The period from October to February concentrates 60% of annual erosivity, which coincides with soil tillage, sowing and initial growth of the summer crops. The more notable peak of erosivity potential occurs in February, when normally most of the crops already are in full growth, while July is the month of smaller erosive potential. In the average, the advanced, intermediary and delayed hydrological patterns has 48, 25 e 27% of erosive rainfalls per year, while these patterns correspond, respectively, to 52, 26 and 22% of the annual amount of erosive rainfalls, and 58, 25 and 17% of the mean annual rainfall erosivity. The annual index of erosivity for Ijuí is $8,825 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$, which can be used as “R” factor in the Universal Soil Loss Equation (USLE), to predict average annual soil loss by water erosion at Ijuí region.

Keywords: kinetic energy, rainfall erosive potential, rainfall intensity, “R” factor, Universal Soil Loss Equation, USLE

¹ Eng^o Agr^o, PhD., Professor Associado do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15.100, Bairro Agronomia, CEP 91.540-000 – Porto Alegre, RS, E-mail: cassolea@orion.ufrgs.br

² Eng^a Agr^a, ex-Bolsista de Iniciação Científica do CNPq, Departamento de Solos da FA-UFRGS, E-mail: dmartins77@yahoo.com.br

³ Eng^o Agr^o, PhD., Professor Titular do Dep. de Solos do CCR-UFSM, 97.105-900 – Santa Maria, RS, Bolsista do CNPq, E-mail: feltz@ccr.ufsm.br

⁴ Eng^o Agr^o, MSc, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, Av. Loureiro da Silva, 515, 90.010-420 – Porto Alegre, RS. E-mail: Vladimir.Lima@poa.incra.gov.br

⁵ Eng^o Agr^o, Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, Porto Alegre, RS. E-mail: agrometeorologia@fepagro.rs.gov.br

Introdução

A erosão hídrica se constitui em um grande problema nas áreas de utilização agrícola dos solos. Além da redução da produtividade das culturas, pode causar sérios problemas ambientais, especialmente no assoreamento e poluição dos recursos hídricos. Desde os trabalhos iniciais de ELLISON (1946) sabe-se que o processo de erosão hídrica envolve a desagregação de partículas do solo da sua massa original, o transporte e a eventual deposição dessas partículas. A erosão do solo é um processo mecânico que envolve energia e a energia necessária para desencadear o processo de erosão hídrica do solo é proveniente da água das chuvas e do escoamento superficial, especialmente a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. A capacidade potencial das chuvas em causar erosão do solo é denominada de erosividade das chuvas. Perdas de solo por erosão hídrica podem ser estimadas pela aplicação de modelos de previsão de erosão, sendo a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978) um dos modelos mais utilizados. Na USLE, o efeito da chuva é dado pelo Fator "R", que representa a erosividade da chuva e do escoamento superficial associado. WISCHMEIER (1959) definiu o índice EI_{30} para determinação da erosividade das chuvas, tendo WISCHMEIER & SMITH (1978) utilizado esse índice para expressar o Fator "R" da USLE, o qual foi dimensionado em unidades do sistema internacional por FOSTER et al. (1981). Para determinação do Fator "R" da USLE, períodos de chuvas de 20 a 30 anos devem ser analisados, sendo que a erosividade é determinada pelo índice EI_{30} de cada chuva. O índice EI_{30} representa o produto da energia cinética total da chuva ($MJ ha^{-1}$) pela intensidade máxima da chuva ($mm h^{-1}$) com base em um período de 30 minutos contínuo de chuva. MORAIS et al. (1988) concluíram que o índice de erosividade EI_{30} é adequado para estimar o potencial erosivo das chuvas para o Rio Grande do Sul, baseado em correlações significativas entre índices de erosividade da chuva e as perdas de solo por erosão. Em outras diferentes regiões edafoclimáticas brasileiras, outros pesquisadores (ALBUQUERQUE et al., 1998; MARQUES et al., 1997; LOMBARDI NETO, 1977) também concluíram que o índice EI_{30} é adequado para expressar o potencial erosivo das chuvas.

Relações da erosividade com a quantidade das chuvas têm sido tentadas, devido a maior facilidade de se obter dados pluviométricos, em condições de campo, em comparação às maiores dificuldades na obtenção de dados pluviográficos e toda a morosidade nos procedimentos formais de se determinar a erosividade das chuvas a partir dos pluviogramas. Muitos pesquisadores têm utilizado o coeficiente de chuva (R_c) relacionando-o com a erosividade das chuvas. O coeficiente de chuva expressa, para cada mês do ano, a relação entre o quadrado da precipitação média mensal (p), com a média anual total (P), isto é, $R_c = p^2/P$. CARVALHO et al. (1991), trabalhando com dados de Mococa, SP, obtiveram correlação potencial altamente significativa entre o coeficiente de chuva e o índice de erosividade EI_{30} ($r = 0,991^{**}$). Já RUFINO et al. (1993) obtiveram relação linear entre esses índices para oito regiões do Estado do Paraná, com coeficiente de correlação variando de $r = 0,84^*$ a $r = 0,93^*$.

Além da erosividade, outra importante característica da chuva relacionada com o processo de erosão hídrica do solo é o padrão hidrológico da chuva. As chuvas foram caracterizadas por HORNER & JENS (1942) em padrões hidrológicos denominados de avançados, intermediários e atrasados, quando o pico de maior intensidade da chuva ocorre, respectivamente, no primeiro terço, no segundo terço e no terceiro terço do período de duração total da chuva. No Rio Grande do Sul, MEHL et al. (2001) caracterizaram os padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria, concluindo que o padrão avançado é o que ocorre com maior frequência.

O objetivo do presente trabalho foi determinar a erosividade das chuvas pelo índice EI_{30} , com base em um período de 31 anos (1963 a 1993), obter o valor do Fator "R" para utilização na Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e determinar os padrões hidrológicos das chuvas em Ijuí, RS.

Material e Métodos

O município de Ijuí situa-se entre as coordenadas geográficas de latitude $28^{\circ} 23' S$ e longitude $53^{\circ} 54' W$, numa altitude de 448 m, região fisiográfica do Planalto Médio, já na transição para a região das Missões, direção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Os pluviogramas diários foram obtidos na estação agrometeorológica da FEPAGRO, localizada em Ijuí. O índice EI_{30} foi determinado para cada chuva individual e erosiva. Utilizaram-se os critérios básicos definidos por WISCHMEIER (1959), para caracterizar chuva individual e erosiva, com as modificações sugeridas por CABEDA (1976) para as condições brasileiras. De acordo com esses critérios, considerou-se chuva individual aquela separada da anterior e da posterior por um período mínimo de 6 horas sem chuva ou com menos de 1,0 mm e chuva erosiva toda aquela com quantidade igual ou superior a 10,0 mm ou com 6,0 mm ou mais desde que tenha ocorrido em 15 minutos ou menos. Foram analisadas 1.333 chuvas erosivas. No mesmo período também ocorreram 1.702 chuvas não erosivas.

Nos pluviogramas diários com as chuvas erosivas analisadas, foram separados os segmentos com a mesma inclinação, os quais representam períodos de mesma intensidade. Os dados das chuvas foram registrados manualmente em planilha, onde foram anotados as horas e minutos do dia onde houve variação de intensidade e a chuva acumulada até aquele momento. A amplitude de registro dos pluviogramas foi de 10 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O tempo de registro foi de 24 horas, com unidades de 10 minutos, realizando-se a leitura da precipitação com precisão de unidades de 5 minutos. Através do programa *Chuveros*⁽¹⁾ e planilhas de cálculo *Microsoft Office Excel*, foi estimada a erosividade mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI_{30} (WISCHMEIER, 1959) no Sistema Internacional de Unidades (FOSTER et al., 1981). Para cada segmento uniforme de chuva foi determinada a energia cinética unitária, conforme a expressão de WISCHMEIER & SMITH (1978), que, em unidades do sistema internacional, é dada por:

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

onde e = energia cinética unitária ($MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e i = intensidade do segmento de chuva (mm h^{-1}).

O valor obtido na expressão (1) é multiplicado pela quantidade de chuva no respectivo segmento uniforme, para expressar a energia cinética do segmento, em $MJ \text{ ha}^{-1}$. Somando-se a energia cinética de todos os segmentos uniformes de chuva obtêm-se a energia cinética total da chuva (EC_t).

A erosividade da chuva é dada pelo índice EI_{30} , pela seguinte expressão:

$$EI_{30} = EC_t I_{30} \quad (2)$$

onde EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, EC_t é a energia cinética total da chuva, em $MJ \text{ ha}^{-1}$, e I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período contínuo de 30 minutos de chuva, em mm h^{-1} , ou seja, a quantidade máxima de chuva em um período contínuo de 30 minutos multiplicada por 2, determinada a partir dos dados levantados do pluviograma.

Somando-se os índices EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas de cada mês, obteve-se a erosividade mensal das chuvas. Somando-se os índices EI_{30} mensais, obteve-se a erosividade anual das chuvas. Fazendo-se a média da erosividade anual das chuvas no período dos 31 anos levantados (1963 a 1993), obteve-se o valor do Fator "R" da USLE para aplicação em Ijuí e na região do entorno com características climáticas semelhantes.

Foram determinados os padrões hidrológicos de cada chuva erosiva analisada, seguindo a classificação proposta por HORNER & JENS (1942), que classificam as chuvas em padrões hidrológico avançado, intermediário e atrasado, respectivamente, quando a localização do pico de maior intensidade está no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração da chuva. Para cada chuva individual e erosiva, foram separados os segmentos de mesma inclinação e determinada a intensidade da chuva em cada segmento. Com isso, obteve-se uma distribuição de intensidades ao longo do tempo de duração da chuva. O programa computacional *Chuveros* verificava também em que tempo ocorre o pico das intensidades da chuva, para fins de classificação dos padrões hidrológicos. Com base no padrão hidrológico de cada chuva foi calculada a percentagem do total das chuvas que representa cada padrão hidrológico, em número, em volume e em erosividade.

⁽¹⁾ Programa elaborado pelo Prof. Dr. Elemar Antonino Cassol (UFRGS), cassolea@orion.ufrgs.br

Resultados e Discussão

No período de 1963 a 1993, a precipitação pluvial média anual, em Ijuí, RS, foi de 1667 mm (Tabela 1). Desse total, a quantidade média anual das chuvas erosivas foi de 1488 mm ano⁻¹ e das chuvas não erosivas foi de 179 mm ano⁻¹. O ano de 1983 foi o de maior pluviosidade, com o total de chuvas de 2590 mm, enquanto que o ano de menor pluviosidade foi 1991 com 1002 mm de chuva. Em relação às médias mensais, os meses de agosto, setembro e outubro apresentaram a maior pluviosidade média, respectivamente com 155, 163 e 154 mm de chuva. Por outro lado, se observa também que os meses de março e julho foram os de menor pluviosidade média mensal, ambos com 115 mm de chuva. A variação da pluviosidade média mensal, entre 115 e 163 mm de chuva, caracteriza o município de Ijuí, RS, como de uma distribuição relativamente homogênea das chuvas ao longo do ano. Essa afirmativa também pode ser comprovada por uma observação mais atenta aos dados da Tabela 1, onde se constata a ocorrência de chuvas em todos os 372 meses do período considerado, tendo valores extremos de dois mm, em março de 1992 e de 519 mm, em junho de 1972.

A erosividade média mensal das chuvas de Ijuí, RS, avaliada pelo índice EI₃₀, foi bastante variável, com o valor mínimo de 314 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ no mês de julho e o valor máximo de 1.160 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ no mês de fevereiro (Figura 1). A tendência é que os maiores valores do índice EI₃₀ se concentrem entre os meses de dezembro e fevereiro e o menor valor do índice EI₃₀, se concentre no mês de julho. Dividindo-se o ano nas respectivas estações climáticas, pode-se observar que na primavera-verão (setembro a fevereiro) se concentra 60% da erosividade das chuvas, enquanto que no Outono-Inverno (março a agosto) a erosividade das chuvas corresponde a 40% do total. Ainda que, de uma maneira geral, os meses de inverno apresentem baixos valores de erosividade das chuvas, os meses de maio e junho têm um valor elevado de erosividade média. Os valores de erosividade relativamente alta em Ijuí, RS, nos meses de maio e junho, refletem os valores excepcionais de chuva em junho de 1972, que atingiu 519 mm e em maio de 1992 que atingiu 434 mm (Tabela 1). Valores baixos de erosividade das chuvas nos meses de inverno também foram encontrados, entre outros, por SILVA et al. (1997) em Goiânia (GO), por MORAIS et al. (1991) no sudoeste do MT, por CARVALHO et al. (1991) em Mococa (SP) e por MARQUES et al. (1998) em Sete Lagoas(MG).

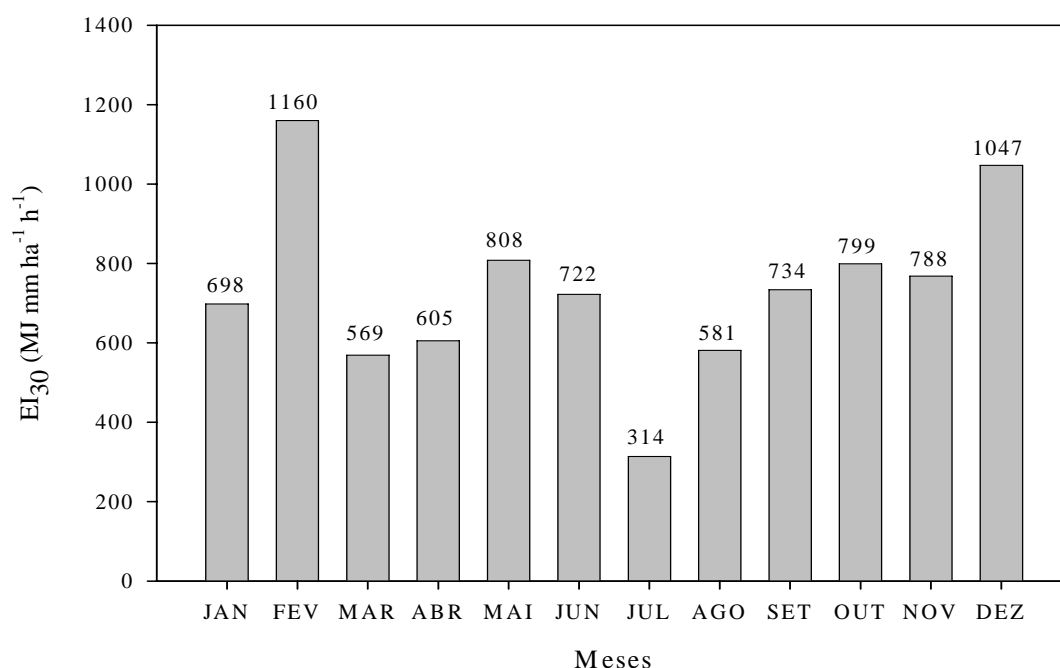


Figura 1. Erosividade média mensal das chuvas de Ijuí, RS, no período de 1963 a 1993, determinada pelo índice EI₃₀.

Tabela 1. Valores mensais, anuais e médios da precipitação pluvial (mm) em Ijuí, RS, período 1963-1993, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1963	119,4	22,9	97,8	58,3	93,5	122,8	97,8	156,1	198,5	308,7	335,4	151,9	1763,1
1964	8,8	113,4	90,0	338,1	24,4	55,8	67,6	265,7	203,2	40,6	31,4	157,2	1396,2
1965	54,3	152,9	54,9	195,3	101,0	27,0	82,4	333,9	288,1	175,3	84,9	265,7	1815,7
1966	235,1	144,3	134,1	27,8	13,3	180,3	126,2	162,6	125,5	282,6	115,2	246,2	1793,2
1967	127,2	144,6	83,1	35,6	80,2	102,9	126,9	213,5	263,3	99,9	77,3	51,7	1406,2
1968	111,7	124,8	101,0	82,1	26,3	66,7	52,2	20,9	117,4	140,7	102,5	183,0	1129,3
1969	202,9	204,7	98,5	85,6	109,8	73,5	86,9	39,1	70,3	97,6	149,2	171,2	1389,3
1970	75,0	81,3	182,8	19,4	240,1	213,2	89,3	92,8	107,2	109,6	45,9	248,7	1505,3
1971	171,7	133,3	269,5	133,0	83,8	268,0	109,0	157,1	94,4	103,7	48,9	124,3	1696,7
1972	111,1	280,9	86,6	143,0	108,7	519,0	115,4*	356,8	169,7	161,5	261,2	49,6	1363,5
1973	222,5	225,8	55,7	212,2	188,1	120,4	156,2	102,5	235,3	147,6	47,3	329,2	2042,8
1974	155,7	139,7*	83,4	89,6	145,7	223,9	42,4	137,5	23,9	48,4	152,4	238,4	1481,0
1975	139,5	139,7*	240,0	76,8	70,3	148,9	61,5	254,1	228,3	160,9	129,3	124,0	1773,3
1976	120,8*	89,9	109,8	61,1	107,5	50,7	85,6	114,1	145,9	117,7	191,0	109,7	1303,8
1977	120,8*	182,9	77,8	91,3	87,5	148,7	178,7	117,7	112,3	69,0	222,1	126,8	1535,6
1978	106,6	139,7*	70,3	10,5	46,0	29,6	214,8	161,2	92,9	111,2	200,7	75,3	1258,8
1979	23,1	139,7*	73,4	120,5	103,6	44,8	161,6	150,6	198,4	408,1	85,2	158,4	1667,4
1980	21,0	41,5	192,2	113,5	224,2	77,6	89,0	254,3	68,1	207,1	227,4	231,6	1747,5
1981	123,8	221,6	56,2	79,1	34,7	107,8	40,0	16,3	262,1	99,0	144,1	256,0	1440,7
1982	40,8	155,9	87,4	28,8	106,7	250,7	158,0	298,8	159,2	209,7	339,2	83,6	1918,8
1983	206,3	329,4	159,0	335,4	418,8	122,9	369,0	149,9	152,6	141,9	117,2	87,8	2590,2
1984	414,5	86,4	95,9	164,8	281,9	183,8	179,7	185,4	200,1	188,5	114,4	98,2	2193,6
1985	86,3	213,0	176,6	228,0	266,0	143,3	160,7	268,1	173,0	50,8	18,2	42,5	1826,5
1986	127,5	176,0	141,0	244,4	152,8	249,3	44,3	181,6	142,1	154,3	339,4	122,2	2074,9
1987	168,5	258,7	75,2	337,7	210,9	144,3*	115,4*	154,8*	162,6*	153,8*	147,6*	142,9*	2072,4
1988	120,8*	139,7*	115,1*	128,4*	141,8*	95,5	28,8	23,5	338,1	154,9	126,8	23,6	1437,0
1989	64,3	33,6	111,0	133,5	25,3	150,7	87,4	226,0	371,4	140,6	113,8	85,1	1542,7
1990	34,1	72,1	179,2	196,6	224,0	221,6	112,4	58,5	121,6	215,4	153,7	113,6	1702,8
1991	66,6	14,5	78,6	92,9	39,6	98,5	79,0	37,3	50,6	153,8*	147,6*	142,9*	1001,9
1992	7,1	77,5	2,2	39,0	433,8	112,8	62,4	84,3	127,3	170,2	77,6	25,4	1246,6
1993	157,4	49,4	189,4	79,2	206,4	119,7	198,2	23,4	37,1	146,1	229,8	136,7	1572,8
Média	120,8	139,7	115,1	128,4	141,8	144,3	115,4	154,8	162,6	153,8	147,6	142,9	1667,4
D.P.	82,7	77,6	60,2	92,7	106,7	96,4	68,9	96,0	86,3	78,8	88,6	77,7	453,0
CV(%)	68,4	55,5	52,3	72,2	75,2	66,8	59,7	62,0	53,1	51,2	60,0	54,4	27,2
MÁX	414,5	329,4	269,5	338,1	433,8	519,0	369,0	356,8	371,4	408,1	339,4	329,2	2590,2
MÍN	7,1	14,5	2,2	10,5	13,3	27,0	28,8	16,3	23,9	40,6	18,2	23,6	1001,9

D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação. MÁX.: Valor máximo da série. MÍN.: Valor mínimo da série. *Significa que o valor não foi observado devido à inexistência do dado de chuva, tendo-se utilizado o valor médio do referido mês da série levantada.

Entre outubro e dezembro ocorre o preparo do solo e a semeadura das principais culturas anuais de verão na região de Ijuí, RS. Nesse período, há um notável pico na erosividade das chuvas no mês de dezembro, atingindo $1.047 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, com valores intermediários de erosividade em outubro e novembro (Figura 1). Portanto, nesse período, com o solo mais exposto e com alta erosividade das chuvas, os cuidados no controle da erosão deverão ser ainda maiores.

O pico mensal mais notável na erosividade das chuvas em Ijuí, ocorre no mês de fevereiro. Nesse mês, normalmente as culturas de verão estão em pleno desenvolvimento, mantendo o solo quase que totalmente coberto, assim protegido do potencial erosivo das chuvas. Cuidados devem ser tomados também nos meses de maio e junho, período onde ocorre o preparo do solo e semeadura da maioria das culturas anuais de ciclo de inverno.

Nesses meses ocorrem notáveis picos na erosividade das chuvas, atingindo valores, respectivamente de $808 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ e $722 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ (Figura 1).

Em vários meses do período estudado, a erosividade das chuvas foi zero (Tabela 2), mesmo que não tenha havido qualquer mês com zero de chuva (Tabela 1). Isso significa que nos meses de erosividade zero (Tabela 2), as chuvas que ocorreram foram não erosivas. No período estudado o maior valor de erosividade das chuvas

em um único mês, foi de $7.035 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ que ocorreu em maio de 1992 (Tabela 2). Esse, sem dúvidas, foi um valor excepcional, resultado de um total de chuvas de 434 mm ocorrida no referido mês (Tabela 1), sendo que, uma única chuva daquele mês apresentou quantidade total de 324 mm, com energia cinética total de $81,34 \text{ MJ ha}^{-1}$ e intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) de 80 mm h^{-1} . Esses picos excepcionais são responsáveis por provocar grandes danos nas lavouras cultivadas pela ocorrência do processo de erosão hídrica.

Tabela 2. Valores mensais do índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em Ijuí, RS, para todos os anos do período 1963-1993, com os valores extremos em cada mês.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1963	412,4	0,0	277,1	209,3	309,7	270,9	222,0	637,1	625,3	2713,6	1874,4	1232,9
1964	0,0	1010,8	694,2	1577,6	38,7	89,0	140,5	994,6	497,3	85,7	20,7	1213,6
1965	135,4	549,3	61,4	1112,2	317,1	12,0	138,8	1207,4	1536,7	356,4	227,4	2044,4
1966	1434,6	390,3	390,8	0,0	0,0	728,8	231,2	1019,4	756,1	1116,7	773,0	1751,0
1967	422,5	744,0	622,6	190,7	168,0	153,7	339,0	647,3	952,9	386,6	229,7	216,3
1968	817,2	1500,1	179,7	92,8	19,8	33,6	72,3	10,7	275,7	301,4	485,5	1923,0
1969	906,3	1361,1	146,1	238,8	258,2	333,3	130,0	57,1	113,9	194,5	596,6	114,2
1970	357,9	546,8	1049,0	12,7	1901,8	1089,1	279,9	139,6	113,6	535,7	89,7	1895,9
1971	654,1	558,8	1614,8	582,0	122,0	1280,0	370,9	852,7	229,4	591,3	299,7	500,1
1972	377,2	5497,5	304,2	1120,7	260,2	4308,2	313,5*	1538,9	908,9	427,2	2002,8	42,5
1973	1288,8	2761,2	83,6	1178,9	1359,4	256,1	483,4	432,5	1032,6	2158,1	198,3	2162,6
1974	939,2	1160,3*	526,0	657,8	437,9	1961,5	50,7	336,9	12,2	206,6	464,0	2287,9
1975	1509,0	1160,3*	1810,7	207,7	148,9	724,0	137,1	625,7	816,8	626,5	758,4	660,0
1976	698,0*	696,8	526,4	280,9	372,7	57,7	144,4	492,9	405,8	545,2	1255,3	368,9
1977	698,0*	1750,0	280,0	302,1	178,7	880,8	542,3	178,4	284,2	148,6	1518,4	751,6
1978	291,0	1160,3*	96,9	0,0	123,7	23,4	679,3	778,0	308,5	374,4	1622,5	365,2
1979	12,6	1160,3*	257,1	227,0	351,9	21,4	523,4	549,3	2252,7	3282,6	535,6	456,3
1980	53,5	157,3	1098,1	494,1	715,7	211,8	328,7	2055,7	309,3	785,8	1382,3	2380,8
1981	1068,4	2613,9	293,1	193,6	129,2	355,4	51,9	0,0	936,3	1456,4	581,0	3879,4
1982	47,2	654,8	486,0	36,9	476,0	1754,6	425,5	1277,4	902,2	1522,2	2010,8	292,9
1983	944,3	4076,3	966,7	1889,6	2039,4	567,8	1115,6	475,0	892,3	285,6	529,9	129,8
1984	4973,6	403,3	249,7	812,2	1688,9	680,3	605,6	692,6	670,3	507,8	318,1	708,7
1985	718,7	1023,5	419,4	808,0	1089,3	1092,7	674,3	580,6	973,7	163,5	50,6	142,7
1986	1053,9	1617,7	858,6	766,3	880,7	1382,4	90,3	553,4	515,9	338,5	1431,1	1601,3
1987	728,7	1797,1	571,3	2670,8	1157,8	722,4*	313,5*	581,3*	734,0*	799,0*	787,7*	1046,4*
1988	698,0*	1160,3*	569,4*	604,9*	808,4*	339,6	11,0	21,4	1177,3	1275,4	701,7	0,0
1989	154,4	122,7	704,1	585,6	40,1	528,2	118,8	966,5	3397,8	593,3	410,1	272,8
1990	28,7	343,7	1190,0	552,4	1337,8	735,4	371,1	105,8	457,0	1161,6	776,4	867,2
1991	243,8	47,7	407,5	376,5	39,6	367,1	251,0	70,0	90,6	799*	787,7*	1046,4*
1992	0,0	67,2	0,0	94,3	7034,8	903,8	12,1	119,0	555,2	609,4	224,0	404,0
1993	421,2	155,4	915,7	875,9	983,8	529,2	551,8	22,2	18,0	419,8	1475,8	680,6
Max	4973,6	5497,5	1810,7	2670,8	7034,8	4308,2	1115,6	2055,7	3397,8	3282,6	2010,8	3879,4
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	11,0	0,0	12,2	85,7	20,7	0,0

Máx.:valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. *Significa que o valor não foi determinado devido à inexistência do dado de chuva, tendo-se utilizado o valor médio do referido mês da série levantada.

A erosividade anual das chuvas no período do estudo, em Ijuí, variou de 4.527 (em 1991) a 17.102 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (em 1972), sendo de 8.825 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ o valor médio obtido no período do estudo (Figura 2). O valor da erosividade média anual obtida para Ijuí é maior do que o obtido por BERTOL (1993, 1994) de 5694 e 6329 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente, para Lages e Campos Novos (SC), e por MARQUES et al. (1998), de 5835 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para Sete Lagoas (MG). Valores muito próximos, mais ainda um pouco menores, foram obtidos por CARVALHO et al. (1991) para Mococa (SP) de 7747 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, por COGO et al. (2006) para Santa Maria (RS) de 7866 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, por SILVA et al. (1997) para Goiânia (GO), de 8353 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e por MORAIS et al. (1991) para Flechas e Barranquinho (MT), respectivamente de 7830 8493 e $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Valores superiores ao de Ijuí foram obtidos por PEÑALVA-BAZZANO et al. (2007), para Quarai (RS), com 9292 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A erosividade média anual para Ijuí, RS é de 8825 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, obtida com base em 31 anos de dados (1963 a 1993), a qual representa o valor do Fator “R” da USLE para Ijuí, RS.

Esse valor do fator “R” da USLE pode ser utilizado com segurança para localidades com características climáticas semelhantes, especialmente as que se encontram próximas, no entorno de Ijuí, RS.

Para utilização da Equação Universal de Perdas de Solo no planejamento agrícola conservacionista, também deve ser conhecido o Fator “C” da USLE. Para que o Fator “C” possa ser calculado, é necessário que sejam determinadas as médias decendiais da erosividade das chuvas. Na Tabela 3 são apresentadas as médias decendiais e mensais da erosividade das chuvas de Ijuí, RS. O Fator “C” da USLE em determinado decêndio, será obtido através do produto entre a porcentagem acumulada de seu EI_{30} e a correspondente razão de perda de solo, para determinado uso e manejo. Dessa forma, obtendo-se os 36 produtos equivalentes a cada decêndio, o Fator “C” final será determinado através do somatório dos produtos acima referidos, conforme preconizado por WISCHMEIER & SMITH (1978). Dessa forma, amplia-se a possibilidade da utilização da Equação Universal de Perdas de Solo no planejamento conservacionista da atividade agrícola.

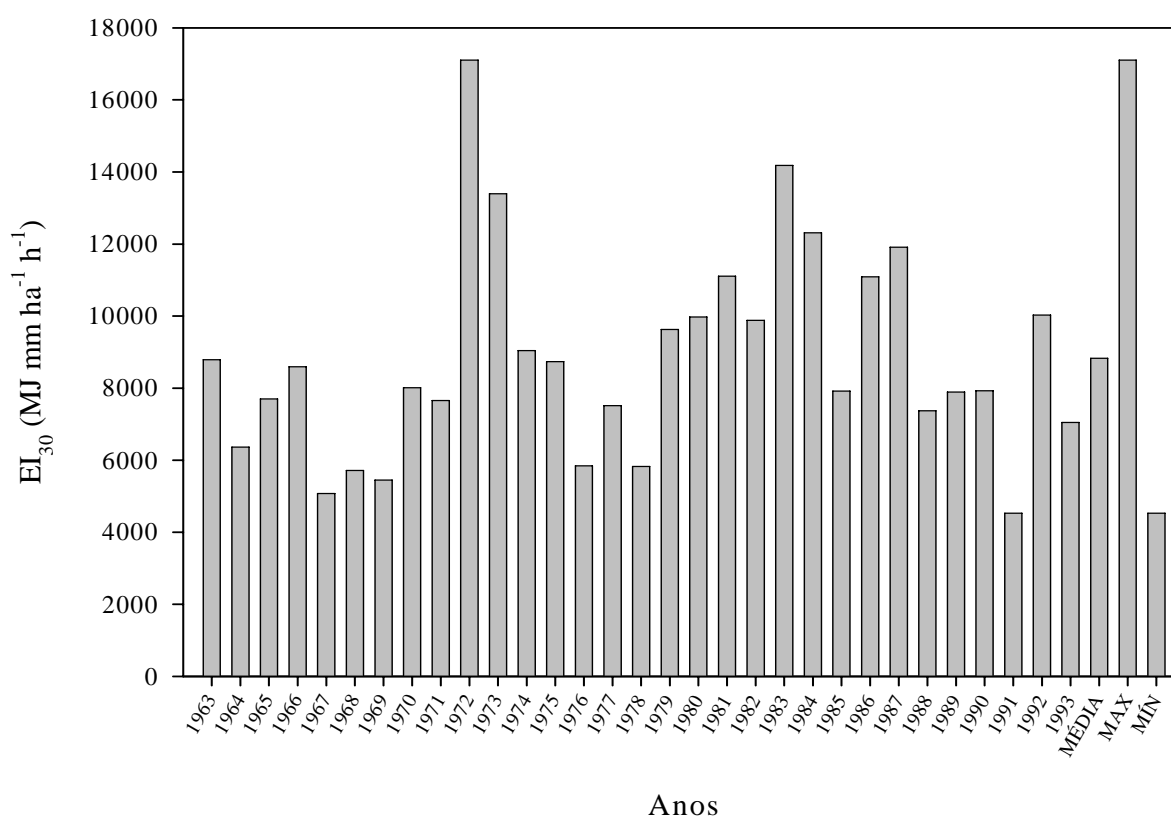


Figura 2. Erosividade anual das chuvas de Ijuí, RS, determinada pelo índice EI_{30} , no período de 1963 a 1993.

Tabela 3. Distribuição média decencial e mensal dos valores absolutos e relativos do Fator “R” de Ijuí, RS, no período de 1963 a 1993.

Mês	Decêndio mensal	Valor do índice de erosividade EI ₃₀			
		Decencial		Mensal	
		Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
Janeiro	1 ^o	271,6	3,08	698,0	7,91
	2 ^o	196,2	2,22		
	3 ^o	230,2	2,61		
Fevereiro	1 ^o	261,0	2,96	1.160,4	13,15
	2 ^o	579,6	6,57		
	3 ^o	319,8	3,62		
Março	1 ^o	188,6	2,14	569,4	6,45
	2 ^o	242,5	2,75		
	3 ^o	138,3	1,57		
Abril	1 ^o	150,0	1,70	604,9	6,85
	2 ^o	241,8	2,74		
	3 ^o	213,1	2,42		
Maio	1 ^o	233,7	2,65	808,4	9,16
	2 ^o	204,2	2,31		
	3 ^o	370,5	4,20		
Junho	1 ^o	363,9	4,12	722,4	8,19
	2 ^o	147,0	1,67		
	3 ^o	211,5	2,40		
Julho	1 ^o	160,0	1,81	313,5	3,55
	2 ^o	77,1	0,87		
	3 ^o	76,4	0,87		
Agosto	1 ^o	195,2	2,21	581,3	6,59
	2 ^o	227,3	2,58		
	3 ^o	158,8	1,80		
Setembro	1 ^o	139,0	1,57	734,0	8,32
	2 ^o	306,1	3,47		
	3 ^o	288,9	3,27		
Outubro	1 ^o	238,4	2,70	799,0	9,05
	2 ^o	134,5	1,52		
	3 ^o	426,1	4,83		
Novembro	1 ^o	303,5	3,44	787,7	8,93
	2 ^o	245,6	2,78		
	3 ^o	238,6	2,70		
Dezembro	1 ^o	350,7	3,97	1.046,5	12,06
	2 ^o	476,4	5,40		
	3 ^o	219,4	2,49		
Total	-	8.825,5	100,0	8.825,5	100,0

Foram obtidas relação linear e potencial entre o coeficiente de chuvas (Rc) e a erosividade das chuvas (expresso pelo índice EI_{30}), dadas pelas seguintes expressões:

$$EI_{30} = 330,86 + 34,54 Rc \quad r = 0,40 \quad (3)$$

$$EI_{30} = 109,65 Rc^{0,76} \quad r = 0,53 \quad (4)$$

onde EI_{30} é o índice de erosividade da chuva ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e Rc é o coeficiente de chuva, dado em milímetros ($Rc = p^2/P$, onde p é a precipitação média mensal, mm e P é a precipitação total média anual, mm).

Tanto a relação linear (equação 3), quanto a relação potencial (equação 4) apresentaram baixo coeficiente de regressão entre o índice EI_{30} e o coeficiente de chuvas (Rc). Entretanto, para o valor médio anual (valor "R" da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE), o resultado mostra uma excelente aproximação entre o valor estimado pela relação linear (equação 3) com o valor observado (Tabela 4).

Desta forma, pode-se concluir que, para o valor do Fator "R" na região de Ijuí, RS, pode-se utilizar dados pluviométricos e estimativa pela relação linear para obtenção do fator "R" da USLE (Equação Universal de Perdas de Solo), pelo índice EI_{30} , especialmente nos 22 municípios que compõe a região agroecológica 8 (RIO GRANDE DO SUL, 1994), com características climáticas semelhantes e que não possuam dados pluviográficos disponíveis. Entretanto, essas relações são inadequadas para se determinar a distribuição mensal do índice de erosividade. Esses resultados diferem dos encontrados por CARVALHO et al. (1991), que obtiveram relação potencial ($EI_{30} = 111,173 Rc^{0,691}$) altamente significativa ($r = 0,991^{**}$) entre o coeficiente de chuva (Rc) e o índice de erosividade EI_{30} , em Mococa, SP. Também diferem dos resultados de RUFINO et al. (1993), que obtiveram relação linear para oito regiões do Estado do Paraná, com coeficiente de correlação variando de $r = 0,84^*$ a $r = 0,93^*$.

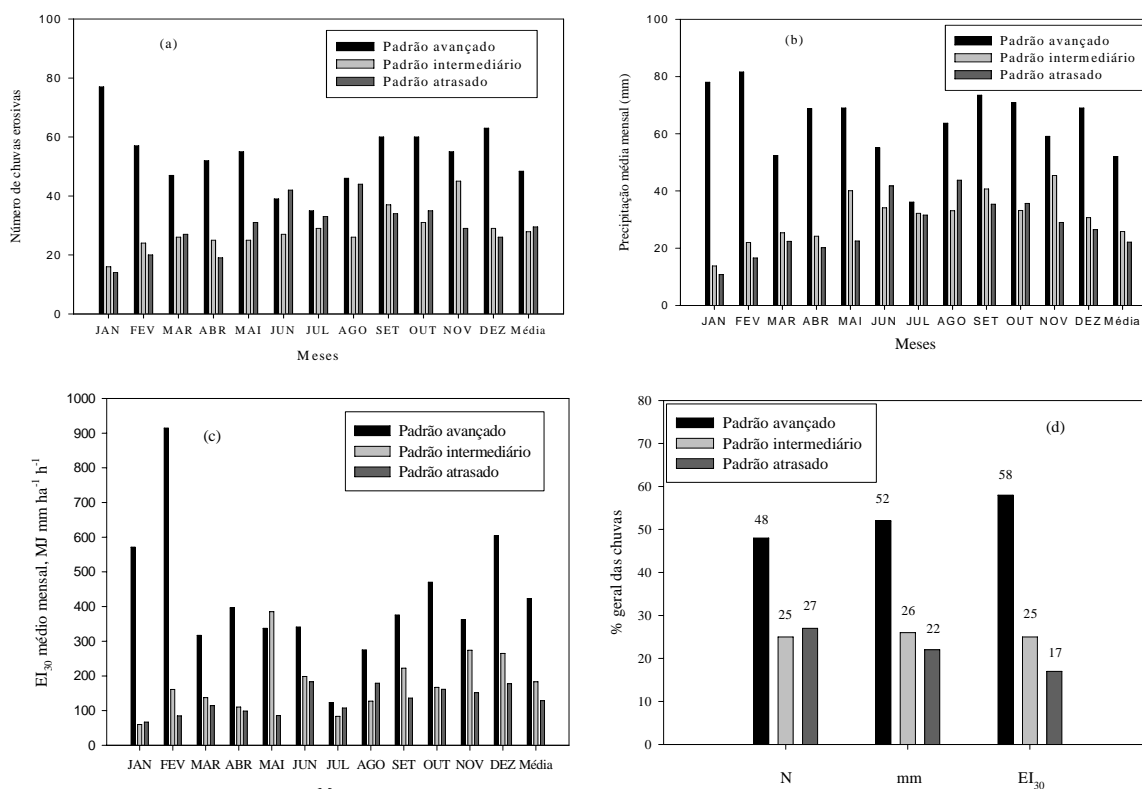


Figura 3. Distribuição dos padrões hidrológicos das chuvas erosivas de Ijuí, RS, no período de 1963 a 1993, por: (a) número total mensal de chuvas; (b) precipitação pluvial média mensal; (c) índice de erosividade média mensal; (d) percentagem média total do número (N), da quantidade total média anual (mm) e do índice de erosividade médio anual (EI_{30}).

Em relação ao número de chuvas erosivas mensais, o padrão avançado ocorreu em maior proporção do que os padrões intermediário e atrasado, em praticamente todos os meses do ano (Figura 3a). Porém, entre os meses de setembro e maio é quando esta proporção é maior. MEHL et al. (2001) concluíram que chuvas do padrão hidrológico atrasado provocam maiores perdas de solo que os padrões intermediários e avançado, justamente porque quando ocorre o pico de maior intensidade de chuva o solo já está mais úmido. A distribuição dos padrões hidrológicos em relação ao volume de chuvas mensal foi semelhante à distribuição em relação ao número de chuvas. O padrão avançado teve maior proporção em todos os meses do ano, sendo esta proporção menos acentuada nos meses de junho e julho (Figura 3b). Também, em relação a distribuição média mensal da erosividade das chuvas, o padrão avançado ocorreu em maior proporção do que os padrões intermediários e atrasado, sendo essa proporção menos acentuada nos meses de maio, junho, julho e agosto (Figura 3c). Na média anual, a distribuição

dos padrões hidrológicos avançado, intermediário e atrasado é, respectivamente, de 48, 25 e 27% para o número de chuvas erosivas, 52, 26 e 22% para a quantidade média de chuvas e 58, 25 e 17% para a erosividade média anual (Figura 3d). Com a maior proporção do padrão avançado, tanto em quantidade, quanto em erosividade das chuvas, pode ser inferido que os efeitos em relação a erosão do solo serão menos intensos, já que no momento do pico de maior intensidade da chuva o solo estará menos úmido do que no caso dos outros padrões, por conseguinte com desagregação, selamento superficial e transporte de solo menores do que os outros padrões (MEHL et al, 2001). Este fato foi comprovado por ELTZ et al. (2001), que observaram maiores perdas de solo por erosão em chuvas do padrão atrasado em relação aos padrões intermediário e avançado, que não diferiram entre si, o que foi explicado pela alteração da superfície e conteúdo de água do solo no decorrer da chuva. PEÑALVA-BAZZANO et al. (2007) obtiveram 57, 25 e 18% nos padrões avançado, intermediário e atrasado, respectivamente, no volume de chuvas erosivas em Quarai, RS, o que é próximo do encontrado para Ijuí.

Tabela 4. Relações da erosividade com as quantidades de chuvas de Ijuí, RS.

Mês	Chuva média mensal	Coefficiente de chuva Rc	EI ₃₀ Observado	EI ₃₀ calculado	
	mm	mm	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	Equação [3] MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	Equação [4] MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹
Jan	120,8	8,75	698,0	633,2	570,2
Fev	139,7	11,71	1.160,3	735,2	711,2
Mar	115,1	7,95	569,4	605,3	529,8
Abr	128,4	9,89	604,9	672,4	625,6
Mai	141,8	12,06	808,4	747,4	727,5
Jun	144,3	12,49	722,4	762,2	747,1
Jul	115,4	7,99	313,5	606,8	531,9
Ago	154,8	14,37	581,3	827,3	831,3
Set	162,6	15,86	734,0	878,6	895,8
Out	153,8	14,19	799,0	820,9	823,1
Nov	147,6	13,07	787,7	782,2	773,2
Dez	142,9	12,25	1046,4	753,9	736,1
Total	1667,2		8.825,3	8.825,5	8.503,0

Eq. [3]: $EI_{30} = 330,86 + 34,54 Rc$; $r = 0,40$ Eq. [4]: $EI_{30} = 109,65Rc^{0,76}$; $r = 0,53$
 $Rc = p^2/P$, onde p = precipitação média mensal (mm) e P = precipitação média anual (mm)

Conclusões

- É de $8.825 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ o valor do fator “R” da USLE (Equação Universal de Perdas de Solo) para Ijuí, RS, o qual pode ser utilizado para locais do entorno, com características climáticas semelhantes.
- O período de setembro a fevereiro concentra 60% da erosividade anual, sendo o mais crítico em relação ao potencial erosivo das chuvas.
- O padrão hidrológico avançado é o de maior ocorrência para Ijuí, RS, seguido dos padrões intermediário e atrasado em relação, ao número, ao volume e a erosividade das chuvas erosivas.
- A distribuição média anual das chuvas erosivas em padrões avançado, intermediário e atrasado é, respectivamente, de 48, 25 e 27% para o número de chuvas, de 52, 26 e 22% para a quantidade média anual das chuvas, e, de 58, 25 e 17% para a erosividade média anual das chuvas.
- O fator “R” da USLE, para a região de Ijuí, RS, pode ser estimado por dados de pluviometria usando a equação linear que foi ajustada, porém a distribuição mensal não pode ser estimada.

Agradecimentos

A FAPERGS, pelo auxílio financeiro. A FEPAGRO por ter disponibilizado os pluviogramas da estação agrometeorológica de Ijuí e aos observadores meteorológicos da estação de Ijuí que, com seu trabalho contínuo, incansável e anônimo possibilitaram a obtenção dos dados de chuva.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A. W. et al. Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno Não Cálcico de Sumé-PB. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 743-749, 1998.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n.4, p.515-521, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n. 9, p.1453-1458, 1994.

CABEDA, M.S.V. **Computations of storms EI values**. West Lafayette, Purdue University, USA. 6p. 1976. Não publicado.

CARVALHO, M. de P. et al. Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. **Científica – Revista de Agronomia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 1-7, 1991.

COGO, C.M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI_{30} . **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n.3, p. 309-317, 2006.

ELLISON, W.D. Soil detachment and transportation. **Soil Conservation**, Washington, v. 11, n. 8, p. 179-190, 1946.

ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U.; REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 485-493, 2001.

FOSTER, G.R. et al. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, p.355-9, 1981.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 107, p. 1039-1117, 1942.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. 1977. 53p. West Lafayette, Purdue University, 1977.

MEHL, H.U. et al. Caracterização dos padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 475-483, 2001.

MARQUES, J.J.G de S. e M. et al. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.427-434, 1997.

MARQUES, J.J.G de S. e M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N. Erosividade das chuvas da região de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 5, p.761-768, 1998.

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

MORAIS, L.F.B. et al. Índice EI_{30} e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p.339-344, 1991.

PEÑALVA-BAZZANO, M. G.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.1205-1217, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento; Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1994. 2v.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 439-444, 1993.

SILVA, M.L.N. et al. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p.977-985, 1997.

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

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