

RAZÃO DE PERDAS DE SOLO E FATOR C PARA SISTEMAS DE MANEJO DA CULTURA DO MILHO ⁽¹⁾

I.C. DeMARIA⁽²⁾ & F. LOMBARDI NETO⁽³⁾

RESUMO

Utilizando-se dados obtidos em experimentos de perdas de terra e água por erosão, sob condições de chuva natural, procurou-se estabelecer as razões de perdas de solo (RPS), para o cálculo do fator C em diferentes sistemas de manejo de milho (*Zea mays* L.), para ser utilizado na equação universal de perdas de solo (EUPS) para estimativa da erosão. Foram selecionadas parcelas com cultivo de milho em sistemas contínuo e rotação com leguminosas e com pastagem: milho contínuo-restos incorporados (MCRI), milho contínuo-restos queimados (MCRQ), milho contínuo-restos na superfície (MCRS), milho após soja-restos incorporados (MSRI), milho após pasto-restos incorporados (MPRI). Os dados foram obtidos em períodos contínuos de sete anos, entre 1973 e 1985, em três condições edafoclimáticas distintas: latossolo roxo, textura argilosa, em Campinas (SP), podzólico vermelho-amarelo, textura arenosa/média, em Pindorama (SP) e podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa, em Mococa (SP). Foram estabelecidos seis estádios para a cultura do milho: D - do preparo do solo ao plantio (descoberto); PL - do plantio até 35 dias depois (pós-plantio); 1 - dos 35 dias aos 60 dias após o plantio (estabelecimento); 2 - dos 60 aos 80 dias depois do plantio (desenvolvimento); 3 - dos 80 dias do plantio até a colheita (maturação); 4 - da colheita ao preparo do solo (resíduo). As razões de perdas de solo (RPS) para cada estágio apresentaram grande variação entre anos e entre locais. Para cada sistema de manejo, foram estabelecidas RPS pela média ponderada dos valores obtidos para cada local. No sistema contínuo com restos incorporados, as RPS para os estádios D, PL, 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, 0,24, 0,34, 0,14, 0,09, 0,06 e 0,01. As RPS determinadas foram inferiores às apresentadas por Wischmeier & Smith em todos os estádios da cultura e sistemas de manejo. Os valores do fator C calculado para os diferentes sistemas de manejo e condições edafoclimáticas variaram entre 0,025 e 0,156 t ha t⁻¹ ha⁻¹. As relações entre os tratamentos MCRQ, MCRS, MSRI e MPRI e o MCRI foram, respectivamente, 1,30, 0,20, 0,90 e 0,45 t ha t⁻¹ ha⁻¹, e indicam a variação do fator C quando o manejo da cultura é modificado.

Termos de indexação: equação universal de perdas de solo, fator C, milho, erosão hídrica.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à ESALQ/USP, em junho de 1995. Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, realizado em Águas de Lindóia (SP), de 4 a 8 de agosto de 1996. Recebido para publicação em setembro de 1996 e aprovado em abril de 1997.

⁽²⁾ Pesquisadora Científica, Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônomo. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Pesquisador Científico, Seção de Fotointerpretação, Instituto Agrônomo. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP).

SUMMARY: SOIL LOSS RATIO AND C FACTOR FOR CORN MANAGEMENT SYSTEMS FOR THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION

Soil loss data from research plots at three Experimental Stations of the Instituto Agronômico, State of São Paulo, Campinas, Pindorama and Mococa, were tabulated to determine C factor for corn management systems. Data for 7-year periods and three soils, Typic Haplortox, Petrofenic Tropudult and Oxic Argiudoll were collected from plots cropped to continuous corn and corn following legumes and pastures. Treatments were continuous corn, buried residue; continuous corn, burned residue; continuous corn, residues left on surface; corn after soybean; and corn after pasture. Crop stage periods were defined as F - from tillage to planting (rough fallow); SB - planting to 35 days after planting (seedbed); 1 - 35 to 60 days after planting (establishment); 2 - 60 to 80 days after planting (development); 3 - 80 days to harvest (maturing crop), and 4 - harvest to tillage (residue). Soil loss ratio (SLR) for the individual crop stage periods varied greatly between years and locations. For each management system SLRs were calculated as weighted average of the values obtained for each location. The SLR for the crop stages F, SB, 1, 2, 3 and 4 were 0.24, 0.34, 0.14, 0.09, 0.06 and 0.01, respectively, for continuously cultivated corn crop with incorporated residues. The SLR obtained here were substantially lower than those reported by Wischmeier & Smith for all crop stage periods of corn. The annual C-values obtained for different management systems and different locations ranged from 0.025 to 0.156 t ha t⁻¹ ha⁻¹.

Index terms: universal soil loss equation, C factor, corn, water erosion.

INTRODUÇÃO

Para estimar perdas de terra por erosão hídrica, em diferentes situações, são utilizados modelos de predição de erosão. A aplicação desses modelos no planejamento agrícola e ambiental depende do estabelecimento de parâmetros e verificação de sua validade para diferentes condições edafoclimáticas.

A equação universal de perdas de solo (EUPS) é um modelo matemático, obtido através de análises estatísticas de dados experimentais, desenvolvido para ser utilizado no planejamento de medidas de conservação do solo. A EUPS possibilita determinar a perda média anual de terra, provocada por erosão hídrica, em função dos fatores: energia da chuva (erosividade - fator R), suscetibilidade do solo a erosão (erodibilidade - fator K), comprimento e grau do declive (fator LS), uso e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P).

A EUPS tem sido largamente utilizada nos Estados Unidos para recomendações de manejo aos proprietários rurais, visando à conservação do solo (Murphree & Mutchler, 1980). No Brasil, a EUPS não tem sido utilizada de maneira sistemática para o planejamento conservacionista de propriedades rurais. Apenas no Estado de Santa Catarina, existe um incentivo ao seu uso, com o treinamento de técnicos da assistência técnica e a publicação de um manual prático para sua utilização (Pundek, 1994).

Mais comum tem sido a utilização da EUPS em avaliações de potencial de risco de erosão, como os trabalhos de Donzeli et al. (1992), que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para determinar suscetibilidade a erosão, e de Menk (1993), que analisou a viabilidade econômica de um projeto de controle de erosão, sendo ambos em microbacias hidrográficas.

O fator C, fator de uso e manejo da EUPS, é determinado a partir das razões de perdas de solo (RPS) e da distribuição do índice de erosão anual local.

A RPS expressa a relação entre as perdas de terra ocorridas no sistema de manejo adotado e as perdas de um solo descoberto. As RPS para cada tipo de cultura e de manejo são fornecidas em uma tabela geral (Wischmeier & Smith, 1978) e o cálculo do valor do fator C, para ser utilizado na EUPS, é feito pelo usuário, para as condições locais de distribuição anual da erosividade da chuva.

A dificuldade na obtenção do fator C está em estabelecer as RPS para um número infinito de possíveis combinações de culturas, rotações e outras práticas de manejo nas quais as perdas de terra devem ser medidas (Hudson, 1973). Os resultados obtidos para certa combinação de fatores (cultura, manejo, rotação) têm utilização restrita a essas condições. Poucas determinações desse fator, embora necessárias, têm sido realizadas para condições encontradas nas regiões tropicais (Lal, 1990). Estabelecer o fator C da EUPS é importante, também, uma vez que outros modelos de predição de erosão, ou modelos que têm um componente de erosão, utilizam o fator C da EUPS, como o ANSWERS (Dillaha & Beasley, 1983), o EPIC (Laflen et al., 1985) e o GLEAMS (Leonard et al., 1987).

É de supor que as perdas de terra, as RPS e o fator C determinados a partir de dados de diferentes locais mostrem diferenças em relação aos apresentados por Wischmeier & Smith (1978). Assim, o objetivo deste trabalho foi estabelecer as razões de perdas de solo para o cálculo do fator C para a cultura do milho, em diferentes situações de manejo, para ser utilizado na estimativa da erosão através da EUPS, para condições de solo e clima tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de perdas de terra e água obtidos de ensaios em parcelas experimentais com sistema coletor de sedimentos e enxurrada, sob chuva

natural, desenvolvidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo (Campinas). Essas parcelas foram instaladas entre 1943 e 1945, gerando dados continuamente. Foram selecionadas parcelas cultivadas com milho, que representassem diferentes formas de manejo, além de parcelas mantidas descobertas, localizadas no Centro Experimental de Campinas e nas Estações Experimentais de Mococa e de Pindorama, em períodos contínuos de sete anos, entre 1973 e 1985.

Caracterização dos locais – O Centro Experimental de Campinas situa-se na depressão periférica de São Paulo, a 47°04' de longitude oeste e 22°15' de latitude sul, com altitude entre 600 e 720 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com precipitação média anual de 1.400 mm e temperatura média anual de 20,5°C. A erosividade média anual é de 6.738 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Lombardi Neto & Moldenhauer, 1992). O solo é um latossolo roxo distrófico (LRd) - Typic Haplortox, A moderado, textura argilosa, unidade Barão Geraldo, 0,099 m m⁻¹ de declividade. A erodibilidade determinada para esse solo é de 0,0122 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Bertoni et al., 1975).

A Estação Experimental de Mococa encontra-se na depressão periférica de São Paulo, a 47°01' de longitude oeste e 21°28' de latitude sul, com uma altitude média de 665 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com precipitação média anual de 1.580 mm e temperatura média anual de 21,8°C. A erosividade média anual é de 7.747 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Carvalho, 1987). O solo é um podzólico vermelho-amarelo eutrófico (PV1) - Oxic Argiudoll, Tb, A chernozêmico, textura argilosa, 0,094 m m⁻¹ de declividade e com erodibilidade de 0,0232 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Carvalho, 1987).

A Estação Experimental de Pindorama localiza-se no planalto ocidental de São Paulo, a 48°55' de longitude oeste e 21°31' de latitude sul, com altitude entre 498 e 594 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação média anual de 1.260 mm e temperatura média anual de 21,5°C. A erosividade média anual é de 6.143 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Sosa, 1987). O solo é um podzólico vermelho-amarelo distrófico (PV2) - Petrofenic Tropudult, textura areno-sa/média, unidade Concreção, 0,120 m m⁻¹ de declividade e com erodibilidade de 0,034 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Parcelas experimentais e coleta de dados – As parcelas experimentais têm 100 m² (4 m de largura por 25 m de comprimento), com sistema coletor de terra e água segundo Marques et al. (1961). As perdas de terra e água foram determinadas em intervalos de 24 horas. A descrição do procedimento para as medições das perdas de terra e água nos sistemas coletores estão em Bertoni (1949). O método para o cálculo da erosividade está descrito em Lombardi Neto (1977) e Foster et al. (1981), utilizando-se o programa desenvolvido por Catâneo et al. (1982).

Tratamentos – Os tratamentos foram: milho contínuo, restos incorporados (MCRI), milho contínuo-restos queimados (MCRQ), milho contínuo-restos na superfície (MCRS), milho após soja-restos incorporados (MSRI), milho após pasto-restos incorporados (MPRI). Em Mococa, não havia parcelas com os tratamentos MCRQ e MSRI e, em Pindorama, com o MSRI.

Em função da ocorrência de chuvas e da umidade armazenada no solo, as datas de preparo e plantio variaram entre os anos, sendo o preparo realizado entre 21 de agosto e 14 de novembro e, o plantio, entre 12 de outubro e 25 de novembro. O terreno foi preparado com enxada e enxadão e o plantio, manualmente, no sentido morro abaixo, com espaçamento de 1 m entre linhas e cinco sementes por metro linear. A variedade utilizada em Campinas e Pindorama foi a Maya, uma variedade de porte alto e ciclo longo, e, em Mococa, o híbrido HMD 7974. Todos os tratamentos receberam duas a três capinas com enxada, com exceção do tratamento com palha na superfície, que recebeu aplicação de herbicida para controle das ervas daninhas. Além da adubação de plantio foi feita adubação de cobertura, com nitrogênio, entre 40 e 45 dias após o plantio.

A colheita foi realizada entre 26 de março e 31 de maio, de 180 a 200 dias após o plantio. A produção média de grãos do milho, nos três locais, foi de 3.200 kg ha⁻¹, e a produção de palha e restos culturais, de 5.800 kg ha⁻¹.

A parcela descoberta permaneceu sem cultura, seguindo as condições de canteiro padrão (Bertoni & Lombardi Neto, 1990): preparado com enxada, na mesma época de preparo do solo para o plantio do milho, cultivado quando necessário para prevenir crescimento de ervas daninhas e encrostamento superficial.

Para o solo PV2, como os dados obtidos neste canteiro apresentavam problemas de controle de ervas daninhas, utilizaram-se os fatores R, K e LS da EUPS para estimar os valores de perdas de terra do solo descoberto. Para o fator LS, empregou-se a equação de Bertoni & Lombardi Neto (1990). Esse procedimento foi, também, adotado por Wischmeier (1960) e Mutchler & Greer (1984), quando não havia dados de uma parcela padrão.

Definição dos estádios da cultura – Wischmeier & Smith (1978) estabeleceram que os estádios devem ser definidos em função da porcentagem de cobertura do solo. Nestes experimentos, entretanto, não foram feitas as determinações da cobertura. Para estabelecer as fases da cultura, considerou-se a variação das razões de perdas de solo durante o desenvolvimento do milho, as quais aumentaram até 35-40 dias após o plantio (com o milho atingindo aproximadamente 10% de cobertura) e sofreram redução gradual até 80 dias do plantio (período de máximo índice de área foliar para essas variedades).

Os seis estádios para a cultura do milho, representando condições uniformes de recobrimento do solo e de efeitos de manejo, foram: D - do preparo do solo ao plantio (descoberto); PL - do plantio até 35 dias depois (pós-plantio); 1 - dos 35 dias aos 60 dias após o plantio (estabelecimento); 2 - dos 60 aos 80 dias depois do plantio (desenvolvimento); 3 - dos 80 dias do plantio até a colheita (maturação); 4 - da colheita ao preparo do solo (resíduo).

Razão de perdas de solo (RPS) e fator C - A razão de perdas de solo foi calculada utilizando-se as perdas acumuladas em cada estádio, durante o período de sete anos:

$$RPS_i = \frac{\sum_{j=1}^7 PSm}{\sum_{j=1}^7 PSd}$$

onde:

i é o estádio da cultura; RPS_i , a razão de perdas de solo no estádio i; PSm , a perda de terra no tratamento m; PSd , a perda de terra no tratamento descoberto; j, o número de anos.

O fator C para o milho foi determinado por:

$$C = \sum_{i=1}^6 RPS_i \frac{R_i}{R}$$

onde:

R_i é a erosividade no estádio i e R, a erosividade anual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos totais médios anuais de perdas de terra nos tratamentos descoberto e com a cultura do milho e os valores de precipitação e erosividade no período encontram-se no quadro 1.

Em relação ao tratamento com milho contínuo e restos incorporados a queima de restos aumentou as perdas de terra, enquanto a manutenção da palha na superfície e a rotação de culturas as reduziram.

Razões de perdas de solo

No quadro 2 são apresentados os valores de erosividade, perda de terra e razão de perdas de solo (RPS), em cada um dos seis estádios da cultura do milho no tratamento MCRI, para o LRd, o PV1 e o PV2.

Os valores de erosividade apresentaram grande variação entre os anos em todos os estádios. Para um

mesmo estádio, em alguns anos, não houve chuvas e, em outros, a erosividade foi bastante elevada. Esses dados reforçam a necessidade de um grande número de anos de coleta de dados quando os experimentos são realizados sob chuva natural, para que sejam possíveis observações com diferentes precipitações em todos os estádios.

Quadro 1. Totais anuais de perdas de terra, erosividade e precipitação nos tratamentos com diferentes manejos de milho, no latossolo roxo distrófico (LRd), com 0,099 m m⁻¹ de declividade, em Campinas (SP), no podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa (PV1), com 0,094 m m⁻¹ de declividade, em Mococa (SP), e no podzólico vermelho-amarelo, textura arenosa/média (PV2), com 0,12 m m⁻¹ de declividade, em Pindorama (SP) (valores médios de 7 anos)

Tratamentos ⁽¹⁾	Perdas de terra		
	LRd	PV1	PV2
	Mg ha ⁻¹		
Descoberto	127,7	221,7	344,8 ⁽²⁾
MCRI	9,0	53,2	38,9
MCRQ	12,6	-	47,1
MCRS	2,1	7,4	11,2
MSRI	8,3	-	-
MPRI	6,1	21,0	14,7
EI ₃₀ , MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	7.738	7.791	7.526
Precipitação, mm	1.420	1.703	1.813

⁽¹⁾ MC: milho contínuo; MS: milho após soja; MP: milho após pasto; RI: restos incorporados; RQ: restos queimados; RS: restos na superfície. ⁽²⁾ Valor estimado.

Além da variação da chuva, ocorreram, também, grandes diferenças nas perdas de terra nos tratamentos com a cultura do milho, não correlacionadas diretamente com a erosividade, isto é, a variação das perdas entre os anos foi maior que a da erosividade, concordando com dados de Murphree & Mutchler (1980). Os valores das RPS foram muito diferentes entre os anos, mesmo em períodos com erosividade semelhante. Por exemplo, para o LRd no período D, em 1974/75 a erosividade foi de 386 e, a RPS, de 0,029, enquanto, em 1979/80, a erosividade foi de 302 e a RPS, de 0,800 (Quadro 2). As perdas de terra nas parcelas com a cultura dependem das condições do solo no momento da chuva. É possível que a ocorrência de uma precipitação intensa logo após a realização de tratamentos culturais (como capinas) provoque aumento nas perdas de terra e redução na RPS entre a parcela com a cultura e a parcela descoberta.

Para o cálculo das RPS de cada estádio, utilizou-se o somatório das perdas de terra de cada estádio nos sete anos, para a parcela com a cultura e a descoberta. Dessa forma, reduziu-se também o efeito de valores muito altos ou muito baixos obtidos em anos com

baixo índice de erosividade, como o valor de $0,800 \text{ t ha t}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para a RPS no estágio D em 1979/80, no LRd. As RPS obtidas em períodos de poucas chuvas são suscetíveis a variações relativamente grandes, em vista, principalmente, de erros de medições, segundo Mutchler & Greer (1984). O mesmo procedimento foi utilizado por Kramer & Alberts (1986). O cálculo das

RPS dos demais tratamentos foi efetuado segundo o mesmo procedimento, sendo os resultados apresentados no quadro 3.

Refletindo os valores dos totais anuais de perdas de terra, as RPS variaram em função do manejo dos restos de cultura e do sistema de rotação, sendo o

Quadro 2. Erosividade, perda de terra e razão de perdas de solo (RPS), para cada estágio do tratamento milho contínuo, restos incorporados em cada ano e o valor da razão de perdas de solo calculada para as culturas em latossolo roxo, textura argilosa (LRd), $0,099 \text{ m m}^{-1}$ de declividade, em Campinas (SP) podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa (PV1), com $0,094 \text{ m m}^{-1}$ de declividade, em Mococa (SP) e podzólico vermelho-amarelo, textura arenosa/média (PV2), com $0,012 \text{ m m}^{-1}$ de declividade, em Pindorama (SP)

Ano	D ⁽¹⁾			PL			1			2			3			4		
	R ⁽²⁾	A ⁽²⁾	RPS ⁽³⁾	R	A	RPS	R	A	RPS	R	A	RPS	R	A	RPS	R	A	RPS
LRd																		
73/74	121	0,00	0,000	1004	0,87	0,207	356	0,00	0,000	1542	1,35	0,041	5044	9,16	0,121	312	0,00	0,000
74/75	386	0,04	0,029	814	0,07	0,005	666	0,00	0,000	1700	1,61	0,025	2072	1,02	0,019	689	0,06	0,004
75/76	2013	5,38	0,181	997	3,26	0,161	972	3,02	0,173	1050	2,30	0,094	3653	2,09	0,035	1010	0,14	0,002
76/77	397	0,04	0,008	320	0,04	0,182	795	0,49	0,061	543	0,05	0,005	5167	2,84	0,040	168	0,00	0,000
77/78	1618	1,31	0,180	1884	14,87	0,428	370	0,09	0,028	0	0,00	–	824	0,03	0,007	1050	0,39	0,031
78/79	0	0,00	–	1342	4,39	0,365	569	0,75	0,145	445	0,55	0,131	5105	0,73	0,015	647	0,03	0,001
79/80	302	0,08	0,800	724	0,40	0,134	1171	1,80	0,145	767	0,92	0,131	4960	3,06	0,056	353	0,02	0,001
Média	691	0,98		1012	3,41		700	0,88		864	0,97		3832	2,70		604	0,09	
Desvio	731	1,85		458	4,93		280	1,05		564	0,78		1618	2,83		319	0,13	
RPS ⁽⁴⁾			0,158			0,269			0,108			0,046			0,051			0,003
PV1																		
78/79	516	0,15	0,349	2237	22,34	0,574	568	0,00	0,000	564	0,00	0,000	2896	0,00	0,000	810	0,00	0,000
79/80	914	5,72	0,735	1993	29,23	0,488	1427	5,33	0,115	1707	0,05	0,001	2718	0,03	0,001	1248	0,01	0,000
80/81	153	0,00	0,000	1561	26,87	0,551	1642	9,62	0,200	2122	2,34	0,030	815	0,00	0,000	916	0,04	0,001
81/82	1505	16,92	0,638	1233	92,10	1,260	1851	11,37	0,158	210	0,41	0,055	1457	2,23	0,027	887	0,10	0,003
82/83	404	0,11	0,021	1629	31,27	0,782	943	7,60	0,177	1258	5,68	0,106	2981	11,63	0,111	2952	0,01	0,000
83/84	341	0,05	0,250	884	18,79	1,197	2899	7,45	0,099	922	2,56	0,096	731	1,63	0,179	1586	0,20	0,004
84/85	317	0,03	0,750	779	0,30	0,080	1239	9,22	0,264	749	5,32	0,306	3065	8,12	0,144	131	0,00	0,000
Média	593	3,28		4037	31,56		1510	7,23		1076	2,34		2095	3,38		1219	0,05	
Desvio	432	5,90		6506	26,51		692	3,44		617	2,22		975	4,29		819	0,07	
RPS ⁽⁴⁾			0,443			0,622			0,153			0,073			0,071			0,001
PV2																		
78/79	167	0,00	–	657	0,15	0,005	1820	6,75	0,078	774	3,12	0,084	1273	0,00	0,000	682	0,00	0,000
79/80	942	1,19	0,026	922	1,34	0,030	341	0,07	0,004	749	2,63	0,074	4636	5,25	0,024	78	0,00	0,000
80/81	45	0,00	–	0	0,31	–	167	4,51	0,566	842	1,50	0,037	3281	4,50	0,029	560	0,00	0,000
81/82	1093	10,97	0,210	1022	13,71	0,281	399	10,06	0,529	1653	8,84	0,112	2647	15,74	0,125	319	0,00	0,000
82/83	605	32,37	1,122	918	11,63	0,265	1410	17,38	0,258	3349	26,19	0,164	8980	32,25	0,075	1037	3,06	0,062
83/84	1624	10,87	0,140	1429	4,18	0,061	438	0,00	0,000	334	0,90	0,056	1083	0,56	0,011	413	0,00	0,000
84/85	413	0,51	0,026	1290	41,30	0,671	1153	0,62	0,011	247	0,00	0,000	773	0,00	0,000	37	0,00	0,000
Média	698	7,99		891	10,29		818	5,63		1135	6,17		3239	8,33		447	0,44	
Desvio	517	10,96		434	13,59		590	5,95		997	8,60		2669	11,02		325	1,07	
RPS ⁽⁴⁾			0,240			0,242			0,144			0,114			0,052			0,021

⁽¹⁾ D, PL, 1, 2, 3 e 4: estádios da cultura. ⁽²⁾ R em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e A em Mg ha⁻¹. ⁽³⁾ RPS em t ha t⁻¹ ha⁻¹, calculada pelas perdas de terra dos tratamentos com milho e descoberto, por estágio e por ano. ⁽⁴⁾ RPS em t ha t⁻¹ ha⁻¹, calculada pelas perdas de terra totais dos tratamentos com milho e descoberto no período de sete anos.

Quadro 3. Valores de razão de perdas de solo (RPS) determinados nos diferentes manejos e condições edafoclimáticas

Estádios	Tratamentos ⁽¹⁾														
	MCRI			MCRQ			MCRS			MSRI			MPRI		
	LRd	PV1	PV2	LRd	PV1	PV2	LRd	PV1	PV2	LRd	PV1	PV2	LRd	PV1	PV2
	t ha t ⁻¹ ha ⁻¹														
D	0,16	0,44	0,24	0,23	–	0,25	–	–	–	0,11	–	–	0,06	0,44	0,09
PL	0,27	0,62	0,24	0,34	–	0,28	0,03	0,12	0,03	0,27	–	–	0,09	0,35	0,08
1	0,11	0,15	0,14	0,18	–	0,23	0,04	0,04	0,06	0,12	–	–	0,07	0,03	0,07
2	0,05	0,07	0,11	0,08	–	0,08	0,01	0,01	0,05	0,04	–	–	0,05	0,03	0,03
3	0,05	0,07	0,05	0,07	–	0,06	0,01	0,01	0,02	0,04	–	–	0,04	0,01	0,02
4	0,01	0,01	0,02	0,01	–	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	–	–	0,01	0,01	0,01

⁽¹⁾ MC: milho contínuo; MS: milho após soja; MP: milho após pasto; RI: restos incorporados; RQ: restos queimados; RS: restos na superfície.

Quadro 4. Valores das razões de perdas de solo (RPS) para os diferentes manejos da cultura do milho, e o fator C calculado para as três condições edafoclimáticas

Estádios	Tratamentos ⁽¹⁾				
	MCRI	MCRQ	MCRS	MSRI	MPRI
	RSP				
D	0,24	0,26	–	0,16	0,14
PL	0,34	0,41	0,06	0,34	0,17
1	0,14	0,23	0,05	0,15	0,06
2	0,09	0,11	0,03	0,07	0,03
3	0,06	0,07	0,01	0,05	0,02
4	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	C				
Locais					
Campinas	0,110	0,139	0,026	0,102	0,049
Mococa	0,122	0,156	0,028	0,115	0,055
Pindorama	0,108	0,137	0,025	0,100	0,048

⁽¹⁾ MC: milho contínuo; MS: milho após soja; MP: milho após pasto; RI: restos incorporados; RQ: restos queimados; RS: restos na superfície.

tratamento MCRQ aquele com valores mais elevados (entre 0,01 e 0,62), e o tratamento MCRS aquele com valores mais baixos (entre 0,01 e 0,12). As maiores diferenças entre tratamentos ocorreram nos estádios D, PL e 1. Após o florescimento (estádio 2) e, principalmente, após a colheita (estádio 4), os valores das RPS dos tratamentos se aproximaram.

É esperado que as razões de perdas de solo diminuam à medida que a cultura se desenvolve e passe a proteger o solo mediante o aumento de cobertura. No estágio D, do preparo ao plantio, o solo encontra-se sem cobertura vegetal, favorecendo a perda de terra por erosão. Entretanto, no estágio seguinte (PL), quando a cultura inicia seu desenvolvimento, os valores das RPS foram, em geral, mais elevados.

Wischmeier & Smith (1978) e McGregor & Mutchler (1983) obtiveram resultados semelhantes. Levien et al. (1990) observaram que o período mais crítico de perdas de terra na cultura do milho ocorria no primeiro mês da semeadura. Entre os motivos para o aumento das RPS no estágio PL podem estar as operações de adubação e plantio, que aumentam a desagregação do solo e não foram realizadas no tratamento descoberto.

No presente trabalho, as RPS (0,24, 0,34, 0,14, 0,09, 0,06 e 0,01 para MCRI) foram menores que as apresentadas por Wischmeier & Smith (1978), nas três diferentes condições de solo e clima, confirmando resultados de outros autores: McGregor & Mutchler (1983); Alberts et al. (1985); Kramer & Alberts (1986) mostraram que as RPS para as condições de culturas e manejos atuais devem ser menores que as apresentadas no Agricultural Handbook n.º 537 (0,31, 0,55, 0,48, 0,38, 0,20 e 0,12 para MCRI).

Houve, também, diferenças entre os valores obtidos nos três solos, com o PV1 apresentando as maiores RPS, especialmente nos dois primeiros estádios. Possivelmente esse fato esteja relacionado com atributos físicos do solo, tais como teores mais elevados de argila dispersa em água e menor permeabilidade. Assim, a proteção dada pela cultura em desenvolvimento tem efeito menor na redução da erosão (Quadro 3).

A equação de perdas de solo (EUPS) define C como um fator relacionado ao desenvolvimento da cobertura vegetal e à distribuição da erosividade (Wischmeier, 1960). As razões de perdas de solo são as mesmas, independentemente do tipo de solo. Para serem aplicadas, as RPS devem ser suavizadas e ajustadas para melhor seguir as tendências observadas por outros conjuntos de dados. A utilização de uma média ponderada considerando a erosividade foi a solução para a obtenção de um único valor de RPS numa mesma condição de manejo.

As RPS obtidas para cada manejo encontram-se no quadro 4. No tratamento MCRS não se considerou o estágio descoberto. Esse período foi englobado pelo estágio 4.

Quadro 5. Valores do fator C determinado a partir das RPS propostas neste trabalho e a partir das obtidas por outros autores, para a cultura do milho em sistema contínuo

Tratamentos/Autores	Estádios ⁽¹⁾						Valor de C ⁽²⁾
	D	PL	1	2	3	4	
	t ha t ⁻¹ ha ⁻¹						
MCRI ⁽³⁾							
Wischmeier & Smith (1978)	0,31	0,55	0,48	0,38	0,20	0,12	0,312
Kramer & Alberts (1986)	0,05	0,60	0,22	–	0,03	0,03	0,103
Margolis et al. (1985)	0,21	0,16	0,02	0,00	–	0,27	0,086
Valores obtidos	0,24	0,34	0,14	0,09	0,06	0,01	0,110
MCRS							
Wischmeier & Smith (1978)	–	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,050
Valores obtidos	–	0,06	0,05	0,03	0,01	0,02	0,026
MPRI							
Wischmeier & Smith (1978)	0,09	0,26	0,22	0,19	0,11	0,08	0,153
Valores obtidos	0,14	0,17	0,06	0,03	0,02	0,01	0,049
MSRI							
Wischmeier & Smith (1978)	0,47	0,78	0,65	0,51	0,25	0,15	0,415
Valores obtidos	0,16	0,34	0,15	0,07	0,05	0,02	0,102

⁽¹⁾ Os limites entre estádios são diferentes segundo cada autor. ⁽²⁾ Considerando o preparo do solo em 1.º de outubro, o plantio em 20 de outubro e a colheita em 20 de abril, para Campinas (SP). ⁽³⁾ MC: milho contínuo; MS: milho após soja; MP: milho após pasto; RI: restos incorporados; RQ: restos queimados; RS: restos na superfície.

Fator C da equação de perdas de solo

Foi calculado o fator C para a cultura do milho, utilizando-se as razões de perdas de solo obtidas e as distribuições anuais dos índices de erosividade para Campinas, Mococa e Pindorama. Os valores do C para os três locais, considerando o preparo do solo feito em 1.º de outubro, o plantio em 20 de outubro e a colheita em 20 de abril, são mostrados no quadro 4.

Considerando-se o tratamento MCRI como convencional, as relações entre os valores do fator C dos tratamentos MCRQ, MCRS, MSRI e MPRI e do MCRI foram, respectivamente, 1,30, 0,20, 0,90 e 0,45 t ha t⁻¹ ha⁻¹ (Quadro 4). Essas relações podem ser utilizadas para indicar a variação do fator C quando a condução da cultura é modificada, quanto ao manejo dos resíduos e rotação de culturas, e estimar os valores de perdas de terra para cada sistema. Podem, ainda, ser usadas para estimativas de perdas de terra em diferentes sistemas de manejo para outras culturas.

Fator C para a cultura do milho

No quadro 5, encontram-se os valores das RPS e do fator C para a cultura de milho nos diferentes manejos, determinados mediante os valores obtidos neste trabalho e os obtidos por outros autores. As RPS propostas neste trabalho determinam um valor de C (C = 0,110) próximo ao valor calculado pelas RPS de Kramer & Alberts (1986) (C = 0,103) e Margolis et al. (1985) (C = 0,086) e cerca de três vezes menor do que

o calculado a partir dos valores de Wischmeier & Smith (1978) (C = 0,312) para o manejo MCRI.

Para o sistema milho após soja, as diferenças são ainda maiores. De acordo com as RPS apresentadas por Wischmeier & Smith (1978) e com dados de Laflen & Moldenhauer (1982), a rotação com soja aumenta as perdas de terra, contrariando os resultados aqui obtidos. A utilização desses valores no modelo EUPS determina diferenças nas perdas de terra estimadas e diferenças nas comparações entre tratamentos, possibilitando recomendações equivocadas.

Uma vez que as RPS para a cultura do milho e os diferentes sistemas de manejo foram diferentes das apresentadas por Wischmeier & Smith (1978), resultando em valores de C mais baixos para essa cultura, é necessário verificar os valores das RPS de outras culturas para adoção no modelo EUPS ou em outros que utilizam o mesmo fator C, para conseguir comparações mais exatas entre as perdas de terra das diferentes culturas.

CONCLUSÕES

1. As RPS determinadas para utilização no cálculo do fator C da EUPS nos estádios D, PL, 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, 0,24, 0,34, 0,14, 0,09, 0,06 e 0,01 t ha t⁻¹ ha⁻¹, para o sistema milho contínuo-restos incorporados.

2. Os valores das RPS apresentados por Wischmeier & Smith (1978), para o cálculo do fator C da EUPS (0,31, 0,55, 0,48, 0,38, 0,20 e 0,12, respectivamente, para os estádios D, PL, 1, 2, 3 e 4) superestimam as perdas de terra nas condições de solo e clima e nos sistemas de manejo da cultura do milho estudados.

3. Os valores de C calculados para os diferentes sistemas de manejo e condições edafoclimáticas variaram entre 0,025 e 0,156 t ha t⁻¹ ha⁻¹.

4. As relações entre os valores do fator C dos tratamentos MCRQ, MCRS, MSRI, MPRI e o MCRI foram, respectivamente, 1,30, 0,20, 0,90 e 0,45 t ha t⁻¹ ha⁻¹, e indicam a variação do fator C quando o manejo da cultura é modificado.

LITERATURA CITADA

- ALBERTS, E.E.; WENDT, R.C. & BURWELL, R.E. Corn and soybean cropping effects on soil losses and C factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49:721-728, 1985.
- BERTONI, J. Sistemas coletores para determinações de perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, 9: 147-155, 1949.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agronômico, 1975. 25p. (Boletim técnico, 21)
- CATÂNIO, A.; CASTRO FILHO, C. & ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 6: 236-239, 1982.
- CARVALHO, M. de P. e. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa-SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1987. 104p. (Tese de Mestrado)
- DILLAHA, T.A. & BEASLEY, D. Distributed parameter modelling of sediment movement and particle size distribution. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 26:1766-1772, 1977, 1983.
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. dos A.F.; NOGUEIRA, F. de P.; ROTA, C.L. & LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F. & CAMARGO, O.A. de, coords. Microbacia do córrego São Joaquim (Município de Pirassununga). Campinas, Instituto Agronômico, 1992. p.91-119. (Documentos IAC, 29)
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, 36:355-359, 1981.
- HUDSON, N. Soil conservation. 2.ed. Ithaca, New York, Cornell University Press, 1973. 320p.
- KRAMER, L.A. & ALBERTS, E.E. C factors for corn under changing management. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 29:1590-1596, 1986.
- LAFLEN, J.M.; FOSTER, G.R. & ONSTAD, C.A. Simulation of individual-storm soil loss for modelling the impact of soil erosion on crop productivity. In: EL-SWAIF, S.A.; MOLDENHAUER, W.C. & LO, A., eds. Soil erosion and conservation. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1985. p.285-295.
- LAFLEN, J.M. & MOLDENHAUER, W.C. Soil erosion in rotations: corn after soybeans worse than soybeans after corn or corn after corn. *Crops Soils Mag.*, Madison, 34:9-10, 1982.
- LAL, R. Soil erosion in the tropics: principles & management. New York, McGraw-Hill, 1990. 580p.
- LEONARD, R.A.; KNISEL, W.G. & STILL, D.A. GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 30:1403-1418, 1987.
- LEVIEN, R.; COGO, N.P. & ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 14: 73-80, 1990.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, Campinas, 51:189-196, 1992.
- MCGREGOR, K.C. & MUTCHLER, C.K. C factors for no-till and reduced-till corn. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 26:785-794, 1983.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. de & JACQUES, F. de O. Determinação dos fatores da equação universal das perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 9: 165-169, 1985.
- MARQUES, J. Q. de A.; BERTONI, J. & BARRETO, G. B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 20:1143-1181, 1961.
- MENK, P.C.M. Avaliação econômica do controle da erosão na microbacia do Ribeirão Iperó, em Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1993. 181p. (Tese de Mestrado)
- MURPHREE, C.E. & MUTCHLER, C.K. Cover and management factors for cotton. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 23:585-595, 1980.
- MUTCHLER, C.K. & GREER, J.D. Reduced tillage for soybeans. *Trans. ASAE*, Saint Joseph, 27: 1364-1369, 1984.
- PUNDEK, M. Utilização prática da equação universal de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2.ed. Florianópolis, EPAGRI-Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina S.A., 1994. p.99-129.
- SOSA, D.A. Erosividade da chuva - distribuição e correlação com a perda de solo para Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1987. 105p. (Tese de Mestrado)
- WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 24:322-326, 1960.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Washington, USDA, U.S. Government Printing Office, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)