

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PERDAS DE SOLO E ÁGUA NUM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO E CULTIVO SOB CHUVA NATURAL⁽¹⁾

J. F. BEUTLER⁽²⁾, I. BERTOL⁽³⁾, M. VEIGA⁽⁴⁾ & L. P. WILDNER⁽⁴⁾

RESUMO

A chuva e a enxurrada, combinadas, são os agentes ativos na erosão hídrica, a qual também é influenciada pela cobertura, rugosidade, tipo de cultura e sistema de preparo do solo. Os preparos de solo conservacionistas reduzem a erosão hídrica em relação aos preparos convencionais, visto que são menos intensos e mantêm o solo coberto por maior período de tempo e, às vezes, proporcionam aumento da rugosidade na superfície do solo. Para avaliar as perdas de solo e água causadas pela erosão hídrica sob chuva natural, realizou-se um experimento em Chapecó (SC), num Latossolo Vermelho aluminoférrico, com declividade média de 0,09 m m⁻¹, entre 1994 e 1999. Estudaram-se os tratamentos: preparo convencional, cultivo mínimo, rotação de preparos e semeadura direta, executados no sentido paralelo ao declive, com duas repetições, com algumas combinações de rotação de culturas no inverno e no verão. O tratamento-testemunha constou de preparo de solo convencional, sem cultivo (parcela-padrão da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS). A semeadura direta com rotação de culturas reduziu as perdas de solo em 45 % em relação ao preparo de solo convencional no verão e semeadura direta no inverno, com rotação de culturas e, em relação ao preparo de solo convencional sem cultura, esta redução foi de 99 %. Nos preparos de solo conservacionistas, as perdas de solo foram reduzidas em 80 % em relação aos preparos de solo convencionais, na média dos tratamentos que envolveram culturas e dos anos de cultivo. Nos tratamentos de semeadura direta, as perdas de solo foram duas vezes maiores na primavera/verão do que no outono/inverno, enquanto, nos demais tratamentos, essas perdas foram 3,3 vezes maiores no outono/inverno, na média dos tratamentos e dos anos de cultivo. As perdas de água foram pequenas e se comportaram de maneira semelhante às perdas de solo, diferindo quanto à magnitude.

Termos de indexação: erosão hídrica, preparo conservacionista, rotação de preparos, rotação de culturas, semeadura direta.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Agronomia do CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Executado com recursos parciais do CAV/UDESC. Recebido para publicação em outubro de 2000 e aprovado em março de 2003.

⁽²⁾ Pós-Graduando em Ciência do Solo do CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: josfsb@bol.com.br

⁽³⁾ Professor do Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc., Pesquisador da EPAGRI. E-mail: lpwild@epagri.rct-sc.br

SUMMARY: *WATER EROSION CAUSED BY NATURAL RAINFALL IN A CLAYEY HAPLUDOX WITH DIFFERENT CROPLAND TILLAGE SYSTEMS*

Rainfall and runoff together are the active agents of water erosion, furthermore influenced by soil cover and roughness, crop and soil tillage. Compared to conventional tillage, water erosion is reduced in soil conservation tillage because this method is less intensive, preserves the cover longer, and sometimes increases soil roughness. Erosion losses (soil and water) of a clayey Hapludox with a slope of 0.09 m m⁻¹ were evaluated in Chapecó, Santa Catarina State, Brazil, from November 1994 to October 1999 under natural rainfall. The treatments, in two replications, consisted of the following downslope soil tillage systems: no-tillage, conventional tillage, minimum tillage, and tillage rotation, with some summer and winter crop rotation combinations, and conventional tillage without crop (standard unit of the Universal Soil Loss Equation-USLE) as control. In no-tillage with crop rotation there was a soil loss reduction of 45 % in relation to summer conventional tillage and to winter no-tillage crop rotation systems, and of 99 % in relation to bare soil. Conservation tillage reduced the mean soil loss by 80 % in relation to conventional tillage. Mean soil losses were twice as high during the spring/summer as in the fall/winter period in no-tillage treatments, while in the other treatments average losses of the crop years were 3.3 higher in fall/winter. Water losses were small, with a behavior similar to that of the soil losses, in spite of the quantity difference.

Index terms: water erosion, conservation tillage, tillage rotation, crop rotation, no-tillage.

INTRODUÇÃO

No estado de Santa Catarina, em especial na região oeste, a forte pressão populacional determinou a remoção quase que completa da cobertura vegetal original, favorecendo a perda de fertilidade do solo das áreas agrícolas pela erosão hídrica, em decorrência do intenso uso do solo. Além disso, muitas áreas naturalmente inaptas para o uso com lavouras, principalmente em decorrência da acentuada declividade, são intensamente exploradas com culturas anuais, agravando, ainda mais, os efeitos da erosão hídrica.

As perdas de solo e água por erosão hídrica resultam da interação do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte (Wischmeier & Smith, 1978), manifestando-se de maneira variável. Essas perdas podem ser diminuídas pela redução da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos ocasionados pelos agentes erosivos (Amado et al., 1989). No entanto, são fortemente influenciadas pelo preparo (Cogo, 1981; Bertol, 1995), o qual influi nas propriedades físicas da superfície e subsuperfície, dentre as quais se destacam: a estrutura, densidade e porosidade, que alteram a capacidade de infiltração de água e a susceptibilidade do solo ao sulcamento (Larson & Gill, 1973).

Percebe-se, ainda, que o tipo de implemento utilizado e a intensidade do preparo modificam a quantidade de resíduos culturais remanescentes na superfície e a cobertura do solo (Schick et al., 2000), incorporando total e parcialmente esses resíduos ao solo, no caso do preparo convencional e do cultivo mínimo, respectivamente, ou mantendo praticamente

todo o resíduo cultural na superfície, no caso da semeadura direta (Bertol et al., 1997).

Estudando a eficácia da cobertura do solo na redução da erosão hídrica, vários autores obtiveram perdas de solo cerca de 80 % menores em cultivos com resíduos culturais mantidos na superfície, em relação às do preparo convencional (Cogo et al., 1984; Bertol, 1994; Hernani et al., 1997; Schick, 1999). Bertol et al. (1989) concluíram que uma cobertura por resíduos culturais de 60 % da superfície resulta em acentuada redução da velocidade do escoamento superficial da água e em eficaz controle das perdas de solo, quando comparada à ausência de cobertura.

Este trabalho objetivou avaliar as perdas de solo e água ocasionadas por chuva natural sobre um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo, em Chapecó (SC).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido entre novembro de 1994 e outubro de 1999, no Centro de Pesquisas para Pequenas Propriedades (CPPP), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina - S/A (EPAGRI), em Chapecó (SC), situado a 27° 12' de latitude sul e 52° 62' de longitude oeste, a 679 m de altitude, na região oeste catarinense. O clima da região é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, ou seja, mesotérmico úmido com predominância de verões quentes. A temperatura máxima média anual é de 23 °C e a mínima média anual 14,1 °C, com precipitação

média anual de 2.039 mm. O solo no local do experimento é um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico horizonte A moderado textura muito argilosa substrato basalto, contendo 690 g kg⁻¹ de argila, 250 de silte e 60 de areia na camada de 0-20 cm. No local do experimento, predomina relevo suave ondulado, com declividade média de 0,09 m m⁻¹ nas parcelas experimentais.

Antes da instalação do experimento para avaliação da erosão hídrica, a área foi utilizada com culturas anuais por cerca de 23 anos, em preparo convencional do solo (aração + duas gradagens). Por ocasião da instalação de um experimento de erosão que antecedeu o presente, em outubro de 1991, o solo foi descompactado com uma operação de escarificação. A correção da acidez do solo não foi necessária nessa época, já que o pH em água estava em torno de 6,0. Imediatamente após a descompactação, a área foi preparada com uma aração e duas gradagens no sentido transversal ao declive, sobre a qual posteriormente foram instalados os tratamentos.

A unidade experimental constituiu-se de uma parcela, com dimensões de 11 x 4 m (44 m²), delimitada, superior e lateralmente, por chapas galvanizadas de 2,00 x 0,20 m cravadas no solo em torno de 10 cm e, na extremidade inferior, por uma calha coletora de enxurrada (Cogo, 1978), a qual, através de um cano de PVC, conduzia a enxurrada ao primeiro tanque, de decantação, situado seis metros abaixo. O segundo tanque, de armazenagem, conectado ao primeiro por um divisor tipo "Geib", com 15 janelas, recebia 1/15 da enxurrada excedente do primeiro tanque.

Os tratamentos estudados, arranjados em blocos distribuídos ao acaso, com duas repetições, foram: T₁ - preparo convencional executado com uma aração e duas gradagens (PCsc); em algumas ocasiões, a segunda gradagem foi substituída, conforme conveniência, por uma sistematização manual da área com enxada, para deixá-la com a superfície mais uniforme; este preparo de solo foi realizado duas vezes por ano, para as culturas de verão e inverno nos demais tratamentos, com culturas; T₂ - preparo convencional executado uma vez por ano, como no T₁ (PCmv + SPpi); T₃ - preparo convencional executado como no T₂ (PCrv + SPpi); T₄ - preparo convencional executado como no T₂ para as culturas de verão e semeadura direta para as culturas de inverno (PCrv + SDri); T₅ - rotação de preparos do solo no verão e no inverno iniciado com a semeadura direta (SD) após a dessecação da vegetação existente, na época do estabelecimento da cultura de verão, seguida de preparo reduzido (PR) executado com uma escarificação na profundidade de 20-25 cm e uma gradagem, novamente SD seguida de preparo convencional (PC), conforme descrito anteriormente, e finalizando com SD seguida de SD (SDv + PRi + SDv + PCi + SDv + SDi); T₆ - preparo reduzido executado com uma escarificação no verão e

semeadura direta no inverno (PRrv + SDri), e T₇ - semeadura direta no verão e no inverno (SDrvri).

As culturas que compuseram os sistemas de cultivo encontram-se descritas no quadro 1. O milho foi semeado em linhas espaçadas 0,8 m entre si e com distância entre plantas de 0,20 m, o feijão com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 plantas por metro linear, a soja com 0,5 m entre linhas e 15 a 20 sementes por metro linear e a aveia preta e ervilhaca foram semeadas a lanço, utilizando 80 e 60 kg ha⁻¹ de sementes, respectivamente, enquanto o triticale foi semeado em linhas espaçadas 0,20 m e aproximadamente 300 sementes por metro linear. Os preparos do solo e a semeadura das culturas em linhas foram feitos no sentido do declive, conforme filosofia de obtenção dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

Em maio de 1999, foram coletadas amostras indeformadas do solo para determinar a densidade do solo e o volume de macroporos, nas profundidades de 0-0,025, 0,025-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, utilizando anéis volumétricos com diâmetro de 0,05 m e alturas de 0,025 m, para as duas camadas superficiais, e de 0,05 m, para as demais camadas, conforme método de Forsythe (1975). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Forsythe, 1975) e a porosidade do solo pelo método da mesa de tensão com sucção de 0,6 m de coluna de água (EMBRAPA, 1997).

Para a coleta e quantificação das perdas de solo e água na enxurrada, seguiu-se o método baseado em Cogo (1978) e descrito por Veiga & Wildner (1993). As perdas de solo foram ajustadas para o comprimento de rampa (fator L) de 22,1 m e para o grau de declive (fator S) de 0,09 m m⁻¹ da parcela-padrão da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS, conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), por meio das seguintes equações:

Quadro 1. Culturas utilizadas na primavera/verão e no outono/inverno num Latossolo Vermelho aluminoférrico em Chapecó (SC), nos distintos tratamentos de preparo e cultivo do solo

Tratamento	Cultivo de primavera/verão	Cultivo de outono/inverno
T ₁	Sem cultura	Sem cultura
T ₂	Milho	Pousio
T ₃	Milho/feijão/soja	Pousio
T ₄	Milho/feijão/soja	Aveia/triticale/ervilhaca
T ₅	Milho/feijão/soja	Aveia/triticale/ervilhaca
T ₆	Milho/feijão/soja	Aveia/triticale/ervilhada
T ₇	Milho/feijão/soja	Aveia/triticale/ervilhaca

T₁: PCsc; T₂: PCmv + SPpi; T₃: PCrv + SPpi; T₄: PCrv + SDri; T₅: SDv + PRi + SDv + PCi + SDv + SDi; T₆: PRrv + SDri; T₇: SDrvri.

$$\text{fator L: } L = (\tau/\tau_n)^m \quad (1)$$

em que L = fator comprimento de rampa (adimensional); τ = comprimento de rampa no campo, 11,0 m; τ_n = comprimento de rampa da parcela-padrão da EUPS, 22,1 m, e m = expoente que varia com o grau de declive, sendo, nesse caso, igual a 0,5, já que a declividade das parcelas ($0,09 \text{ m m}^{-1}$) era maior que $0,05 \text{ m m}^{-1}$ (adimensional).

$$\text{fator S: } S = 0,065 + 4,56\text{sen}\theta + 65,41(\text{sen}\theta)^2 \quad (2)$$

em que S = fator grau do declive (adimensional), e θ = ângulo de declive do terreno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de densidade do solo e volume de macroporos (Quadro 2) indicam que, em geral, os preparos de solo conservacionistas (T_5 , T_6 e T_7) foram mais eficazes em preservar essas propriedades do solo do que os preparos de solo convencionais (T_2 e T_3). Em especial, deve ser salientada a eficácia da semeadura direta no tratamento T_7 , o qual reduziu 10 % a densidade do solo e aumentou 60 % o volume de macroporos em relação à média dos sistemas de cultivo com preparo de solo convencional (T_2 e T_3), na média das profundidades estudadas. Isso se deve à ausência de preparo na semeadura direta, evitando a compactação do solo, especialmente na subsuperfície, enquanto, no preparo convencional, esse processo ocorreu, especialmente, na camada de 10-20 cm, o que pode ser observado tanto pelo aumento da densidade quanto pela redução do volume de macroporos na

referida camada. O comportamento dessas duas propriedades do solo deve ter contribuído para os resultados das perdas de solo e água nos distintos sistemas de preparo e cultivo estudados.

As perdas de solo foram, na média do período de estudo, duas vezes maiores na primavera/verão do que no outono/inverno, nos tratamentos que envolveram culturas do sistema semeadura direta (T_4 , T_5 , T_6 e T_7), explicadas, principalmente, pela maior erosividade das chuvas nesse período, cuja diferença foi 78 % maior na primavera/verão (Quadro 3). Nos tratamentos que envolveram culturas com preparo de solo convencional no verão e pousio no inverno (T_2 e T_3) e naquele com preparo de solo convencional nas duas épocas do ano e sem culturas (T_1), no entanto, as perdas de solo foram maiores no outono/inverno do que na primavera/verão. Nos tratamentos envolvendo culturas, a diferença nas perdas de solo entre as estações foi, em média, 1,4 vez, enquanto naquele sem cultura essa diferença foi de aproximadamente quatro vezes. A maior perda de solo ocorrida no outono/inverno, nestes tratamentos, é explicada, no caso do T_2 e T_3 , pelo pousio nessa época do ano, após terem sido submetidos a preparo convencional e cultivados na primavera/verão.

Acredita-se que a maior umidade antecedente do solo tenha contribuído, apesar de as chuvas no outono/inverno terem provocado menor erosividade. No caso do T_1 , esse comportamento é explicado pela umidade do solo, provavelmente maior nesse tratamento no outono/inverno, que, no preparo convencional, perdeu mais solo nessa época do ano. Os dados experimentais, no que se refere às diferenças entre primavera/verão e outono/inverno,

Quadro 2. Densidade do solo e volume de macroporos num Latossolo Vermelho aluminoférrico em Chapecó (SC), em resposta aos sistemas de preparo e cultivo, considerando a profundidade de amostragem (Prof)

Profundidade	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
cm	Densidade do solo, kg dm ⁻³						
0- 2,5	1,07	0,97	1,03	0,99	0,97	0,98	0,85
2,5- 5,0	1,20	1,16	1,20	1,25	1,06	1,12	1,08
5,0-10,0	1,34	1,32	1,38	1,21	1,22	1,30	1,12
10,0-15,0	1,30	1,36	1,36	1,30	1,17	1,29	1,18
15,0-20,0	1,30	1,36	1,32	1,26	1,23	1,30	1,20
Média	1,24	1,23	1,19	1,14	1,13	1,20	1,09
	Volume de macroporos do solo, m ³ m ⁻³						
0- 2,5	0,19	0,25	0,20	0,24	0,18	0,21	0,22
2,5- 5,0	0,14	0,14	0,13	0,18	0,13	0,12	0,18
5,0-10,0	0,14	0,12	0,11	0,18	0,19	0,13	0,24
10,0-15,0	0,10	0,08	0,08	0,14	0,19	0,12	0,20
15,0-20,0	0,06	0,08	0,08	0,12	0,16	0,12	0,15
Média	0,13	0,13	0,12	0,17	0,17	0,14	0,20

T₁: PCsc; T₂: PCmv + SPpi; T₃: PCrv + SPpi; T₄: PCrv + SDri; T₅: SDv + PRi + SDv+PCi + SDv + SDi; T₆: PRrv + SDri; T₇: SDrvri.

Quadro 3. Erosividade das chuvas e perdas estacionais e anuais de solo por erosão hídrica ajustadas para o comprimento de rampa de 22,1 m e o grau de declive de 0,09 m m⁻¹, em resposta aos sistemas de preparo e cultivo num Latossolo Vermelho aluminoférrico em Chapecó (SC)

Ano	EI ₃₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	Mg ha ⁻¹						
		Primavera/verão						
94/95	4.836	6,58	1,36	0,92	0,34	0,06	0,18	0,15
95/96	5.821	31,28	7,77	3,12	1,89	1,40	3,73	1,37
96/97	9.188	3,22	0,25	0,80	0,59	0,30	1,07	0,55
97/98	10.748	26,30	4,95	4,44	2,34	0,37	0,34	0,34
98/99	4.462	5,30	0,24	0,50	0,24	0,24	0,23	0,51
Total	35.055	72,68	14,57	9,78	5,40	2,37	5,55	2,92
Média	7.011	14,54	2,92	1,96	1,08	0,48	1,11	0,58
		Outono/inverno						
95	3.341	17,54	3,35	5,23	0,67	0,07	0,57	0,11
96	3.123	114,97	8,79	4,92	0,89	0,68	0,58	0,47
97	5.073	88,91	1,22	3,23	0,50	0,45	0,35	0,43
98	4.257	46,77	0,52	0,56	0,24	0,18	0,06	0,06
99	4.176	14,91	2,24	4,72	0,37	0,44	0,38	0,48
Total	19.970	283,10	16,12	18,66	2,67	1,82	1,94	1,55
Média	3.994	56,62	3,22	3,73	0,53	0,36	0,39	0,31
		Anual						
94/95	8.177	24,12	4,71	6,15	1,01	0,13	0,75	0,26
95/96	8.944	146,25	16,56	8,04	2,78	2,08	4,31	1,84
96/97	14.261	92,13	1,47	4,03	1,09	0,75	1,42	0,98
97/98	15.005	73,07	5,47	5,00	2,58	0,55	0,40	0,40
98/99	8.638	20,21	2,48	5,22	0,61	0,68	0,61	0,99
Média	11.005	71,16	6,14	5,69	1,61	0,84	1,50	0,89
C.V. (%)	27	66	88	24	55	78	96	63
T	-	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

T₁: PCsc; T₂: PCmv + SPpi; T₃: PCrv + SPpi; T₄: PCrv + SDri; T₅: SDv + PRi + SDv + PCi + SDv + SDi; T₆: PRrv + SDri; T₇: SDRvri; C.V.: coeficiente de variação; T: tolerância de perda de solo.

diferem daqueles obtidos por Schick et al. (2000), num Cambissolo Húmico em Lages (SC). Esses autores observaram maiores perdas na primavera/verão do que no outono/inverno.

Os tratamentos T₅ e T₇ foram os mais eficazes, com uma redução de 99 % na perda anual de solo, em relação ao T₁, e de 46 %, em relação ao T₄, na média do período de estudo (Quadro 3), concordando com dados obtidos por Schick (1999), estudando tratamentos semelhantes sobre um Cambissolo Húmico aluminoférrico em Lages (SC). A maior eficácia do T₇ na redução da perda anual de solo é explicada pela presença de resíduos culturais na superfície do solo, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva, bem como pela provável melhoria na estruturação do solo desse tratamento, proporcionada pela ausência de preparo e, provavelmente, pelo aumento na atividade biológica.

A semeadura direta, apesar da baixa rugosidade superficial do solo, normalmente presente nesse sistema de manejo (Cogo, 1981; Bertol et al., 1997),

possibilitou o ancoramento dos resíduos nas soqueiras das culturas. Esse sistema de manejo também ocasionou o aumento da consolidação superficial do solo, conforme argumentado por Dissmeyer & Foster (1981), diminuindo com isso a erosão hídrica. A maior erosão hídrica verificada no T₁ já era esperada, uma vez que o manejo do solo neste tratamento foi realizado de modo a potencializá-la, como preconizado para a parcela-padrão da EUPS (Wischmeier & Smith, 1978).

Dentre os tratamentos de preparo com cultivo do solo, o T₂ e T₃ apresentaram a maior perda média anual de solo, cerca de 6,8 vezes maiores do que a média de T₅ e T₇, com uma diminuição de cerca de 92 % em relação ao tratamento sem cultivo, o T₁ (Quadro 3).

Veiga (1995)⁽⁵⁾, trabalhando sobre este mesmo solo, encontrou redução de 79 % na perda de solo

⁽⁵⁾ VEIGA, M. Efeito da erosão na produtividade do solo. Relatório. EPAGRI, Campos Novos, 1995. 28p. (Não publicado)

ocasionada pelo preparo convencional com milho em relação ao preparo convencional sem a cultura, enquanto Bertol & Miquelluti (1993), estudando os mesmos tratamentos sobre um Cambissolo Húmico, obtiveram redução de 85 % na erosão com a presença dessa cultura. Este comportamento é explicado pela proteção dada ao solo pela cultura do milho, tanto pela parte aérea que protegeu a superfície do impacto direto das gotas das chuvas, quanto pelas raízes que, provavelmente, aumentaram a resistência do solo à ação da enxurrada.

Os preparos de solo conservacionistas, T₅, T₆ e T₇, e o T₄, considerado parcialmente conservacionista por incluir preparo convencional em seqüência à semeadura direta, foram, em média, 80 % mais eficazes na redução das perdas de solo do que os convencionais, T₂ e T₃, na média do período de estudo (Quadro 3), provavelmente em virtude das maiores rugosidade e cobertura, que proporcionaram maior proteção do solo contra a erosão hídrica (Bertol et al., 1997), e do menor revolvimento do solo.

Dentre os diferentes sistemas de preparo do solo com idênticos sistemas de cultivo, ou seja, rotações de culturas de verão e inverno (T₄, T₅, T₆ e T₇), o T₄ foi o menos eficaz no controle das perdas de solo por erosão hídrica, o que pode ser explicado, principalmente, pelo maior revolvimento ocasionado pelo preparo de solo convencional executado todos os anos nesse tratamento, o qual criou condições favoráveis ao aumento do escoamento superficial e da erosão hídrica, conforme observado por Bertol et al. (1997), Hernani et al. (1997) e Schick et al. (2000). O preparo convencional ainda reduziu a cobertura do solo pela incorporação dos resíduos superficiais, deixando-o exposto à ação da chuva, o que, provavelmente, facilitou o selamento superficial (Duley, 1939), aumentando o volume e a velocidade da enxurrada.

A redução nas perdas de solo nos preparos de solo conservacionistas foi ocasionada, provavelmente, pela maior cobertura e menor revolvimento no caso do T₇ e, no caso do T₆, pela elevada rugosidade produzida pelo escarificador e pela manutenção da maioria dos resíduos culturais na superfície do solo. Isto facilitou o ancoramento dos resíduos na superfície, enquanto, no caso do T₅, ocorreu efeito benéfico da rotação de preparos do solo. Assim, na rotação de preparos, enquanto o preparo de solo reduzido proporcionou alta rugosidade e cobertura por resíduos culturais, o preparo de solo convencional evitou o adensamento superficial característico da semeadura direta, a qual, por sua vez, manteve o solo coberto. Os dados do quadro 3 confirmam a eficácia dos sistemas de preparo de solo conservacionistas, tais como: a semeadura direta e o preparo reduzido, para controlar a erosão hídrica, demonstrada por vários autores (Cogo, 1981; Bertol et al., 1997; Schick et al., 2000).

Dentre os tratamentos de preparo de solo convencional (T₂, T₃ e T₄), o T₂ apresentou a maior

perda de solo, a qual foi diminuída em cerca de 7 e 74 % pelos tratamentos T₃ e T₄, respectivamente (Quadro 3). A maior eficácia desses dois tratamentos, principalmente do T₄, na redução da erosão, deve-se, provavelmente, à quantidade e qualidade dos resíduos culturais incorporados à camada arável, quando das operações de aração e gradagem no preparo convencional.

Deve-se salientar que diferentes culturas revelam capacidade de reduzir a erosão, graças, principalmente, às variações na cobertura do solo pela copa, na incorporação de distintas quantidades e tipos de massa vegetal da parte aérea e raízes e, ainda, na resistência dos resíduos vegetais à decomposição e transporte pela enxurrada (Foster, 1982). Dentre estes tratamentos, o T₄ apresentou a menor perda de solo, explicada pelo aporte de resíduos diversificados ao solo, uma vez que este tratamento apresentava rotação de culturas de inverno e de verão, o que, possivelmente, melhorou a estrutura do solo pela atividade biológica, aumentando a capacidade de infiltração de água em relação ao T₃. Já o T₂ apresentou a maior perda de solo dentre esses três tratamentos, dada a ausência da rotação de culturas.

Comparando as perdas médias anuais de solo com a tolerância anual de perda de solo de 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sugerida por Bertol & Almeida (2000) para este solo, observa-se que todos os tratamentos, com exceção do T₁, apresentaram valores menores do que a referida tolerância (Quadro 3). Isto demonstra que os sistemas de manejo de preparo convencional que incorporam os resíduos vegetais no solo são eficazes na redução da erosão, do ponto de vista da tolerância para manter a fertilidade de tais solos. É importante salientar, no entanto, que a tolerância média de perda de solo sugerida por Bertol & Almeida (2000) atende apenas ao critério da manutenção da capacidade produtiva do solo por meio da preservação da sua profundidade, não atendendo, no entanto, ao critério da contaminação ambiental ocasionada pela erosão fora do seu local de sua origem.

De modo geral, as variações nas perdas de solo entre os anos de cultivo foram expressivas (Quadro 3), em decorrência da variação da erosividade influenciada pelas variações climáticas e da variação da umidade do solo antecedente às chuvas. Tais variáveis são muito importantes, especialmente em experimentos de curta duração, nos quais os resultados de perdas de solo e água podem ser imprevisíveis exatamente por causa das variações climáticas (Wischmeier & Smith, 1978).

Houve variação nas perdas de água entre os períodos primavera/verão e outono/inverno (Quadro 4), porém ela foi menor do que aquela ocorrida nas perdas de solo (Quadro 3), sendo, ainda, menos afetadas do que as perdas de solo pelo sistema de preparo e cultivo, o que concorda com outros autores (Cogo et al., 1984; Bertol, 1994; Schick, 1999; Schick et al., 2000).

Tal comportamento pode ser explicado pela variação no volume de chuvas e, ainda, pelo fato de que, independentemente do sistema de preparo, o solo apresenta um limite de infiltração de água, dependente da sua capacidade, a partir da qual as diferenças nas perdas de água entre os manejos tendem a diminuir, especialmente nas chuvas de grande volume, em decorrência do aumento da umidade do solo (Bertol, 1994).

Nos preparos de solo conservacionistas, as perdas de água foram menores no outono/inverno, com exceção do tratamento T₆, enquanto, nos preparos convencionais, com exceção do tratamento T₄, considerando um misto de convencional e conservacionista, dada a seqüência preparo convencional/semeadura direta que o compõe, elas foram menores na primavera/verão (Quadro 4). Isto indica que, em geral, no outono/inverno, os preparos conservacionistas foram mais eficazes do que os convencionais, tanto na redução das perdas de solo (Quadro 3) quanto nas perdas de água (Quadro 4), enquanto os preparos convencionais, nesta mesma

estação, foram menos eficazes na redução das perdas de solo e água. Assim, houve uma tendência de diminuição das perdas de água com a diminuição da intensidade do preparo e aumento da cobertura do solo, concordando com os dados observados por Schick (1999) e Schick et al. (2000) para um Cambissolo Húmico.

Dentre os sistemas de preparo, as maiores variações temporais nas perdas de água ocorreram nos tratamentos que envolveram preparo convencional na sua composição (T₂, T₃ e T₄) e, principalmente, no outono/inverno, com as maiores perdas ocorrendo naqueles que foram mantidos em pousio no inverno (T₂ e T₃) (Quadro 4). As maiores perdas de água ocorridas nessa época do ano, nesses tratamentos, podem ser atribuídas à falta de cobertura do solo, o que, provavelmente, facilitou o selamento da superfície, diminuindo a capacidade de infiltração da água no solo (Duley, 1939). Isso pode ser confirmado, ainda, pela comparação dos tratamentos supracitados com o tratamento T₅, no qual a cobertura do solo proporcionada pelas culturas

Quadro 4. Volume de chuvas e perdas estacionais e anuais de água por erosão hídrica, em resposta aos sistemas de preparo e cultivo num Latossolo Vermelho aluminoférrico em Chapecó (SC)

Ano	Chuva	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
	mm	mm m ⁻¹						
Primavera/verão								
94/95	914	41,2	14,8	15,4	17,0	2,3	25,1	7,4
95/96	909	68,8	29,7	18,8	18,6	15,1	18,5	8,3
96/97	1.132	80,4	1,8	8,0	5,7	4,1	4,6	5,3
97/98	1.534	258,3	52,2	180,5	104,2	12,6	12,0	13,2
98/99	594	7,2	0,6	1,7	8,4	0,6	0,4	1,0
Total	5.083	455,9	99,1	224,4	153,9	34,7	60,6	35,2
Média	1.017	91,2	19,8	44,9	30,8	6,9	12,1	7,0
Outono/inverno								
95	677	244,9	92,1	151,6	10,7	1,7	27,7	2,4
96	742	208,0	34,2	38,8	16,9	10,6	13,5	6,2
97	1.379	186,1	41,9	72,8	22,5	6,5	10,2	6,4
98	973	146,4	54,5	185,4	59,8	7,9	8,6	4,3
99	739	5,8	0,8	15,4	0,4	0,6	0,4	0,5
Total	4.510	791,2	223,2	464,0	110,3	27,3	60,4	19,8
Média	902	158,2	44,7	94,8	22,1	5,5	12,1	4,0
Anual								
94/95	1.591	143,1	53,5	83,5	13,9	2,0	26,4	4,9
95/96	1.651	138,4	32,0	28,8	17,8	12,9	16,0	7,3
96/97	2.511	133,3	21,9	40,4	14,1	5,3	7,4	5,9
97/98	2.507	202,4	53,4	183,0	82,0	10,3	10,3	8,8
98/99	1.332	6,5	0,7	8,6	4,4	0,6	0,4	0,8
Média	1.918	127,7	32,3	68,9	26,4	6,2	12,1	5,5
C.V. (%)	29	58	69	114	14	100	100	54

T₁: PCsc; T₂: PCmv + SPpi; T₃: PCrv + SPpi; T₄: PCrv + SDri; T₅: SDv + PRi + SDv + PCi + SDv + SDi; T₆: PRrv + SDri; T₇: SDrvri; C.V.: coeficiente de variação.

de inverno reduziu as perdas de água pela manutenção da superfície do solo livre do selamento superficial e, conseqüentemente, com maior capacidade de infiltração.

Além disso, nessa região, as chuvas costumam ser mais longas e de menor intensidade no outono/inverno, e os dias, mais curtos e amenos, diminuindo a evaporação e mantendo o solo com teores de umidade mais elevados, o que favorece as perdas de água, já que o solo apresenta limite de infiltração de acordo com sua capacidade de armazenar água.

As perdas anuais de água apresentaram, em geral, tendências semelhantes às de solo, quanto à eficácia dos tratamentos, mantendo uma relativa dependência com os volumes anuais de chuva precipitadas. O tratamento T₁, com uma perda média anual de água de 127,7 mm m⁻¹ do volume total das chuvas precipitadas (Quadro 4), foi o menos eficaz, seguido do tratamento T₃ com 68,9 mm m⁻¹ da chuva perdida. O T₅ e o T₇ foram, por outro lado, os tratamentos mais eficazes na redução das perdas de água, com 5,9 mm m⁻¹ do total precipitado anualmente. As menores perdas apresentadas nesses tratamentos são explicadas pela maior cobertura e conseqüente proteção contra o selamento superficial, além de provável melhor estruturação do solo, em conseqüência da rotação de culturas e do não-revolvimento do solo no T₇ e, no caso do T₆, pela cobertura, rugosidade e capacidade de infiltração de água, conforme argumentado por Cogo et al. (1984) e Bertol (1995).

Analisando os valores anuais de perda de água (Quadro 4), observa-se maior variabilidade temporal nas referidas perdas nos tratamentos T₃, T₄, T₅ e T₆. Isto é explicado pela provável maior variação na umidade do solo antecedente às chuvas nestes tratamentos, enquanto nos demais é provável que a umidade do solo tenha se mantido maior e mais uniforme temporalmente, pelo efeito da cobertura do solo no T₇ e, no caso do T₁, pela provável falta de capilaridade e impedimento provocado pelo selamento superficial.

CONCLUSÕES

1. A semeadura direta, tanto envolvendo rotação de culturas no inverno e verão quanto envolvendo rotação de preparos, é mais eficaz no controle das perdas de solo e água do que os demais tratamentos. Os preparos conservacionistas são mais eficazes do que os convencionais no controle das perdas de solo e água por erosão hídrica. Em geral, as perdas de solo e água seguem um comportamento semelhante ao da erosividade das chuvas e do volume das chuvas, respectivamente, ao longo do tempo.

2. As perdas de solo ocorridas em Chapecó (SC), são, em média, maiores na primavera/verão do que

no outono/inverno nos sistemas de semeadura direta, enquanto, nos de preparo convencional, essas perdas são maiores no outono/inverno. As perdas de água apresentam as mesmas tendências das perdas de solo quando se comparam as estações do ano entre si, sendo, no entanto, menos afetadas do que as perdas de solo pelo sistema de preparo e cultivo.

AGRADE CIMENTOS

Ao Centro de Pesquisas para Pequenas Propriedades (CPPP), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina - S/A (EPAGRI), Chapecó (SC), pela cessão dos dados e auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório, que permitiram a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. R. Bras. Ci. Solo, 13:251-257, 1989.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 18:267-271, 1994.
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 24:657-668, 2000.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. R. Bras. Ci. Solo, 13:376-379, 1989.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I. & MICHELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., 28:1205-1213, 1993.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.75-98.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado)

- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reduction from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:368-373, 1984.
- DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.*, 36:235-240, 1981.
- DULEY, F.L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4:60-64, 1939.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- FOSTER, G.R. Modelings the erosion process. In.: BASSELMAN, J.A., ed. *Hidrological modeling of small watersheds*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engeeniring, 1982. p.297-300.
- FORSYTHE, W. *Física de suelos: manual de laboratorio*. San Jose, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 209p.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R. & ALVES Jr., M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *R. Bras. Ci. Solo*, 21:667-676, 1997.
- LARSON, W.E. & GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In.: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Madison, 1973. *Proceedings*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.13-22.
- SCHICK, J. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p. (Tese de Mestrado)
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JR., A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:427-436, 2000.
- VEIGA, M. & WILDNER, L.P. *Manual para la instalacion y la conduccion de experimento de perdida de suelos*. Santiago, FAO, 1993. (Documento de Campo)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)