

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

EROSÃO NA CULTURA DO MILHO EM SUCESSÃO À AVEIA PRETA E POUSIO DESCOBERTO, EM PREPARO CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO, COM TRAÇÃO ANIMAL E TRATORIZADA⁽¹⁾

R. LEVIEN⁽²⁾ & N. P. COGO^(2,3)

RESUMO

Empregando chuva simulada em Argissolo Vermelho distrófico arênico, com declividade média de $0,12 \text{ m m}^{-1}$, avaliou-se a erosão na cultura do milho (*Zea mays* L.) em preparo convencional e plantio direto, utilizando tração animal e tratorizada, antecedida de pousio descoberto e aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) no inverno, no período compreendido entre 1994 e 1995. Chuvas simuladas na intensidade de 64 mm h^{-1} e duração de 60 a 105 min foram aplicadas em quatro épocas: logo após a semeadura, 30 e 60 dias após a emergência e logo após a colheita do milho. A cobertura do solo propiciada pela cultura de inverno foi reduzida em 90% após o preparo convencional, independentemente da forma de tração. As perdas de solo e água medidas durante o desenvolvimento do milho foram sempre maiores sob preparo convencional do que sob plantio direto, independentemente da forma de tração, exceto logo após a colheita, quando a resteva estava uniformemente distribuída na superfície do solo. No preparo convencional, a erosão na cultura do milho foi, na média das formas de tração, 45% menor, quando antecedida de aveia preta no inverno do que quando antecedida de pousio descoberto. Por sua vez, a cultura do milho, por si só, reduziu a erosão em 60%, na média das formas de tração, comparada à do solo descoberto. A forma de tração influenciou a erosão somente no preparo convencional, com a animal apresentando perdas totais de solo 55 e 15% inferiores à tratorizada, respectivamente na cultura do milho e em solo descoberto. A perda de água por enxurrada foi mais afetada pela forma de tração no preparo convencional, totalizando, em média, 44% na animal e 57% na tratorizada, em relação ao volume total de chuva aplicado.

Termos de indexação: erosão hídrica, chuva simulada, preparo do solo.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em outubro de 1999 e aprovado em março de 2001.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: renatole@vortex.ufrgs.br; neroli@vortex.ufrgs.br

⁽³⁾ Bolsista do CNPq.

SUMMARY: *SOIL AND WATER LOSSES UNDER CORN FOLLOWING OATS AND BARE-FALLOW USING CONVENTIONAL AND NO-TILL PLANTING PERFORMED WITH ANIMAL AND TRACTOR TRACTION*

Using simulated rainfall on a 0.12 m m⁻¹-slope typic Hapludalf (Red Yellow Podzolic Soil), sandy-loam soil, erosion losses by water were evaluated during corn (Zea mays L.) that had followed oats (Avena strigosa Schieb) and bare-fallow in the winter. Field work was conducted at the Silviculture Experimental Station of the Secretary of Agriculture of Rio Grande do Sul, Brazil, from 1994 to 1995. Conventional and no-tillage performed with animal and tractor traction were the main treatments studied. Rainfall was applied four times during corn development using the rotating-boom rainfall simulator at 64.0 mm h⁻¹ rainfall intensity and duration varying from 60 to 105 min. Residue cover from the winter crop after conventionally-tilling the soil for corn planting was reduced by 90%, regardless of type of traction, presenting the highest soil and water losses; erosion was much lower under animal than under tractor traction, however. The form of traction did not influence erosion under no-till. These results can be explained in terms of physical conditions of the soil resulting from both tillage type and form of traction.

Index terms: water erosion, simulated rainfall, tillage methods.

INTRODUÇÃO

Nas pequenas propriedades rurais, as operações agrícolas normalmente são efetuadas valendo-se de tratores de baixa potência e, ou, tração animal. Quando adotado o preparo convencional de solo com tração tratorizada, os equipamentos mais empregados são os arados de dois ou três discos e as grades niveladoras em tandem com 16 a 20 discos, ambos de engate nos três pontos do sistema hidráulico. Com tração animal, os equipamentos mais utilizados são os arados de aiveca ou pula-toco e as grades de dentes. No plantio direto, podem ser empregadas pequenas semeadoras-adubadoras acionadas manualmente ou acopladas aos três pontos do sistema hidráulico do trator e semeadoras-adubadoras de apenas uma linha tracionada por um ou dois animais (Ribeiro et al., 1997).

Segundo Denardin & Kochhann (1999), na região sul do Brasil, o maior entrave à expansão da área explorada com o sistema plantio direto é a incorporação de lavouras agrícolas situadas em pequenas e médias propriedades. Uma das justificativas é a não-existência de semeadoras-adubadoras adequadas, em dimensionamento e custo de aquisição, para aquele tipo de propriedade. Dessa forma, continua sendo empregado o preparo convencional, muitas vezes sem utilizar rotação de culturas ou mesmo culturas no período de outono/inverno.

Segundo Larson (1964) e Cassel et al. (1995), a maior intensidade de preparo do solo está normalmente associada à redução de cobertura,

rugosidade e porosidade e ao aumento do grau de pulverização da camada superficial, favorecendo a formação de selamento, crosta e compactação subsuperficial, concorrendo para aumentar os riscos de erosão.

Para Cogo (1988) e Griffith et al. (1992), os critérios para a escolha do método de preparo do solo deveriam incluir o tipo, a declividade e a susceptibilidade do solo à erosão, o regime de chuvas do local, as culturas que comporão os sistemas de cultivo e o tempo disponível para a realização das diversas operações agrícolas na propriedade durante o ano. Nas pequenas propriedades, Casão Jr. et al. (1992) verificaram que os problemas mais comumente encontrados pelos agricultores em relação ao preparo do solo são os embuchamentos por palha ou solo, baixa capacidade operacional dos implementos disponíveis e a falta ou excesso de umidade do solo.

Por estes motivos, com vistas em reduzir o trabalho humano e animal e evitar a degradação dos solos, as pequenas propriedades deveriam também ter acesso à utilização do sistema plantio direto. Segundo Ribeiro et al. (1993), os maiores entraves para que isto aconteça são o baixo grau de instrução dos produtores rurais para entender e manejar as máquinas e os insumos necessários ao sistema, bem como o seu baixo poder aquisitivo e de financiamento.

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o efeito do tipo de tração empregado no preparo convencional e no plantio direto sobre a erosão hídrica provocada por chuvas simuladas, quantificada durante o ciclo da cultura do milho cultivado em sucessão à aveia preta.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Silvicultura de Santa Maria, da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, município de Santa Maria (RS), no período de 1994 a 1995, sobre um Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), unidade de mapeamento São Pedro (Brasil, 1973), com declividade média de 0,12 m m⁻¹. A análise química do solo resultou em pH_(Índice SMP) de 6,0; teor de argila de 200 g kg⁻¹; teor de matéria orgânica e fósforo de 12,1 e 1,1 g dm⁻³, respectivamente; K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ de 0,8; 10 e 6 mmol_c dm⁻³, respectivamente, na camada de 0-20 cm de profundidade, segundo métodos descritos pela Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1995).

Um ano antes da instalação da presente pesquisa, a área experimental, até então ocupada com vegetação natural (capoeiras), foi roçada com roçadora tratorizada. Após, foi aplicado calcário a lanço, para elevar o pH_(água) a 6,0, segundo dose recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1995), sendo então o solo preparado com uma aração e duas gradagens niveladoras e semeado o consórcio aveia preta + ervilhaca com semeadora-adubadora em linhas.

No verão seguinte, não foi semeada nenhuma cultura, permanecendo o resíduo das culturas anteriores sobre a superfície do solo. Em seqüência, foi efetuado o sorteio e adotado o tratamento de preparo e semeadura da cultura da aveia preta, quando foi o caso. As formas de tração avaliadas foram a animal (cavalos) e a tratorizada (trator tração 4 x 2, potência no motor de 31,6 kW). Os preparos empregados foram o convencional (uma aração + duas gradagens) e plantio direto (semeadura direta). Na tração animal, utilizaram-se um arado de aiveca de 14 polegadas (356 mm) e uma grade de dentes em forma de triângulo, com 1,2 m de lado e dentes espaçados de 0,15 m. Na tratorizada, foram empregados um arado de dois discos de 26 polegadas (660 mm) de diâmetro e uma grade em tandem, com 20 discos lisos de 16 polegadas (406 mm) de diâmetro, sendo ambos os implementos montados.

A semeadura da aveia preta foi realizada a lanço, empregando-se 90 kg ha⁻¹ de sementes, semi-incorporadas ao solo pelas grades, inclusive nas parcelas de plantio direto. A dose de 100 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 5-20-10 foi também aplicada a lanço em todas as parcelas experimentais. A adubação de cobertura foi feita na fase de perfilhamento da cultura da aveia, com 40 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. As parcelas sorteadas com o tratamento pousio descoberto (sem cultura) foram mantidas livres de invasoras, por meio da aplicação de herbicida de ação total e capina manual, respectivamente, na forma de tração tratorizada e animal.

Em seqüência, a cultura do milho foi semeada, utilizando-se uma semeadora-adubadora de duas linhas com sulcadores de adubo e sementes do tipo discos duplos e uma semeadora-adubadora manual com duas caixas (semente e adubo), respectivamente, para tração tratorizada e animal. O milho foi semeado em linhas espaçadas em 0,90 m, na densidade de 66.000 sementes por hectare, esperando-se atingir 55.000 plantas ha⁻¹. Efetuou-se uma adubação de manutenção na semeadura de 250 kg ha⁻¹ do fertilizante 5-20-20, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1995). O controle das invasoras do milho foi efetuado por uma aplicação com pulverizador costal do herbicida atrazine e com uso de um cultivador de enxadinhas mais capina manual com enxada, nas formas de tração tratorizada e animal, respectivamente. A adubação de cobertura no milho foi efetuada a lanço, na distância de 0,30 m ao lado da linha de semeadura, na dosagem de 90 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e 30 dias após a emergência da cultura. As parcelas sem a cultura do milho foram mantidas livres de invasoras por meio da aplicação de herbicida de ação total e capina manual, respectivamente, nos tratamentos tratorizados e com tração animal.

Os tratamentos, cada um correspondendo a uma parcela experimental, foram: aveia-milho/plantio direto tratorizado (A-M/PDT); aveia-milho/plantio direto tração animal (A-M/PDA); aveia-milho/preparo convencional tratorizado (A-M/PCT); aveia-milho/preparo convencional tração animal (A-M/PCA); sem cobertura-milho/preparo convencional tratorizado (SC-M/PCT); sem cobertura (pousio descoberto)-milho/preparo convencional tração animal (SC-M/PCA); sem cobertura-sem cobertura (pousio descoberto no ano todo)/preparo convencional tratorizado (SC-SC/PCT) e sem cobertura-sem cobertura (pousio descoberto no ano todo)/preparo convencional tração animal (SC-SC/PCA). A falta de repetições dos tratamentos deveu-se à limitação de área física no local do experimento, associada à natureza da pesquisa.

As operações de preparo do solo e semeadura do milho foram executadas no sentido do declive, segundo método de obtenção do fator "C-cobertura e manejo" da Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier & Smith, 1978). Cada parcela dispunha de uma área útil de 38,5 m² (11 m de comprimento e 3,5 m de largura), sendo delimitada lateral e superiormente por chapas galvanizadas e por uma calha coletora de enxurrada na parte inferior, conforme recomendações contidas em EMBRAPA (1975).

Foram aplicados quatro testes de chuva simulada, todos com a intensidade constante de 64 mm h⁻¹. O primeiro foi aplicado imediatamente após a semeadura do milho, sendo composto por uma série de duas chuvas com 60 min de duração, intercaladas de 24 h. O segundo e o terceiro teste tiveram chuvas

com 90 min de duração e foram aplicados aos 30 e 60 dias após a emergência da cultura do milho, respectivamente. O quarto teste foi efetuado logo após a colheita do milho, sobre seus resíduos culturais picados e distribuídos uniformemente sobre o terreno, com chuva de 105 min de duração. Antes de cada teste, foi determinado o teor de água no solo por gravimetria nas camadas de 0-7,5 e 7,5-15 cm de profundidade e a percentagem de cobertura, segundo o método da trena marcada (Sloneker & Moldenhauer, 1977).

Durante as chuvas foram medidos o tempo de início e a velocidade da enxurrada, da qual foram coletadas amostras para cálculo da concentração média dos sedimentos erodidos, índice D_{50} das partículas de solo transportadas na enxurrada, taxa instantânea de perda de solo, quantidade total de perda de solo, taxa de infiltração e perda total de água por enxurrada em relação ao total precipitado, seguindo o método descrito em Cogo (1981).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, são apresentados os resultados da primeira chuva simulada, aplicada logo após a semeadura do milho (primeiro teste). As operações de preparo e semeadura do milho, efetuadas nos tratamentos com preparo convencional, promoveram uma incorporação de 90% da cobertura inicialmente existente nas parcelas em que foi cultivada aveia preta no inverno, cuja produtividade média de matéria seca da parte aérea foi de 7.930 kg ha⁻¹.

No plantio direto, as semeaduras efetuadas com a semeadora-adubadora tratorizada ou manual não alteraram a cobertura do solo. Não houve enxurrada nos tratamentos com plantio direto. Nos demais, a enxurrada teve início a partir dos 15 min de chuva. Segundo Cogo et al. (1984), na primeira chuva após o preparo, as condições físicas de superfície do solo (como rugosidade e porosidade da camada preparada) podem influenciar muito a erosão, especialmente em solos com baixas percentagens de cobertura. No entanto, este efeito normalmente é apenas temporário, dependendo da orientação dos preparos, da percentagem de cobertura e dos valores iniciais de rugosidade superficial e de energia da chuva (Cogo, 1981; Römken & Wang, 1987; Eltz & Norton, 1997).

Observou-se menor perda de solo nos tratamentos com preparo convencional efetuado com tração animal do que naqueles efetuados com trator. Isto pode ser explicado pela menor intensidade de mobilização, uso de grade de dentes ao invés de discos, menor tráfego por rodados, velocidade de trabalho mais baixa, resultando em menor desestruturação do solo na camada preparada.

Constatou-se que o cultivo da aveia preta no inverno reduziu as perdas de solo entre 28 e 38%, respectivamente, nas formas de tração animal e tratorizada, em relação aos valores com o solo mantido sem cobertura invernal. As causas mais prováveis para explicar estes resultados são a presença de cobertura sobre a superfície do solo, aliada à massa de raízes e resíduos culturais enterrados, que auxiliam a agregação do solo, tornando-o mais resistente à erosão (Streck, 1999).

Quadro 1. Valores das variáveis relacionadas com a erosão, obtidos na primeira chuva (intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração de 60 min) do teste aplicado imediatamente após a semeadura do milho

Variável	Tratamento ⁽¹⁾							
	A-M PDA	A-M PDT	A-M PCA	A-M PCT	SC-M PCA	SC-M PCT	SC-SC PCA	SC-SC PCT
Teor de água no solo (0-7,5 cm), g kg ⁻¹	60	63	71	78	63	62	45	25
Teor de água no solo (7,5-15 cm), g kg ⁻¹	87	92	89	93	130	83	92	70
Cobertura do solo, %	100	100	13	10	0	0	0	0
Início da enxurrada, min	-	-	19	19	17	15	15	18
Velocidade da enxurrada (50 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	-	-	10,5	12,2	17,1	17,1	6,9	17,1
Concentração média sedimentos enxurrada, %	-	-	3,3	9,1	6,4	12,6	5,1	9,6
Índice D_{50} (50 min ⁽²⁾), mm	-	-	0,305	0,318	0,356	0,229	0,293	0,360
Perda total de solo, t ha ⁻¹	0	0	5,1	11,1	8,4	23,5	3,8	14,1
Taxa de perda de solo ⁽³⁾ , t ha h ⁻¹	0	0	15,9	22,7	23,9	55,1	37,8	11,8
Perda total de água, % do precipitado	0	0	28,8	32,5	26,6	38,2	21,3	27,0
Infiltração de água ⁽³⁾ , %	100	100	48,5	47,5	49,3	35,1	60,2	41,2

⁽¹⁾ A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado. ⁽²⁾ Tempo de duração da chuva em que a variável foi determinada. ⁽³⁾ Considerados os nove minutos finais da chuva. (-) Não houve enxurrada.

No quadro 2, constam os dados obtidos quando da aplicação da segunda chuva simulada, logo após a semeadura do milho (primeiro teste). A enxurrada teve início imediatamente após a aplicação da chuva nos tratamentos com preparo convencional e, aos 18 min, nos com plantio direto. Isto deveu-se ao maior teor de água no solo, originado da aplicação da chuva anterior. Verificou-se, nas parcelas com preparo convencional, a formação de selamento superficial, que também pode ter contribuído para o início imediato da enxurrada naqueles tratamentos.

Em relação à primeira chuva (Quadro 1), houve aumento na velocidade da enxurrada, no diâmetro médio dos sedimentos transportados (baseado nos valores do índice D_{50}) e na concentração média de sedimentos na enxurrada, acarretando aumento médio nas perdas de solo de 74%, assim como de 85 a 170% nas perdas de água por enxurrada. Além dos fatores já citados, deve-se ressaltar a influência dos sulcos pré-formados pela ação das grades, agora mais aptos ao escoamento devido ao efeito da primeira chuva, facilitando as perdas por enxurrada.

Comparando os tratamentos, verificou-se que as mesmas tendências observadas na primeira chuva foram mantidas nesta. A perda de um terço da água aplicada, na forma de enxurrada, não acarretou perda considerável de solo no plantio direto. Tanto na primeira como na segunda chuva do primeiro teste, as taxas de perda de solo, obtidas nos nove minutos finais, foram elevadas. Em termos práticos, isto significa que, no caso de uma lavoura com tipo de solo, declividade e cultivo semelhantes aos do experimento e com teor de água próximo ou na condição de saturação, uma chuva com intensidade

de 64 mm h⁻¹ e com duração entre 6 e 12 min provocaria erosão que atingiria o limite de tolerância de perda de solo estipulada para este tipo de solo (5-7 t ha⁻¹ ano⁻¹, segundo Bertoni & Lombardi Neto, 1990), caso este fosse preparado convencionalmente.

Esta combinação é bastante freqüente na região onde o presente trabalho foi realizado, demonstrando que a utilização do preparo convencional neste tipo de solo pode ser problemática, não só pela alta probabilidade de ocorrência de erosão, mas também pelas demais conseqüências, como perda de sementes, fertilizantes, corretivos e agrotóxicos.

No quadro 3, encontram-se os dados obtidos quando da aplicação da segunda chuva simulada, 30 dias após a semeadura do milho. Nesta época, a cultura do milho já propiciava aproximadamente 50% de cobertura ao solo. Nos tratamentos com plantio direto, além da cobertura fornecida pela parte aérea do milho, havia grande quantidade de resíduos de aveia preta em contato direto com o solo, resultando em taxas de erosão muito baixas. Nos tratamentos com preparo convencional, a forma de tração empregada continuou tendo influência sobre a erosão. As perdas de solo foram 93 e 82% menores na forma de tração animal do que na tratorizada, respectivamente, na sucessão aveia-milho e pousio descoberto-milho. Mesmo nos tratamentos continuamente sem cobertura, esta diferença foi superior a 50%. Nesta chuva, a erosão na cultura do milho foi 60% menor nos tratamentos onde o cultivo anterior havia sido a aveia preta, comparada aos tratamentos onde não houve cultivo anterior (pousio descoberto), na forma de tração tratorizada. Na tração animal, esta redução foi de 85%.

Quadro 2. Valores das variáveis relacionadas com a erosão, obtidos na segunda chuva (intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração de 60 min) do teste aplicado imediatamente após a semeadura do milho

Variável	Tratamento ⁽¹⁾							
	A-M PDA	A-M PDT	A-M PCA	A-M PCT	SC-M PCA	SC-M PCT	SC-SC PCA	SC-SC PCT
Teor de água no solo (0-7,5 cm), g kg ⁻¹	110	119	87	108	86	124	92	62
Teor de água no solo (7,5-15 cm), g kg ⁻¹	122	134	126	140	123	133	134	110
Cobertura do solo, %	100	100	13	10	0	0	0	0
Início da enxurrada, min	18	18	4	1	2	2	2	4
Velocidade da enxurrada (50 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	(4)	(4)	14,3	18,2	17,1	14,6	16,2	15,4
Concentração média sedimentos enxurrada, %	0,2	0,2	5,7	11,5	9,1	14,7	8,6	13,3
Índice D_{50} (50 min ⁽²⁾), mm	0,198	0,232	0,322	0,303	0,336	0,260	0,254	0,354
Perda total de solo, t ha ⁻¹	0,3	0,3	26,9	36,2	38,0	53,8	31,2	48,4
Taxa de perda de solo ⁽³⁾ , t ha h ⁻¹	0,5	0,6	33,9	42,8	45,2	69,9	46,7	68,7
Perda total de água, % do precipitado	27,6	28,7	55,7	59,7	63,5	60,0	56,8	52,4
Infiltração de água ⁽³⁾ , %	46,4	45,7	29,7	27,3	26,3	28,6	21,3	33,1

⁽¹⁾ A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado. ⁽²⁾ Tempo de duração da chuva em que a variável foi determinada. ⁽³⁾ Considerados os nove minutos finais da chuva. ⁽⁴⁾ Não foi possível a medição pelo método proposto devido ao pequeno volume de enxurrada e, ou, retenção do corante causada pelos resíduos.

Quanto ao efeito da planta em si (parte aérea e raízes) na redução da erosão, e tomando por base os resultados obtidos nos tratamentos pousio descoberto-milho e pousio descoberto-pousio descoberto, verificou-se que a perda de solo foi reduzida em 73 e 27%, na tração animal e tratorizada, respectivamente (Quadro 3).

As taxas de perda de solo, avaliadas aos nove minutos finais de aplicação da chuva, nos tratamentos com a cultura de milho e sob preparo convencional, foram sensivelmente menores do que as verificadas no teste anterior, porém ainda bastante elevadas.

Comparando as avaliações efetuadas aos 50 e 85 min de decorrência da chuva nos tratamentos com preparo convencional, verificou-se que a velocidade da enxurrada tendeu a aumentar e a concentração média dos sedimentos na enxurrada a diminuir com a duração da precipitação. Isto deveu-se, provavelmente, a um efeito de diluição, em que as taxas de enxurrada aumentaram em proporção maior do que as taxas de desagregação do solo.

Em condições semelhantes às do experimento, uma chuva de mesma intensidade ocorrendo em solo molhado necessitaria de duas a três horas de duração para atingir a taxa anual de tolerância de perda de solo estimada para o tipo de solo em questão. Nos tratamentos sem a cultura do milho (pousio descoberto-pousio descoberto), as taxas de perda de solo obtidas durante os nove minutos finais desta chuva foram praticamente idênticas às anteriores (primeiro teste), mostrando claramente a influência

da cobertura propiciada pela parte aérea e das raízes do milho sobre as perdas de solo. A cobertura verde promoveu a dissipação da energia cinética resultante do impacto direto das gotas da chuva sobre o solo, a qual provoca sua desagregação ou altera a turbulência da enxurrada. As raízes aumentam a resistência do solo à desagregação e ao cisalhamento provocados, respectivamente, pelo impacto das gotas de chuva e enxurrada, especialmente na zona próxima da linha de semeadura.

Em outro trabalho desta natureza, Merten (1997) avaliou a erosão sob chuva natural durante dez anos em um Cambissolo com 0,18 m m⁻¹ de declive e 22 m de comprimento de rampa, utilizando a sucessão tremoço-milho e aveia + ervilhaca/feijão + milho, preparos realizados em nível por tração animal. O autor observou uma taxa anual de perda de solo de 4,4, 1,8 e 0,4 t ha⁻¹, respectivamente, para aração+gradagem, escarificação e plantio direto, portanto, menores do que o limite de tolerância de erosão estimado para o solo (3-5 t ha⁻¹ ano⁻¹, segundo Bertoni & Lombardi Neto, 1990). As perdas no tratamento-testemunha, nas mesmas condições, alcançaram 163 t ha⁻¹ ano⁻¹.

O terceiro teste de chuva (Quadro 4) foi aplicado na época do pleno florescimento da cultura do milho, quando as plantas já cobriam totalmente a superfície do solo. Nas parcelas com preparo convencional, esta cobertura exerceu grande efeito sobre a perda total de solo, a concentração média de sedimentos na enxurrada e, inclusive, sobre as taxas de perda de

Quadro 3. Valores das variáveis relacionadas com a erosão, obtidos na chuva (intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração de 90 min) aplicada 30 dias após a emergência do milho

Variável	Tratamento ⁽¹⁾							
	A-M PDA	A-M PDT	A-M PCA	A-M PCT	SC-M PCA	SC-M PCT	SC-SC PCA	SC-SC PCT
Teor de água no solo (0-7,5 cm), g kg ⁻¹	41	43	24	37	31	26	31	47
Teor de água no solo (7,5-15 cm), g kg ⁻¹	49	58	52	55	46	51	53	84
Cobertura do solo, %	100	100	49	53	47	51	0	0
Início da enxurrada, min	55	41	20	4	19	3	14	3
Velocidade da enxurrada (50 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	-	⁽⁴⁾	3,4	12,0	8,0	12,2	12,2	17,6
Velocidade da enxurrada (85 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	8,0	13,0	13,3	14,6	13,6	17,6
Concentração média sedimentos enxurrada, %	0,2	0,1	0,7	4,1	3,6	8,6	6,5	10,7
Índice D ₅₀ (50 min ⁽²⁾), mm	-	< 0,037	0,197	0,309	0,373	0,359	0,382	0,420
Índice D ₅₀ (85 min ⁽²⁾), mm	< 0,037	0,291	0,245	0,304	0,328	0,343	0,339	0,309
Perda total de solo, t ha ⁻¹	0,1	0,1	1,2	17,4	7,6	43,3	27,8	59,4
Taxa de perda de solo ⁽³⁾ , t ha ⁻¹	0,4	0,2	2,8	9,6	12,0	22,1	25,7	36,3
Perda total de água, % do precipitado	5,9	8,8	13,9	60,0	24,2	60,3	45,9	54,7
Infiltração de água ⁽³⁾ , %	72,8	63,0	58,0	23,9	49,1	34,1	25,8	39,6

⁽¹⁾ A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado. ⁽²⁾ Tempo de duração da chuva em que a variável foi determinada. ⁽³⁾ Considerados os nove minutos finais da chuva. ⁽⁴⁾ Não foi possível a medição pelo método proposto devido ao pequeno volume de enxurrada e, ou, retenção do corante causada pelos resíduos. (-) Não houve enxurrada.

solo avaliadas nos nove minutos finais da chuva, quando o solo já estava saturado. No entanto, a mesma influência não foi verificada para as variáveis relacionadas com a enxurrada (tempo de início e perda total de água). Nos tratamentos com plantio direto, as perdas de solo foram insignificantes, embora a perda total de água possa eventualmente vir a representar algum risco, em caso de precipitação semelhante em solo muito úmido, terreno declivoso ou com extenso comprimento de rampa (Bertol et al., 1997). Nos tratamentos sem nenhuma cobertura (pousio descoberto), as variáveis de erosão apresentaram comportamento semelhante ao verificado nos testes anteriores.

O quarto teste de chuva simulada (Quadro 5) foi aplicado logo após a colheita do milho. Os resíduos picados da cultura proporcionaram uma cobertura de 100% ao solo, com massa seca média medida de 7.200 kg ha⁻¹. As perdas de solo foram mínimas em todos os tratamentos onde o milho havia sido cultivado. As perdas de água por enxurrada variaram de 30 a 50%, em relação ao total aplicado, em parte devidas ao longo tempo de duração da chuva, superando a taxa constante de infiltração de água neste tipo de solo. Nos tratamentos sem resíduo, as perdas continuaram elevadas e semelhantes àquelas obtidas nos testes anteriores.

Os valores da perda total de solo obtidos nas cinco chuvas simuladas (432 mm de precipitação total), aplicadas nas quatro épocas da cultura do milho, para todos os tratamentos estudados, estão

apresentados na figura 1. As perdas nos tratamentos com o plantio direto foram insignificantes, independentemente das culturas e formas de tração. Nos tratamentos com o preparo convencional, o emprego da tração animal reduziu a perda total de solo em 47, 55 e 14%, respectivamente, nas sucessões aveia-milho, sem cobertura-milho e sem cobertura-sem cobertura, em relação ao uso da tratorizada. O cultivo de aveia preta diminuiu as perdas de solo, em relação à ausência de cultivo no inverno, em 39 e 48%, respectivamente, na tração animal e tratorizada. A redução da perda de solo pela cultura do milho, comparada ao solo descoberto, foi de 48 e 73%, respectivamente, para a tração tratorizada e animal.

Quanto à perda total de água por enxurrada, em relação ao total aplicado nos quatro testes de chuva simulada (Figura 2), verificaram-se reduções da ordem de 23, 32, 19 e 17% pelo emprego da tração animal, ao invés da tratorizada, respectivamente, nas sucessões aveia-milho em plantio direto e aveia-milho, sem cobertura-milho e sem cobertura-sem cobertura, todos em preparo convencional. A enxurrada na cultura do milho em sucessão à aveia, em plantio direto, foi 43 e 50% menor do que a observada no preparo convencional, respectivamente, na tração animal e tratorizada. O cultivo de aveia no inverno proporcionou uma diminuição da enxurrada na cultura do milho, em preparo convencional, da ordem de 23 e 6%, respectivamente, para a tração animal e tratorizada, em relação ao pousio descoberto naquele período. A redução da

Quadro 4. Valores das variáveis relacionadas com a erosão, obtidos na chuva (intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração de 90 min) aplicada 60 dias após a emergência do milho

Variável	Tratamento ⁽¹⁾							
	A-M PDA	A-M PDT	A-M PCA	A-M PCT	SC-M PCA	SC-M PCT	SC-SC PCA	SC-SC PCT
Teor de água no solo (0-7,5 cm), g kg ⁻¹	141	123	114	109	113	111	98	96
Teor de água no solo (7,5-15 cm), g kg ⁻¹	133	122	131	116	108	121	124	122
Cobertura do solo, %	100	100	100	100	100	100	0	0
Início da enxurrada, min	14	17	2	3	2	3	5	2
Velocidade da enxurrada (50 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	(4)	(4)	8,0	10,5	14,3	13,6	18,8	22,2
Velocidade da enxurrada (85 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	(4)	(4)	9,7	11,5	15,0	15,4	20,0	22,2
Concentração média sedimentos enxurrada, %	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	1,1	12,0	9,5
Índice D ₅₀ (50 min ⁽²⁾), mm	< 0,037	0,049	0,206	0,237	0,291	0,280	0,270	0,299
Índice D ₅₀ (85 min ⁽²⁾), mm	< 0,037	0,171	0,296	0,254	0,226	0,290	0,228	0,212
Perda total de solo, t ha ⁻¹	0,1	0,1	1,9	2,0	3,3	7,0	74,0	76,1
Taxa de perda de solo ⁽³⁾ , t ha h ⁻¹	0,08	0,05	1,85	1,67	2,15	5,24	47,98	47,21
Perda total de água, % do precipitado	35,1	42,4	49,5	76,8	70,0	79,5	62,0	76,8
Infiltração de água ⁽³⁾ , %	49,2	38,1	36,4	15,6	22,8	13,8	24,2	20,9

⁽¹⁾ A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado. ⁽²⁾ Tempo de duração da chuva em que a variável foi determinada. ⁽³⁾ Considerados os nove minutos finais da chuva. ⁽⁴⁾ Não foi possível a medição pelo método proposto devido ao pequeno volume de enxurrada e, ou, retenção do corante causada pelos resíduos.

Quadro 5. Valores das variáveis relacionadas com a erosão, obtidos na chuva (intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração de 105 min) aplicada logo após a colheita do milho

Variável	Tratamento ⁽¹⁾							
	A-M PDA	A-M PDT	A-M PCA	A-M PCT	SC-M PCA	SC-M PCT	SC-SC PCA	SC-SC PCT
Teor de água no solo (0-7,5 cm), g kg ⁻¹	109	108	83	80	89	82	54	63
Teor de água no solo (7,5-15 cm), g kg ⁻¹	116	123	113	99	109	110	92	101
Cobertura do solo, %	100	100	100	100	100	100	0	0
Início da enxurrada, min	10	25	6	3	4	3	11	2
Velocidade da enxurrada (50 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	18,8	18,8
Velocidade da enxurrada (85 min ⁽²⁾), cm s ⁻¹	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	20,0	18,8
Concentração média sedimentos enxurrada, %	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	10,77	5,19
Índice D ₅₀ (50 min ⁽²⁾), mm	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	0,270	0,333
Índice D ₅₀ (85 min ⁽²⁾), mm	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	< 0,037	0,240	0,253
Perda total de solo, t ha ⁻¹	0,08	0,05	0,06	0,02	0,02	0,11	76,60	49,43
Taxa de perda de solo ⁽³⁾ , t ha h ⁻¹	0,03	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05	67,88	31,34
Perda total de água (% do precipitado)	31,7	50,9	29,6	37,3	45,6	45,5	61,0	85,6
Infiltração de água ⁽³⁾ , %	48,4	28,5	56,8	55,1	32,5	43,5	18,4	13,0

⁽¹⁾ A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado. ⁽²⁾ Tempo de duração da chuva em que a variável foi determinada. ⁽³⁾ Considerados os nove minutos finais da chuva. ⁽⁴⁾ Não foi possível a medição pelo método proposto devido ao pequeno volume de enxurrada e, ou, retenção do corante provocada pelos resíduos.

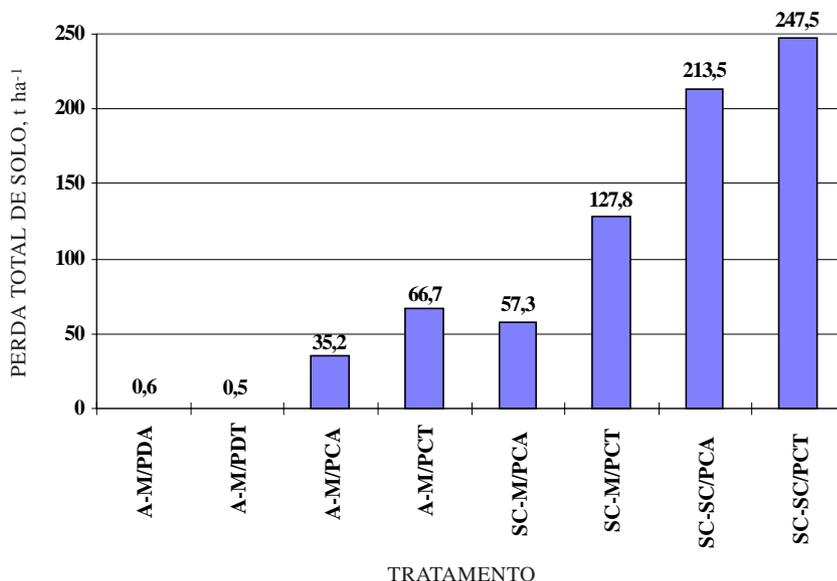


Figura 1. Perda total de solo por erosão, nos quatro testes de chuva simulada realizados na cultura do milho, nos tratamentos estudados (A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado).

enxurrada pela cultura do milho, em relação ao solo descoberto no mesmo período, foi de 7 e 4%, respectivamente, para a tração animal e tratorizada. De modo geral, constatou-se que os tratamentos foram mais eficazes em reduzir a perda de solo por erosão do que a de água por escoamento superficial.

CONCLUSÕES

1. Independentemente do tipo de preparo do solo e da condição de cobertura, as perdas de solo e água foram menores na tração animal do que na tratorizada.

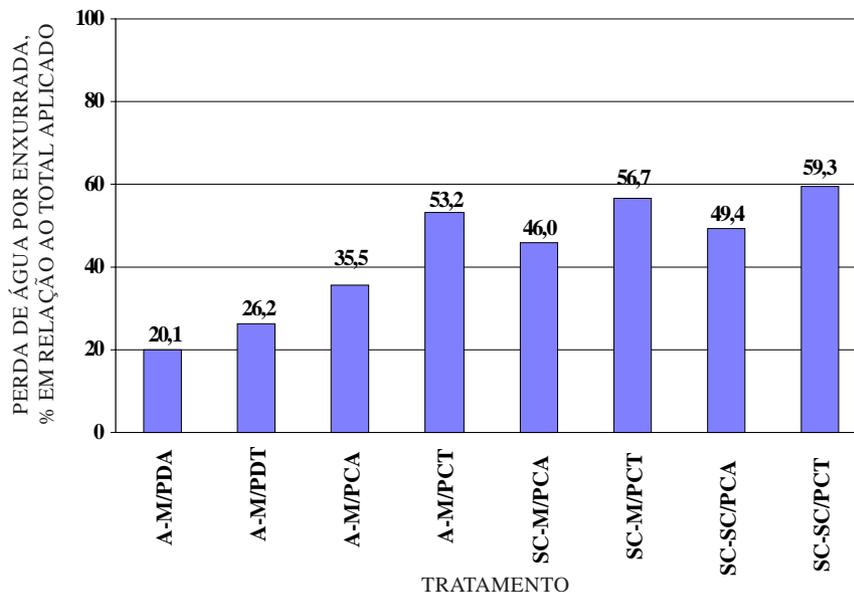


Figura 2. Perda total de água por enxurrada, em relação a quantidade total aplicada em todas as chuvas, nos quatro testes realizados na cultura do milho, nos tratamentos estudados (A-M = aveia-milho; SC-M = sem cobertura-milho; SC-SC = sem cobertura-sem cobertura; PDA = plantio direto tração animal; PDT = plantio direto tratorizado; PCA = preparo convencional tração animal; PCT = preparo convencional tratorizado).

2. Independentemente da forma de tração, as perdas de solo foram maiores no preparo convencional do que no plantio direto. As perdas de água, porém, foram pouco afetadas.

3. Independentemente da forma de tração, a perda de solo na cultura do milho em preparo convencional foi menor na sucessão aveia-milho do que na sucessão pousio descoberto-milho.

AGRADECIMENTOS

À Direção e funcionários da Estação Experimental de Silvicultura de Santa Maria (RS), pelo apoio e empréstimo da maquinaria, insumos e área experimental. Aos funcionários do Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis "Ataliba Paz", Engenheiros-Agrônomos Adélio Spanholi, Carlos Alberto Rockenbach e Nelson Sebastião Model, Bióloga Maria de Fátima B. Korndorfer, Bacharel em Química Ernesto Bizzani e ao auxiliar de campo Paulo Pedrollo, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

LITERATURA CITADA

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 ausência dos resíduos culturais. R. Bras. Ci. do Solo, 21:409-418, 1997.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 413p. (Boletim Técnico, 30)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro para uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação de solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., Londrina, 1975. Anais. Londrina, 1975. p.107-120.

CASÃO Jr., R.; HENKLAIN, J.C.; LADEIRA, A.S. & MORENO, E.C. Efeito de diferentes implementos na resistência à tração e qualidade de preparo do solo (Latossolo Roxo). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, Londrina, 1991. Anais. Londrina, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. p.847-868.

CASSEL, D.H.; RACZKOWSKI, C.M. & DENTON, H.P. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:1436-1443, 1995.

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. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.; FURLANI, P.R. & FREITAS, S.S., eds. A responsabilidade social da Ciência do Solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.101-108.

- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:368-373, 1984.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1995. 223p.
- DENARDIN, J.E. & KOCHHANN, R.A. Evolução da área cultivada sob plantio direto no Estado do Rio Grande do Sul: 1970 - 1997. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28. Pelotas, 1999. Palestra apresentada. Pelotas, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. CD-ROM.
- ELTZ, F.L.F. & NORTON, L.D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage, and canopy cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1746-1755, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro. 1999. 412p.
- GRIFFITH, D.R.; MONCRIEF, J.F.; ECKERT, D.J.; SWAN, J.B. & BREIBACH, D.D. Crop response to tillage systems. In: CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS AND MANAGEMENT: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames, Midwest Plan Service, 1992. p.25-33.
- LARSON, W.E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:118-122, 1964.
- MERTEN, G.H. Contribuição da pesquisa para adaptação do plantio direto com tração animal - experiências do IAPAR. In: PEIXOTO, R.T.G; AHRENS, D.C. & SAMAHA, M.J. , eds. Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa, Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. p.240-252.
- RIBEIRO, M.F.S. Aspectos de seleção e manejo de semeadoras-adubadoras de plantio direto a tração animal. In: PEIXOTO, R.T.G; AHRENS, D.C. & SAMAHA, M.J., eds. Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa, Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. p.252-256.
- RIBEIRO, M.F.S.; MERTEN, G.H. & SKÓRA NETO, F. Plantio direto na palha na pequena propriedade. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1993. p.151-158.
- RÖMKENS, M.J.M. & WANG, J.Y. Soil roughness changes from rainfall. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 30:101-107, 1987.
- SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *J. Soil Water Conser.*, 32:231-236, 1977.
- STRECK, E.V. Erosão hídrica do solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo "RUSLE". Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 195p. (Tese de Doutorado)
- WISCHMEIER, W.D. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)