



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V.
EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA POR CONDIÇÕES FÍSICAS DE SUPERFÍCIE E
SUBSUPERFÍCIE DO SOLO RESULTANTES DO SEU MANEJO, NA AUSÊNCIA DE COBERTURA
VEGETAL

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 4, julio-agosto, 2004, pp. 763-774
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214040016>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA POR CONDIÇÕES FÍSICAS DE SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE DO SOLO RESULTANTES DO SEU MANEJO, NA AUSÊNCIA DE COBERTURA VEGETAL ⁽¹⁾

L. B. S. VOLK⁽²⁾, N. P. COGO⁽³⁾ & E. V. STRECK⁽⁴⁾

RESUMO

Práticas diferenciadas de manejo resultam em condições físicas de superfície e subsuperfície do solo distintas, as quais, por sua vez, resultam em níveis de erosão hídrica variados. Com isto em mente, realizou-se um estudo a campo com o objetivo de avaliar o efeito de formas de preparo e cultivo do solo e de manejo dos resíduos culturais em algumas de suas condições físicas de superfície e subsuperfície, em relação à erosão hídrica, durante 5,5 anos. Para tal, utilizou-se chuva simulada sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico, bastante degradado pelo manejo anterior, com declividade de 0,08 m m⁻¹. Os tratamentos consistiram dos cultivos de milho e aveia preta, em semeadura direta e em preparo convencional de solo (este com incorporação e com remoção dos resíduos culturais), e do sem cultivo, em preparo convencional de solo (testemunha). Tais tratamentos encontravam-se na condição de solo recém-mobilizado, ou consolidado, e desprovido de cobertura vegetal por ocasião dos testes de erosão com chuva simulada. Estes, em número de dez, foram realizados com o simulador de chuva de braços rotativos, na intensidade de 64 mm h⁻¹ e duração de 90 min, logo após a colheita de uma cultura e o preparo do solo, ou não, para o estabelecimento da cultura seguinte. A incorporação sistemática dos resíduos culturais ao solo recuperou sua estrutura e diminuiu a perda de solo praticamente em 3/4, comparada a sua remoção, resultando também na menor perda de solo no estudo. Devido à recém-criada rugosidade superficial do solo, os tratamentos

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, realizada com recursos financeiros do Projeto CNPq-PRONEX/Solos e com apoio de bolsistas de iniciação científica dos Programas PIBIC-CNPq/UFRGS, CNPq e FAPERGS. Trabalho apresentado na IV Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, NRS/SBCS, Porto Alegre (RS), em 2002. Recebido para publicação em julho de 2002 e aprovado em junho de 2004.

⁽²⁾ Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). E-mail: levolk@bol.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: neroli@vortex.ufrgs.br

⁽⁴⁾ Assistente Técnico Estadual da EMATER/RS. E-mail: streck@emater.tche.br

com preparo convencional apresentaram as maiores capacidades de retenção e infiltração de água, resultando em retardamento da enxurrada e, logo, baixa perda de água, comparados à semeadura direta, independentemente do cultivo e da incorporação ou remoção dos resíduos culturais. O preparo convencional sem cultivo, apesar de apresentar rugosidade superficial similar ao com cultivo, mostrou a maior perda de solo no estudo. A semeadura direta, apesar de também ter recuperado a estrutura do solo pelo cultivo, apresentou a maior perda de água, ficando a perda de solo próxima à do preparo convencional com resíduo cultural removido e intermediária entre o preparo convencional com resíduo cultural incorporado e o sem cultivo. A perda de solo após o cultivo do milho foi praticamente o dobro da observada após o cultivo da aveia preta, independentemente do preparo do solo e da incorporação ou remoção dos resíduos culturais, enquanto a perda de água foi apenas ligeiramente maior. Os resultados confirmaram que as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo que governam as perdas de solo por erosão hídrica são distintas das que governam as perdas de água pelo mesmo fenômeno.

Termos de indexação: perda de solo, perda de água, chuva simulada, preparo do solo, consolidação do solo, rugosidade superficial do solo, manejo do resíduo cultural.

SUMMARY: *WATER EROSION INFLUENCED BY SURFACE AND SUBSURFACE SOIL PHYSICAL CONDITIONS RESULTING FROM ITS MANAGEMENT, IN THE ABSENCE OF VEGETAL COVER*

Different management practices lead to distinct surface and subsurface soil physical conditions, which in turn result in different levels of rainfall erosion. In this context, a 5.5 year field erosion-study was conducted with the objective of studying the effects of both tillage and cropping systems and forms of crop residue management on some surface and subsurface physical soil conditions and their influence on rainfall erosion. For this purpose, rainfall was simulated on a severely degraded, sandy loam Paleudult with 0.08 m m⁻¹ slope-steepness. Treatments consisted of: corn and black oat cultivation, both under no-tillage and conventional tillage (the latter with incorporation or removal of crop residues), and no-plant cultivation under conventional tillage (control). For all treatments, the soil was freshly-tilled or consolidated, without residue cover, when the erosion tests were performed. Ten rainfall tests were imposed with the rotating-boom rainfall simulator at a constant intensity of 64.0 mm h⁻¹ during 90 min, short after the harvest of one crop and the soil tillage (or no-tillage) for the subsequent crop. The continuous incorporation of crop residues into the soil improved its structure and reduced soil losses by nearly 3/4, compared to residue removal. Due to the newly-created surface roughness of the soil, the conventional tillage treatments presented higher water retention and infiltration capacity. This effect delayed the surface runoff and decreased water losses in comparison to the no-tillage treatment, regardless of plant cultivation and incorporation, or removal of crop residues. However, conventional tillage without plant cultivation in spite of a surface roughness similar to that under cropping, presented the highest soil loss in the study. The highest water losses were found in the no-tillage treatment, despite the recovery of the soil structure by crops. The soil losses in this treatment were similar to those observed under the conventional tillage with removal of residue, and intermediate to the conventional tillage with incorporated residues and the conventional tillage without plant cultivation. Soil loss after corn cultivation was virtually twice as much that after black oats, regardless of soil tillage and the incorporation or removal of crop residues. But, the water loss was only slightly higher. Results confirmed that surface and the subsurface physical soil conditions created by the tillage system that affect soil losses by rainfall are different from those that influence water losses by the same event.

Index terms: soil loss, water loss, simulated rainfall, soil tillage, soil consolidation, surface roughness, crop residue management.

INTRODUÇÃO

A erosão é um fenômeno de superfície e, por isto, as condições físicas de superfície do solo desempenham papel primordial na mesma, dificultando-a ou facilitando-a, seja ela causada pela água da chuva e, ou, da sua enxurrada associada, seja ela causada pelo vento. As mais importantes delas são a cobertura por resíduos culturais, a rugosidade superficial induzida pelos métodos de seu preparo, a presença de selos e, ou, crostas e a resistência do solo ao cisalhamento. As condições físicas de subsuperfície do solo também são importantes, pois elas influenciam o movimento de água, calor e gases no seu interior e, decorrentemente, o escoamento superficial, germinação das sementes, crescimento inicial das raízes e desenvolvimento posterior das plantas. As mais importantes delas são as que determinam a qualidade estrutural ou qualidade do espaço poroso do solo, notadamente a agregação e estabilidade dos agregados e a porosidade total e distribuição de tamanho de poros.

A cobertura por resíduos culturais, além de diminuir a amplitude térmica e conservar melhor a umidade no solo, é fator determinante na redução da erosão hídrica, pois ela dissipa a energia cinética das gotas da chuva exatamente à superfície do solo (Duley, 1939). Os resíduos culturais servem ainda como barreira física ao livre escoamento superficial, diminuindo sua velocidade e, assim, sua capacidade erosiva. Desta forma, a desagregação e o transporte das partículas de solo são bastante diminuídos, o que irá refletir-se em menores escoamento superficial, concentração de sedimentos na enxurrada e perda de solo (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983). E, quando incorporados ao solo, os resíduos culturais melhoram sua estrutura e servem como fonte de alimento à microbiota terrestre, o que, juntamente com o desenvolvimento radicular das plantas, resulta em condições favoráveis à agregação e estabilização do solo (Tisdall & Oades, 1979; Paladini & Mielniczuk, 1991; Silva, 1993).

Na ausência de cobertura do solo por resíduos culturais e dos benefícios dela decorrentes, no entanto, assume importância redobrada na redução da erosão hídrica a rugosidade superficial do solo, especialmente aquela induzida por métodos de seu preparo. As microdepressões dela resultantes são fundamentais para armazenar água da chuva e, assim, aumentar sua infiltração no solo, retardando a enxurrada e, conseqüentemente, reduzindo o escoamento superficial e sua capacidade erosiva.

Em adição, a rugosidade superficial do solo causa aprisionamento dos sedimentos da erosão, promovendo sua deposição na área de ocorrência do fenômeno, reduzindo, assim, mais ainda as perdas de solo da lavoura (Burwell et al., 1966; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Levien et al., 1990).

A consolidação da superfície do solo pode resultar de processos físicos naturais ou do cessamento das operações de seu preparo, como acontece quando se adota a semeadura direta, por exemplo. A consolidação aumenta a coesão entre as partículas de solo, tornando-o mais compacto e resistente à desagregação, pela ação tanto de impacto das gotas da chuva quanto de cisalhamento da enxurrada. Isto irá diminuir a perda de solo, mesmo na ausência de resíduo cultural e de rugosidade superficial (Dissmeyer & Foster, 1981). Por outro lado, elevada consolidação e mínima rugosidade superficial do solo reduzem a infiltração de água da chuva e aumentam o escoamento superficial e, com isto, a perda de água da lavoura (Dissmeyer & Foster, 1981; Cogo, 1981; Streck, 1999; Streck & Cogo, 2003).

Dentre as condições físicas de subsuperfície do solo que influem na erosão, destacam-se aquelas que determinam a qualidade da estrutura e do espaço poroso do solo. A estrutura do solo é mais bem caracterizada por uma combinação de características e propriedades físicas do solo, não existindo uma variável simples que a represente adequadamente em termos quantitativos (Sanchez, 1976). A estabilidade e a distribuição relativa de tamanho de agregados e de poros do solo são variáveis que servem para indiretamente avaliar a qualidade de sua estrutura (Kiehl, 1979). A estrutura tem efeito pronunciado na retenção, infiltração e armazenamento de água, na permeabilidade e erodibilidade do solo e na erosão hídrica. Em geral, um solo com estrutura de boa qualidade apresenta boa capacidade de retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água no seu interior, o que, no conjunto, irá refletir-se em menor erodibilidade (Wischmeier & Smith, 1978; Foster, 1982).

Em estudos dessa natureza, Tisdall & Oades (1979), Kay (1990), Paladini & Mielniczuk (1991), Silva (1993), Campos et al. (1999), Streck (1999), Volk (2002) e Cogo & Streck (2003) observaram que a estabilidade de agregados tende a aumentar em solos cultivados com plantas que produzem elevada massa de raízes, variando, no entanto, com a espécie vegetal, de acordo com as diferenças existentes na morfologia e distribuição de volume das raízes.

Com base nestas considerações, o objetivo principal deste trabalho foi quantitativamente avaliar o efeito de formas de preparo e cultivo do solo e de manejo dos resíduos culturais em algumas de suas condições físicas de superfície e subsuperfície, em relação à erosão hídrica, na ausência de cobertura superficial por resíduos culturais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal

do Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), no período de janeiro de 1996 a junho de 2001. Utilizou-se um Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck et al., 2002), com textura franco-arenosa no horizonte superficial, moderadamente profundo e moderadamente drenado, apresentando horizontes A moderado e B textural, declividade média de $0,08 \text{ m m}^{-1}$ e profundidade efetiva inferior a $0,80 \text{ m}$ (Lopes, 1984). A área experimental foi estabelecida, em 1996, sobre solo propositadamente degradado (física, química e biologicamente), por meio do cessamento do cultivo, remoção dos resíduos culturais e freqüentes arações e gradagens durante todo o ano de 1995 (Streck, 1999).

Os tratamentos, dispostos em pares de parcelas de erosão contíguas, num delineamento próximo ao completamente casualizado, foram: (a) sucessão milho (*Zea mays*)/aveia preta (*Avena strigosa* S.), preparo convencional, resíduo cultural incorporado (Mi/Av-PC-res. inc.); (b) sucessão milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido (Mi/Av-PC-res. rem.); (c) sucessão milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado (Mi/Av-SD-res. rem./ret.), e (d) sem cultivo (sem cultura), preparo convencional (S/c-PC) - tratamento testemunha.

No tratamento Mi/Av-PC-res. inc., após a colheita da cultura, o resíduo era uniformemente distribuído na superfície e incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens, no dia anterior à realização dos testes de erosão com chuva simulada. No tratamento Mi/Av-PC-res. rem., o resíduo era removido das parcelas antes do preparo do solo e da aplicação das chuvas simuladas. No tratamento Mi/Av-SD-res. rem./ret., o resíduo era removido das parcelas (após a colheita das culturas) para aplicação dos testes com chuva simulada e retornado logo após o término dos mesmos. As operações de preparo do solo e de semeadura foram efetuadas sempre no sentido do declive, conforme filosofia de obtenção do fator C cobertura e manejo dos modelos "USLE" (Wischmeier & Smith, 1978) e "RUSLE" (Renard et al., 1997) de predição da erosão hídrica.

As parcelas de erosão apresentavam dimensões de $3,5 \text{ m}$ de largura por $11,0 \text{ m}$ de comprimento, apropriadas para estudos de erosão com o simulador de chuva de braços rotativos (Swanson, 1965). O preparo convencional do solo consistiu de uma aração (arado reversível de três discos, com 71 cm de diâmetro, em velocidade próxima a $4,5 \text{ km h}^{-1}$) e de duas gradagens (grade niveladora excêntrica, com 36 discos de 51 cm de diâmetro, na velocidade próxima a $5,0 \text{ km h}^{-1}$). O milho foi semeado com espaçamento de $0,9 \text{ m}$ entre fileiras e cinco plantas por metro linear, com semeadora manual, adubado superficialmente com $300 \text{ kg (ha cultivo)}^{-1}$ (1996 a 1998) e $250 \text{ kg (ha cultivo)}^{-1}$ (1999 a 2000) da fórmula 5-20-20. A adubação de cobertura foi feita com

$100 \text{ kg (ha cultivo)}^{-1}$ de N (uréia), em duas aplicações (uma aos 45 e outra aos 60 dias da semeadura). A aveia preta foi semeada com semeadora provida de sulcador tipo discos duplos excêntricos, de fluxo contínuo, para distribuição das sementes e do adubo, com espaçamento de $0,17 \text{ m}$ entre fileiras e densidade de semeadura de 350.000 plantas por hectare. Efetuou-se a adubação básica com $150 \text{ kg (ha cultivo)}^{-1}$ da fórmula 5-20-20, por ocasião da semeadura, bem como a adubação de cobertura, com a aplicação de $50 \text{ kg (ha cultivo)}^{-1}$ de N (uréia), em dose única, 30 dias após a semeadura.

Por ocasião da colheita das culturas, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo, retiradas das parcelas experimentais e picadas em frações de tamanho entre 15 e 20 cm de comprimento, sendo seus resíduos manejados, conforme os tratamentos antes descritos.

Foram realizados dez testes de erosão com chuva simulada, consistindo cada um deles de uma única chuva, com intensidade constante planejada de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ (equivalente a $1.279 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e duração de 90 min , aplicada logo após a colheita de uma cultura e do preparo do solo (onde ele era previsto) para plantio da cultura seguinte.

Por ocasião da colheita de uma cultura e antes do preparo do solo para a cultura seguinte, foram avaliados o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e a densidade do solo, nas profundidades de $0-0,1 \text{ m}$ e $0,1-0,2 \text{ m}$. Após o preparo do solo e antes de cada teste de erosão, foram avaliadas: rugosidade e consolidação superficiais, umidade gravimétrica do solo, massa de raízes e massa de raízes + resíduos culturais incorporados, as três últimas nas profundidades de $0-0,1 \text{ m}$ e $0,1-0,2 \text{ m}$.

A distribuição de tamanho dos agregados de solo foi efetuada pela técnica de peneiramento úmido, colocando-se 50 g de solo em um conjunto de peneiras com malhas de $4,76$; $2,0$; $1,0$; $0,5$; e $0,25 \text{ mm}$, o qual era submerso em água por dez minutos e, após, oscilado, também por dez minutos, em aparelho de oscilação mecânica, sendo expressa em termos de DMP, conforme descrito por Kemper & Chepil (1965). Em razão da uniformidade nos valores de DMP entre as profundidades de $0-0,1 \text{ m}$ e $0,1-0,2 \text{ m}$ de solo, em todos os tratamentos, os resultados foram apresentados em termos médios, para a profundidade integrada de $0-0,2 \text{ m}$. A umidade gravimétrica e a densidade do solo (técnica do anel volumétrico) foram avaliadas segundo os métodos descritos por Forsythe (1975).

A rugosidade superficial do solo foi avaliada por meio de observação visual e sua comparação com valores encontrados na literatura para preparos de solo semelhantes (Johnson et al., 1979; Cogo et al., 1983), adotando-se os termos *média*, para o preparo convencional (uma aração e duas gradagens), e *mínima*, para a semeadura direta (sem preparo do solo).

A consolidação da superfície do solo também foi avaliada perceptivamente, considerado-a *ausente*, no solo recém-preparado, e *presente*, no solo mantido sob semeadura direta por relativamente longo período de tempo (Dissmeyer & Foster, 1981; Streck & Cogo, 2003). A massa de raízes + resíduos culturais incorporados ao solo e a massa de raízes foram avaliadas nas profundidades de 0–0,1 m e 0,1–0,2 m de solo, utilizando-se um trado com 3,81 cm de diâmetro, conforme procedimento adotado por Streck (1999).

Durante as chuvas simuladas, a cada três minutos após o início da enxurrada, mediu-se a taxa instantânea de descarga para posterior cálculo da perda total de água. Ao mesmo tempo, eram coletadas amostras de enxurrada para posterior cálculo da concentração de sedimentos. A perda total de água, taxa instantânea de perda de solo e perda total de solo foram calculadas, conforme sugerido por Cogo (1981). Em virtude de variações na intensidade das chuvas aplicadas e na declividade das parcelas experimentais, as perdas totais observadas de solo foram ajustadas para a intensidade de chuva planejada ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), segundo Cogo (1981), bem como para a declividade média das parcelas experimentais ($0,08 \text{ m m}^{-1}$), segundo Wischmeier & Smith (1978), enquanto as perdas totais observadas de água foram ajustadas somente para a intensidade de chuva planejada, também segundo Cogo (1981).

A comparação dos resultados entre tratamentos tomou por base a média dos valores obtidos em cada um dos dez testes de erosão realizados durante o período experimental, sem referência à significância estatística. Este procedimento deveu-se não só às limitações impostas pela natureza da pesquisa e suas inerentes dificuldades de realização e às naturais variabilidades (espacial e temporal) nos resultados obtidos, conforme exposto em Embrapa (1975) e Ollesch & Vacca (2002), mas também ao consenso entre os pesquisadores de erosão que atuam no campo.

Tal procedimento, dentro de limites, estabelecidos pela lógica e pelo bom senso, é plenamente justificado

e válido, visto que pesquisas de erosão do solo em campo, realizadas sob condições controladas, como esta, com chuva simulada, permitem ao pesquisador experiente, qualificado e atento, continuamente visualizar, *in loco*, o desdobramento do processo erosivo sob a ação daquelas variáveis que mais o estão influenciando, naquele momento, tais como: chuva, solo, inclinação do declive, comprimento do declive e componentes de manejo. Isto propicia ao pesquisador de erosão subsídios suficientes para a consistente interpretação e discussão dos dados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições físicas de superfície do solo

Dados os objetivos do trabalho, os resíduos culturais foram removidos das parcelas experimentais e, ou, incorporados ao solo por ocasião dos testes com chuva simulada. Assim, em que pese algum resquício dos mesmos em dois dos tratamentos estudados (Quadro 1), pode-se considerar que a cobertura superficial do solo foi variável ausente neste estudo. Do ponto de vista prático, tal situação é semelhante à que ocorre quando do uso da parte aérea da cultura para fenação (no caso da aveia preta) ou para silagem (no caso do milho).

Quanto à rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de preparo, qualitativamente avaliada, ela foi considerada *média*, no preparo convencional, e *mínima*, na semeadura direta (Quadro 1). Estas descrições da rugosidade são consistentes com os resultados observados por Allmaras et al. (1967), Johnson et al. (1979), Cogo (1981) e Bertol et al. (1997) em tratamentos de preparo do solo similares. Portanto, esta variável esteve presente neste estudo, tendo influenciado a erosão hídrica.

Em relação à consolidação da superfície do solo, ela esteve presente somente na semeadura direta (devido ao cessamento das operações de preparo do

Quadro 1. Caracterização qualitativa das condições físicas de superfície do solo por ocasião dos testes de erosão com chuva simulada

Condição física de superfície do solo	Tratamento			
	Mi/Av-PC-res. inc. ⁽¹⁾	Mi/Av-PC-res. rem. ⁽²⁾	Mi/Av-SD-res. rem./ret. ⁽³⁾	S/c-PC ⁽⁴⁾
Cobertura por resíduo cultural	Resquício	Ausente	Resquício	Ausente
Rugosidade induzida pelo preparo	Média	Média	Mínima	Média
Consolidação do solo	Ausente	Ausente	Presente	Ausente

⁽¹⁾ Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado. ⁽²⁾ milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido. ⁽³⁾ milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado. ⁽⁴⁾ sem cultivo, preparo convencional.

solo), uma vez que os tratamentos com preparo convencional apresentavam completa mobilização da camada superficial. Assim, da mesma forma como a rugosidade superficial, a consolidação da superfície do solo, presente ou ausente, também foi variável influente neste estudo.

Condições físicas de subsuperfície do solo

- Densidade do solo

Os valores médios de densidade do solo, por ocasião da colheita das culturas, encontravam-se relativamente altos e semelhantes nos tratamentos com preparo convencional, porém menores do que na semeadura direta, independentemente do cultivo e manejo dos resíduos culturais e da profundidade de solo (Quadro 2). A similaridade dos valores desta variável nos tratamentos com preparo convencional deveu-se à homogeneização da massa de solo, causada pelo preparo. Já a maior densidade do solo observada na semeadura direta, nas duas profundidades de solo (Quadro 1), resultou do relativamente longo período de tempo de reconsolidação de sua superfície – 5,5 anos, o que fortemente influenciou a quantidade total e distribuição de raízes das culturas e o espaço poroso, especialmente de macroporos, refletindo-se em influência negativa na perda de água por erosão hídrica neste tratamento.

- Umidade gravimétrica do solo

Ao contrário das demais condições físicas de subsuperfície do solo avaliadas, os teores de água no solo antecedentes às chuvas simuladas, para uma mesma profundidade de solo, variaram pouco entre os tratamentos, tendo sido, no entanto, sempre maiores na profundidade de 0,1–0,2 m do que na de 0–0,1 m (Quadro 2), o que é normal. Assim, a exemplo da cobertura superficial, a umidade antecedente do solo também não influenciou este estudo.

- Biomassa vegetal subterrânea

Os valores médios de biomassa vegetal subterrânea (massa de raízes + resíduos culturais incorporados ao solo e massa de raízes), avaliada ao final dos ciclos do milho e da aveia preta, variaram consideravelmente entre tipos de cultivo, métodos de preparo e profundidades do solo (Quadro 2). O tratamento sem cultivo e com preparo convencional (testemunha), dado o modo em que foi conduzido, não apresentou biomassa vegetal (aérea ou subterrânea). Por outro lado, o preparo convencional com incorporação do resíduo cultural apresentou biomassa vegetal subterrânea (massa de raízes + resíduos culturais incorporados) cerca de duas vezes maior do que a verificada nos demais tratamentos com cultivo, os quais continham somente massa de raízes, independentemente do cultivo anterior e da profundidade de solo, o que teve influência positiva na agregação do solo. A variação observada nos valores de biomassa vegetal subterrânea entre as duas profundidades de solo nos tratamentos com cultivo já era esperada, a qual foi maior na camada superficial (0–0,1 m).

Contudo, apesar da semeadura direta e do preparo convencional com remoção do resíduo cultural apresentarem valores semelhantes de biomassa vegetal total subterrânea, tanto após o cultivo do milho, quanto o da aveia preta, os valores de massa de raízes na semeadura direta foram sempre superiores aos do preparo convencional com o resíduo cultural removido na profundidade de 0–0,1 m e inferiores na de 0,1–0,2 m de solo. Esta concentração diferenciada de raízes na camada superficial do solo na semeadura direta deveu-se ao impedimento físico e ao desenvolvimento das raízes, causado pela maior densidade do solo na profundidade de 0,1–0,2 m, como já mencionado, significando que o preparo do solo influenciou o desenvolvimento de raízes neste estudo.

Quadro 2. Valores médios da densidade do solo antes do preparo e da umidade do solo e biomassa vegetal subterrânea após o preparo e antes dos testes de erosão com chuva simulada, em duas profundidades de solo

Tratamento	Densidade do solo		Umidade gravimétrica do solo		Biomassa vegetal subterrânea					
					Ao final do ciclo do milho			Ao final do ciclo da aveia preta		
	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m	Total	0-0,1 m	0,1-0,2 m	Total
	— kg m ⁻³ —		— kg kg ⁻¹ —		— kg ha ⁻¹ —					
Mi/Av-PC-res. inc. ⁽¹⁾	1530	1630	0,113	0,143	8032*	2717*	10749*	5341*	2600*	7941*
Mi/Av-PC-res. rem. ⁽²⁾	1540	1680	0,107	0,133	3419**	1750**	5169**	3063**	1260**	4323**
Mi/Av-SD-res.rem./ret. ⁽³⁾	1660	1730	0,115	0,133	4218**	1474**	5692**	3354**	951**	4305**
S/c – PC ⁽⁴⁾	1540	1650	0,105	0,139	0	0	0	0	0	0

⁽¹⁾ Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado. ⁽²⁾ milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido. ⁽³⁾ milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado. ⁽⁴⁾ sem cultivo, preparo convencional; *massa seca de raízes + resíduos culturais incorporados; **massa seca de raízes.

Em relação à cultura do milho, percebeu-se que, por sua característica de produzir maior massa da parte aérea e da subterrânea do que a aveia preta, a sua biomassa vegetal subterrânea foi superior à desta última cultura, independentemente da profundidade e do preparo do solo. Estas diferenças na quantidade de biomassa vegetal aportada ao solo nos diferentes métodos de preparo influenciaram a agregação do solo e, conseqüentemente, as perdas de solo e água por erosão hídrica.

- Índice DMP dos agregados de solo

No início do estudo (primeiro teste de erosão), os valores do índice DMP (diâmetro médio ponderado) dos agregados do solo eram similares e baixos em todos os tratamentos (Figura 1), indicando o elevado grau de degradação física deste solo. Por outro lado, após 5,5 anos de experimentação (décimo teste de erosão), os valores de DMP encontravam-se relativamente altos nos três tratamentos com cultivo, mantendo-se baixo apenas no preparo convencional sem cultivo (tratamento-testemunha).

Em relação aos valores médios do período experimental, o preparo convencional com incorporação do resíduo cultural foi o que apresentou maior índice DMP, considerando o seu maior aporte de biomassa vegetal ao solo durante os 5,5 anos de experimentação (Quadro 2). O preparo convencional com remoção do resíduo cultural e a semeadura direta, considerando o menor, porém semelhante, aporte de biomassa vegetal ao solo, apresentaram valores médios de DMP intermediários aos dos demais tratamentos e semelhantes entre si, enquanto o preparo convencional sem cultivo (testemunha), em virtude da ausência de biomassa vegetal, manteve valor de DMP igual ao observado no início do estudo (Figura 1). Esta clara tendência de aumento dos valores de DMP no tempo indica a melhoria gradual da estrutura do solo durante os 5,5 anos de experimentação, ocasionada pelo contínuo aporte de material vegetal ao solo, tanto pela ação combinada dos resíduos culturais incorporados mais as raízes, quanto apenas das raízes, independentemente do preparo do solo. Este fato promove a agregação das partículas de solo em unidades de maior diâmetro, além de propiciar melhoria na sua estabilidade (Allison, 1968; Tisdall & Oades, 1982; Silva & Mieleniczuk, 1997).

Analisando os valores médios de DMP existentes ao final dos ciclos do milho e da aveia preta (Figura 2), percebe-se uma clara tendência de ser tal valor maior para a última cultura. Esta tendência, provavelmente, se deve ao fato de a aveia preta, apesar de resultar em menor massa de raízes do que o milho, apresentar sistema radicular distinto, com melhores condições para a agregação das partículas de solo, confirmando que a espécie cultural e a época do ano são fatores influentes na estruturação do solo (Wilson & Browning, 1945;

Tisdall & Oades, 1982; Kay (1990); Paladini & Mieleniczuk, 1991).

O índice DMP dos agregados de solo pode também servir de indicativo de sua resistência à erosão hídrica (Yoder, 1936; Wilson & Browning, 1945; Wischmeier & Mannering, 1969; Le Bissonnais &

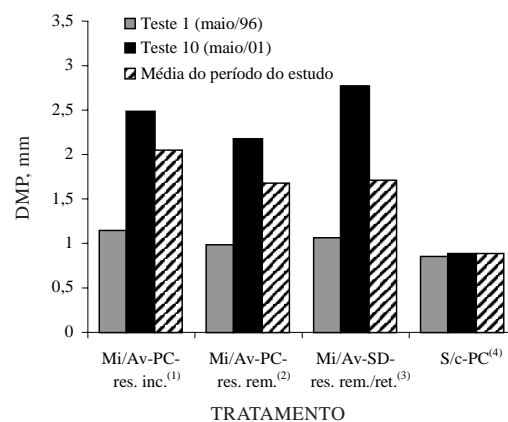


Figura 1. Valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo no início (Teste 1) e fim (Teste 10) do experimento e média do período de estudo (¹Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado; ²milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido; ³milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado; ⁴sem cultivo, preparo convencional).

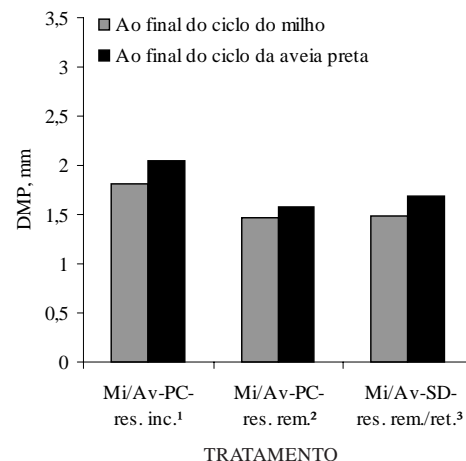


Figura 2. Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo ao final dos ciclos do milho e da aveia preta (¹Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado; ²milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido; ³milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado; ⁴sem cultivo, preparo convencional).

Arrouyas, 1997). Assim, os valores diferenciados de DMP encontrados nos tratamentos estudados, associados a outras condições físicas de superfície e subsuperfície, tiveram influência nas perdas de água e solo por erosão hídrica.

Tempo de início, taxa constante e quantidade total de enxurrada

O tempo de início da enxurrada evidencia o efeito das condições superficiais do solo no retardamento da enxurrada, enquanto a taxa constante expressa o excedente da água da chuva por unidade de tempo (a porção que não mais infiltra no solo após sua saturação). Assim, quanto maior o tempo de início e menor a taxa constante de enxurrada, maior é a quantidade de água que infiltra ou fica retida na superfície do solo e menor é a perda total da mesma.

Observando os dados constantes no quadro 3, verifica-se que os valores médios de tempo de início e de taxa constante de enxurrada variaram expressivamente entre os tratamentos. Os com preparo convencional, por apresentarem superfície de solo rugosa e não consolidada (Quadro 1), possibilitaram maior infiltração de água e retiveram por mais tempo a enxurrada nas suas microdepressões. Isto resultou em maiores tempos de início e em menores taxas constantes da enxurrada em tais tratamentos do que na semeadura direta. Este fato deveu-se, principalmente, não só à semeadura direta, que apresenta mínima rugosidade superficial e tem sua superfície consolidada, ocasionadas pelo cessamento das operações de preparo, já há 5,5 anos (Quadro 1), mas também ao fato de ser a densidade do solo mais elevada (Quadro 2), fatos que, de forma combinada, dificultaram a infiltração de água e favoreceram o escoamento superficial, como também observado por Cogo (1981) e Bertol et al. (1997).

No preparo convencional com incorporação do resíduo cultural, na condição de solo recém-mobilizado, decorrente do maior aporte de biomassa vegetal ao solo e de sua conseqüente melhor estrutura (maior índice DMP), a rugosidade superficial resistiu melhor à ação de rebaixamento das gotas da chuva, retendo a enxurrada por mais

tempo na superfície do solo do que os demais tratamentos e, com isto, permitindo maior infiltração de água. O preparo convencional sem cultivo (testemunha), com solo também recém-mobilizado, mesmo com rugosidade semelhante (média) à dos tratamentos com preparo convencional e com cultivo, por apresentar uma estrutura frágil (baixo índice DMP – Figura 1), teve sua rugosidade superficial rapidamente diminuída pela ação das gotas da chuva, o que favoreceu o livre escoamento da enxurrada, fato também observado por Johnson et al. (1979), Cogo (1981), Bertol et al. (1997) e Castro (1998). Isto ocasionou o menor tempo de início e a maior taxa constante de enxurrada nos tratamentos com solo mobilizado.

O preparo convencional com remoção do resíduo cultural, por mostrar índice DMP intermediário entre os dois tratamentos recém-mencionados, apresentou valores de tempo de início e taxa constante de enxurrada igualmente intermediários. Tais valores de tempo de início e taxa constante de enxurrada refletiram-se diretamente nos valores de perda de água por erosão hídrica.

Como resultado das diferentes condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, e conseqüente variação no tempo de início e na taxa constante de enxurrada, as perdas totais de água também variaram (Figura 3). A semeadura direta, com resíduo cultural removido para aplicação das chuvas simuladas mas depois retornado, foi a que apresentou a maior perda total de água (69 % da chuva aplicada). Isto é explicado pelas condições físicas de superfície e subsuperfície do solo desfavoráveis à retenção e infiltração da água da chuva neste tratamento, bem como ao seu conseqüente curto tempo de início e alta taxa constante de enxurrada.

Em termos práticos, isto indica que a semeadura direta, principalmente com pouca massa de resíduo cultural sobre a superfície e com camadas de solo mais adensadas (consolidadas), como normalmente ocorre quando se faz fenação, silagem ou pastejo intensivo de uma cultura, necessita de especial atenção para reduzir as perdas de água por erosão hídrica.

Quadro 3. Valores médios do tempo de início e da taxa constante de enxurrada

Tratamento	Início da enxurrada	Taxa constante de enxurrada
	min	mm h ⁻¹
Mi/Av-PC-res. inc. ⁽¹⁾	33	33
Mi/Av-PC-res. rem. ⁽²⁾	24	36
Mi/Av-SD-res.rem./ret. ⁽³⁾	5	51
S/c - PC ⁽⁴⁾	16	43

⁽¹⁾ Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado. ⁽²⁾ milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido. ⁽³⁾ milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado. ⁽⁴⁾ sem cultivo, preparo convencional.

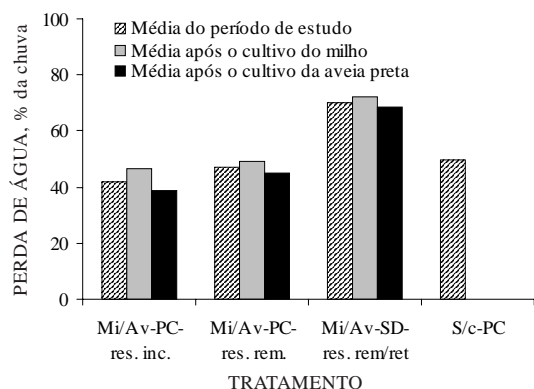


Figura 3. Valores médios da perda total de água do período de estudo, após o cultivo do milho e após o cultivo da aveia preta (¹Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado; ²milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido; ³milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado; ⁴sem cultivo, preparo convencional).

O preparo convencional com resíduo cultural incorporado, na condição de solo recém-mobilizado, foi o que apresentou a menor perda total de água (41 % da chuva aplicada), porém próxima à do preparo convencional com resíduo cultural removido e à do preparo convencional sem cultivo (testemunha). Isto é explicado pelo fato de que, no tratamento com incorporação do resíduo cultural, as condições físicas momentâneas de solo para retenção e infiltração de água eram melhores, como já discutido, o que resultou em maior tempo de início e em menor taxa constante de enxurrada.

Em relação aos tipos de cultivo, a perda média total de água observada nos testes realizados após o cultivo do milho tendeu a ser maior (10 a 20 %, dependendo do preparo do solo) do que a observada na aveia preta. Como será visto adiante, os resultados observados de tempo de início, taxa constante e quantidade total de enxurrada tiveram baixa relação com os resultados de taxa e perda total de solo, indicando que as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo influentes nas perdas de água por erosão hídrica são distintas das influentes nas perdas de solo pelo mesmo fenômeno.

Taxa e perda total de solo

A taxa de perda de solo é função do produto da concentração de sedimentos na enxurrada pela taxa desta e, do mesmo modo que a perda total de solo, reflete, principalmente, as condições físicas de superfície do solo determinantes do processo erosivo. Assim, quanto menor o tempo de início da enxurrada e maiores as taxas de enxurrada e de perda de solo, maior a perda total de solo por erosão hídrica. Os valores médios da taxa de perda de solo durante o

período de tempo em que a enxurrada se encontrava constante variaram muito entre os tratamentos (Figura 4).

Vale destacar que o preparo convencional com incorporação do resíduo cultural, na condição de solo recém-mobilizado, foi o que apresentou a menor taxa de perda de solo sob enxurrada constante, enquanto o preparo convencional com resíduo cultural removido e o preparo convencional sem cultivo (testemunha), ambos também com solo recém-mobilizado, apresentaram, respectivamente, valores médios de taxa de perda de solo quatro e dez vezes maiores do que a do tratamento anterior.

Tal diferença deveu-se às melhores condições físicas de superfície e subsuperfície do solo no tratamento com incorporação do resíduo cultural, como já discutido, com destaque para o efeito mais prolongado, e positivo, da rugosidade superficial na diminuição da velocidade da enxurrada e no aprisionamento dos sedimentos da erosão em suas microdepressões, resultando em menor capacidade de transporte do fluxo superficial.

Na semeadura direta, cujo resíduo cultural fora removido para aplicação das chuvas mas depois retornado, apesar das condições físicas de superfície e subsuperfície do solo que favoreceram a elevada perda de água (Figura 3), a taxa de perda de solo sob enxurrada constante foi intermediária em relação à dos demais tratamentos. Isto indica que, mesmo com maior capacidade de transporte da enxurrada, a desagregação das partículas de solo por ação de impacto das gotas da chuva e, ou, de cisalhamento da enxurrada foi baixa. Estando este tratamento com ausência de cobertura por resíduo cultural, assim como os demais, a baixa desagregação de solo nele ocorrida pode ser

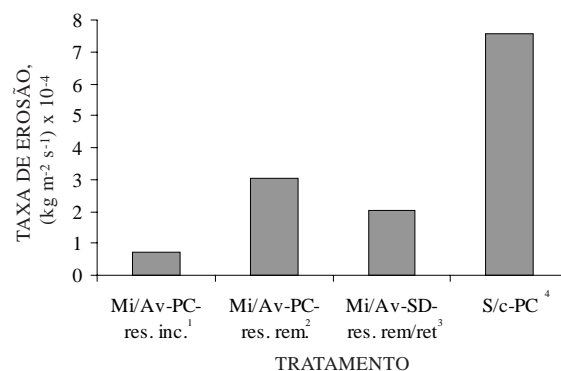


Figura 4. Valores médios da taxa de perda de solo sob enxurrada constante (¹Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado; ²milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido; ³milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado; ⁴sem cultivo, preparo convencional).

justificada pela consolidação de sua superfície, a qual aumentou a resistência do solo à desagregação de suas partículas (Dissmeyer & Foster, 1981; Streck & Cogo, 2003).

Assim como as taxas de perda de solo sob enxurrada constante, as perdas médias totais de solo do período de estudo também variaram entre os tratamentos (Figura 5). O preparo convencional com resíduo cultural incorporado, na condição de solo recém-mobilizado, foi o que apresentou a menor perda total de solo, enquanto o preparo convencional com resíduo cultural removido e o preparo convencional sem cultivo (testemunha), ambos com solo recém-mobilizado, apresentaram, respectivamente, valores quatro e oito vezes maiores do que o primeiro tratamento. Isto ocorreu porque, no preparo convencional com resíduo cultural incorporado, as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo ocasionaram diminuição da desagregação e do transporte das partículas de solo.

No outro extremo, no preparo convencional sem cultivo (testemunha), as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo que reduziram a perda de água não foram igualmente eficientes na redução da desagregação e do transporte das partículas de solo, resultando na maior perda total de solo. Isto está de acordo com o propósito principal de inclusão deste tratamento (testemunha) no estudo, qual seja, o de representar a condição mais favorável para ocorrência da máxima perda de solo por erosão hídrica (Wischmeier & Smith, 1978).

Já o preparo convencional com resíduo cultural removido e a semeadura direta, mesmo com condições físicas de superfície e subsuperfície do solo

e valores de perda de água diferenciados, apresentaram valores de perda total de solo semelhantes entre si e intermediários em relação aos dos demais tratamentos. Este fato evidencia a complexa e forte interação existente entre as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo que governam a magnitude do processo erosivo, sendo diferente a resposta do fenômeno para a perda de solo, comparada à perda de água.

Do ponto de vista prático, este fato é muito importante, pois ele evidencia que, mesmo com o uso da semeadura direta, não sendo o manejo dos resíduos culturais apropriado para manter protegida a superfície do solo o tempo todo, as perdas de solo por erosão podem ser elevadas. Em relação ao sistema de cultivo, as perdas de solo observadas após a cultura do milho foram praticamente o dobro das observadas após a cultura da aveia preta, independentemente do preparo do solo e da incorporação ou remoção dos resíduos culturais.

Considerando o maior aporte de biomassa vegetal ao solo propiciado pela cultura do milho, compreendida pela parte aérea e pelas suas raízes, poder-se-ia esperar que a perda total de solo após o cultivo do milho fosse menor do que após o cultivo da aveia preta. Porém, exatamente o oposto foi observado. Talvez tal ocorrência seja devida ao fato de que, além da influência de outros fatores associados às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, porém não medidos, mas que têm influência no processo erosivo pela água da chuva, a cultura da aveia preta tendeu a promover melhor agregação do solo, como anteriormente discutido. Contudo, estas considerações devem ser mais bem investigadas.

CONCLUSÕES

1. A incorporação sistemática dos resíduos culturais ao solo pelo período de 5,5 anos recuperou satisfatoriamente sua estrutura originalmente degradada e, decorrente disso, reduziu consideravelmente a erosão hídrica.

2. O preparo convencional do solo, na condição de recém-efetuado, induziu maior rugosidade superficial e, com isto, maior capacidade de retenção e de infiltração de água da chuva na sua superfície, resultando em considerável retardamento da enxurrada e em relativamente baixo escoamento superficial, independentemente do cultivo e da incorporação ou remoção dos resíduos culturais.

3. O cessamento do preparo do solo pelo período de 5,5 anos, como ocorreu na semeadura direta, reconsolidou sua superfície e, conseqüentemente, aumentou a resistência do solo à erosão hídrica, favorecendo, porém, o escoamento superficial no mais elevado grau observado no estudo.

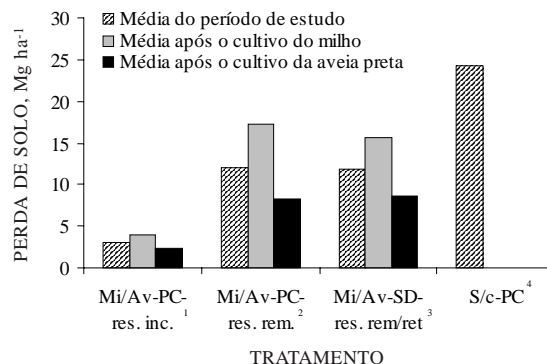


Figura 5. Valores médios da perda total de solo do período de estudo, após o cultivo do milho e após o cultivo da aveia preta (¹Milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural incorporado; ²milho/aveia preta, preparo convencional, resíduo cultural removido; ³milho/aveia preta, semeadura direta, resíduo cultural removido e retornado; ⁴sem cultivo, preparo convencional).

4. O cultivo com aveia preta conferiu ao solo maior resistência à erosão hídrica do que o cultivo com milho, independentemente do preparo do solo e da incorporação ou remoção dos resíduos culturais; contudo, ele teve pouca influência no escoamento superficial.

5. As condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo que governam as perdas de solo por erosão hídrica são distintas das que governam as perdas de água pelo mesmo fenômeno.

AGRADECIMENTOS

Ao Eng^o-Agr^o (M.Sc.) Arcângelo Mondardo e ao Técnico Agrícola Agostinho T. Santos de Oliveira, respectivamente, coordenador e funcionário do Projeto FINEP/PRONEX - Solos (atualmente CNPq/PRONEX – Solos), e aos ex-bolsistas de iniciação científica, Jair W. Zaleski (FAPERGS) e Alessandra S. Campos (CNPq), pelo valioso auxílio na realização dos trabalhos de campo e das análises de laboratório. À Estação Experimental Agronômica da UFRGS e aos seus funcionários que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste estudo.

LITERATURA CITADA

- ALLISON, F.E. Soil aggregation – some facts and fallacies as seen by a microbiologist. *Soil Sci.*, 106:136-143, 1968.
- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E. & HOLT, R.F. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:550-556, 1967.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferente 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.
- BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R. & SLONEKER, L.L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. *J. Soil Water Conserv.*, 21:61-63, 1966.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLodi, R. & CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:383-391, 1999.
- CASTRO, L.G. Erosão hídrica relacionada à rugosidade superficial do solo na ausência e na presença de cobertura por resíduos de aveia. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 120p. (Tese de Mestrado)
- 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 reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:368-373, 1983.
- COGO, N.P. & STRECK, E.V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:153-164, 2003.
- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4:60-64, 1939.
- DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conser.*, 36:235-240, 1981.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre o uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., Londrina, 1975. Anais. Londrina, IAPAR, 1975. p.107-120.
- FORSYTHE, W. Física de suelos: manual de laboratorio. San José, Costa Rica: IICA, 1975. 212p.
- FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C.T. Hydrologic modeling of small watersheds. Madison, American Society of Agricultural Engineering, 1982. p.297-380.
- JOHNSON, C.B.; MANNERING, J.V. & MOLDENHAUER, W.C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:772-777, 1979.
- KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12:1-52, 1990.
- KIEHL, J.E. Manual de edafologia. São Paulo, SP. Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics, measurement and sampling. 1.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.
- LE BISSONNAIS, Y. & ARROUYAS, D. Aggregate stability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Europ. J. Soil Sci.*, 48:39-49, 1997.
- 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*, 14:73-80, 1990.
- LOPES, P.R.C. Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. 116p. (Tese de Mestrado)
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- OLLESCH, G. & VACCA, A. Influence of time on measurement results of erosion plot studies. *Soil Till. Res.*, 67:23-39, 2002.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K. & YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: a guide conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, USDA, 1997. (Agriculture Handbook, 537)

- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soil in the tropics. New York, J. Willey, 1976.
- SILVA, I.F. Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 126p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. R. Bras. Ci. Solo, 21:113-117, 1997.
- 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)
- STRECK, E.V. & COGO, N.P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. R. Bras. Ci. Solo, 27:141-152, 2003.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. & SCHNETDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 127p.
- SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 8:71-72, 1965.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. J. Soil Sci., 33:141-163, 1982.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. Austr. J. Soil Res., 17:429-441, 1979.
- VOLK, L.B.S. Erosão hídrica relacionada à condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. 68p. (Tese de Mestrado)
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agron., 28:337-351, 1936.
- WILSON, H.A. & BROWNING, G.M. Soil aggregation yields, runoff and erosion as affected by cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 10:51-57, 1945.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:131-137, 1969.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)