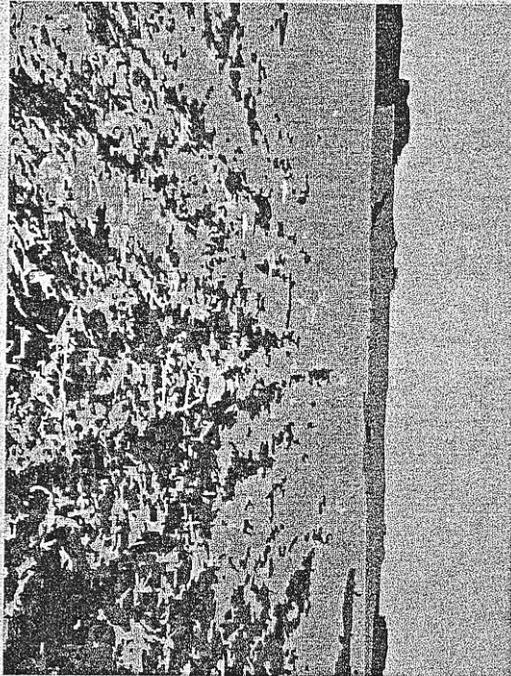


Manejo e Fertilidade de Solos em Plantio Direto

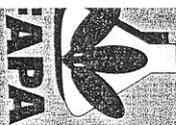


Organizado por

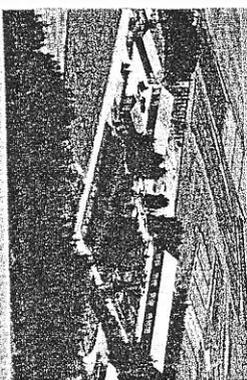
Sandra Mara Vieira Fontoura

Cimélio Bayer

Guarapuava, PR
2009



Fundação Agrária de
Pesquisa Agropecuária



A FAPA, localizada em Entre Rios, Guarapuava, PR, foi instituída em 25 de novembro de 1994, tendo como mantenedora a Cooperativa Agrária Agroindustrial.

Sua missão é "Desenvolver e difundir tecnologias adequadas à região de atuação da Cooperativa Agrária que promovam a sustentabilidade do agronegócio e do meio ambiente."

A FAPA mantém em seu quadro de funcionários Engenheiros, Agrônomos com formação de nível doutorado e mestrado, Técnicos em Agropecuária e funcionários de campo. As áreas de pesquisa são manejo de culturas, melhoramento de plantas, manejo e fertilidade do solo, Hossanidade, tecnologia e mecanização agrícola. As culturas mais estudadas são soja e milho no verão, cevada, trigo e aveia branca no inverno.

Atender as demandas de pesquisa dos cooperados, das indústrias e do departamento técnico da Cooperativa Agrária é um dos principais objetivos da FAPA. Além disso, a FAPA é um "pólo regional de difusão de tecnologia", promovendo eventos técnicos e dias de campo, nos quais participam agricultores e técnicos da região.

Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária

MANEJO E FERTILIDADE DE SOLOS EM PLANTIO DIRETO

2ª edição

Organizado por

Sandra Mara Vieira Fontoura
Cimélio Bayer

Guarapuava, PR

2009

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA
Praça Nova Pátria, S/N
Colônia Vitória – Entre Rios
CEP 85139-400 Guarapuava, PR
Telefone: (42) 3625 8035
Fax: (42) 3625 8365

Tratamento editorial: Gisel Dieguez Cardoso
Capa: Rodrigo Ferrando Roman
Ficha catalográfica preparada pelo Departamento de Ciência e Gestão da
Informação, Universidade Federal do Paraná – UFPR.

ISBN 978-85-99211-09-0

Manejo e fertilidade de solos em plantio direto / organizado por
Sandra Mara Vieira Fontoura, Cimélio Bayer. --
Guarapuava, PR : Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária,
2009. 232p. ; 23 cm.

ISBN 978-85-99211-09-0

I. Ciência do solo. I. Fontoura, Sandra Mara Vieira. II. Bayer,
Cimélio. III. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária.

CDD 631.4

APRESENTAÇÃO

O presente material teve origem na realização de um curso de aperfeiçoamento em manejo e fertilidade de solos em plantio direto organizado pela Cooperativa Agrária Agroindustrial. O curso representou uma demanda da assistência técnica da Cooperativa e consistiu de dez módulos de treinamento, realizados no período compreendido entre dezembro de 2005 e dezembro de 2006, sob coordenação da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) e do Setor de manejo de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os módulos abordaram temas relacionados à química de solos, amostragem do solo, dinâmica da acidez e calagem, uso de pré-culturas e manejo da adubação nitrogenada, dinâmica e adubação fosfatada e potássica, adubação em sistemas e ciclagem de nutrientes, dinâmicas de micronutrientes no solo e resposta das culturas, princípios e uso da adubação foliar, interpretação de análises de solo e recomendação de fertilizantes e ainda, dois módulos foram relacionados ao diagnóstico e manejo da compactação e à conservação de solos em áreas cultivadas sob plantio direto. Como instrutores nos diferentes módulos foram convidados pesquisadores de destaque nacional quanto à experiência e linha de pesquisa consolidada nas diferentes temáticas do treinamento.

A primeira edição do livro “Manejo e fertilidade de solos em plantio direto”, a qual guardou a estrutura do treinamento quanto às suas temáticas, foi publicada em 2006, logo após o término do curso.

Em função do esgotamento dessa edição e da procura pelo material por profissionais e estudantes ligados à área agronômica, está sendo disponibilizada esta segunda edição, a qual foi gentilmente revisada e atualizada por seus respectivos autores.

Sandra Mara Vieira Fontoura

Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária

Cimélio Bayer

Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Anônima de Estudos Avançados em Física do Solo, Curitiba, PR, 446p. 1996.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-escuro de Eldorado do Sul, RS. R. Bras. Ci. Solo, 19:313-319. 1995.

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. (Tese de doutorado)

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 21:313-319. 1997.

TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J.; TEIXEIRA, L.A.J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 16:107-114. 1992.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado)

10 EROSIÃO E PRÁTICAS MECÂNICAS E VEGETATIVAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

José Elvir Denardin⁽¹⁾ & Rainoldo Alberto Kochhann⁽¹⁾

Introdução

A erosão hídrica do solo é a resultante da interação dos fatores potencial erosivo da chuva, susceptibilidade do solo à erosão, comprimento do declive, declividade do terreno, manejo de solo e de culturas e práticas conservacionistas complementares, como explicita pela Equação Universal de Perdas de Solo (Equação 1). Na inter-relação desses fatores, o potencial erosivo da chuva (R) e as características topográficas da área, comprimento do declive (L) e declividade do terreno (S) constituem o componente energético capaz de produzir erosão, e os fatores susceptibilidade do solo à erosão (K), manejo de culturas (C) e práticas mecânicas conservacionistas complementares (P) constituem o componente dissipador de energia (Equação 2). A erosão hídrica, assim interpretada, é, efetivamente, o trabalho mecânico resultante da energia incidente sobre o solo, a qual foi apenas parcialmente dissipada.

$$A = R K L S C P \quad [1]$$

Onde:

A = perda média anual de solo por erosão hídrica ($Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = fator erosividade da chuva, isto é, habilidade potencial da chuva em causar erosão ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo, isto é, vulnerabilidade ou susceptibilidade do solo à erosão ($t \text{ ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$);

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator declividade do terreno (adimensional);

C = fator manejo de solo e de culturas (adimensional);

P = fator prática mecânica conservacionista complementar (adimensional).

⁽¹⁾ Eng. Agr., Dr., Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, C. Postal 451. 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: denardin@cnpq.embrapa.br; rainoldo@cnpq.embrapa.br

$$A = E D \quad [2]$$

Onde:

A = perda média anual de solo por erosão hídrica ($Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

$E = RLS$ (fatores energéticos capazes de produzir erosão);

$D = KCP$ (fatores dissipadores de energia capazes de prevenir erosão).

Nesse contexto, vários outros aspectos são primordiais para a compreensão do processo de erosão hídrica:

▪ A energia mecânica que produz erosão se manifesta na forma de energia cinética ou de movimento e de energia potencial ou de posição. Em áreas agrícolas, a energia cinética é, absolutamente, predominante e é originária da gota de chuva que atinge a superfície do solo, e da enxurrada que escoa na superfície do solo;

▪ A energia cinética de um determinado corpo é expressa pela Equação 3.

$$E_c = \frac{m v^2}{2} \quad [3]$$

Onde:

E_c = energia cinética, em J;

m = massa, em kg;

v = velocidade, em $m \text{ s}^{-1}$.

Essa equação determina que a energia cinética varia diretamente com a massa do corpo em movimento e com o quadrado da velocidade de deslocamento desse corpo. A velocidade do corpo em movimento, por ser elevada ao quadrado, é o componente de maior contribuição para a quantidade final de energia disponível para a realização de trabalho.

Em termos de erosão hídrica, a massa “ m ” representa a massa de chuva ou de enxurrada e a velocidade “ v ” representa a velocidade de queda da gota de chuva ou a velocidade de escoamento da enxurrada na superfície do solo;

▪ A erosão é constituída pelos processos desagregação do solo, transporte de partículas de solo e sedimentação do material transportado.

A redução de qualquer um dos processos, desagregação ou transporte, pode reduzir perdas de solo por erosão. Tanto a gota de chuva quanto a enxurrada têm potencial para desagregar o solo, mas o transporte de partículas, em longa distância é, predominantemente, promovido pela enxurrada;

▪ A erosão hídrica, em função da fonte de energia causal, é dividida em dois processos:

– erosão em entressulcos ou de salpicamento: é a erosão promovida, exclusivamente, pela energia cinética gerada pelo impacto da gota de chuva sobre o solo. A energia erosiva da gota de chuva é proporcional ao tamanho da gota, que, por sua vez, é proporcional à intensidade da chuva. Assim, quanto maior a intensidade da chuva, maior o diâmetro médio da gota de chuva e maior a energia erosiva.

– erosão em sulcos: é a erosão promovida pela energia cinética gerada pela enxurrada. A energia erosiva produzida pela enxurrada é denominada de energia cisalhante que corresponde à ação de uma força cortante, tangencialmente à superfície do solo. De outra forma, a ação desagregadora do solo promovida pela enxurrada decorre da tensão cisalhante que a enxurrada exerce na superfície do solo que, por sua vez, é função do peso específico da água, da altura da lâmina de água que escoa e da declividade do terreno.

O princípio fundamental do controle da erosão hídrica está associado à dissipação da energia cinética da gota de chuva que toca a superfície do solo e à redução da energia cinética cisalhante da enxurrada. Nesse sentido, o controle efetivo da erosão hídrica é obtido mediante práticas de manejo de solo e de culturas voltadas para:

- reduzir o efeito do impacto da gota de chuva sobre o solo;
- reduzir o volume de enxurrada; e
- reduzir a velocidade da enxurrada.

Em termos práticos, a energia cinética da chuva não pode ser reduzida mediante interferências diretas na quantidade e/ou na intensidade das precipitações pluviais, mas pode ser dissipada, parcial ou totalmente, antes de a gota de chuva atingir a superfície do solo, tanto por plantas vivas quanto por resíduos culturais mantidos na superfície do solo. Para um mesmo índice de cobertura de solo, a dissipação da energia erosiva da gota de chuva promovida pelos resíduos culturais é mais eficaz do que a das plantas vivas

(exceto plantas rasteiras), em razão da dissipação de energia ocorrer junto à superfície do solo, não permitindo que a gota readquirir energia erosiva (processo denominado de gotejamento de copa). Assim, se os resíduos culturais estiverem cobrindo 100% da superfície do solo, toda a energia incidente da gota de chuva será dissipada e, conseqüentemente, não haverá erosão resultante do impacto da gota de chuva, ou seja, não haverá erosão em entressulcos ou de salpicamento. De outra forma, se os resíduos culturais estiverem cobrindo apenas 50% da superfície do solo, metade da energia incidente da gota de chuva será dissipada e, conseqüentemente, a erosão em entressulcos será reduzida também pela metade. Depreende-se dessa relação que a dissipação da energia erosiva da gota de chuva por resíduos culturais é proporcional ao índice de cobertura da superfície do solo. Essa constatação é de extrema relevância, pois a dissipação da energia erosiva da gota de chuva, em qualquer grau, reduz, proporcionalmente, a desagregação das partículas de solo, primeira e mais importante fase do processo erosivo. Essas considerações, entretanto, são válidas apenas enquanto não haver formação de enxurrada, pois a enxurrada, por si só, é um agente completo de erosão, tendo capacidade de desagregar e de transportar partículas de solo, bem como de translocar os resíduos culturais na superfície do solo. Mesmo que a enxurrada não transloque os resíduos culturais, as relações entre energia e trabalho erosivo podem ser alteradas, visto que, a enxurrada apresenta potencial para desagregar e transportar partículas de solo sob a cobertura do solo, desencadeando o processo de erosão em sulcos.

Do exposto, depreende-se que, para dissipar a energia erosiva da chuva, com o propósito de reduzir a erosão resultante do impacto da gota de chuva, ou seja, a erosão em entressulcos, a percentagem de cobertura de solo por resíduos culturais ou por plantas vivas constitui requisito primordial. Contudo, para reduzir a energia erosiva da enxurrada, com o propósito de reduzir a erosão em sulcos, o requisito de maior relevância é a redução da velocidade e da quantidade de enxurrada. Essas deduções encontram justificativa no modo como as forças da gota de chuva e da enxurrada atuam na superfície do solo. A força da gota de chuva é aplicada no modo normal à superfície do solo (ação de impacto ou de compressão) e a força da enxurrada é aplicada no modo tangencial à superfície do solo (ação cisalhante).

Concluindo, tanto a percentagem de cobertura de solo quanto a massa e a ancoragem da cobertura mantida na superfície do solo constituem requisitos primordiais para limitar a erosão do solo, tanto a erosão em entressulcos como a erosão em sulcos. No entanto, há risco desses requisitos não atenderem o propósito do controle efetivo da erosão hídrica e, por isso, requerem práticas conservacionistas complementares, como semeadura em contorno, terraços agrícolas, faixas de retenção e culturas em faixas. Em adição, esses requisitos poderão também não atender o propósito de manutenção da qualidade do ambiente, pois, mesmo diante de baixa ou de nenhuma carga de sólidos em suspensão na enxurrada, poderão permitir poluição química de mananciais por substâncias orgânicas e/ou inorgânicas adsorvidas às poucas partículas sólidas e/ou dissolvidas na água de enxurrada. Assim, deduz-se que a energia erosiva da gota de chuva é amenizada ou anulada pela cobertura de solo com plantas vivas e/ou com resíduos culturais mantidos na superfície do solo e que a energia erosiva da enxurrada é amenizada ou anulada por obstáculos mecânicos dispostos na superfície do solo, ao promoverem redução da velocidade e da quantidade da enxurrada.

Ação da enxurrada em declives acentuados e longos

Em terreno declivoso, mesmo com elevado percentual de cobertura de solo promovida por grande quantidade de palha, poderá haver falha de resíduos culturais quando ocorrer chuva intensa e formação de enxurrada.

A falha de resíduos culturais é conceituada como a perda de eficácia relativa dos resíduos culturais em reduzir as perdas de solo por erosão hídrica geradas, exclusivamente, pela enxurrada. A ocorrência desse processo erosivo depende, fundamentalmente, das relações entre a taxa de enxurrada, a quantidade, o tipo e o grau de decomposição dos resíduos culturais, a forma de manejo do solo e dos resíduos culturais e o grau e o comprimento de declive do terreno. Esse processo erosivo ocorre quando a força da enxurrada (tensão cisalhante da enxurrada) supera a resistência oferecida pelos resíduos culturais e passa a deslocá-los ao longo do declive ou quando a força da enxurrada (tensão cisalhante da enxurrada) supera a resistência oferecida pelo solo e passa a promover erosão em sulcos sob os resíduos culturais, sem removê-los do local original de depósito.

A falha de resíduos culturais, caracterizada pela translocação da cobertura do solo, pode ocorrer de duas formas:

a) remoção dos resíduos culturais, fragmento por fragmento, quando presentes, na superfície do solo, em pequena quantidade e/ou submetidos a chuvas de baixa intensidade;

b) remoção dos resíduos culturais em massa, quando presentes, na superfície do solo, em grande quantidade e/ou submetidos a chuvas de elevada intensidade.

Nesses dois casos, a tensão cisalhante da enxurrada é maior do que a tensão crítica de cisalhamento dos resíduos culturais (tensão cisalhante mínima necessária para movimentar os resíduos), caracterizando excesso de tensão cisalhante da enxurrada. No caso de falha dos resíduos culturais, caracterizada pela erosão em sulcos sob os resíduos culturais, a tensão cisalhante da enxurrada é maior do que a resistência do solo ao cisalhamento, caracterizando uma tensão crítica do solo ao cisalhamento.

Em qualquer desses tipos de falha de resíduos, ou seja, translocação de resíduos fragmento por fragmento, translocação de resíduos em massa e erosão em sulcos sob os resíduos culturais, ocorrerá aumento na taxa de erosão em sulco a partir do ponto de falha.

O processo erosivo caracterizado pela erosão em sulcos sob a cobertura do solo pode também ocorrer em áreas sob vegetação perene, como em pastagens. Nessa situação, a falha não é especificamente de resíduos culturais, mas da vegetação viva que promove a cobertura do solo, ao perder eficácia em reduzir as perdas de solo por erosão geradas pela enxurrada.

A distância entre o ponto de início do escoamento da enxurrada e o ponto onde ocorre a falha de resíduos culturais que cobrem o solo é denominada de comprimento crítico de declive e corresponde a distância máxima que a enxurrada pode escoar na superfície do solo sem comprometer a eficácia dos resíduos culturais em proteger o solo contra a erosão hídrica.

A partir do ponto de falha de resíduo, a taxa de perda de solo pela erosão em sulcos aumenta em relação à taxa observada até esse ponto. Contudo, o comprimento crítico de declive não necessariamente implica em aumento na taxa de perda de solo por erosão que supere a taxa de perda de solo tolerável para o solo em questão. O comprimento crítico de declive

também não infere que no ponto de falha dos resíduos culturais deva ser alocada uma prática mecânica para reduzir a energia cinética da enxurrada. A falha de resíduos culturais indica apenas perda de eficácia relativa da cobertura do solo na redução da erosão hídrica e, por isso, constitui informação valiosa para a tomada de decisão relativa à alocação e à implementação de prática conservacionista complementar.

Enxurrada em sistema plantio direto

Embora, no sistema plantio direto, o manejo de culturas exerça função primordial na dissipação da energia capaz de desencadear processos erosivos, há limites críticos de comprimento de declive em que essa eficácia é superada, permitindo ocorrência de erosão hídrica. Assim, mantendo-se constantes todos os fatores relacionados à erosão hídrica e aumentando-se apenas o comprimento do declive, tanto a quantidade quanto a velocidade da enxurrada produzidas por determinada chuva irão aumentar, elevando o risco de erosão. Na região subtropical úmida do Brasil, em razão da característica de elevada pluviosidade, sempre haverá algum período com excesso de precipitação pluvial que se transformará em enxurrada, independentemente do tipo de uso e manejo do solo.

A cobertura de solo por plantas vivas ou por resíduos culturais apresenta potencial para dissipar em até 100% da energia cinética da gota de chuva, mas não manifesta essa mesma eficácia para dissipar a energia cisalhante da enxurrada. A partir de determinado comprimento de declive, a cobertura superficial do solo passa a ter o potencial de dissipação da energia erosiva da enxurrada superado, permitindo a flutuação e o transporte de resíduos culturais, bem como o desencadeamento de erosão em sulco sob a cobertura. Esses processos assumem relevância, fundamentalmente, em toposequências em que o comprimento do declive propicia à enxurrada energia cisalhante superior à tensão crítica de cisalhamento imposta pela cobertura vegetal e pelo solo. Assim, toda a prática conservacionista capaz de manter o comprimento de declive restrito a limites em que a cobertura de solo não perca eficácia na dissipação da energia incidente contribuirá, automaticamente, para minimizar os processos de erosão hídrica. Semeadura em contorno, terraços agrícolas, taipas de pedra, canais divergentes, faixas de retenção, culturas em faixa, entre outros procedimentos, são práticas

conservacionistas eficazes para a segmentação do comprimento de declives, e, comprovadamente, aliadas à cobertura permanente do solo, para o manejo efetivo do excesso de água das chuvas, que se transforma em enxurrada e, portanto, para a redução da erosão hídrica.

Portanto, para minimizar o efeito erosivo da gota de chuva e da enxurrada, é fundamental dissipar a energia erosiva desses agentes, ou seja, dissipar a energia cinética da ação de impacto da gota de chuva e dissipar a energia cinética da ação cisalhante da enxurrada, pela manutenção do solo permanentemente coberto e pela redução da quantidade e da velocidade da enxurrada que escoar na superfície do solo.

Em decorrência de observações empíricas, inicialmente divulgadas no 3º Encontro Nacional de Plantio Direto, realizado em 1985, em Ponta Grossa, PR, disseminou-se a percepção de que o sistema plantio direto prescinde de práticas conservacionistas complementares para o controle de erosão e o manejo da enxurrada, isto é, o sistema plantio direto seria prática conservacionista suficiente para o controle integral da erosão. Como consequência dessas infundadas observações, num primeiro momento, no Planalto Sul Rio-grandense e, a seguir, nas demais regiões do Estado e grande parte da região subtropical do Brasil, com repercussão atual em todo o país, desfez-se, indiscriminadamente, o terraceamento nas lavouras conduzidas sob sistema plantio direto (Figura 1) e adotou-se a semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do sentido do declive (Figura 2).

As causas determinantes dessas atitudes têm encontrado argumentos, fundamentalmente, na substancial redução de concentração de sedimentos em suspensão na enxurrada, fortalecida pela percepção de ganho operacional de máquinas e implementos e pela economia de insumos agrícolas decorrente da redução de operações de remate das áreas cultivadas, requeridas em lavouras segmentadas por terraços.

É perceptível que o incipiente conhecimento implicado nos processos de erosão hídrica, dominado pela grande maioria dos promotores do sistema plantio direto, prejudicou a implementação de sistemas conservacionistas de manejo de solo plenamente contextualizados na expectativa de alcance de uma agricultura irrepreensível, principalmente pelo descaso com o manejo do escoamento superficial, ou seja, pela indiferença dedicada aos fluxos de energia e de matéria associados ao ciclo hidrológico, corolário do abandono

de práticas conservacionistas complementares à cobertura permanente do solo.

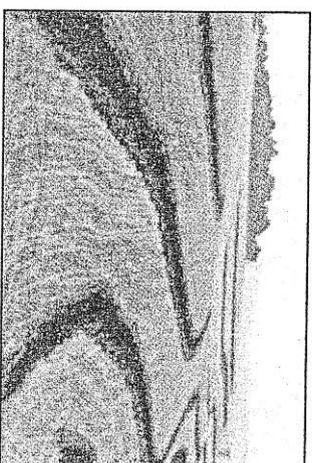


Figura 1. Retirada de terraços em lavoura manejada sob sistema plantio direto, no Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul.

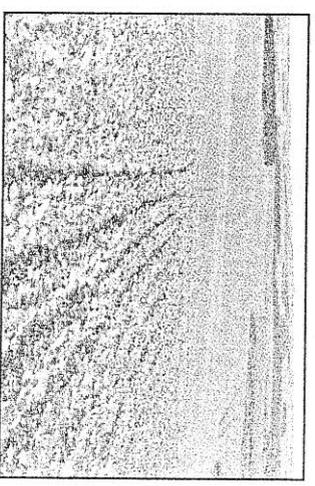


Figura 2. Lavoura manejada sob sistema plantio direto, semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do declive.

Com base na magnitude do problema instalado, tem sido constatada, em lavouras manejadas sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul, com frequência alarmante, a presença de erosão em entressulcos e, especialmente, erosão em sulcos (Figura 3). Esses processos erosivos são agravados pelo transporte de poluentes solúveis pela enxurrada para os corpos de água, resultante da aplicação sistemática de agroquímicos na superfície do solo e da ausência de manejo da enxurrada. A associação desses processos erosivos, em razão de falha de resíduos culturais do solo, produz sedimentos enriquecidos em relação ao solo de origem (Quadro 1) que, além de representarem perdas econômicas, tornam-se fatores de poluição e de contaminação do ambiente.

Estudos de enxurrada em Latossolo do Rio Grande do Sul, comparando preparo convencional e sistema plantio direto, têm demonstrado que durante chuvas de longa duração, em que a umidade do solo atinge o ponto de saturação, a taxa constante de enxurrada não tem diferido em razão do manejo de solo. Desse modo, tanto no preparo convencional como no sistema plantio direto a taxa constante de enxurrada tem se aproximado da intensidade de precipitação. Avaliações de erosão hídrica em áreas manejadas sob sistema plantio direto, revelam que, nos sedimentos transportados pela enxurrada, foram detectadas 2,0 vezes mais matéria orgânica, 2,8 vezes

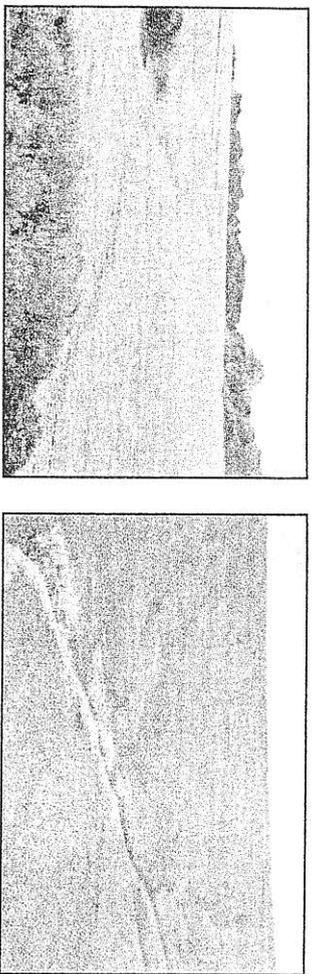


Figura 3. Lavouras manejadas sob sistema plantio direto, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, evidenciando problemas de erosão em sulcos, pela ausência de práticas conservacionistas complementares à cobertura de solo.

mais P_2O_5 , 2,3 vezes mais K_2O e 1,9 vez mais CaO do que no solo original da lavoura que deu origem aos sedimentos, e que a concentração de nutrientes na água de enxurrada é mais elevada do que nos sedimentos. Em adição, essas avaliações revelam que as perdas totais de nutrientes por erosão hídrica, são influenciadas pela quantidade e pelo modo de aplicação de fertilizantes e de corretivos ao solo e proporcionais ao volume de enxurrada, à quantidade de solo perdido e à concentração de nutrientes no solo. Esses dados de pesquisa podem explicar, em parte, observações que apontam o sistema plantio direto, sem práticas conservacionistas complementares ou associadas à cobertura de solo, com potencial para contaminar águas de superfície, principalmente, com os elementos nitrogênio, fósforo e potássio. Assim, sob sistema plantio direto, a enxurrada, além de representar um agente com potencial para promover erosão, em decorrência da ação cisalhante sobre o solo, indubitavelmente constitui veículo de transporte de solutos aos mananciais de superfície, constituindo-se em risco de desequilíbrio à dinâmica hidrológica dos agroecossistemas e à poluição dos sistemas do entorno.

A problemática do tema em discussão, contudo, certamente não reside no ato específico de retirada da estrutura de terraços pela adoção do sistema plantio direto, pois, indiscutivelmente, o terraceamento, dimensionado com base nas condições de manejo regidas pelo preparo convencional de solo, tornou-se incompatível com os requerimentos associados ao sistema plantio direto. A configuração da estrutura de terraços então existente, além de apresentar elevada densidade, em decorrência do

pequeno afastamento horizontal, era complementada por canais escoadouros que, em elevada frequência, já haviam sido transformados em sulcos profundos ou, mesmo, voçorocas, interpondo-se ao livre tráfego de máquinas e implementos agrícolas na lavoura. Dessa ótica, a sistematização de lavouras submetidas ao sistema plantio direto, pela retirada da estrutura de terraços, pode ser considerada uma medida coerente. Portanto, a problemática contextualizada nesse tema está centrada na convicção errônea, apreendida por numeroso contingente de técnicos e produtores rurais, usuários do sistema plantio direto, de que a cobertura superficial de solo por resíduos culturais ou por plantas vivas, otimizada por esse sistema, é prática conservacionista suficiente para controlar, eficazmente, os processos erosivos, argumento que tem inibido a reposição de uma nova e adequada estrutura de terraços ou, mesmo, a implementação de soluções alternativas.

Quadro 1. Parâmetros químicos do solo original e de sedimentos, produzidos por chuva intensa, de lavoura manejada sob o sistema plantio direto, evidenciando enriquecimento do material erodido

Parâmetro	Determinação	
	Solo ⁽¹⁾	Sedimento
pH em água	6,4	6,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	34,0	44,0
Mg (mmol _c dm ⁻³)	56,0	60,0
P (mg dm ⁻³)	34,0	72,0
K (mg dm ⁻³)	270,0	609,0
Matéria Orgânica (%)	2,9	7,3

⁽¹⁾Camada de solo de 0 a 10 cm de profundidade. Fonte: Embrapa Trigo, 2003 (dados não publicados).

A demanda implícita, nesse cenário, infere o desenvolvimento de ações orientadoras à retomada de transferência de informações técnicas relativas aos princípios fundamentais dos processos de erosão hídrica, à implementação de ações de demonstração de práticas conservacionistas complementares associadas à cobertura de solo e à conscientização de técnicos e de produtores rurais no sentido de que o almejado caráter de sustentabilidade dos agroecossistemas requer gerenciamento dos fluxos de energia e de matéria produzidos pelo ciclo hidrológico, em escala de microbacia hidrográfica.

Controle de enxurrada sob sistema plantio direto

A tomada de decisão relativa à necessidade de implementação de práticas conservacionistas complementares à cobertura de solo, para o efetivo controle da erosão hídrica, em determinada área manejada sob sistema plantio direto, deveria fundamentar-se na aplicação da Equação Universal de Perda de Solo ou na estimativa do comprimento crítico do declive. Contudo, as informações disponíveis para a aplicação dessas ferramentas tecnológicas restringem-se a situações pontuais, circunstância que limita, substancialmente, a plena aplicação desses processos.

Diante desse quadro, um modo prático de avaliação dessa necessidade é a observância do ponto de falha dos resíduos culturais ou da cobertura do solo, que, além de revelar a ocorrência de erosão hídrica, poderá indicar, direta e especificamente, o comprimento crítico do declive, isto é, o máximo espaçamento horizontal entre terraços ou prática conservacionista equivalente, para amenizar o processo erosivo instalado e, assim, prevenir a reincidência do evento. Esse critério de percepção de comprimento crítico de declive, no entanto, não considera a tolerância de perda de solo por erosão, que poderá ser inferior ou superior à tolerância admitida para o solo em questão. Se a perda de solo por erosão for inferior à tolerável, o comprimento crítico de declive estará definido pelo critério da falha dos resíduos culturais ou da cobertura do solo. Entretanto, se essa perda for superior à perda tolerável, o comprimento crítico de declive não poderá ser estabelecido por esse critério.

Os resultados no Quadro 2 indicam que experiências têm demonstrado que os critérios comprimento crítico de declive e tolerância de perda de solo por erosão nem sempre são adequados para o estabelecimento do espaçamento entre terraços. A justificativa reside no fato de que a seção máxima do canal do terraço de base larga, economicamente viável e tecnicamente possível de ser construída, é de aproximadamente 1,5 m². Assim, com base no volume de enxurrada esperado, é perceptível que o comprimento de declive da área de contribuição do deflúvio superficial para o canal do terraço com 1,5 m² de seção transversal, via de regra, será inferior ao do comprimento

crítico de declive estabelecido pelos critérios falha de resíduos culturais e/ou cobertura do solo e tolerância de perda de solo por erosão (Quadro 2). Do exposto, infere-se que, sob a atual disponibilidade de dados, a observância da falha de resíduos culturais e/ou da cobertura do solo constitui critério prático interessante para constatar presença de erosão hídrica e identificar a necessidade de implementação de tecnologia complementar à cobertura de solo para controle efetivo da erosão hídrica, porém o dimensionamento da prática conservacionista a ser estabelecida demanda a aplicação dos métodos norteados pelas equações 4 (terraço de drenagem) e 5 (terraço de absorção), as quais são fundamentadas em critérios como: chuva máxima esperada, taxa de infiltração básica de água no solo e capacidade de armazenamento ou de drenagem da prática mecânica a ser construída, entre outros requeridos pelo processo empregado.

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad [4]$$

onde:

Q = taxa máxima de enxurrada ou vazão de pico (m³ s⁻¹);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = intensidade máxima da chuva para tempos de retorno e duração estipulados (mm h⁻¹);

A = área de captação de enxurrada de cada terraço (hectare);

360 = fator de ajuste de unidade da equação para m³ s⁻¹.

$$Q = LA \quad [5]$$

onde:

Q = volume total de enxurrada (m³);

L = lâmina da enxurrada gerada pela relação entre a chuva máxima esperada e a taxa básica de infiltração de água no solo (m);

A = área de captação de enxurrada de cada terraço (hectare).

Uma vez identificada a necessidade de implementação de práticas conservacionistas como complemento à ação da cobertura de solo para o

controle efetivo da erosão hídrica, em determinada área manejada sob sistema plantio direto, o programa computadorizado *Terraços for Windows*⁽²⁾ apresenta-se como ferramenta ímpar para o dimensionamento da estrutura a ser instalada. A aplicação desse modelo, alicerçado nas equações 4 e 5, leva em consideração os seguintes parâmetros: chuva máxima esperada, para tempos de retorno e duração estipulados; tipo de solo; taxa de infiltração básica de água no solo; declividade do terreno; manejo de culturas; e dimensão do canal do terraço a ser construído, em função das condições topográficas do terreno e do equipamento disponível para construção. Esses parâmetros, a determinação da taxa de infiltração básica de água no solo destaca-se como fator, absolutamente, imprescindível para conferir precisão à prática mecânica a ser dimensionada.

Quadro 2. Espaçamento horizontal entre terraços de base larga, com 1,5 m² de secção transversal, calculado por diferentes critérios, em área experimental submetida a diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas

Manejo do solo e da cultura	Critério			
	Falha da cobertura tolerável ⁽¹⁾ (m)	Erosão enxurrada ⁽¹⁾ (m)	Taxa de enxurrada ⁽¹⁾ (m)	Volume de enxurrada ⁽²⁾ (m)
Sistema plantio direto - após milho	328	483	307	108
Escarificação - após milho	147	184	128	44
Sistema plantio direto - após milho/trigo	157	796	159	56
Escarificação - após milho/trigo	143	143	150	51

⁽¹⁾Estimada com base em chuva simulada de 64 mm h⁻¹ e 2 horas de duração, e considerando perda tolerável de solo de 6,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹; ⁽²⁾Estimada com base em chuva simulada de 64 mm h⁻¹ e 1 hora de duração.

Semeadura em contorno

A semeadura em contorno, uma das mais antigas e efetiva prática conservacionista empregada para o combate da erosão hídrica,

caracteriza-se por ser de fácil aplicação e de ampla aceitação pelos agricultores.

Fileiras de plantas, estabelecidas perpendicularmente ao sentido do declive, criam pequenas barreiras que impedem o livre escoamento da enxurrada e, conseqüentemente, oportunizam maior infiltração de água no solo. Esse processo, ao reduzir a velocidade e a quantidade de enxurrada que esco na superfície do solo, dissipa a energia cisalhante da enxurrada e, em decorrência, proporciona menor erosão hídrica. A semeadura em contorno, quando comparada à semeadura no sentido do declive, pode reduzir em mais de 50% as perdas de solo por erosão hídrica. A eficiência dessa prática conservacionista no controle da erosão hídrica pode ser superior ao efeito proporcionado por um baixo índice de cobertura de solo.

O uso combinado de sistema plantio direto com semeadura em contorno é, indubitavelmente, o método mais eficiente para ampliar o comprimento crítico de uma pendente, por contribuir, de modo expressivo, para a minimização da energia erosiva da enxurrada.

A prática da semeadura em contorno encontra limitações em glebas de terra que apresentam o maior comprimento no sentido do declive e/ou topografia excessivamente irregular. O emprego da semeadura em contorno, em glebas caracterizadas por essas configurações, implica em inúmeras operações de renate da área cultivada e em intensa manobra de máquinas e implementos agrícolas, que podem resultar em problemas de compactação de solo. Nessa condição, o combate à erosão hídrica, mediante a dissipação da energia cisalhante da enxurrada, requer práticas conservacionistas alternativas, como terraços agrícolas de base larga ou faixas de retenção de enxurrada, transponíveis por máquinas e implementos agrícolas.

A redução da quantidade e do transporte de sedimentos em suspensão na enxurrada, e de substâncias químicas e/ou orgânicas em solução na enxurrada, bem como o aumento da quantidade de água infiltrada no solo, decorrentes do emprego da semeadura em contorno, pode contribuir, expressivamente, para a qualidade da água, principalmente de mananciais de superfície (riachos, rios, lagos, açudes etc.).

A indicação da semeadura em contorno, como prática conservacionista para o controle da erosão hídrica, passa a ser cada vez

⁽²⁾ Informações disponíveis na página [http://www.ufv.br/Departamentos, Centro de Ciências Agrárias, Engenharia Agrícola, Grupos de Pesquisa, GPRH - Recursos Hídricos, Softwares, Terraço for Windows, contatos.](http://www.ufv.br/Departamentos/Centro de Ciências Agrárias, Engenharia Agrícola, Grupos de Pesquisa, GPRH - Recursos Hídricos, Softwares, Terraço for Windows, contatos.)

mais relevante na medida que aumenta o comprimento do declive, a declividade do terreno e a irregularidade topográfica da paisagem.

Terracamento sob sistema plantio direto

Terraços agrícolas são estruturas hidráulicas, constituídas por um camalhão e um canal, construídas transversalmente ao declive do terreno, de modo a seccionar o comprimento das pendentes. Essa prática conservacionista tem por objetivo contribuir para o controle da erosão hídrica do solo, em terrenos inclinados, mediante interceptação e disciplina da enxurrada ocorrente quando a intensidade da chuva supera a taxa de infiltração de água no solo.

Os terraços agrícolas são classificados segundo os seguintes critérios:

- disciplina imposta à enxurrada;
- sentido do deslocamento de terra na construção do terraço; e
- amplitude da faixa de movimentação de terra na construção do terraço.

Quanto a disciplina imposta pelo terracamento à enxurrada, os terraços agrícolas podem ser:

- terraço em nível, de retenção, de absorção ou de infiltração, quando construído em nível, de modo que a enxurrada é retida e infiltrada no canal do terraço. Esse tipo de terraço é indicado para solos de elevada permeabilidade;
- terraço com gradiente ou de drenagem, quando construído em desnível, de modo que a enxurrada é conduzida, de forma segura, para fora da área protegida. Esse tipo de terraço é indicado para solos de permeabilidade moderada ou lenta.

Quanto ao sentido de deslocamento de terra na construção do terraço, os terraços agrícolas podem ser:

- terraço tipo Nichols, quando o deslocamento de terra na construção do camalhão do terraço é realizado de cima para baixo, resultando em canal de conformação triangular. Esse tipo de terraço é indicado, preferencialmente, para relevos fortemente ondulados;

- terraço tipo Mangum, quando o deslocamento de terra na construção do camalhão do terraço é realizado, alternadamente, de cima para baixo e de baixo para cima, resultando em camalhão e canal de

conformações trapezoidais. Esse tipo de terraço é indicado para relevos suavemente ondulados a ondulados.

Quanto à amplitude da faixa de movimentação de terra na construção do terraço, os terraços agrícolas podem ser:

- terraço de base estreita, quando a faixa de movimentação de terra na construção do terraço é de até 3 m de largura. Esse tipo de terraço é indicado para pequenas glebas de terra, lavouras de baixo índice de mecanização agrícola e terrenos com declividade superior a 0,12 m m⁻¹;
- terraço de base média, quando a amplitude da faixa de movimentação de terra na construção do terraço oscila entre 3 e 6 m de largura. Esse tipo de terraço é indicado para terrenos com declividade entre 0,10 a 0,12 m m⁻¹ e independe do tamanho da gleba de terra a ser protegida e do índice de mecanização agrícola;

- terraço de base larga, quando a amplitude da faixa de movimentação de terra na construção do terraço oscila entre 6 e 12 m de largura. Esse tipo de terraço é indicado para terrenos com declividade de até 0,10 m m⁻¹, e independe do tamanho da gleba de terra a ser protegida e do índice de mecanização agrícola, e permite o cultivo mecanizado, tanto no camalhão como no canal.

No Brasil, em razão da inexistência de estudos locais, durante muitos anos o espaçamento entre terraços foi determinado por métodos empíricos, isto é, tabelas e equações desenvolvidas para as condições de solo e de clima dos Estados Unidos da América, como a tradicional fórmula de Bentley. Indiscutivelmente, esse processo de cálculo, ao mesmo tempo em que facultava a determinação de espaçamentos adequados entre terraços, gera também espaçamentos subestimados ou superestimados, com repercussões negativas, respectivamente, na eficiência e na economicidade da obra implementada.

Estudos desenvolvidos nos últimos 10 anos denotam que o terracamento, dimensionado com base em métodos empíricos para áreas manejadas sob preparo convencional, é inadequado para áreas manejadas sob sistema plantio direto, em razão do reduzido espaçamento horizontal entre terraços e, consequentemente, da elevada densidade de terraços. Áreas manejadas sob sistema plantio direto, certamente, não demandam espaçamentos entre terraços tão reduzidos quanto sob preparo convencional.

A informatização dos métodos de dimensionamento de terraços, ao abandonar dados de natureza genérica, permite o uso de informações regionalizadas e particularizadas para a área-alvo, contemplando os seguintes fatores: características das precipitações pluviiais, taxa de infiltração de água no solo, declividade do terreno, resistência do solo à erosão, capacidade do canal do terraço em armazenar ou transportar enxurrada e uso e manejo de solo empregado. Entre esses fatores, a taxa de infiltração de água no solo é o principal responsável pela determinação de maiores espaçamentos entre terraços para áreas manejadas sob sistema plantio direto.

A partir dessa constatação, o programa computadorizado "Terraços for Windows", que dimensiona estruturas de terraços alicerçado no critério volume de enxurrada esperado, contemplando os fatores chuva máxima esperada, taxa de infiltração de água no solo, declividade do terreno, tipo de solo, uso e manejo do solo e as dimensões do canal do terraço a ser construído, e que gera amplos espaçamentos entre terraços, para áreas manejadas sob sistema plantio direto, foi validado para as condições de solo e clima da Região do Planalto Médio, do Estado do Rio Grande do Sul.

A estrutura de terraços projetada e validada por esse processo foi instalada em uma lavoura de 148,67 hectares, situada no município de Sarandi, RS, com as seguintes características: solo Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa, topografia ondulada, com comprimento de declive médio de 400 m, declividade média de 11% e manejo sob sistema plantio direto há 12 anos, com rotação de culturas, envolvendo soja e milho no verão e trigo, cevada e aveia no inverno.

A precipitação pluvial máxima esperada (130 mm, em 24 horas, para o período de retorno de 15 anos) foi calculada com base em dados pluviiais da estação meteorológica de Passo Fundo, e a taxa de infiltração básica de água no solo (68 mm h^{-1}) foi determinada com o uso de simulador de chuva. Os terraços, tipo base larga e em nível, foram projetados e construídos com altura do canalhão de 0,45 m e declividade da parede à montante de $0,20 \text{ m m}^{-1}$, ou seja, com canal de aproximadamente $1,5 \text{ m}^2$. O espaçamento horizontal calculado variou de 140 m a 47 m, respectivamente para declividades entre 0 e 4% e entre 14% e 20%. O estabelecimento dos terraços demandou sistematização do terreno, eliminando-se voçorocas, canais escoadouros e estradas inadequadas, resultando na incorporação de 12,94 hectares agricultáveis (Figura 4).

As razões que subsidiaram a tomada de decisão para a validação dessa nova estrutura de terraços centram-se nos seguintes aspectos: os terraços existentes, tipo base larga com gradiente e em elevada densidade, apresentavam excessiva declividade e evidente erosão ao longo dos canais; os resíduos culturais triturados e uniformemente distribuídos pela colhedora na superfície do solo, inclusive nos canais dos terraços, eram vulneráveis ao transporte pela enxurrada e, com frequência, promoviam diques, em decorrência de ancoramento junto a plantas presentes na secção transversal do canal, elevando os riscos de falha da estrutura de terraços; as faixas de terra entre terraços, com largura variando de 12 m a 30 m, dificultavam, sobremaneira, a operacionalidade de máquinas e implementos agrícolas para semeadura e tratos culturais; os canais escoadouros apresentavam erosão em sulcos profundos ou em voçorocas, interpondo-se ao livre tráfego de máquinas e implementos agrícolas; e as estradas, inadequadamente localizadas, atuavam como canais escoadouros, com evidentes problemas de erosão, requerendo frequentes serviços de manutenção.

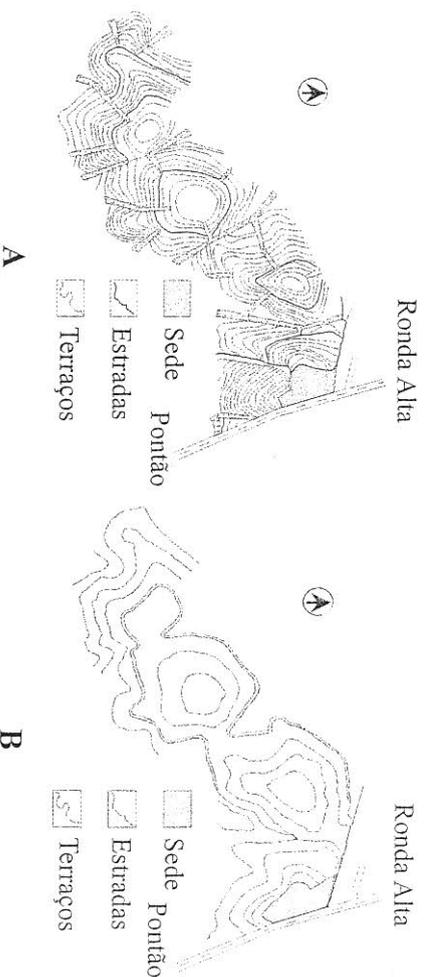


Figura 4. Contraste de lavoura com estrutura de terraços para condições de manejo regidas pelo preparo convencional (A) e pelo sistema plantio direto (B), em solo Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa, no Estado do Rio Grande do Sul.

A estrutura de terraços implementada foi considerada válida por ter suportado evento pluvial de magnitude superior à esperada. A precipitação pluvial de 142 mm, registrada no dia 10 de outubro de 1997, constituiu

chuva com período de retorno de 25 anos, superando o evento pluvial máximo esperado, que era de 130 mm, sem provocar danos ao sistema implementado.

Os afastamentos horizontal e vertical entre terraços, calculados pelo método do volume de enxurrada esperado, mediante o programa computadorizado “Terracos for Windows” foram sensivelmente maiores que aqueles determinados pelos métodos tradicionais (Quadro 3), o que justificou a necessidade de validação da estrutura projetada. O amplo espaçamento horizontal e vertical da estrutura de terraços estabelecida, determinou áreas entre terraços superiores a 40 hectares, contrapondo a percepção de que essa prática conservacionista induz expressivos prejuízos ao rendimento operacional de máquinas e implementos agrícolas e representa perdas de insumos agrícolas. Indubitavelmente, o programa computadorizado “Terracos for Windows” é aplicável para dimensionamento de outras práticas mecânicas destinadas a criar obstáculos mecânicos ao livre escoamento superficial da enxurrada.

Quadro 3. Espaçamento horizontal entre terraços de absorção, calculado por diferentes métodos, para precipitação pluvial de 130 mm no período de 24 horas, em lavoura manejada sob o sistema plantio direto, em solo de textura muito argilosa e velocidade de infiltração básica de 68 mm h⁻¹

Declividade (%)	Método			
	Bentley (m)	Paraná (m)	Lombardi Neto (m)	Volume enxurrada (m)
5	24,4	27,9	43,1	117,1
7	20,9	24,2	37,4	90,3
9	19,0	21,8	33,7	75,4
11	17,7	20,0	30,9	66,0
15	16,3	17,5	27,2	54,6
20	15,3	15,6	24,1	46,8

Fonte: Adaptada de Pruski et al. (1996).

É de relevância destacar que a estrutura de terraços atualmente preconizada para áreas manejadas sob sistema plantio direto requer compreensão diferenciada da estrutura praticada em áreas manejadas sob

preparo convencional. Resultados de pesquisa, aliados a observações práticas, denotam que áreas manejadas sob sistema plantio direto demandam menor estrutura hidráulica, para a dissipação da energia cinética da enxurrada. Os fatores determinantes dessa menor densidade são a elevação da taxa de infiltração de água no solo, em decorrência da melhoria estrutural do solo, e a maior dissipação da energia cinética das gotas de chuva e da enxurrada pela cobertura permanente do solo. É possível inferir ainda, que esse atual enfoque de terracamento sob sistema plantio direto, mais do que uma prática conservacionista destinada ao controle de perdas de solo por erosão hídrica, constitui obra de prevenção ao aporte de agroquímicos pela enxurrada a mananciais de superfície.

Vertical mulching sob sistema plantio direto

A segmentação de declives, por terraços, cordões vegetados, tapas de pedra, canais divergentes, faixas de retenção, culturas em faixas etc., constitui tecnologia tradicional para amenizar problemas de erosão hídrica. Objetivando contribuir para esse elenco de tecnologias-solução, a prática conservacionista vertical *mulching* foi validada para solos bem drenados da região de clima subtropical úmido do Brasil.

Essa prática conservacionista é constituída por sulcos, locados e construídos em nível, com 7,5 a 9,5 cm de largura e 40,0 cm de profundidade, preenchidos com resíduos vegetais (Figura 5). Esse sulco é preenchido manualmente com palha, preferencialmente, de cereais de inverno, e o

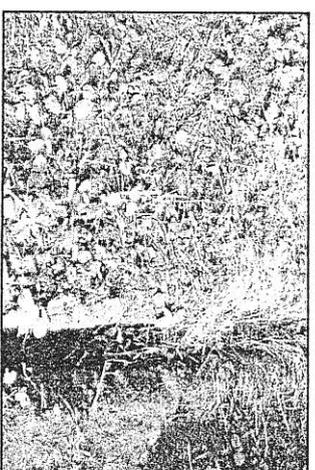


Figura 5. Vertical *mulching*, em lavoura sob sistema plantio direto, com detalhe do sulco preenchido com palha.

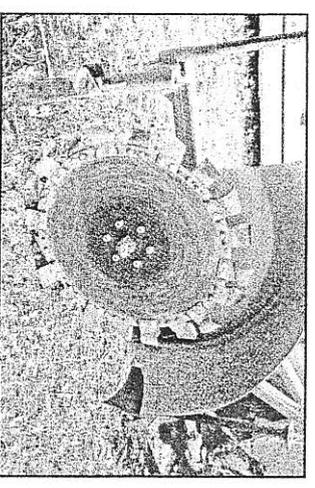


Figura 6. Valetadora rotativa VS 640, utilizada para a construção do sulco da prática conservacionista vertical *mulching*.

afastamento horizontal entre os sulcos têm sido de, aproximadamente, 10 m, em função da razão entre as taxas de infiltração de água no solo e no sulco. As dimensões dessa prática conservacionista são decorrentes das características do equipamento motomecanizado, Valetadora rotativa VS 640, marca Semeato, empregado para a construção dos sulcos (Figuras 6 e 7). Em razão da reduzida largura do sulco, o vertical *mulching*, praticamente, não interfere nas operações motomecanizadas requeridas para a condução da lavoura.

O vertical *mulching*, fundamentado no aumento da taxa de infiltração de água no solo e na consequente redução do deflúvio superficial, tem revelado potencial para disciplinar a enxurrada e prevenir o desencadeamento de processos de erosão hídrica em área manejada sob sistema plantio direto. O emprego dessa prática, em princípio, deverá ser restritivo a talvezes propensos à elevada concentração de enxurrada (Figura 8).

O vertical *mulching* testado em um Argissolo Vermelho Amarelo, em Santa Maria, RS, indicou que a adoção dessa técnica conservacionista reduziu em 52% a taxa do escoamento superficial. Nesse mesmo estudo foi observado que a presença do vertical *mulching* contribuiu para reduzir em 77% as perdas médias de matéria orgânica no sedimento criado pela enxurrada. Em um Latossolo Vermelho Escuro, de textura argilosa, na Região Planalto Médio do Rio Grande do Sul, o vertical *mulching*, além de retardar, significativamente, o início da enxurrada, reduziu em 55% e 74% as taxas de enxurrada para sulcos espaçados de 10 m e de 5 m, respectivamente, em parcelas experimentais com 9% de declividade, sob chuva simulada com



Figura 7. Construção do sulco do vertical *mulching*, com detalhe da distribuição uniforme da terra, extraída do sulco, na superfície do solo.

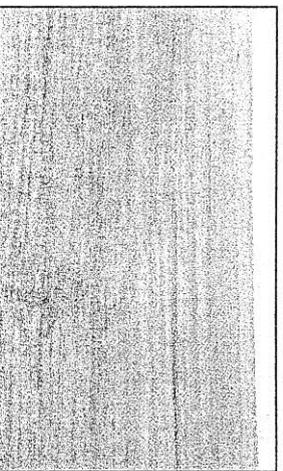


Figura 8. Lavoura, sob sistema plantio direto, com problema evidente de erosão em sulco, em um talvegue propício à construção de vertical *mulching*.

intensidade de 106 mm h⁻¹. Esses resultados permitem vislumbrar que o vertical *mulching* constitui promissora tecnologia conservacionista, contribuindo para o eficaz manejo de enxurrada de áreas manejadas sob sistema plantio direto.

Tanto o terraceamento, especialmente dimensionado para o sistema plantio direto, como o vertical *mulching*, constituem técnicas indutoras da sementeira em contorno, prática que torna as linhas de plantas obstáculos eficazes ao livre escoamento da enxurrada, complementando o conjunto de práticas conservacionistas que contribuem para a gestão dos fluxos de energia e de matéria de origem hidrológica no âmbito dos agroecossistemas.

Considerações finais

Não obstante o sistema plantio direto ser interpretado como uma das mais eficientes ferramentas da Agricultura Conservacionista e, na atualidade, representar cerca de 75% da área cultivada com culturas anuais da região subtropical úmida do Brasil, sua adoção descomprometida com as técnicas de manejo de enxurrada, além de não controlar, satisfatoriamente, a erosão hídrica, potencializa o transporte de agroquímicos e de sedimentos enriquecidos em carbono e em nutrientes aos mananciais de superfície, constituindo-se em risco ao equilíbrio da dinâmica hidrológica no âmbito da bacia hidrográfica. Em razão das características pluviiais dessa região do país, há probabilidade de ocorrência de chuva intensa com produção de enxurrada em qualquer época do ano, independentemente do tipo, uso e manejo de solo, que demandará práticas conservacionistas complementares à cobertura de solo para manter a erosão hídrica em níveis toleráveis. Tendo em vista a necessidade de superar tais entraves e de aprimorar o sistema plantio direto como tecnologia promotora da Agricultura Conservacionista, propõe-se considerar os seguintes aspectos:

- A transformação de ecossistemas em agroecossistemas, decorrente da ação do homem, por interferir nos fluxos de energia e de matéria emanados do ciclo hidrológico, justifica a contextualização da atividade agrícola no âmbito de bacia hidrográfica.
- O sistema plantio direto não assegura condição suficiente para disciplinar os fluxos de energia e de matéria emanados do ciclo hidrológico

no âmbito da bacia hidrográfica e, via de consequência, não representa completo escudo contra a erosão.

- A permanente cobertura de solo por plantas vivas ou por resíduos culturais, corolário do sistema plantio direto, apresenta potencial para dissipar até 100% da energia cinética da gota de chuva, mas não manifesta a mesma eficácia para dissipar a energia cisalhante da enxurrada.

- A partir de determinado comprimento de declive, a cobertura superficial do solo perde o potencial de dissipar a energia erosiva da enxurrada, permitindo flutuação e transporte de resíduos culturais, bem como o desencadeamento de erosão em sulco sob a cobertura.

- A falha de resíduos culturais indica perda de eficácia relativa da cobertura do solo na redução da erosão hídrica.

- O comprimento crítico de declive, caracterizado pela falha de resíduos culturais, indica que a energia erosiva da enxurrada (tensão cisalhante da enxurrada) superou a resistência dos resíduos culturais e/ou do solo à erosão (tensão crítica de cisalhamento dos resíduos culturais e/ou do solo).

- A energia cinética de impacto da gota de chuva é dissipada pela manutenção do solo coberto.

- A energia cinética cisalhante da enxurrada é dissipada pela redução da velocidade e da quantidade de enxurrada que escoou na superfície do solo.

- A prática conservacionista capaz de manter o comprimento de declive restrito a limites em que a cobertura de solo se mantenha eficiente na dissipação da energia erosiva incidente contribui para minimizar os processos de erosão hídrica.

- Semeadura em contorno, terraços agrícolas, taipas de pedra, canais divergentes, faixas de retenção, culturas em faixa, entre outras práticas, constituem procedimentos conservacionistas eficazes para a segmentação do comprimento de declive e, comprovadamente, aliadas à cobertura permanente do solo, para o manejo efetivo da enxurrada e, portanto, para a redução da erosão hídrica.

- A estrutura de terraços projetada para lavouras manejadas sob preparo convencional apresenta inadequado afastamento horizontal entre terraços para lavouras manejadas sob sistema plantio direto.

- O programa computadorizado “Terraços for Windows” constitui

ferramenta ímpar para o dimensionamento da estrutura de terraços para lavouras manejadas sob sistema plantio direto.

- A prática conservacionista vertical *mulching*, integra o elenco de tecnologias-solução para o manejo de enxurrada em áreas sob sistema plantio direto, na região subtropical úmida do Brasil.

- A seleção da prática conservacionista complementar à cobertura de solo, para o controle efetivo da erosão hídrica em áreas manejadas sob sistema plantio direto, está condicionada à observância das propriedades hidrológicas do solo.

Literatura consultada

AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; RITTER, S.R.; BRIGNONI, L.F.; BRAMBATTI, D.C.; KAEFFER, E.C.; ENGEL, F.L. Efeito ambiental das perdas de nutrientes pela erosão hídrica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM

BARCELOS, A.A. Infiltração de água em Latossolo sob chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1996. 96p. (Tese de Mestrado)

BERTOL, I.; COGO, N.P. Terraceamento em sistemas de preparo conservacionista do solo: um novo conceito. Lages, NRS-SBCS, 1996. 41p. (NRS-SBCS, Boletim Técnico, 1)

BERTOL, I.; COGO, N.P.; DENARDIN, J.E. Distanciamento entre terraços em preparos de solo conservacionistas. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Porto Alegre, 2002. Anais. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2002. CD-ROM

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparos conservacionistas de solo. R. Bras. Ci. Solo, 21:139-148, 1996.

BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. *Scientia Agrícola*, 60:581-586, 2003.

BORGES, L.C.V.; COSTA, C.V.; SÁ, L.F. Terraceamento na região Centro-Oeste. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, Campinas, 1988. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.11-17.

BRIGNONI, L.F.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; RITTER, S.R.; BRAMBATTI, D.C.; ENGEL, F.L.; AMARAL, A.J.; KAEFER, E.C. Perdas de P, K e CO na água e no sedimento da erosão hídrica em sistemas de semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:293-297, 1986.

COGO, N.P.; BERTOL, I.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Terraceamento em sistemas conservacionistas de preparo do solo: I. Análise conceitual e um exemplo numérico ilustrativo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM

COGO, N.P.; BERTOL, I.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; STRECK, E.V. Comprimentos críticos de declive para a erosão hídrica em preparos de solo conservacionistas: teoria e comprovação. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Porto Alegre, 2002. Anais. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2002. CD-ROM

COGO, N.P.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define

slope-length limits for conservation tillage. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:475-483, 1996.

DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L. de. Características fundamentais da chuva no Brasil. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília, 17(10):1409-1416, 1982.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BERTON, A.L.; TROMBETTA, A.; FALCÃO, H. Terraceamento em plantio direto. Passo Fundo, RS: CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO. 1998. (Comunicado Técnico)

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; COGO, N.P.; BERTOL, I. A experiência prático-científica em conservação do solo no Planalto Sul-Riograndense. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Porto Alegre, 2002. Anais. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2002. CD-ROM

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; COGO, N.P.; BERTOL, I. Terraceamento em sistemas conservacionistas de preparo do solo: II. Análise prática e um relato de caso. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM

DOTTO, J.M.R. Perdas de água, solo e nutrientes em solo Podzólico Vermelho-Amarelo sob chuva natural e diferentes manejos. Santa Maria, 1988. 164p. (Dissertação de Mestrado)

FONSECA, E.O.da; CASSOL, E.A. Enxurrada, infiltração de água e perdas por erosão em um Latossolo Vermelho, em sistemas de manejo de solo. In: XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Cuiabá, 2002. Anais. Cuiabá, SBSCS/Universidade Federal do Mato Grosso, 2002. CR-ROM

FOSTER, G.R.; JOHNSON; MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalks and wheat straw residues. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 25:935-939. 1982.

- GROHMANN, F.; CATANI, R.A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo arenito Bauru. *Bragantia*, 19:125-132, 1949.
- LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P.A.; DRUGOWICH, M.I. Terracçamento agrícola. Campinas, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. 39p. (Boletim Técnico)
- MARTIN, E. O plantio direto no Estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, Ponta Grossa, 1985. Anais. Ponta Grossa, Fundação ABC, 1985. p.15-16.
- MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; GIONGO, A. Descarga de nitrogênio e fósforo em bacia hidrográfica cultivada com fumo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, 1989. 306p.
- PEAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. 1957. 419p.
- PRUSKI, F.F.; SILVA, J.M.A.da; CALLIURI, M.L.; BHERING, E.M. Terraceo for windows, versão 1.0. Viçosa, UFV – Departamento de Engenharia Agrícola, 1996.
- RIGHEES, A.A.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; NISHIJIMA, T.; GARCIA, S.M. “Mulching” vertical e escoamento superficial no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Salvador, 2002. Anais. Salvador, SBEA/Universidade Federal da Bahia/Embrapa, 2002. 4p. - EAS_207. (Artigo em Anais de Eventos/ Notas Técnicas). CD-ROM

- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. Manual de conservação do solo. Porto Alegre, 1979. 175p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submeúdo a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:437-447, 2000.
- VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; PORTZ, G.; RECK, J.P.D. Perda de nutrientes por erosão hídrica em solo com e sem cultivo, na condição de semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM